

Multifunktionale PV-Bauelemente in der Gebäudehülle

- Das Projekt MULTIELEMENT -

Norbert Henze, Peter Funtan, Siwanand Misara, Maria Roos
Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES,
Königstor 59, 34119 Kassel,
Tel.: (0561) 7294-219, Fax: (0561) 7294-200
E-mail: norbert.henze@iwes.fraunhofer.de

1 Einleitung

Im Zeitraum vom 01. Oktober 2008 bis 31.12.2011 wurde am Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES (ehemals Institut für Solare Energieversorgungstechnik ISET e.V.) zusammen mit 15 Industriepartnern das Projekt MULTIELEMENT – Untersuchungen zur Entwicklung von Fertigungs-, Prüf- sowie Einbaumethoden von multifunktional nutzbaren Photovoltaik Bauelementen/Baugruppen in der Gebäudetechnik – durchgeführt. Im Mittelpunkt der Forschung standen PV-Module für die Integration in Dächer und Fassaden. Bei der Gebäudeintegration der Photovoltaik ist die Erzeugung von elektrischer Energie aus Sonnenlicht lediglich eine Funktion unter den vielfältigen Aufgaben, die das PV-Modul in der Gebäudehülle übernehmen kann, weshalb PV-Module für die Gebäudeintegration als multifunktionale PV-Bauelemente bezeichnet werden.

Gebäude der Zukunft sollen nicht nur höchste Energieeffizienz aufweisen – die EU-Gebäuderichtlinie fordert sogenannte Niedrigstenergiehäuser ab 2021 – sie sollen auch vor Ort vorhandene Energie nutzen und sogar eine aktive Rolle im Stromnetz übernehmen. Zukünftig werden deshalb Plusenergie-Häuser mit aktiven PV-Systemen zunehmend an Bedeutung gewinnen, oft in Kombination mit elektrischen Wärmepumpen, sowohl im Neubau als auch bei der Bestandsanierung. Aus Sicht von Architekten und Stadtplanern erfordert diese Entwicklung gestalterisch hochwertige, bauwerksintegrierte PV-Systeme (BIPV).

In städtischen Gebieten und bei Gewerbe-Gebäuden bieten Dachflächen und Fassaden große Potenziale für die Nutzung der Photovoltaik. Hier bestehen vielfältige Möglichkeiten für die Kombination der Dachhaut bzw. Gebäudehülle mit multifunktionalen Eigenschaften von PV-Bauelementen. Dennoch werden diese Anwendungen bislang nur in wenigen Projekten realisiert. Der Grund hierfür sind u. a. unklare baurechtliche Bestimmungen, fehlende bautechnische bzw. bauphysikalische Kennwerte für die Gebäudeplanung und ein noch immer weiter zu verbessernder interdisziplinärer Austausch aller beteiligten Akteure.

2 Die Forschungsarbeiten im Überblick

Im Projekt MULTIELEMENT wurden neben der bautechnischen Einordnung von PV-Bauelementen und den damit verbundenen Anforderungen grundlegende Prüfungen und Studien mit zum Teil neuen Verfahren an PV-Bauelementen durchgeführt. Einige Arbeiten aus dem Projekt sind nachstehend im Überblick dargestellt.

Zur Ermittlung der elektrischen, mechanischen und thermischen Betriebsbedingungen von dachintegrierten PV-Systemen wurden verschiedene **Musterdächer** mit unterschiedlicher Dachneigung aufgebaut und mit unterschiedlichen PV-Indachsystemen belegt [7]. Aus den Messdaten wurden Modelle entwickelt, um die elektrischen, mechanischen und thermischen Eigenschaften simulieren zu können. Spektrometer wurden installiert, um die elektrische Leistung der Module auch mit der spektralen Verteilung des einfallenden Lichts in Bezug setzen zu können. Parallel wurden die **baurechtlichen Aspekte bei BIPV-Anwendungen** untersucht. Die Ergebnisse wurden bereits im Jahr 2010 dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), dann auf dem 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie 2011 in Bad Staffelstein [1] vorgestellt. Trotz intensiver Bearbeitung der Thematik durch das DIBt und die beim BSW gegründete Fachgruppe Bautechnik, sind viele Fragen die BIPV betreffend noch ungelöst. Weiterhin wurden die **multifunktionalen Eigenschaften** von PV-Bauelementen in der Gebäudehülle untersucht. Prüfungen zur **mechanischen Belastbarkeit** [9], **thermischen** [8], **schalldämmenden** [6] und **Brandschutzeigenschaften** [5] orientierten sich zunächst an den konventionellen baurechtlichen Anforderungen. Insbesondere wurden die höheren Temperaturen, die bei PV-Bauelementen in Vergleich zu konventionellen Bauelementen vorliegen, berücksichtigt und zum Teil neue Prüfverfahren entwickelt. Die Erfahrungen aus diesen Untersuchungen wurden auch in Expertengruppen, wie der Fachgruppe Bautechnik beim BSW und der Fachgruppe Photovoltaik beim Bundesverband Bausysteme, eingebracht. Auch multifunktionale Eigenschaften, die zusätzlichen Nutzen bringen können wie z.B. die **elektromagnetische Schirmdämpfung** wurde untersucht. Weiterhin wurde der Einfluss der PV auf den Primärenergiebedarf eines Gebäudes nach der **Energieeinsparverordnung (EnEV)** [10] untersucht und quantifiziert, um mögliche wirtschaftliche Vorteile bei Neubau und Sanierung herauszuarbeiten. Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Veranstaltungen und Veröffentlichungen vorgestellt und stoßen bis heute auf große Nachfrage von Energieberatern. Bei der Novellierung der DIN V 18599 im Jahr 2011 stützte sich der entsprechende Normenausschuss auf Projektergebnisse zur Ertragsberechnung von PV-Anlagen am Gebäude. Ein anderer Aspekt war die Untersuchung von möglichen **Kompensationskosten** im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von integrierten Systemen. Die Ergebnisse wurden auf dem 26. Symposium Photovoltaische Solarsysteme 2011 in Bad Staffelstein vorgestellt [2].

3 Baurechtliche Aspekte der BIPV

Um die Marktanteile der BIPV deutlich zu erhöhen muss (neben anderen Faktoren wie z. B. Kosten, Zuverlässigkeit, Design, elektrische und thermische Performance) gewährleistet sein, dass die PV-Bauelemente die geltenden baurechtlichen Bestimmungen erfüllen. Die Vorgaben sind klar: für photovoltaische Solaranlagen gelten die Anforderungen für Bauprodukte und Bauarten aus den jeweiligen Bauordnungen der Länder. Solaranlagen dürfen für die Errichtung, Änderung und Instandhaltung baulicher Anlagen nur verwendet werden, wenn sie für den Verwendungszweck den vom DIBt in der Bauregelliste (BRL [4]) bekannt gemachten technischen Regeln entsprechen, d. h. geregelte Bauprodukte sind. Gibt es in der BRL keine entsprechenden Produktnormen oder weichen die PV-Elemente hiervon wesentlich ab (nicht geregelte Bauprodukte), bedürfen sie für ihre Verwendung einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) oder einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) [1]. Die Anforderungen an Bauprodukte generell (auch BIPV), die sich der Bauordnung sowie der übergeordneten Bauproduktenrichtlinie [11] bzw. dem Bauproduktengesetz [12] (BauPG) [7] ergeben, betreffen: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit, Brand-, Schall-, Wärmeschutz, Energieeinsparung, Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz sowie Nutzungssicherheit. Ergänzende Anforderungen finden sich im Entwurf der EU Norm „Photovoltaics in Buildings“ [13]. Hier werden die PV-Bauelemente entsprechend ihrer Anwendungsbereiche im Gebäude in 5 Kategorien¹ unterteilt, für die jeweils spezifische Anforderungen basierend auf EN bzw. ETAG Normen gelten.

Die Erfüllung der baurechtlichen Bestimmungen durch PV-Bauelemente ist unerlässlich. Es zeigt sich jedoch im Einzelfall, dass die hierzu erforderlichen Nachweise aufgrund PV-spezifischer Eigenschaften der Bauprodukte oft schwer zu erbringen sind, da entsprechende Prüfvorschriften diese Eigenschaften nicht berücksichtigen. Dies betrifft z. B. die Durchführung von Brandprüfungen zur Bestimmung der Baustoffklasse, die Verwendung von EVA-Folie in PV-Verbund sicherheitsglas (nach TRLV nicht vorgesehen) oder die Berücksichtigung eines günstig wirkenden Schubverbunds bei der Spannungs- und Verformungsermittlung bei PV-Verbundglas mit EVA-Folie[14].

Neben diesen sicherheitsrelevanten Aspekten der baurechtlichen Anforderungen üben die PV-Zellen in Glas-Bauprodukten auch einen mehr oder minder großen Einfluss bei der Bestimmung der schalldämmenden und thermischen Eigenschaften von PV-Bauelementen aus. Beispielsweise wird auch die betriebsbedingte Erwärmung von PV-Verbundgläsern in Prüfvorschriften zu U- und g-Werten nicht berücksichtigt.

Nach Gesprächen mit Behörden und Diskussionen auf Fachtagungen hat sich gezeigt, dass einerseits die PV-Industrie noch nicht ausreichend mit den baurechtlichen und bautechnischen Anforderungen, die an Bauprodukte zur Verwendung in der Ge-

¹ Dachintegrierte und fassadenintegrierte System, jeweils mit bzw. ohne Zugang vom Gebäudeinneren sowie extern integrierte PV-Bauelemente (z.B. Sonnenschutz, Balkonbrüstung).

bäudehülle gestellt werden, vertraut ist und andererseits die Bauaufsichtsbehörden nicht ausreichend über die besonderen Eigenschaften und technischen Anforderungen von PV-Bauelementen als stromführende Bauprodukte informiert sind. Dies motivierte eine intensive Bearbeitung vieler noch ungeklärter Fragen unter Beteiligung von Projektmitarbeitern. Allerdings lag der Fokus der folgenden Aktivitäten von BSW und DIBt auf Freiflächenanlagen sowie Dachanlagen.

Das DIBt hat nach Zusammenarbeit mit dem BSW die Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen im Mai bzw. Juli 2012 veröffentlicht [3]. Hier sind die aktuell geltenden baurechtlichen Anforderungen an PV-Module und deren Befestigungskomponenten am Gebäude dargelegt². Parallel dazu wurden PV-Module in der neuen Bauregelliste B Teil 2 gelistet [4]. **PV-Module, die der Niederspannungsrichtlinie entsprechen, sind danach für die Verwendung in Freiflächen- und Dachanlagen zulassungsfrei. PV-Module für Fassadenanwendungen hingegen bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung (abZ)**, wobei insbesondere die Standsicherheit, die Resttragfähigkeit und die Brandschutzeigenschaften nachgewiesen werden müssen. Bei Klebungen und tragenden Kunststoffteilen sind ebenfalls abZ erforderlich. Welche Prüfungen hier durchgeführt werden müssen, ist noch nicht abschließend geklärt, vor allem dann nicht, wenn andere Folien als PVB-Folie eingesetzt werden. Bislang gibt es kein deutsches PV-Fassadenelement mit einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung.

4 Brandtechnische Eigenschaften

Beim Einsatz von PV-Bauelementen in Gebäuden werden in der Musterbauordnung (MBO) Anforderungen an die Brandeigenschaften (Baustoffklasse, Feuerwiderstandsklasse) von Bauprodukten gestellt. Mindestanforderung ist die Klassifizierung als normalentflammbarer Baustoff. Doch beim Einsatz z. B. in Fassaden der Gebäudeklasse 4 und 5 und wenn eine Solaranlage 2 Geschosse überbrückt, werden nach §28 MBO höhere Baustoffklassen gefordert. Bei PV-Fassaden soll der Nachweis nach der Bauregelliste vom 9.11.2012 [4] über ein Zulassungsverfahren geführt werden, was zu zusätzlichen Kosten und einem hohen, unbestimmten Zeitaufwand führt. Darüber hinaus stellen viele ungeklärte Fragen über geeignete Prüfmethode zur Baustoffklassifizierung von PV-Bauelementen einerseits und der Mangel an Erfahrungen über das Brandverhalten verschiedener PV-Bauelemente ein großes Hindernis für den Einsatz in Fassaden dar. Dieser Fragestellung wurde im Projekt MULTIELEMENT frühzeitig nachgegangen. Ende 2011 begann ein intensiver Austausch zwischen dem BSW und dem DIBt, um die baurechtlichen Anforderungen an PV-Bauelemente zu klären, wobei auch die Anforderungen an den Brandschutz diskutiert wurden. Im Fokus standen dabei die Nachweisführung der Baustoffklasse

² Es ist zu betonen, dass die Prüfungen im Zusammenhang mit den energetischen Funktionsprüfungen und der Bauartprüfung von PV Modulen nach IEC 61215 bzw. IEC 61646 keine Grundlage für eine Bemessung der Module nach Technischen Baubestimmungen sind.

„Normalentflammba“r und der harten Bedachung, nicht die BIPV. Grundsätzlich kann der Nachweis der Baustoffklasse nach der nationalen DIN 4102 oder nach der europäischen Klassifizierung nach EN 13501 durchgeführt werden. Im Projekt MULTIELEMENT wurden Brandeigenschaften von PV-Verbundgläsern auf Basis von Eurocodes untersucht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in [5] dargestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Normalentflammbarkeit kein technisches Problem darstellt. Die Zuordnung zu höheren Baustoffklassen geschieht mit dem SBI-Test nach EN 13823, der für PV-Verbundgläser gute Ergebnisse liefern kann. Das Zusatzkriterium für die Erreichung der Schwerentflammbarkeit ist der Kleinbrennertest nach EN ISO 11925-2** und stellt kein Problem dar. Allerdings kann das Zusatzkriterium für die Nichtbrennbarkeit (Brennwertbestimmung nach EN ISO 1716) durch den zu hohen Brennwert von Verbundfolien nicht erfüllt werden. Nach den Prüfvorschriften in derzeit geltenden Eurocodes ist die Baustoffklasse A2 nicht erreichbar. Es wurden alternative Prüfverfahren herangezogen bzw. entwickelt und das Kriterium des Brennwertes infrage gestellt und realitätsnähere Untersuchungen durchgeführt. Hier zeigte sich, dass z.B. die Fragmentierung und selbstverlöschende Eigenschaften eine wichtigere Information über die Brandeigenschaften darstellen, als der Brennwert als solches, der die Einbauart und die Systemeigenschaften nicht ausreichend berücksichtigt.

5 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften gehören zu den wichtigsten baurechtlichen Anforderungen an PV-Bauelemente, insbesondere an Fassaden und im Überkopfbereich. PV-Bauelemente unterscheiden sich von konventionellen Verglasungen wie z.B. Verbundsicherheitsglas VSG u.a. durch die Einbettung von Solarzellen und abweichenden Folien (z.B. EVA-Folien), die zu unterschiedlichen mechanischen Eigenschaften und höheren Betriebstemperaturen führen [1]. Hierzu gehören u.a. die Schubeigenschaften des Glas-Folien-Verbunds, die Kriecheigenschaften der Folien sowie Trag- und Resttragfähigkeit der Module. Im Projekt MULTIELEMENT wurden diese Eigenschaften mit Hilfe von Messungen und Simulationen bestimmt.

Es zeigt sich, dass EVA-Folien insbesondere bei hohen Temperaturen ein viel geringeres Kriechverhalten als beispielsweise PVB-Folien aufweisen. Daraus ergeben sich bessere Schubeigenschaften von Verbundglasmodulen mit EVA gegenüber solchen mit PVB und Vorteile hinsichtlich der Tragfähigkeit. Dieses Verhalten wurde sowohl durch Messungen als auch durch Simulationen nachgewiesen [9].

Aus Prüfungen von mehreren PV-Modulen bei unterschiedlichen Temperaturen lässt sich erkennen, dass höhere Betriebstemperaturen (60°C) einen negativen Einfluss auf die Resttragfähigkeit haben. Die eingebetteten Solarzellen in der Schicht zwi-

schen den Gläsern zeigen dagegen einen positiven Einfluss auf die Resttragfähigkeit des PV-Moduls, so dass die temperaturbedingte Minderung der Resttragfähigkeit dadurch teilweise kompensiert wird.

6 Thermische Eigenschaften

Für den Einsatz von PV-Bauelementen in der Gebäudehülle spielen die thermischen Eigenschaften eine wichtige Rolle. Deren Kennwerte sind für Architekten und Gebäudeplaner unabdingbar und nach der Bauproduktenrichtlinie erforderlich. Insbesondere die U-Werte und g-Werte sind wichtig zur Berechnung des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes und zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes. Zur Ermittlung dieser Kenngrößen ist die Kenntnis der äußeren und inneren Wärmeübergangskoeffizienten (h_e , h_i) notwendig. Üblicherweise übernehmen die Hersteller Standardwerte aus den Normen³, z. B. $h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ für die Wärmeübergangskoeffizienten. Jedoch werden diese Koeffizienten von der Glas-temperatur beeinflusst, die bei PV-Bauelementen unter solarer Bestrahlung höher ist als im bei konventionellen Gläsern. Im Projekt Multielement wurde der Einfluss der höheren Bauteiltemperaturen auf die thermischen Kennwerte von unterschiedlichen PV Bauelementen ermittelt, um auf mögliche normative Anpassungen insbesondere bei der g-Wert-Ermittlung hinzuweisen. Dazu wurden die thermischen Kennwerte von drei verschiedenen Modulkonfigurationen mit verschiedenen Zelltechnologien und Zell-Belegungsgraden experimentell bestimmt (PV-Verbundglas mit 49% (CIS), 89% (CIS) und 94% (c-Si) Zellenbelegungsgrad) [8].

Hierzu wurden drei verschiedene Ansätze verfolgt: 1) Konventionelle Messung in einem Kalorimeter nach DIN EN 410, 2) neues Messverfahren nach dem Rückstromprinzip, 3) rechnerische Bestimmung des g-Wertes aus dem gemessenen energetischen Transmissionsgrad. Zwischen allen Verfahren konnte eine gute Übereinstimmung nachgewiesen werden. Im Verfahren nach dem Rückstromprinzip wird das Modul durch einen eingepprägten Strom erwärmt, womit eine bestimmte Solarstrahlung nachgebildet wird. Aus den gemessenen Wärmeflüssen und Temperaturen auf der Vorder- und Rückseite kann der g-Wert schneller und kostengünstiger ermittelt werden. Damit ist es auch möglich einen realitätsnahen g-Wert zu bestimmen. Denn bei unterschiedlichen Einstrahlungen ergeben sich aufgrund der ebenfalls unterschiedlichen Modultemperaturen auch jeweils andere Werte für den inneren Wärmeaustauschkoeffizienten. Somit steigt auch der g-Wert mit der Einstrahlung. Dieser Umstand wird bei Normprüfungen nicht erfasst, da die betriebsbedingten thermischen Eigenschaften von PV-Verglasungen nicht in den Normen erfasst sind.

³ DIN EN 410: Glas im Bauwesen - Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen
DIN EN 673: Glas im Bauwesen - Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) - Berechnungsverfahren

7 Elektrische Eigenschaften

Zur Untersuchung und Bewertung der elektrischen Eigenschaften von PV-Modulen für die Gebäudeintegration wurden mehrere Ansätze verfolgt. Im Rahmen von messtechnischen Untersuchungen wurden I/U Werte im MPP bzw. auf der gesamten Kennlinie gemessen. Dabei wurden unterschiedliche Einbausituationen durch konstruktive Maßnahmen am Modul (z.B. Rückseitendämmung) nachgebildet, aber es wurden auch reale dachintegrierte PV-Systeme betrachtet. Weiterhin wurde sowohl die Wirkung als abschirmendes Bauelement gegen elektromagnetische Strahlung, als auch die Verwendung von Solarzellen bzw. Modulen zur Abstrahlung elektromagnetischer Wellen (Antennen) untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt war die Bewertung von Degradationsmechanismen (Potential Induced Degradation, PID) von kristallinen PV-Modulen aufgrund eines hohen elektrischen Potentials gegen Erde.

Neben der messtechnischen Charakterisierung von PV-Bauelementen sind für Prognosen des Ertrags oder der Augenblicksleistung Modelle erforderlich, die neben der Solarzellentechnologie auch den einbaubedingten Einfluss auf die elektrischen Kenndaten berücksichtigt. Die ist mit physikalischen Modellen nicht mit vertretbarem Aufwand möglich. Im Projekt Multielement wurde daher ein Verfahren entwickelt, bei dem mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze (KNN) und basierend auf gemessenen I/U Kennlinien der Module sowie Einstrahlungs- und Temperaturbedingungen ein sehr genaues Modell erstellt werden konnte.

8 Ausblick

PV-Fassadenelemente benötigen eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, wenn eine projektbezogene Zustimmung im Einzelfall vermieden werden soll. Hier herrscht noch eine große Unsicherheit bei den Firmen, da PV-Fassadenelementen hinsichtlich Material und Konstruktion Abweichungen von vergleichbaren, konventionellen, geregelten Glasprodukten aufweisen. Auch die Systemkomponenten wie Modulanschlusssdosen, Steckverbinder, usw. unterliegen höchsten Ansprüchen, sollen einerseits klein und unsichtbar in der Konstruktion versteckt sein, andererseits alle technischen Anforderungen an Sicherheit, Langzeitstabilität und Funktionalität erfüllen. Diese Fragestellungen sollen innerhalb eines Nachfolgeprojekts bearbeitet werden.

Diese Arbeit zeigt Ergebnisse aus dem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Projekt MULTIELEMENT (Förderkennzeichen 0325067). Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

9 Literatur

- [1] Lützkendorf, I.: Baurechtliche Aspekte zur Integration von Photovoltaik-Bauelementen, 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein 2011.

- [2] Schütze, T., Hullmann, H.: Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz multifunktionaler photovoltaischer Bauteile. 26. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein 2011.
- [3] Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, Juli 2012.
www.dibt.de/de/Fachbereiche/Data/Hinweise_Solaranlagen_Juli_2012.pdf
- [4] Bauregelliste A, Bauregelliste B und Liste C. Ausgabe 2012/2, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin. www.dibt.de/de/Geschaeftsfelder/data/BRL_2012_2.pdf
- [5] Roos, M.: Untersuchungen zur Baustoffklasse von PV-Bauelementen für den Einsatz in höhere Gebäudeklassen. 5. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik, Bad Staffelstein, 5. März 2013.
- [6] Roos, M.: Schalldämmende Eigenschaften von PV-Bauelementen. 5. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik, Bad Staffelstein, 5. März 2013.
- [7] Henze, N.: PV-Indachsysteme im Outdoor-Test – Elektrische, mechanische und thermische Vermessungen. 5. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik, Bad Staffelstein, 5. März 2013.
- [8] Misara, S.: Prüfergebnisse zu thermischen Eigenschaften von PV-Bauelementen. 5. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik, Bad Staffelstein, 5. März 2013.
- [9] Misara, S.: Ganzheitliche Untersuchungen zu mechanischen Eigenschaften von PV-Bauelementen. 5. Anwenderforum Bauwerkintegrierte Photovoltaik, Bad Staffelstein, 5. März 2013.
- [10] Roos, M., Berger, U.: Anrechnung von Strom aus gebäudenahen Photovoltaikanlagen auf den Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes nach der EnEV 2009, Zweites Anwenderforum „Gebäudeintegrierte Photovoltaik“, 02. März 2010, Bad Staffelstein.
- [11] RICHTLINIE DES RATES vom 21. Dezember 1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über Bauprodukte (89/106/EWG), zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 1882/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. September 2003.
- [12] Bauproduktengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. April 1998 (BGBl. I S. 812), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 5. Dezember 2012 (BGBl. I S. 2449) geändert worden ist.
- [13] Draft prEN 50583 „Photovoltaics in Buildings“, October 2012.
- [14] S. Misara, A. Pornnimit: Mechanical Characteristics of BIPV Modules under Different Load Scenarios and Encapsulations. European Photovoltaic Solar Energy Conference EU PVSEC, 2011.