

Photovoltaik in der Gebäudehülle

Wertung bautechnischer Anforderungen

Photovoltaics in Building Envelopes
Evaluation of Structural Requirements

Von der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung des akademischen Grades
einer Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.) genehmigte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Claudia Hemmerle

aus Kaufbeuren.

| | |
|----------------------|---|
| Erster Gutachter | Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller Technische Universität Dresden |
| Zweiter Gutachter | Prof. Dr.-Ing. Volker Quaschnig Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin |
| Tag der Verteidigung | 15.09.2015 |

Kurzfassung

Die Solarstromerzeugung mit Photovoltaikmodulen entwickelt sich zu einer wesentlichen Säule der Energieversorgung. Dabei kann die Integration der Module in die Gebäudehülle die Nachhaltigkeit der Systeme verbessern und neue Anwendungen in der Architektur erschließen.

Die vorliegende Arbeit untersucht die bautechnischen Anforderungen, die sich bei der gebäudeintegrierten Verwendung von Photovoltaikmodulen im Hinblick auf die Sicherheit von Bauteilen aus Glas ergeben. Diese Anforderungen betreffen die materielle Zusammensetzung als Bauprodukt, die Konstruktionsweise und die zu erbringenden Nachweise. Die alleinige Produktqualifizierung nach der elektrotechnischen Normung und die üblichen Qualitätssicherungsmaßnahmen in der Modulproduktion bieten hierfür keine hinreichende Grundlage, da sie keine charakteristischen Materialkennwerte liefern. Infolgedessen bedarf die Integration von Photovoltaikmodulen in die Gebäudehülle in vielen Fällen gesonderter Zustimmungs- oder Zulassungsverfahren.

Resttragfähigkeitsprüfungen an Glas-Glas-Photovoltaikmodulen verfolgten das Ziel, die mechanischen Sicherheitseigenschaften gängiger Modulaufbauten im Vergleich zu Verbund-Sicherheitsglas zu ermitteln. Auf der Grundlage der Ergebnisse lassen sich die untersuchten Aufbauten als mindestens gleichwertig beurteilen. Mit einer bauaufsichtlichen Einstufung geeigneter Modulaufbauten als Verbund-Sicherheitsglas könnte sich der zusätzliche Nachweis- und Aufwand für gebäudeintegrierte Photovoltaik erheblich reduzieren.

Im Vierpunkt-Biegeversuch wurde der Einfluss der Glasbeschichtung mit Dünnschichtsolarzellen auf die Festigkeit der verwendeten Gläser analysiert. Die für eine praktikable Qualitätssicherung durch die Hersteller wünschenswerte Prüfung im Fertigungsformat der Module erforderte eine Modifikation der Probengeometrie. Numerische Berechnungen konnten die Anwendbarkeit des Prüf- und Auswertungsverfahrens auf die vergrößerte Probenbreite nachweisen. Bei beiden untersuchten Dünnschichttechnologien ließ sich die Randentschichtung als Ursache für eine leichte Reduzierung der Biegezugfestigkeit identifizieren. Dabei blieben Mindestwerte für das Basisprodukt Floatglas eingehalten.

Die Arbeit leistet einen Beitrag zum Nachweis der mechanischen Leistungseigenschaften von Photovoltaikmodulen, die für den Einsatz als Bauprodukt erforderlich sind. Darüber hinaus können die entwickelten Empfehlungen für die photovoltaikspezifischen Entwurfs- und Planungsaufgaben einen ganzheitlichen und interdisziplinären Planungs- und Bauablauf erleichtern.

Abstract

Solar electricity produced by photovoltaic systems will play a major role in future energy supply systems. Integrating photovoltaic modules into the envelopes of buildings can improve the sustainability of these systems and stimulate new architectural applications.

This thesis investigates the structural requirements related to building-integrated photovoltaic modules with regard to the structural safety of architectural glazing components. These requirements apply to the materials used, the structural design and the verification procedures. Neither type approval according to the electrical engineering standards nor customary quality control in module production provides characteristic material properties. Therefore, these standards are not sufficient to determine and declare the performance of a construction product. As a result, building-integrated photovoltaic modules require individual approval in many cases.

Residual strength testing of glass-glass photovoltaic modules was carried out with the aim of determining the mechanical safety properties of common module configurations in comparison to laminated safety glass. Based on the results, the configurations tested can be evaluated to provide an equivalent safety level. The classification of suitable module configurations as laminated safety glass in the building codes could significantly reduce the need for additional testing and approval, and thus facilitate the use of building-integrated photovoltaics.

The influence of photovoltaic thin-film coatings on the bending strength of the float glass used as a substrate or superstrate was analysed by applying four-point bending tests. As the direct use of full-size photovoltaic-coated glass sheets as samples would simplify quality control by the manufacturers, the dimensions of the specimens were modified with respect to the existing testing standard. Numerical calculations demonstrated the applicability of the test and evaluation procedures when the larger specimen width was used. For both types of investigated thin-film PV technology, the edge ablation was determined to cause a slight reduction in the bending strength. The specimens tested still met the minimum values for float glass.

The thesis contributes to knowledge on the mechanical performance of photovoltaic modules that are required for use as construction products. In addition, recommendations on the specific design and planning tasks for building-integrated photovoltaics were developed to promote a holistic and interdisciplinary planning and construction process.