

Kraftpaket – Die Fassade des surPLUShome

In der Entwicklung des Projektes surPLUShome der TU Darmstadt, die nach dem Sieg in 2007 erneut Deutschlands einzigen Beitrag zum Solar Decathlon 2009 lieferte, entstand das Ziel innovatives nachhaltiges Design zu präsentieren und alltagstauglich umzusetzen. Die Vision des Teams, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit als Mehrwert im täglichen Leben zu verankern, sollte sich in innovativen, in sich selbstverständlichen Gebäudeelementen widerspiegeln. Die Fassade ist hierbei immer Aushängeschild und Blickfang. Ihre technisch anspruchsvolle Entwicklung und Umsetzung erforderte die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Architektur, Elektrotechnik und Informationstechnik sowie des Bauingenieurwesens.

► Energy Pack – The building shell of the surPLUShome

The surPLUShome of the TU Darmstadt, Germany's contribution to the Solar Decathlon 2009, aims to present innovative sustainable design and implement it suitable for everyday use. The team's vision, to illustrate energy efficiency and sustainability as a surplus in everyday life, should be reflected in innovative and self-evident building elements. In this context, the technically sophisticated façade is always a figurehead and an eye-catcher. Its development and completion required the interdisciplinary cooperation of the departments Architecture, Electrical Engineering and Information Technology as well as Civil Engineering.

Jens Schneider / Sebastian Schula / Manfred Hegger / Martin Zeumer / Thomas Hartkopf / Lutz Steiner • Die Gebäudehülle des surPLUShome verfolgt im Kern ein Ziel: Die Umhüllung möglichst viel Raumes, der dem Nutzer zum Wohnen zur Verfügung gestellt werden kann. Baukörper und Gebäudedekubatur sind optimiert für diese Raumnutzung – immerhin soll ein Wohnhaus doch eine hohe Aufenthaltsqualität für die Gebäudenutzer liefern. Diese maximale Raumnutzung erfolgt zu Ungunsten einer optimalen Orientierung der solaraktiven Elemente. Sie sind als Teil der Gebäudehülle an die zur Verfügung stehenden Orientierungen gebunden. Die Fassade erschließt neben dem Thema der Energiegewinnung weitere integrale technische Bedarfe: Sie ermöglicht einen hocheffizienten Sonnenschutz, Regulierung der Lichtintensität im Inneren des Gebäudes ebenso wie konstruktiven Schutz vor Schlagregen und die Möglichkeit der Be- und Entlüftung. Die verfügbaren Flächen für eine opake Fassade wurden zur solar-aktiven Nutzung über gebäude-

integrierte Photovoltaik in Form von Dünnschichtmodulen genutzt (Abbildung 1). Diese haben gegenüber bekannten Photovoltaikmodulen den Vorteil eines schnelleren Ansprechverhaltens bei diffuser Strahlung und einen geringeren Leistungsverlust bei steigenden Temperaturen. Da in Deutschland die Energieerzeugung eines Gebäudes nicht durch den maximalen Energiebedarf des Gebäudes begrenzt ist und durch Überproduktion an das Netz weitergegeben werden kann, sollte die Leistung der Fassade bis an das maximal Mögliche entwickelt und damit umfassend eingesetzt werden. Umfassend ist dabei auch als architektonisches Bild in Form einer homogen gekleideten sowie einfach und schnell aufzubauenden Gebäudehülle zu verstehen.

Die Fassadenkonstruktion basiert auf einem klassischen und allgemein bekannten Gestaltungsprinzip: dem der Schindel. Das Schindelprinzip ermöglicht im Gegensatz zur vollkommen vertikalen Ausrichtung eine verbesserte Zellorientierung zur Einstrahlung und damit einen höheren Ertrag aus der nutzbaren Fläche. Für die technische Integration von Klappenelementen musste eine einfache Lösung für die Kabelführung von den Lamellen hinter die Fassade gefunden werden. So konnte durch die Anbringung einseitiger Stromkontakte nur ein Kabelübergang pro Modul genutzt werden. Die besonders flache Gestaltung der Anschlussdosen führt auch zu einem besonders wenig eingeschränkten

▼ Building integrated PhotoVoltaics (BiPV)

Gebäudeintegrierte Photovoltaik bezeichnet Systeme und Konzepte, in der die Photovoltaik neben der Stromerzeugung auch die Funktion von Bauelementen wie Teile der Gebäudehülle (Dachbedeckung, Fassadebedeckung, Glasoberflächen) oder Sonnenschutzelementen übernimmt (Mehrfachnutzung). Bisher werden jedoch nur etwa 2% der gesamten PV-Anlagen in Deutschland gebäudeintegriert ausgeführt. Aufgrund der Installationsart ist BiPV in der Regel nicht ganz so ertragsreich wie freistehende Anlagen. Sie erzielen ihre besondere Wirtschaftlichkeit durch die Ersetzung der architektonischen Bauteile, die sonst zusätzlich finanziert und installiert werden müssten. Gerade in Mitteleuropa, wo durch die verfügbare Solarstrahlung sowieso nicht das voll Leistungsspektrum der PV-Module genutzt wird, kann BiPV sehr wirtschaftlich sein.



Abbildung 1
Fassade des
surPLUShome
mit solaraktiven
Lamellen.

Abbildung 4
Versuchsaufbau für den vom IWMB durchgeführten Pendelschlagversuch mit einem Doppelreifen-Pendelkörper, hier für eine Fallhöhe von 45 cm.



Blickfeld von innen. Letztlich merkt der Bewohner im Inneren kaum, dass die Lamellen selbst solaraktiv sind.

Glas als konstruktives Element in der Fassade

Die einzelnen Dünnschichtelemente der Fassade bestehen aus zwei 3 und 4 mm starken Floatglasscheiben mit einer 0,75 mm dünnen stromerzeugenden Zwischenschicht (Abbildung 2 und 3). Die PV-Module werden durch sechs Klemmhalter befestigt. Der Veranstalter des Solar Decathlon äußerte bezüglich der Widerstandsfähigkeit der als Sicherheitsverglasung eingestuften Fassade gegenüber eines potentiellen Ganzkörperanpralls durch Kinder oder

Anprall Erwachsener mit Arm und Hand Bedenken und forderte eine Bauteiluntersuchung durch Versuche. Bei diesem sogenannten weichen Stoß trifft ein leicht verformbarer Körper auf die Verglasung und beansprucht diese über die Aufprallstelle hinaus. Diese Versuche in Kombination mit einer detaillierten Stellungnahme wurden vom IWMB durchgeführt. Glas reagiert durch seine Sprödigkeit und der üblicherweise geringen Bauteildicke besonders empfindlich auf Stoßbelastungen. Zu dahingehenden Untersuchungen werden Pendelschlagversuche mit einem weichen Stoßkörper in Form eines Doppelreifen-Pendelkörpers mit einer Masse von 50 kg und 4 bar Luftdruck durchgeführt. In den USA wird äquivalent zu dem Doppelreifen-Pendelkörper ein 45 kg schwerer Bleischrotsack verwendet. Die Versuchsdurchführung erfolgte direkt an der Fassade des surPLUShome für Pendelfallhöhen von 45 und 120 cm (Abbildung 4). Wissenschaftliche Untersuchungen am IWMB haben gezeigt, dass diese Fallhöhen gegenüber einem realen, menschlichen Körperstoß deutlich auf der sicheren Seite liegen. Nach amerikanischer Norm dürfen im Falle eines Bruchs die größten zehn freien zu Boden fallenden Bruchstücke nicht größer als 65 cm² sein, bzw. darf die Verglasung nicht durchschlagen werden. Insgesamt wurden zwei Pendelschlagversuche an zwei Modulen durchgeführt. Beide Module wurden zwar durch den Aufprall zerstört, sind aber nicht aus der Fassade herausgefallen (Abbildung 5). Auf der Rückseite der Module haben sich – im Gegensatz zur Auftreffseite – Bruchstücke gelöst (Abbildung 6). Diese waren kleiner als durch die Norm gefordert – somit war der Aufbau grundsätzlich konform zum Regelwerk. An den Stellen, an denen seitens des Veranstalters, zur Reduzierung der Verletzungsgefahr, eine Sicherheitsverglasung gefordert wurde (in der Nähe von Treppen und Rampen des Außenraumes), wurde bis zu einer Höhe von etwa 1,8 m über Geländeoberkante rückseitig eine Splitterschutzfolie aus Kunststoff aufgeklebt. So sind die Module technisch auch als Überkopfverglasung einsetzbar.

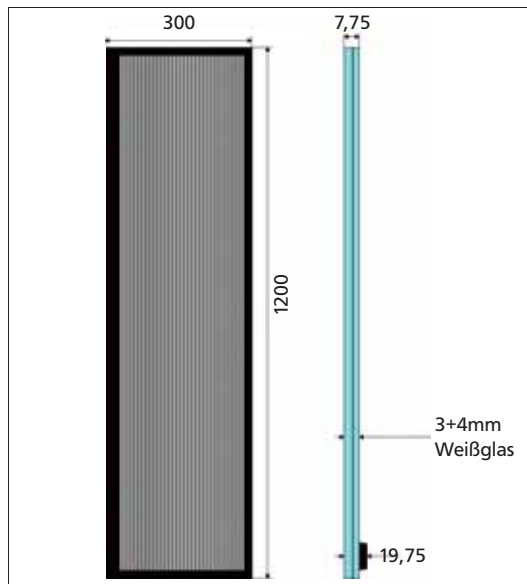
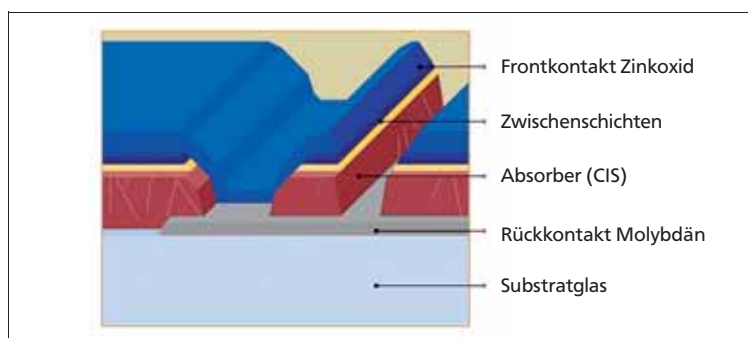


Abbildung 2
Abmessung und schematische Darstellung der verwendeten PV-Module vom Typ Gene CIS.

Abbildung 3
Schnitt durch die stromerzeugende Zwischenschicht. Das Trägermaterial (Floatglas) wird durch Verdampfungsprozesse mit einer aktiven, wenige Mikrometer dicken CuInSe₂-Struktur beschichtet.



Aus Sonnenenergie wird Strom

Klassische Photovoltaikanlagen bestehen aus großflächigen Modulen, die üblicherweise auf dem



Dach angebracht werden. Die Auslegung und Montage einer solchen Anlage ist eine Standardaufgabe in der Elektroinstallation. Anders sieht es beim surPLUShome aus. Hier galt es neben der Photovoltaikanlage auf dem Dach eine fassadenintegrierte Photovoltaikanlage mit speziell entwickelten Modulen, die es bisher so nicht gab, auszulegen und zu installieren. Zudem muss die gesamte Gleichstromtechnik und damit auch die Photovoltaik konform zu amerikanischen Elektronormen sein.

Bei der Umsetzungsplanung wurde ersichtlich, dass eine Photovoltaikanlage wie sie hierzulande üblich ist, in den USA nicht zulässig ist. Die allergrößte Schwierigkeit ergab sich daraus, dass die Fassadenmodule über keine US-Zulassung verfügen und somit eine geplante Reihenschaltung der Photovoltaikmodule nicht zulässig war, da im Niederspannungsbereich operiert werden muss. Um die Fassade vor dem „Aus“ zu bewahren, musste eine Parallel-

Abbildung 5
Zeitpunkt des Aufpralls. Die sichtbar herabfallenden Bruchstücke stammen von der Rückseite des PV-Moduls. Diese waren kleiner als die durch die Norm vorgeschriebene Maximalgröße.

• **Institut für Werkstoffe und Mechanik im Bauwesen**
(Fachbereich Bauingenieurwesen)
Prof. Dr.-Ing. Jens Schneider
Tel.: 06151/16-2537
E-Mail: schneider@iwmb.tu-darmstadt.de
www.iwmb.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Sebastian Schula
Tel.: 06151/16-6169
E-Mail: schula@iwmb.tu-darmstadt.de
www.iwmb.tu-darmstadt.de

• **FG Entwerfen und Energieeffizientes Bauen**
(Fachbereich Architektur)
Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger
Tel.: 06151/16-2046
E-Mail: fg@ee.tu-darmstadt.de
www.ee.architektur.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Martin Zeumer
Tel.: 06151/16-5448
E-Mail: zeumer@ee.tu-darmstadt.de
www.ee.architektur.tu-darmstadt.de

• **FG Regenerative Energien**
(Fachbereich Elektro- und Informationstechnik)
Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartkopf
Tel.: 06151/16-2567
E-Mail: thomas.hartkopf@re.tu-darmstadt.de
www.re.e-technik.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Lutz Steiner
Tel. 06151/16-2367
E-Mail: lsteiner@re.tu-darmstadt.de
www.re.e-technik.tu-darmstadt.de



Es gibt Geräusche,
die am **Image** kratzen.



Selbst winzige Ursachen entfalten oft große Wirkung. Eine kleine Unwucht entpuppt sich auf diese Weise schnell als Geräuschbelästigung im Alltagsbetrieb und zum Makel eines ansonsten tadellosen Produkts. Ob groß oder klein – bei einer Vielzahl von Komponenten lassen sich durch Auswuchten störende Vibrationen von Anfang an vermeiden. Dank der Auswuchtlösungen von Schenck RoTec. www.schenck-rotec.de

 **SCHENCK**

THE ART OF ROTATION

The **DÜRR** Group



Abbildung 6

Die PV-Module sind nach dem Aufprall des Pendelkörpers nicht aus der Fassade herausgefallen. Auf der Vorderseite haben sich keine Bruchstücke gelöst.

schaltung der 250 Module angestrebt werden. Hierbei ist nach US-Norm jedes einzelne Modul mit Sicherungen abzusichern und gewisse Kabel sind in Rohre zu verlegen. Eine Parallelschaltung bedeutet auch, dass mehr Kabelübergänge zwischen den Modultrennungen des Hauses auftreten. Nach mehrmonatiger Arbeit und unzähligen E-Mail-Verkehr mit amerikanischen Inspektoren wurde folgende Lösung genehmigt: Alle 250 Fassadenmodule sind in Parallelschaltung miteinander zu verschalten. Dabei wird je Fassadenrichtung am getrennten Gebäudemodul eine Parallelschaltung in Generatoranschlusskästen eingerichtet. Nach Zusammenbau des Gebäudes werden die einzelnen Generatoranschlusskästen in weiteren Anschlussboxen parallelgeschaltet. Zur Umrichtung des Gleichstroms in Wechselstrom sind spezielle Niederspannungs-Wechselrichter einzusetzen, zur Trennung der PV-Module vom Wechselrichter sind zusätzlich DC-Lasttrennschalter zu verwenden. Zur Gewährleistung der Rückstromfestigkeit sind String Sicherungen einzubauen. Alle Hauptleitungen der Generatoranschlusskästen sind in PVC-Rohren zu verlegen und die Erdung der Photovoltaikmodule auf dem Dach hat mit Edelstahlschrauben und speziellen Unterlegscheiben zu erfolgen. Aufgrund der Parallelschaltung wurden insgesamt 4 km Photovoltaikkabel benötigt. In Washington D.C. zeigte sich, dass sich die Arbeit gelohnt hat. Dank der versuchstechnischen Nachweisführung ergaben sich zu Beginn des Solar Decathlons seitens des Veranstalters keine Bedenken zu der Glaskonstruktion der Fassade. Zusätzlich erhielt das Team Germany als erstes Team ohne Probleme die Abnahme für die DC Electrics und somit der Photovoltaik-Anlage. Die Anlage lief über den gesamten Wettbewerbszeitraum problemlos, Tageslicht und Einblickssituationen konnten variabel gesteuert werden. In die Architecture wie der Engineering-

Bewertung ging dies positiv ein, besonders jedoch zeigten sich die Besucher und damit die breite Öffentlichkeit begeistert von der technischen Umsetzung. Letztlich mündete die Entwicklung der Fassade in den Sieg des Teilwettbewerbs Net Metering. Und selbst bei dem schlechten Wetter der letzten Wettbewerbstage entstand keine Energieunterversorgung des Gebäudes, sodass der gesamte Gebäudebetrieb sichergestellt werden konnte.



Jens Schneider ist seit 2009 Professor für Statik am Institut für Werkstoffe und Mechanik im Bauwesen der TU Darmstadt. Seine Forschungsgebiete umfassen u.a. die Anwendung von Glas im Bauwesen.



Manfred Hegger ist seit 2001 Professor am Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen der TU Darmstadt. Seine Forschungsschwerpunkte umrahmen die Nachhaltigkeit: Material, Energie, Raum und Prozess.



Thomas Hartkopf ist Professor für Elektrotechnik und Fachgebietsleiter des Fachgebietes Regenerative Energien und ehemaliger Vorstand von EnBw.



Sebastian Schula untersucht als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffe und Mechanik im Bauwesen die natürliche Alterung von Glas.



Martin Zeumer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen. Beim SD 2009 war er für Forschung und Entwicklung verantwortlich.



Lutz Steiner ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Regenerative Energien und Projektleiter der Elektrotechnik beim Solar Decathlon 2009.

Literatur

Hegger, Manfred et al. (2007: Energie Atlas; München)

Lüling, Claudia (Hrsg.) (2009: Energizing Architecture Design and Photovoltaics; Berlin)

Wörner, Johann-Dietrich; Schneider, Jens; Fink, Andreas: Glasbau – Grundlagen, Berechnung, Konstruktion. Berlin (u.a.): Springer, 2001