



## **Forschungsprojekt energy:shell**

*Leitfaden zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle*

Kurzbericht

## Forschungsinitiative ZukunftBau

### Kurzbericht

*Im Rahmen der Forschungsinitiative ZukunftBAU des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesministeriums für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und anlässlich der Teilnahme des Fachgebiets Entwerfen und Energieeffizientes Bauen (ee), Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt (TUD) am internationalen Studenten-Wettbewerb Solar Decathlon 2007.*

*Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung gefördert.*

*Aktenzeichen: Z6 – 10.08.18.7 – 06.23/II 2 – F20-06-018*

*Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.*

### Verfasser

Fachbereich Architektur  
Fachgebiet Entwerfen und  
Energieeffizientes Bauen  
Prof. Manfred Hegger  
Dipl.-Ing. M. Sc. Econ

### Bearbeitung

Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger (hg)  
Dipl.-Ing. Jörg Wollenweber  
Dipl.-Ing. Isabell Schäfer  
Dipl.-Ing. Johanna Henrich  
Dipl.-Ing. Joost Hartwig  
Dipl.-Ing. Tanja Klippert  
cand. arch. Therese Heidecke  
cand. arch. Simon Schetter

## Inhaltsverzeichnis

Forschungsprojekt energy:shell	1
Forschungsinitiative ZukunftBau	2
Kurzbericht	2
Verfasser	2
1 Ziel der Forschungsaufgabe	4
1.1 Leitfaden zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle.	4
2 Durchführung der Forschungsaufgabe	5
2.1 Recherche und systematische Analyse sowie Dokumentation der am Markt vorhandenen Systeme, Dokumentation in Form eines Leitfadens.	5
2.2 Methodische Analysen vorhandener Solarrechner sowie Vorstudie für ein Berechnungstool zur Integration solarer Systeme im Wohnungsbau (Solarintegrator).	8
2.3 Produktentwicklung, Prototypenbau und Tests für die Lamellenfassade.	10
3 Ausblick	11

# 1 Ziel der Forschungsaufgabe

## 1.1 Leitfaden zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle.

Seit vielen Jahren werden Solaranlagen an Gebäuden angebracht, aufgeständert auf Dächern und Gestellen und an Fassaden angelehnt. Ihre Beziehung zu den Gebäuden wirkt eher zufällig oder provisorisch. Eine dauerhaft wirkende, technische und gestalterische Integration ist eher selten, würde jedoch die Akzeptanz dieser neuen Bauteile wesentlich erhöhen können.

Laut einer Studie des Bundesverbandes Solarwirtschaft werden lediglich 1 % der verbauten Photovoltaikmodule und –anlagen in die Gebäudehülle integriert. Es eröffnet sich also ein kaum genutztes Feld, das zur Steigerung von System- und Gebäudeeffizienz beitragen kann und zudem neue Gestaltungsmöglichkeiten bietet.

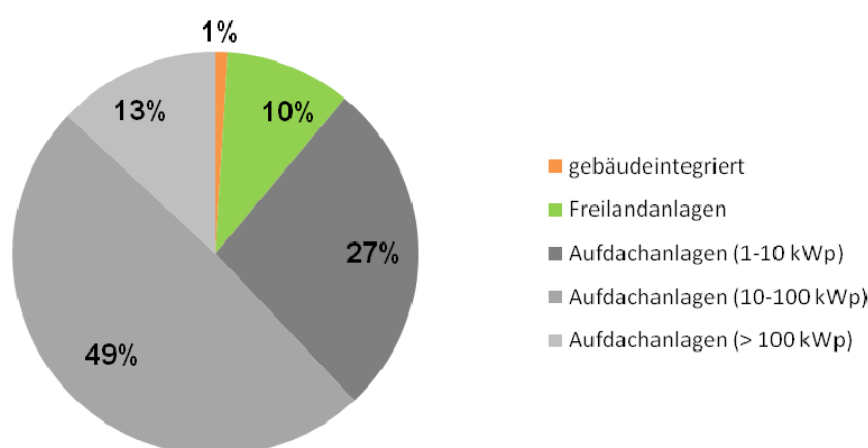


Abb. 1 Marktsegment Photovoltaikanlagen in Deutschland, Quelle: Bundesverband Solarwirtschaft

Vor diesem Hintergrund soll der hier vorliegende Leitfaden als eine Art Planungshilfe zur Integration von Photovoltaik und Solarthermie dienen. Weiter soll er in der Verknüpfung mit einem realen, kleinen Bauprojekt beispielhaft Möglichkeiten solcher Integrationen entwickeln helfen. Es geht also darum, das Verständnis für grundlegende Zusammenhänge zu schärfen und den Horizont der vielfältigen, guten Möglichkeiten zur Gebäudeintegration für praktizierende Planer aufzuzeigen. Auf diese Weise können die Vorteile der Hüllintegration vermittelt und damit die Technologien auf dem Markt besser verankert werden.

Um das beschriebene Ziel zu erreichen, sind zunächst grundlegende Untersuchungen zur Hüllintegration angestellt worden, die Kriterien wie Wirtschaftlichkeit, Ästhetik und

Synergieeffekte ebenso berücksichtigen, wie Anlageneffizienz, Ausrichtung oder Standortverhältnisse.

In einem weiteren Rechenschritt sind Möglichkeiten der Hüllintegration unter dem Blickwinkel Dach- und Fassadeintegration analysiert und bewertet worden. Es liegt nahe, solare Systeme gerade dort einzusetzen, wo eine optimale Einstrahlung der Sonne vorzufinden, ihre Auswirkungen auf die Nutzung jedoch unerwünscht sind. Hier können energieerzeugende Sonnenschutzsysteme Synergien von Sonnenschutz und Energiegewinnung erzeugen. Der Einsatz von Solarmodulen als Fassadenelemente ist ebenfalls realisierbar, im Bereich der Dachbeläge sind zahlreiche Entwicklungen festzustellen. Um die Bandbreite der Möglichkeiten darstellen zu können und neben vorhandenen Einsatzmöglichkeiten auch neue Wege aufzuzeigen, sollen generell die Gestaltungsmöglichkeiten von und mit Photovoltaik und Solarthermie dargestellt werden. Diese werden in Form eines Handbuches dokumentiert.

Der Antragsteller wurde als einzige deutsche Universität zum internationalen Hochschulwettbewerb Solar Decathlon 2007 zugelassen. Das übergeordnete Gesamtziel des Wettbewerbs ist die Entwicklung und Realisierung eines Prototyps für ein Plusenergiehaus mit Marktfähigkeit im Jahre 2015. Das Team des Antragstellers hat mit seinem Beitrag durch den Einsatz von innovativen Technologien und Materialien und in der Integration solarer Systeme neue Wege aufgezeigt, bei denen die vorher beschriebenen Untersuchungen eine äußerst nützliche Grundlage waren. Die Verbindung von Leitfaden und realer Umsetzung im Rahmen des Pilotprojektes Solar Decathlon will somit die Handhabbarkeit und unmittelbare Umsetzungsfähigkeit verdeutlichen und zu weiteren Entwicklungsschritten anregen.

## 2 Durchführung der Forschungsaufgabe

### 2.1 Recherche und systematische Analyse sowie Dokumentation der am Markt vorhandenen Systeme, Dokumentation in Form eines Leitfadens.

Zunächst wurden unterschiedliche Strategien der Verbindung energieerzeugender Systeme mit der Gebäudehülle untersucht. Sie können hierbei von der Gebäudehülle ge-

trennt als eigenständige Elemente wahrnehmbar sein, in die Gebäudehülle integriert sein oder synergetisch viele weitere Funktionen der Gebäudehülle übernehmen.

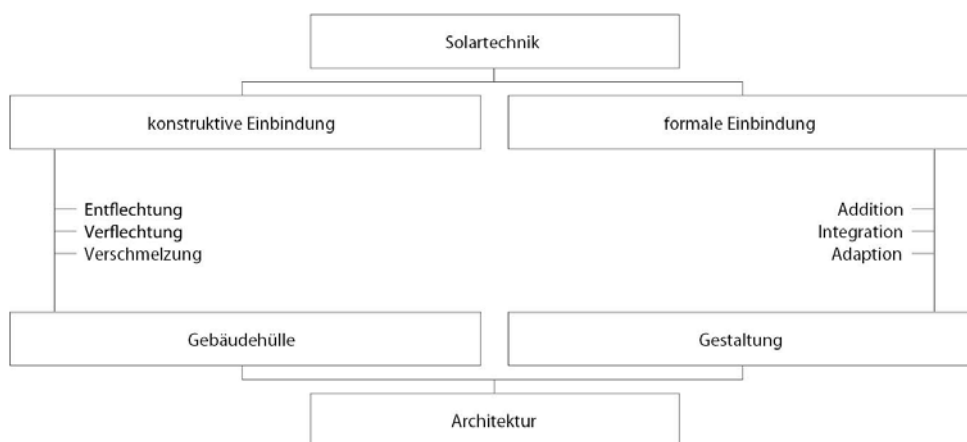


Abb. 1 Konstruktion und Entwurfsstrategie mit aktiver Solartechnik, Quelle: Energieatlas Hegger et al, Seite 109

Diese Studie soll Planern und Bauherrn einen entsprechenden Einblick in den aktuellen Stand der Technik und die Potentiale von photovoltaischen und solarthermischen Systemen in Verbindung mit der Gebäudehülle vermitteln. Dabei wurden Parameter herausgearbeitet, die für eine sinnvolle Gebäudeintegration stehen und zur Gewährleistung von Effizienz und Nachhaltigkeit gelten können. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wurden Grundlagenkataloge für Photovoltaik und Solarthermie zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle generiert.

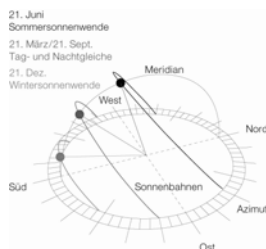


Abb. 2 Jährlicher Sonnenverlauf auf der Nordhalbkugel, Quelle: Hegger et al. 2007, S. 54 (links)

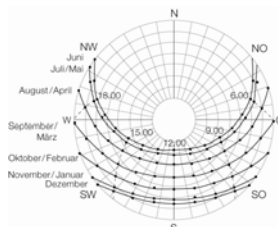


Abb. 3 Sonnenstanddiagramm für 51° nördlicher Breite (jeweils am 21. jeden Monats), Quelle: Hegger et al. 2007, S. 54 (rechts)

Aus der kritischen Betrachtung und Auswertung von Beispielen ist eine Sammlung entstanden, die Planern und Bauherrn einen Einblick in den aktuellen Stand und deren Potentiale ermöglicht.

## Projektbeispiel für die Integration von Photovoltaik

### 2.1.1.1 Kinderkrippe und Jugendfreizeitstätte, München, 2007

Architekturbüro Ebe + Ebe, München

Fassade aus polykristallinen Siliziumzellen



Abb. 4 Südfassade Kinderkrippe und Jugendfreizeitstätte in München, Quelle: www.baunetz.de

Abb. 5 Kinderkrippe und Jugendfreizeitstätte in München, Quelle: www.baunetz.de

Abb. 6 Polykristalline Siliziumzelle, Quelle: www.energie.at

## Beschreibung

Die beiden voneinander unabhängigen Nutzungen Krippe und Jugendfreizeitstätte weisen unterschiedliche farbige Wandverkleidungen im Erdgeschoss auf. Das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes ist jedoch durch eine ca. 80 m<sup>2</sup> große Fassaden-Photovoltaikanlage oberhalb eines Einganges geprägt.

## Integration

Vollständig in die Südfassade eingebaut ist die Photovoltaikanlage, die auch die Lage

eines dahinterliegenden großen Saals markiert. Die 51 rahmenlosen polykristallinen Mo-

dule wurden als vorgehängte, hinterlüftete Fassade ausgebildet und sind punktgehalten

montiert.

Photovoltaik			
<b>Anlage</b>			
Gesamtertrag	6.300 kWh/a	Ertrag	630kWh/kWp
Solaraktive Fläche	80 m <sup>2</sup>	Leistung/Gesamt	10,00 kWp
Ertrag/m <sup>2</sup>	78,75 kWh/am <sup>2</sup>	Leistung/m <sup>2</sup>	0,13 kWp
<b>Modul</b>			
Abmessungen		Leistung	0,19 kWp
Belegung	> 95% (Punkthalter)		
Hersteller	3S – Swiss Solar Systems		

Konstruktive Einbindung	Formale Einbindung
-------------------------	--------------------

Entflechtung	Verflechtung	Verschmelzung	Addition	Integration	Adaption
--------------	--------------	---------------	----------	-------------	----------

## 2.2 Methodische Analysen vorhandener Solarrechner sowie Vorstudie für ein Berechnungstool zur Integration solarer Systeme im Wohnungsbau (Solarintegrator).

In einem weiteren Entwicklungsschritt wurden die Grundlagen für einen sogenannten „Solarintegrator“ gelegt. Der Solarintegrator ist ein interaktives Planungs- und Kommunikationsmittel für Architekten, Planer und Bauherren, das als webbasiertes Tool Aussagen über die Anlageneffizienz solarer Systeme und deren Gebäudeintegration erzeugen soll. Zusätzlich soll der Solarintegrator als Kommunikationsinstrument bei der Entwurfsplanung Unterstützung durch Darstellung von bereits realisierten Projekten oder bei der Entwicklung einer prozessbegleitenden Ideallösung liefern.

**ENERGY : SHELL**  
 SOLARKALKULATOR PLUS +

Erstellung des Standortprofils

Schritt 1

Auswahl der geplanten Baumaßnahme:

Neubau

Altbausanierung

Schritt 2

Grundlagenermittlung:

Landkreis:

Dachfläche:  m<sup>2</sup>

Dachneigung:  °

Ausrichtung:

Azimut:

Abb. 147 Erstellung des Standortprofils, Quelle: FG\_ee

**ENERGY : SHELL**  
 SOLARKALKULATOR PLUS +

Erstellung des Gebäudeprofils

Schritt 3

Gebäudefläche:	<input type="text" value="74"/> m <sup>2</sup>	Dachfläche:	<input type="text" value="54"/> m <sup>2</sup>
Gebäudevolumen:	<input type="text" value="185"/> m <sup>3</sup>	Fassadenfläche Süd:	<input type="text" value="30"/> m <sup>2</sup>
Gebäudetyp:	<input type="text" value="x"/>	Fassadenfläche Ost:	<input type="text" value="15"/> m <sup>2</sup>
Wärmedämmstandard:	<input type="text" value="x"/>	Fassadenfläche West:	<input type="text" value="15"/> m <sup>2</sup>
Heizsystem:	<input type="text" value="Öl"/>	Verbrauch:	<input type="text" value="200"/> l/m <sup>3</sup>
		tägl Wasserverbrauch:	<input type="text" value="40"/> l
		Zirkulationsleitung	<input type="text" value="ja"/>
Stromverbrauch:			
	2005	<input type="text" value="4500"/> kWh	
	2006	<input type="text" value="8000"/> kWh	
	2007	<input type="text" value="6500"/> kWh	

Abb. 8 Erstellung des Gebäudeprofils, Quelle: GF\_ee

Da die Anwendung auch besonders für Laien verständlich gehalten werden soll, ist er eng mit dem erläuternden Leitfaden verknüpft. Weiterhin wurden die nötigen Eingaben auf ein Minimum reduziert, ohne die Zuverlässigkeit des Ergebnisses, welches für Planende wie interessierte Laien in Entwurf sowie Ausführungsplanung von Nutzen sein soll, zu schwächen.



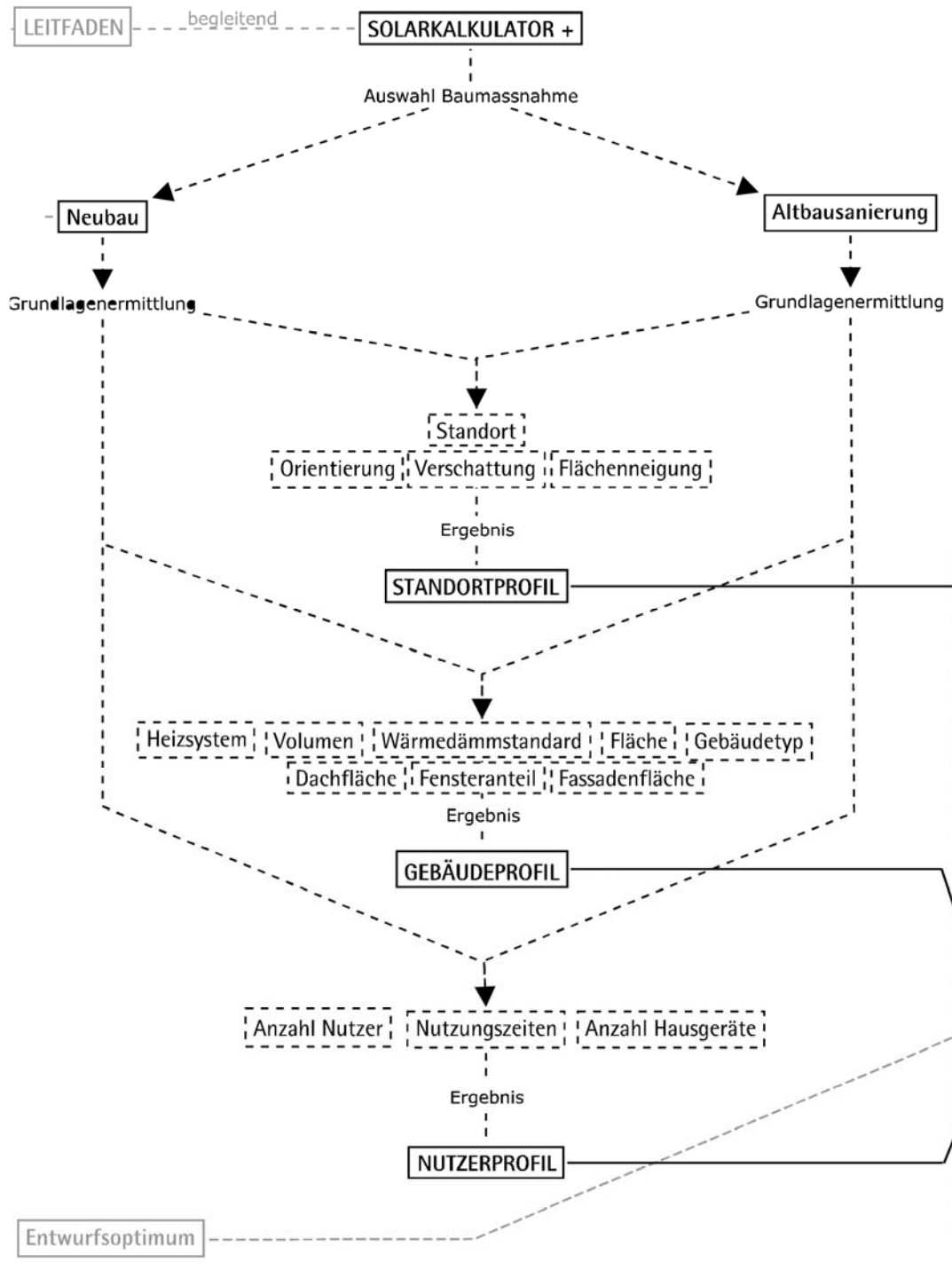


Abb. 9 Ausschnitt aus dem Struktogramm des SolarIntegrators, Quelle: FG\_ee

### 2.3 Produktentwicklung, Prototypenbau und Tests für die Lamellenfassade.

Die Photovoltaik-Sonnenschutzlamellen-Fassade entstand als Idee für ein Bauteil, das Sonnenschutz, Blendschutz und Energieerzeugung verbindet und die für die Energieerzeugung nutzbare Oberfläche der Gebäudehülle maximiert. Die klassischen Funktionen eines Lamellenladens, wie Überhitzungsschutz, Sichtschutz und Witterungsschutz, sollten durch eine energetische Komponente ergänzt werden.

Im Zuge der Bauteilplanung wurden unterschiedliche Varianten einer Lamellenfassade untersucht. Sie sollte schiebbar, faltbar, klappbar und drehbar sein. Unter diesen Maßgaben wurde die horizontal gelagerte, drehbare Lamelle in einem vertikalen Faltrahmen entwickelt.

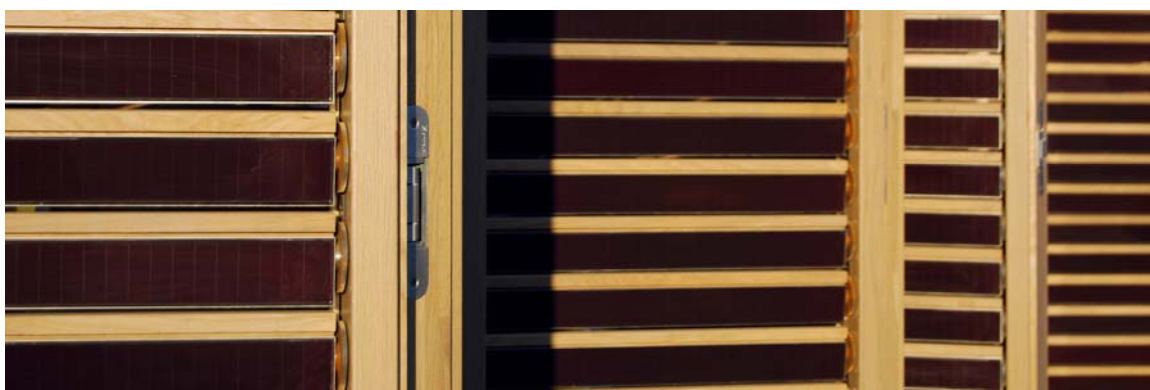


Abb. 10 Fassadenausschnitt der Lamellenfassade, Quelle: FG\_ee

Die einzelnen Planungsstände wurden in Prototypen umgesetzt. Die Anforderungen an das Produkt konnten anhand von Prototypen getestet und modifiziert werden. Die Erkenntnisse aus diesen Prototypen flossen in den Planungsprozess zurück und ermöglichten eine Optimierung bis zur baureifen Werkstattplanung. Diese wurde in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit den erforderlichen Informationen zur Steuerung und Nachführung sowie Verschaltung ergänzt.

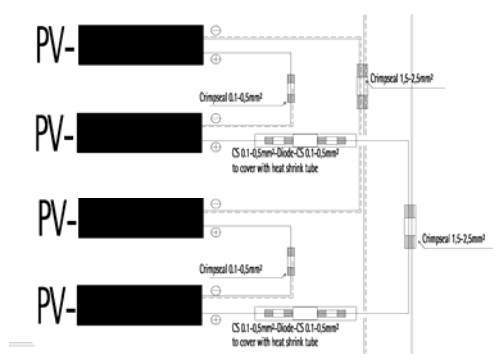


Abb. 11 Planausschnitt der Verkabelungssystematik, Quelle: FG\_ee

Anhand der ersten Kleinserie, die am Gebäude des Wettbewerbsbeitrags zum Solar Decathlon 2007 installiert ist, konnten und können weitere Tests in Bezug auf Energiegewinnung, Materialbeständigkeit und mechanische Funktionalität sowie Nachführung und Steuerung erfolgen. Die Erfahrungen hieraus werden zur weiteren Produktentwicklung beitragen.

### 3 Ausblick

#### 3.1 Leitfaden zur Integration energiegewinnender Systeme in die Gebäudehülle.

Die Integration energiegewinnender System in die Gebäudehülle wird ein immer wichtiger werdender Bereich in der Anwendung dieser Bauteile. Der Leitfaden soll die Anwender frühzeitig auf die Möglichkeiten einer Integration aufmerksam machen, damit diese nicht im Nachhinein als additive Elemente auf die Dachflächen oder an die Fassaden montiert werden.

Die frühzeitige Einbindung dieser Planungskomponente spart dem Bauherrn Zeit und Geld. Dem Planer gibt dieser Leitfaden einen Einblick in dieses Arbeitsfeld. Dieser kann somit dem Bauherrn in der Entwurfsphase kompetente Grundlagen vermitteln, wie energiegewinnende Systeme gestalterisch wirksam mit in die Planung aufgenommen werden können.

Zudem kann der Planer durch die erlangten Kenntnisse sein Arbeitsfeld erweitern und hierdurch seine Marktchancen verbessern.

#### 3.2 Solarintegrator

Der Solarintegrator könnte dem Planenden bereits in der Entwurfsphase die Überprüfung und gegebenenfalls die Korrektur aktiver solarer Systeme ermöglichen. Mit wenigen einfachen Eingaben können Daten über den Einsatz und der Wirkung solarer Systeme gewonnen werden. Die Entwicklung des Solarintegrators würde dem Planer im Zusammenhang mit dem Leitfaden ein wirkungsvolles Werkzeug an die Hand geben, mit dem er Bauherren fachkundige und bereits mit Daten hinterlegte Auskünfte geben könnte. Die Entwicklung eines marktfähigen Solarintegrators sehen wir als Sinnvoll an, da er dem Anwender die Möglichkeit gäbe, über die Eingabe von Gebäudedaten und Nutzerverhalten in kurzer Zeit eine relativ genaue Auskunft über Größe und Ausrichtung der gewünschten Anlagen zu erlangen.

#### 3.3 Produktentwicklung

Die positive Resonanz auf die entwickelte Photovoltaik-Holzlamelle während des Wettbewerbes, Solar Decathlon 2007 in Washington (USA), sowie im Rahmen weiterer Ver-

anstaltungen in Deutschland, zeigen eine mögliche Marktchance dieses Systems auf. Die Weiterentwicklung der Photovoltaik-Holzlamelle zu einem serienreifen Produkt wäre ein positiver Beitrag für die Anwendbarkeit solaraktiver Systeme in der Gebäudehülle oder deren Komponenten.