

\* Dr.-Ing. Jan Cremers

home<sup>+</sup>, ein innovatives Netto-Plus-Energie-Haus aus Stuttgart

# SOLAR-DECATHLON 2010 BAUEN FÜR DIE ZUKUNFT



**Der Solar Decathlon Europe ist ein internationaler Wettbewerb für Hochschulteams aus der ganzen Welt. Das Ziel ist die Entwicklung und Umsetzung eines netzgekoppelten Netto-Plus-Energie-Hauses, das die Sonne als einzige Energiequelle nutzt und das maximal effiziente Technologien einsetzt – und das Ganze gestalterisch auf höchstem architektonischen Niveau. Mit dem Projekt home<sup>+</sup> nahm die Hochschule für Technik in Stuttgart im Juni dieses Jahres am internationalen Wettbewerb «Solar Decathlon Europe 2010» in Madrid teil und erreichte den dritten Platz – mit extrem knappem Abstand auf den ersten, weniger als 5 von 1000 möglichen Punkten haben gefehlt.**

\* Dr.-Ing. Jan Cremers  
Architekt und Professor für Gebäude-  
technologie und integrierte Architektur an der  
Hochschule für Technik Stuttgart  
Projektleiter von «home<sup>+</sup>»  
verantwortlich für Stuttgarts Beitrag  
zum Solar Decathlon Europe 2010  
jan.cremers@hft-stuttgart.de

Ausgangspunkt des Entwurfs home<sup>+</sup> ist ein kompaktes und sehr gut gedämmtes Volumen, das in einzelne Module aufgeteilt wird. Die zwischen diesen entstehenden Fugen dienen der Belichtung, der Belüftung, der Vorwärmung im Winter und der passiven Kühlung im Sommer. Eine besondere Rolle spielt dabei der gestalterisch und räumlich prägende «Energieturm», der im Zusammenspiel von Wind, Verdunstungskälte und thermischem Auftrieb die Belüftung und Kühlung der Zuluft des Gebäudes übernimmt, ohne dabei Strom für den Lufttransport oder die Kühlung zu benötigen. Dabei bedient er sich der Grundprinzipien traditioneller lokaler Vorbilder, wie der Windtürme im arabischen Raum und der in Spanien weitverbreiteten Patios.

Um den niedrigen Restenergiebedarf zu decken, wird die gesamte Gebäudehülle solar aktiviert: Das Dach und die Ost- und Westfassaden werden mit einer zweiten Haut aus neuartigen Photovoltaik-Modulen zur Stromerzeugung versehen. Damit wird das Gebäude zum «Plusenergiehaus». Die Energiehülle erzeugt tagsüber Strom und stellt zusätzlich nachts Kälte bereit. Dazu wird Wasser aus einem Rückkühlspeicher durch Rohre hinter den PV-Modulen auf dem

Dach gepumpt. Durch die Abstrahlung gegen den Nachthimmel kühlen die PV-Module aus und entziehen dem dahinter vorbeifliessenden Wasser Wärme. Das so gekühlte Wasser wird zur Regenerierung der PCM-Decke im Gebäudeinneren, zur direkten Kühlung des Fussbodens und zur Rückkühlung einer kleinen neu entwickelten reversiblen Wärmepumpe genutzt, die zur Abdeckung von Spitzenlasten vorgehalten wird. Diese neue PVT-Kombination aus PV-Modul und «Kälte-Kollektor» wurde an der HFT selbst entwickelt. Der modulare Aufbau unseres Gebäudes ermöglicht die Weiterentwicklung zu einem Bausystem. Darüber hinaus kann das Gebäude, insbesondere die Fugen, an die klimatischen Gegebenheiten anderer Standorte angepasst werden.

## Grundsätzliches zur Gebäudehülle

Durch eine hoch gedämmte Gebäudehülle und effiziente Verschattungsmassnahmen können die äusseren Lasten trotz eines verhältnismässig grossen Fensterflächenanteils von ca. 25% minimiert werden. Die opaken Aussenbauteile bestehen aus einer 75 mm starken Massivholzkonstruktion, die auf der Aussenseite mit zwei Lagen



2



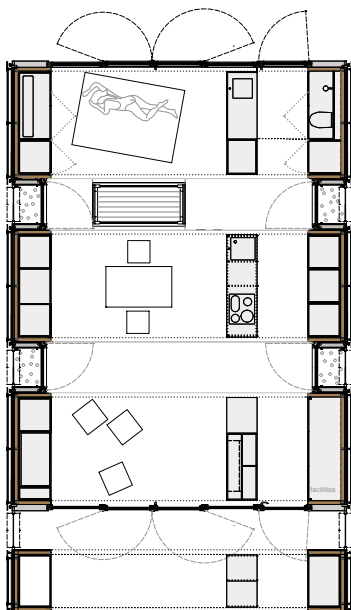
3



4



5



6

Vakuumdämmpaneele belegt wird. Zusammen mit einer Holzfaserdämmplatte, die auf der Aussenseite als Schutz für die VIPs angebracht wird, ergibt sich für die Aussenwände ein U-Wert  $< 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Bei den verwendeten Verglasungen handelt es sich um Wärmeschutzgläser mit einem  $U_g$ -Wert von  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Das Vordach auf der Südseite des Gebäudes bietet einen Witterungsschutz und eine effiziente Verschattung für die darunterliegende Loggia und die Südverglasung. Über den Horizontalverglasungen der Gebäudefugen sind die zur Wärme- und Warmwasserversorgung genutzten Vakuumröhrenkollektoren (ohne Reflektorbleche) angeordnet, die gleichzeitig einen Sonnenschutz in diesem Bereich darstellen. Die vertikalen Fenster in den Fugenbereichen erhalten als beweglichen Sonnenschutz hochreflektierende textile Screens, die durch die aussenliegenden Glaslamellen vor der Witterung geschützt werden.

### Natürliche Lüftung

In einem hochgedämmten und weitgehend dichten Gebäude spielt die Kontrolle der Lüftung eine massgebliche Rolle. Diese Funktion wird hier, soweit die natürliche Lüftung betroffen ist, den verglasten Fugen zugewiesen. Je nach Anforderungen an die Zuluft kommt einer von drei Fällen zur Anwendung:

- Belüftung durch den sog. «Energieturm»
- Freie Querlüftung: Durch die Öffnung der Fugen zur freien Lüftung und Kühlung in den Übergangsjahreszeiten.
- Vorerwärmung der Luft: Durch die Doppelschaligkeit der verglasten Fugen erwärmt sich die Luft und kann vorgewärmt in den Innenraum eingeführt werden.

Aufgrund der Klimabedingungen, die in Madrid herrschen, besitzt der Kühlfall Priorität, insbesondere angesichts der hochgedämmten Bauweise, die Transmissionswärmeverluste und somit auch die benötigte Heizlast auf ein Mindestmass reduziert.

### Passive Kühlung durch den Energieturm

Der Energieturm ist ein Kernelement für die Gewährleistung hohen Wohnkomforts. In Verbindung mit den erwähnten traditionellen Motiven, mit heute verfügbaren Materialien und Technologien entsteht ein Element, das dem Nutzer Behaglichkeit bei niedrigem Energieverbrauch ermöglicht. Gleichzeitig transportiert der Energieturm diese Gedanken des Klimakonzeptes gestalterisch, auch im Innenraum.

Die dritte Klimafuge, in dem sich der Energieturm befindet, ist in drei vertikale Bereiche geteilt. Der mittlere Bereich fängt die anströmende Luft oben ein und leitet sie nach unten ins Gebäude weiter. Im Inneren des Turms verrieselt an abgehängten Tüchern Wasser. Hierdurch kühlt die durchfliessende Luft über Verdunstungskühlung ab. Anschliessend tritt diese gekühlte Luft im Sockelbereich des Turmes quilluftartig in den Innenraum ein und trägt zum Wohnkomfort bei. Die Abluft verlässt das Gebäude durch die Bereiche links und rechts des Turmes, unterstützt durch sogenannte Solarkamine. In diesen heizen sich mobileartig gestaltete Absorberflächen durch die solare Einstrahlung auf und geben die Wärme an die umgebende Luft ab. Der dadurch entstehende thermische Auftrieb unterstützt die Durchströmung der Kamine und führt zu einem Unterdruck im Gebäude, wodurch die Funktion des kühlenden Teils des Turms gestärkt wird. Konstruktiv ist dieses Fugenelement von hoher Komplexität, denn die thermische Trennebene wird im mittleren Bereich nach innen verlegt. Gleichzeitig erhöhten die gebotene Transportfähigkeit dieses Bereiches und die äusserst kurze Auf- und Abbauezeit die Anforderungen erheblich. Im Ergebnis wurde die Energieturmfuge daher in sechs vorgefertigte Teile zerlegt.

### Eine innovative Speicherdecke, neuartige PV/T-Kollektoren und deren Wechselwirkung mit dem Rückkühlspeicher des Gebäudes

Eher im Verborgenen wirkt eine mit Phasenwechselmaterialien (PCM) belegte abgehängte Decke, die tagsüber Wärme aus dem Raum aufnimmt. Nachts werden die PCM wieder ausgehärtet, indem die Decke mit Wasser durchströmt wird. Das Wasser wird abgekühlt, indem es hinter den auf der Dachfläche liegenden PV-Modulen vorbeigeführt wird, die mit dem kalten Nachthimmel im Strahlungsaustausch stehen.

Die PCM (in diesem Fall spezielle Salzhhydrate) nehmen im Temperaturbereich ihres Schmelzpunktes (hier ca.  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ) verhältnismässig grosse Mengen an Wärme aus dem Raum auf. Sinkt die Raumtemperatur unter die Erstarrungstemperatur, gehen sie wieder in den festen Aggregatzustand über und geben Wärme ab.

Die Wärme, die tagsüber in die Decke eingespeichert wird, soll ihr nachts mit möglichst geringem Primärenergieaufwand wieder entzogen werden. Das dafür erforderliche Kühlwasser wird daher nicht auf konventionelle Weise, d.h. mit einer Kompressionskälteanlage, erzeugt, sondern über ein regeneratives Verfahren, nämlich durch

Wärmeabstrahlung an den kalten Nachthimmel – ideal für den Wettbewerbsstandort Madrid mit regelmässigen klaren Nächten im Sommer. Je nach Wassertemperatur, Aussentemperatur und Bewölkungsgrad sind dabei Kühlleistungen von ca. 50–120 W/m<sup>2</sup> Dachfläche realistisch. Das Prinzip der Strahlungskühlung beruht auf der Wärmeabgabe durch langwellige Abstrahlung eines Körpers an einen anderen Körper mit niedrigerer Temperatur, der als Wärmesenke dient. Um diesen Effekt auszunutzen, wurde home+ mit einem Strahlungskühlungssystem ausgestattet, das photovoltaisch-thermische (PVT) Hybridkollektoren verwendet.

### Aktive Solartechnik in der Gebäudehülle

Die äussere Erscheinung des Gebäudes wird darüber hinaus von einer Hülle aus Photovoltaik-Modulen bestimmt, die die vier Gebäude-Module an der Ost- und Westfassade sowie auf dem Dach bekleidet. Ihren besonderen Charakter erhält diese Hülle durch den Einsatz farbiger PV-Zellen aus polykristallinem Silizium. Durch die Verwendung der Farbtöne Bronze und Gold und den Abstand der Zellen zueinander entsteht eine mehrtönig schillernde und mehrschichtige Fassade, deren Erscheinungsbild sich je nach Blickwinkel und Beleuchtungsverhältnissen ändert. Während an der Fassade der goldene Farbton vorherrscht, wird über eine Pixelung mit bronzefarbenen PV-Zellen der Übergang zu den schwarzen PV-Zellen aus monokristallinem Silizium im mittleren Dachbereich vollzogen.

Die goldenen und bronzenen polykristallinen PV-Zellen weisen einen Zellenwirkungsgrad von etwa 13% auf und lassen sich somit auch in einem Modul verbauen, ohne Einbussen beim Stromertrag in Kauf nehmen zu müssen. Mit einem Zellenwirkungsgrad von etwa 17% liefern die polykristallinen Zellen auf dem Dach aber natürlich den grössten Anteil des jährlichen Stromertrags. Bei einer installierten Gesamtleistung von etwa 12 kW<sub>p</sub> (6 kW<sub>p</sub> an den Fassaden, 6 kW<sub>p</sub> auf dem Dach) liegt der jährliche Stromertrag am Standort Madrid bei etwa 10 000 kWh.

Nach den Wettbewerbsvorgaben ergibt sich ein anzunehmender jährlicher Stromverbrauch von etwa 6000 kWh. Legt man diesen zugrunde, so ergibt sich ein jährlicher Überschuss der Stromerzeugung von etwa 4000 kWh.

### Resümee

Die Wettbewerbsvorgaben sind mit 155 Seiten sehr umfangreich. Eine der wichtigsten Diszip-



7

1 Ostfassade und Dachansicht

2–4 Detail der innovativen PV-Fassade mit Gold- und Bronzefarbenen Solarzellen

5 Vakuum-Röhrenkollektoren dienen der Warmwasserbereitstellung und gleichzeitig der Verschattung der Glasfugen darunter

6 Grundriss (Norden oben)

7 Süd- und Ostfassade, in der letzten Fuge der Energieturm

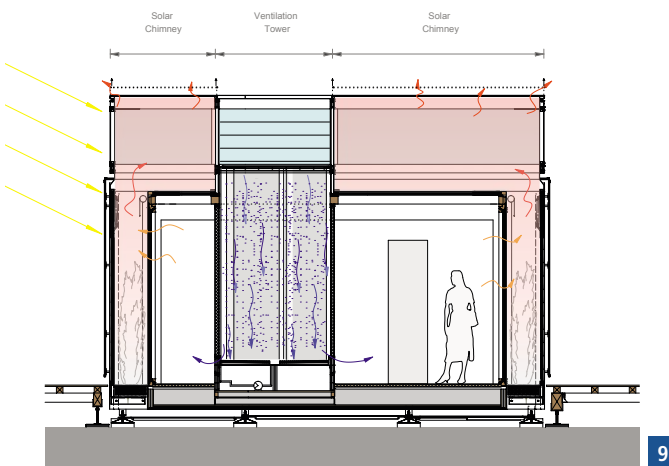


8

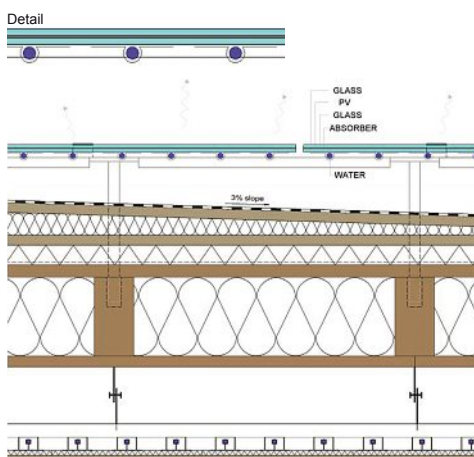
8 Dachansicht, die Solarzellen im Bereich des «Rückgrats» sind in PVT-Kollektoren integriert

9 Funktionsprinzip des Energieturms: Zuluft mit adiabater Kühlung in der Mitte, daneben beidseits Solarkamine

10 Funktionsprinzip der PVT-Kollektoren auf dem Dach, die mit den PCM-Decken gekoppelt sind



9



10



1. Rang:  
Virginia Polytechnic Institute & State University



2. Rang:  
Hochschule Rosenheim DE

## Konzepte für zukunftsfähiges Bauen

**Das Zuhause von morgen folgt den Sehnsüchten dieses Jahrhunderts nach Effizienz, Klarheit, Multifunktionalität und Umweltverträglichkeit. Unausweichliche Problemstellungen wie Klimawandel und Rohstoffknappheit erfordern einen generationenübergreifenden Paradigmenwechsel für eine nachhaltige Architektur, Fassaden- und Gebäudesystemtechnik.**

Ende Juni wurden im Rahmen des für Universitäten international ausgeschriebenen Wettbewerbs «Solar Decathlon 2010» in Madrid die besten integralen Entwürfe für Plusenergiehäuser auserkoren. Das spanische Bauministerium und das US Department of Energy beabsichtigten mit diesem weltweiten Solar-Wettbewerb für Hochschulen die Förderung des Bewusstseins für das energieeffiziente Bauen in Lehre, Forschung und Praxis. An diesem im September 2002 in den Vereinigten Staaten initiierten und nun erstmals in Europa ausgetragenen Wettbewerb nahmen 20 Universitäten aus aller Welt teil, darunter USA, Finnland, England, Frankreich und Spanien. Sie alle planten ein energieautarkes Solar-Wohnhaus auf je 74 m<sup>2</sup> Bruttogeschossfläche. Umgesetzt wurden die Entwürfe von 17 Projekten: Mexiko und Brasilien schieden aus – Israel wurde nicht zugelassen, weil die Universität sich auf besetztem Gebiet (Samaria) befindet.

Die zum Teil höchst unterschiedlich konzipierten Gebäude wurden als integral geplante Gesamtsysteme umgesetzt: Dabei gelangten nicht nur neue Materialkombinationen für Wärmedämmung oder -speicherung zum Einsatz, sondern auch hocheffiziente Fenster, energiesparende Geräte und vor allem konzeptionell schlau ausgenutzte Synergien zwischen Gebäudehülle, Umgebungenergie, schlanker Haustechnik (z.B. adiabatische Kühlung oder Solar cooling) und Photovoltaik. Nicht zuletzt galt es, einer intelligenten

Abstimmung und Steuerung der Systeme und Beleuchtungen zum Durchbruch zu verhelfen und dabei die Montagezeiten dank hohem Vorfertigungsgrad und optimierter Logistik kurz zu halten.

In kreativer Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Fakultäten an den jeweiligen Universitäten, den wissenschaftlichen Partnern sowie Sponsoren wurden in Madrid 17 hochwertige Solarhäuser präsentiert, welche auf dem Campo de Moro trotz sommerlicher Gluthitze in bloss 3 Wochen über 190 000 begeisterten Zuschauern erklärt wurden.

Neben dem Konzept, der Energiebilanz und dem Innovationsgehalt werden auch Komfort, Gestaltung, Kommunikation und Marktfähigkeit bewertet. Nach dem Wettbewerb in Madrid werden diverse Gebäude auch auf regionalen Veranstaltungen ihrer Heimatländer präsentiert.

Der hohe Innovationsgehalt aller Projekte garantiert breitenwirksames mediales Interesse und neue Produkte: So wurden allein für das im 2. Schlussrang prämierte Projekt des IFT über 70 Patente eingereicht, welche das solare Bauen technologisch nach vorn bringen. Es wäre zu wünschen, dass die Schweiz mit ihrer hoch angesiedelten Fassadentechnik, der breiten Verankerung der Minergie-Idee in der Gesellschaft und mit ihrer lebendigen Universitäts- und Fachhochschulandschaft am nächsten «Solar Decathlon» im Jahre 2011 ebenfalls teilnimmt.

Reto Miloni, Solventure GmbH

linien ist der Komfort: Die Lufttemperatur muss in einem Bereich von 23–25 °C gehalten werden, die relative Luftfeuchte in einem Bereich von 40–55%. Die Kühlung der Gebäude spielt daher während der Wettbewerbsphase in Madrid eine wichtige Rolle und sollte möglichst keine Primärenergie benötigen, da in einer weiteren Disziplin auch die elektrische Energiebilanz des Gebäudes bewertet wird. Für die Gebäudekühlung sind bisher kaum regenerative Lösungen verfügbar, daher sind innovative Ansätze gefordert.

Neben dem Podestplatz in der Gesamtwertung konnte das Team der HFT Stuttgart weitere Preise in 5 der 10 Einzeldisziplinen erringen. So gingen die 1. Plätze in den wichtigen Disziplinen «Technik und Konstruktion» und «Innovation» an unser Team. Jeweils 2. Plätze wurden in den Disziplinen «Solare Energiesysteme» und «Haushaltsgeräte und Funktionalität» erzielt, ausserdem ein 3. Platz in der Disziplin «Nachhaltigkeit». Damit kam die HFT Stuttgart in allen Kerndisziplinen des Wettbewerbs auf eine Platzierung.

Die Teilnahme am Wettbewerb ist für alle, die es bis dahin geschafft haben, ein grossartiges Erlebnis und ein Gewinn, letztlich weitgehend unabhängig von der ermittelten Rangfolge.

### Weitere Informationen im Internet

<http://www.sdeurope.de>

(Website home+ der HFT Stuttgart)

<http://www.sdeurope.org>

(Website des Solar Decathlon Europe)

<http://www.solardecathlon.org>

(Website des Solar Decathlon in den USA)