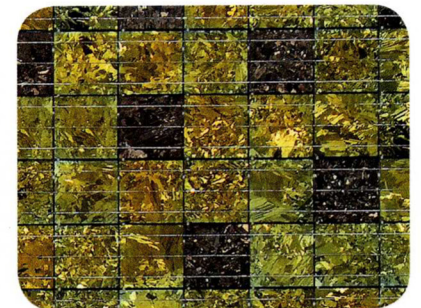
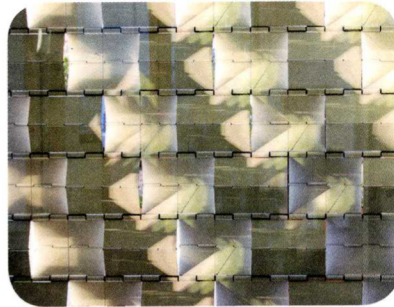


SolarArchitektur⁴

Die deutschen Beiträge zum Solar Decathlon Europe 2010



EnOB

Forschung für
Energieoptimiertes Bauen

DETAIL Green Books

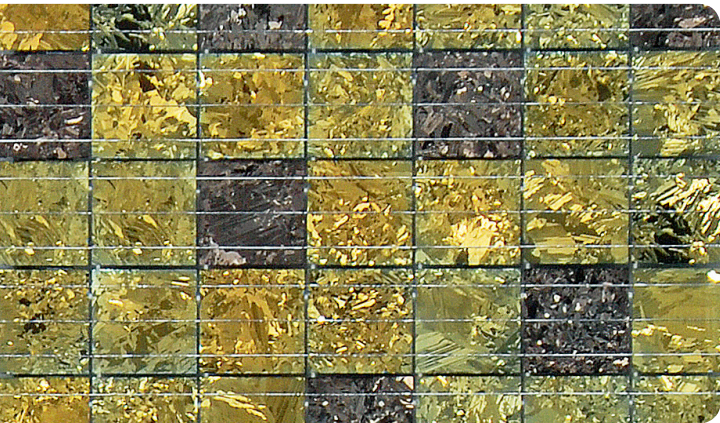
SolarArchitektur⁴

Die deutschen Beiträge zum Solar Decathlon Europe 2010

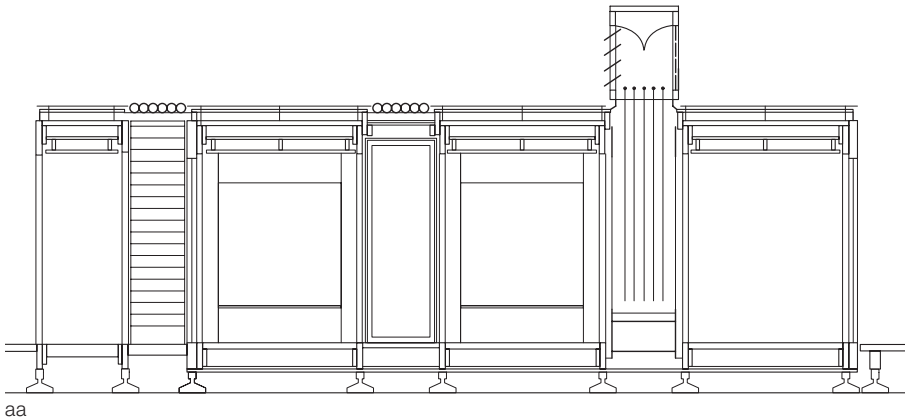
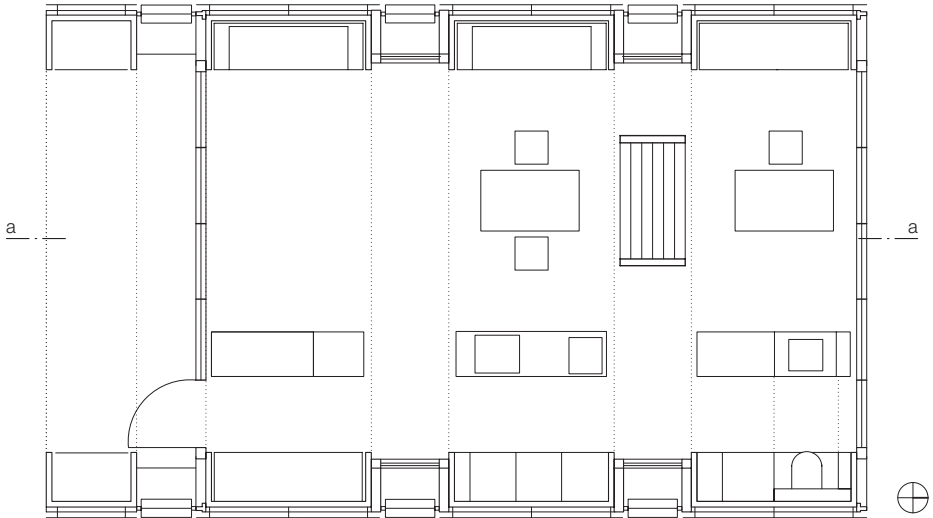
Bergische Universität Wuppertal
Hochschule für angewandte Wissenschaften
Fachhochschule Rosenheim
Hochschule für Technik Stuttgart
Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

STECKBRIEF

Hochschule Teammitglieder	Hochschule für Technik Stuttgart ca. 30 Teilnehmer in Madrid, ca. 150 Projektbeteiligte insgesamt
Standort	Stuttgart
Grundfläche	74 m ²
Wohnfläche	48 m ²
Gebäudehöhe	OK PV 3,80 m/OK Turm 5,06 m
lichte Raumhöhe	2,50–2,88 m
Bruttorauminhalt	ca. 200 m ³
Planung	Oktober 2008 bis April 2010
Bauzeit	Januar bis Mai 2010
Konstruktion	massive Holzbauweise; Stahl- Glas-Konstruktion
Leitidee	Kombination von traditionellen, passiven und solaren Maßnah- men mit leistungsfähigen Materi- alien und innovativen Technolo- gien; Modularität und Flexibilität für einfache Modifikation in unterschiedlichen Klimazonen
Innenraum	Ein-Raum-Konzept; klar ables- bare Modularität; multifunktionale Möbel; reduzierter, offener Raum geprägt von weißen Oberflächen und Eichenholz
Besonderheiten	innovative Entwicklungen wie Energieturm und PV/T-Kollek- toren; Integration von Solarzellen in zwei unterschiedlichen Farben innerhalb rahmenloser PV-Module; speziell entwickelte Haustechnikgeräte
Webseite	www.sdeurope.de



Grundriss • Schnitt
Maßstab 1:100



TEAM

STUTTGART

INTEGRATION VON TECHNIK UND GESTALTUNG

Der Entwurf von home+ basiert auf gestalterischen und energetischen Überlegungen. Als Maxime dienen die für den Wettbewerb Solar Decathlon Europe formulierten Ziele:

- bei Studenten und in der breiten Öffentlichkeit das Bewusstsein für die Möglichkeiten des energieeffizienten Bauens und der Nutzung regenerativer Energien steigern
- die Markteinführung innovativer solarer Energietechnologien fördern
- den Nachweis erbringen, dass energieeffizientes Bauen mit hohem Wohnkomfort und hoher architektonischer Qualität verwirklicht werden kann

Während sich das erste Ziel vorwiegend im Planungs- und Bauprozess und durch eine intensive Öffentlichkeitsarbeit erreichen lässt, ist für die erfolgreiche Umsetzung der beiden anderen Ziele das gebaute Ergebnis maßgeblich. Das Haus muss die Anforderungen an Komfort und Funktionalität erfüllen, den dafür notwendigen Energiebedarf minimieren und ausschließlich durch die Nutzung regenerativer Energiequellen decken. Aber erst durch die gelungene Integration der dafür verwendeten Materialien, Komponenten und Systeme in das Erscheinungsbild des Gebäudes kann die Akzeptanz durch die Nutzer

erreicht werden. Letztendlich ist diese für eine Verbreitung auf dem freien Markt und auch für den nachhaltigen und bewussten Umgang mit dem Gebäude im Betrieb entscheidend. Diesen Ansatz verkörpert home+ – ein Wohnhaus, ein Zuhause, das über den Zeitraum von einem Jahr deutlich mehr Energie bereitstellt, als es selbst benötigt, und das den Bewohnern ein Maximum an Komfort bietet. Für den Wettbewerb stehen bedingt durch den Austragungsort Madrid und das dortige Klima der sommerliche Wärmeschutz und die Kühlung des Gebäudes im Vordergrund. Aber das Haus funktioniert mit minimalen Modifikationen auch in Stuttgart, wo es nach dem Wettbewerb weitergenutzt wird. Das modulare Konzept lässt jedoch weitere umfangreiche Anpassungen an andere Klimate zu, z. B. in deutlich kälteren Zonen. Hierzu müsste nicht das ganze Haus modifiziert werden, sondern nur einzelne Modulbausteine. Bei allen Anpassungen bleiben die maßgeblichen energetischen Komponenten gleichzeitig prägende Elemente der Gestaltung des Hauses und in dessen räumliche Struktur integriert.

OPTIMIERUNG DER PASSIVEN SOLAR-NUTZUNG

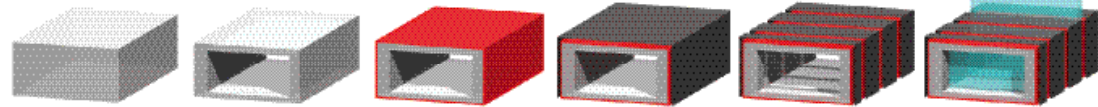
Ausgangspunkt ist ein kompaktes und sehr gut gedämmtes Volumen, das eine geringe Hüllfläche im Verhältnis zum umschlos-

senen Raum aufweist. Dadurch werden die Transmissionswärmeverluste und damit auch der Energiebedarf reduziert. Das Volumen gliedert sich in einzelne Module, die mit etwas Abstand zueinander angeordnet sind. Die entstehenden Fugen dienen der Belichtung und Belüftung sowie der Vorwärmung der Zuluft im Winter und der passiven Kühlung im Sommer. Eine besondere Rolle spielt dabei der Energieturm, der im Zusammenspiel von Wind und Verdunstungskühlung zur Erzeugung eines angenehmen Innenraumklimas in heißen und trockenen Regionen beiträgt, zu denen auch der Austragungsort des Solar Decathlon Europe 2010 zählt. Tradierte Prinzipien und Bauformen aus entsprechenden Gegenden wie z. B. die Windtürme im arabischen Raum und die in Spanien weitverbreiteten Patios dienten dafür als Vorbilder. In der Kombination mit heute verfügbaren neuen Materialien und Technologien entsteht ein Element, das hohen Komfort bei niedrigem Energieverbrauch ermöglicht und gleichzeitig die gestalterische und räumliche Wahrnehmung des Gebäudes maßgeblich prägt.

GEBÄUDEHÜLLE – INTEGRATION STATT ADDITION

Die äußere Erscheinung des Gebäudes wird von einer Energie erzeugenden Hülle aus Photovoltaikmodulen an der Ost- und

01



Volumen mit günstigem A/V-Verhältnis

Nord-Süd-Orientierung

hocheffiziente Dämmung

Energiehülle: Erzeugung elektrischer und thermischer Energie

Fugen: natürliche Belichtung und Belüftung

Energieturm: adiabate Kühlung und natürliche Belüftung

TEAM STUTTGART

- 01 grundsätzliche konzeptionelle Überlegungen zu home+
- 02 Energieturm mit einseitig schwarz gestrichenen Absorberplättchen im oberen Teil des Solarkamins. Die Lamellenfenster in den Fugen stehen offen.

ARCHITEKTUR



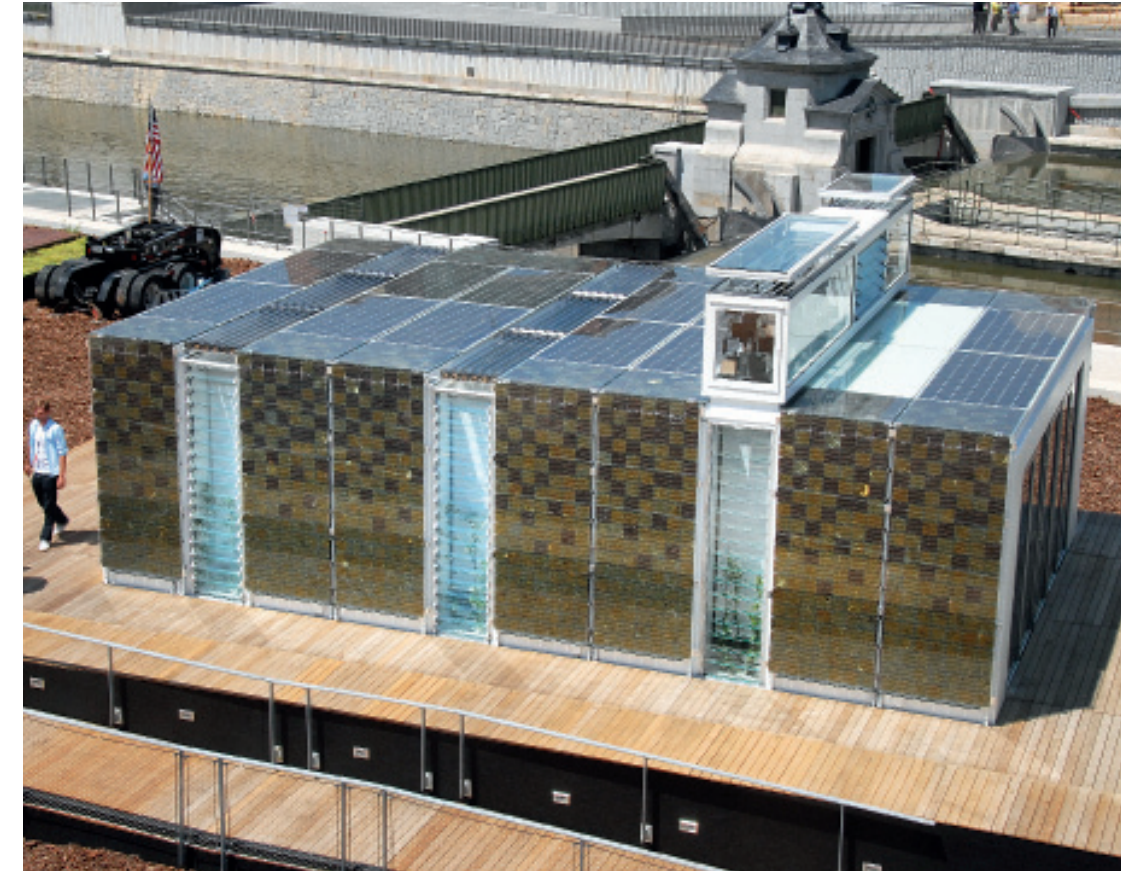


Westfassade sowie auf dem Dach bestimmt. Ihren besonderen Charakter erhält diese Hülle durch den Einsatz farbiger Solarzellen in Bronze und Gold. Besonders die goldenen Solarzellen, die zwischen rötlichen, grünlichen und rein goldfarbenen Tönen changieren, tragen wesentlich zur Ästhetik der Fassade bei, deren Erscheinungsbild je nach Abstand des Betrachters sehr verschieden wirkt. Fällt kein direktes Sonnen- oder Kunstlicht auf die Hülle, so scheint sich das Gebäude, vor allem in begrünter Umgebung, geradezu zu tarnen. Im direkten Licht dagegen lässt die schillernde Fassade das Haus wie ein elegantes Schmuckkästchen erscheinen.

FASSADENMODULE Die großformatigen Glasmodule an den Fassaden (119 × 297 cm) unterstreichen die durch die Gebäudemodule und Fugen vorgegebene Gliederung und verleihen der Fassade einen klaren, ruhigen Rhythmus. Im unteren Bereich der Fassadenmodule besteht die Belegung ausschließlich aus goldfarbenen Zellen, nach oben hin sind immer mehr bronzefarbene Zellen eingestreut. Diese Pixelung wird im Bereich der Attika in den kleinen Modulen auf dem Dach (119 × 102 cm) weitergeführt und geht schließlich vollständig in bronzefarbene Zellen über. Damit ergibt sich ein weicher Übergang zu den großen Glas-Glas-Modulen (119 × 232 cm) mit schwarzen, monokristallinen Zellen in der Dachmitte. Diese erzeugen nicht nur effizienter Strom als die Fassadenmodule, sondern zusätzlich auch kaltes Wasser. Dabei wird die langwellige Abstrahlung der Dachflächen gegen den kalten Nachthimmel zur Abkühlung von Wasser genutzt, das an der Rückseite der Module entlanggeführt wird. Um die dafür notwendigen Wärmeleitbleche und die Verrohrung zu verdecken, sind diese Glas-Glas-Module an ihrer Rückseite mit einer weißgrauen Emaille-schicht versehen und somit trotz der ebenfalls mit Abstand verlegten Zellen opak.

GESTALTUNG DER FUGEN Die Größe aller verwendeten Solarzellen beträgt einheitlich 152 × 152 mm. Sie findet sich auch im Format der Absorberplättchen wieder, die in den seitlichen, als Solarkamine genutzten Bereichen des Energieturms hängen. Diese bestehen aus Gewichtsründen und wegen der sehr geringen Oberflächenemissivität aus Aluminium und sind auf der jeweils sonnenzugewandten Seite mit einem schwarzen, selektiven Solarlack (siehe S. 73) beschichtet. Anders als die PV-Zellen sind sie in einem räumlichen, aufgelockerten Raster angeordnet und erfüllen über die reine Gestaltung hinaus eine doppelte Funktion: Sie dienen als Absorber für die Solarkamine und zur Verschattung der darunterliegenden Horizontalverglasung. Außerdem bewegen sie sich in der Luftströmung vergleichbar einem Mobile und nehmen damit ein poetisches Motiv auf, das auch bei den feuchten Tüchern im Turm zur Geltung kommt. In den beiden anderen Fugen sind über der horizontalen Verglasung Vakuumröhrenkollektoren angeordnet. Die Absorberflächen im Inneren der evakuierten Glasröhren sind in einem Winkel von etwa 25° gegen Süden geneigt. Dadurch entsteht eine sheddachähnliche Struktur, die die solare Einstrahlung von Süden nahezu vollständig verhindert, aber das diffuse Nordlicht ungehindert in das Innere des Gebäudes einlässt. So dienen die Vakuumröhrenkollektoren neben der Warmwassererzeugung ebenfalls als Verschattungselemente und sind integraler Bestandteil des Erscheinungsbilds. Dies wird vor allem im Innenraum erlebbar, wo sich bei Sonnenschein feine Lichtstreifen im Schattenwurf der Absorberbleche auf dem Boden abzeichnen und der Blick nach oben in den nördlichen Himmel freigegeben wird. An den östlich und westlich orientierten vertikalen Glasflächen der Fugen regulieren Rollstores die Sonneneinstrahlung und den Bezug von außen und innen, während an der Südseite ein Vorhang aus einem speziellen silikonbeschichteten und damit für den Außeneinsatz geeigneten Glas-

- 03 Der geschlossene transluzente Außenvorhang im Loggiabereich reduziert in der Mittagshitze den solaren Eintrag von der Südseite.
- 04 Die Abendsonne taucht das Haus in ein warmes Licht, in dem die zweifarbigen Solarzellen durch den hohen Gelbanteil in der Reflexion besonders stark zur Geltung kommen.
- 05 In der Abenddämmerung verändert sich das Erscheinungsbild der PV-Fassade durch die unterschiedlichen Reflexionseffekte in Abhängigkeit vom Wetter und von den Lichtverhältnissen.
- 06 Blick von erhöhter östlicher Position auf die als fünfte Fassade gestaltete Dachaufsicht mit den Vakuumröhrenkollektoren über den Glasfugen. Die Glasabdeckungen über beiden Solarkaminen im Energieturm sind geöffnet.





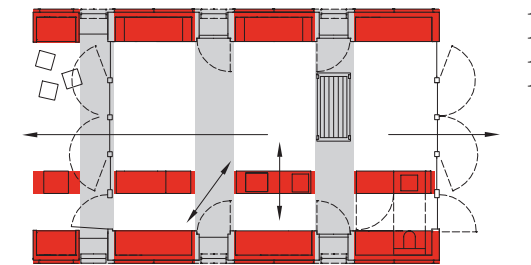
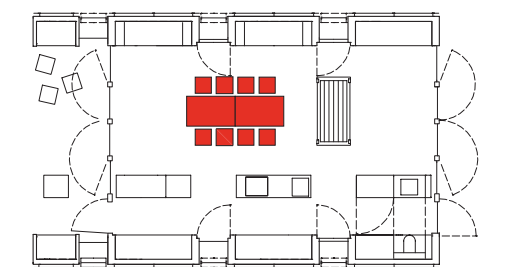
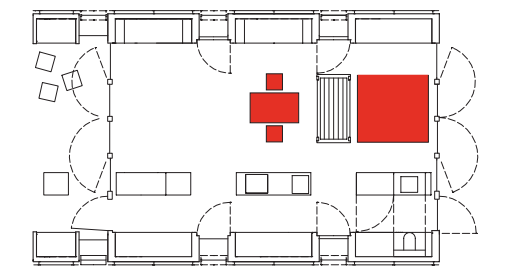
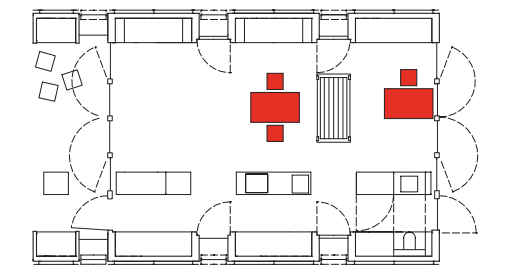
- 07 Blick im Innenraum von Süden nach Norden auf den Esstisch und den Energieturm dahinter. Die Maßnahmen zur Reduktion der solaren Einträge beeinträchtigen die helle Raumwirkung nicht.
- 08 Glasfugen gliedern den Innenraum.
- 09 Der sich in den klammerartigen Modulen ergebende Raum wird für Stauflächen und Sitznischen genutzt.
- 10 Raumzonierungskonzept
- 11 Möblierungsvariante Wohnen und Arbeiten zu zweit
- 12 Möblierungsvariante Schlafen
- 13 Möblierungsvariante Dinnerparty für acht Personen

08
09

fasergewebe diese Aufgaben übernimmt. Das Terrassenmodul erfüllt auch eine saisonal veränderliche Sonnenschutzfunktion. Während im Sommer die steil stehende Südsonne abgeschattet wird, kann die tief stehende Wintersonne weit in das Gebäudeinnere eindringen und so den Raum erwärmen.

INNENRAUM Der Innenraum ist gestalterisch durch die Reduktion der eingesetzten Mittel geprägt. Die Fronten der Einbaumöbel, die Decken, die Tücher im Energieturm, die Blechverkleidung in den Fugen und das Terrassenmodul bilden weiße Flächen, massives Eichenholz findet sich in den horizontalen Flächen, im Boden und den beweglichen Möbel. Die Sitznischen und die Kissen sind mit grünem Filz bezogen. Die Holzprofile der Fensterelemente und die Stirnseiten der primären Holzkonstruktion sind in Hellgrau leicht abgesetzt, wodurch der modulare Aufbau des Hauses ablesbar wird. Im Kontrast dazu stehen die Fassade mit den zweifarbig gepixelten PV-Modulen und den Lamellen vor den Fugen, die sich mobileartig bewegenden Absorberbleche in den Solarkaminen und die nachts farbig angestrahnten Tücher im Energieturm. Auch im Innenraum bestimmt der Wechsel von Modulen und Fugen die Gliederung. Im Süden definiert das schmale Terrassenmodul den Übergang zwischen Außen- und Innenraum. Von hier wird das Haus auch betreten.

EIN RAUM, VIEL RAUM Der Innenraum des Hauses erschließt sich mit einem Blick und wird durch den Energieturm und ein in Nord-Süd-Richtung verlaufendes Möbelband zониert. Der Energieturm, in dessen Innerem schmale weiße Baumwollstoffbahnen versetzt in mehreren Lagen hintereinander hängen, trennt den großen, öffentlichen Bereich in den beiden südlichen Modulen vom eher privaten im nördlichen Modul. Als räumliches Element kommt dem Turm dabei eine zentrale Bedeutung zu wie etwa dem offe-

10
11
12
13



- 14 Blick vom Bad in den Schlaf-/Arbeitsbereich mit transparent geschalteter trennender Verglasung
15 trennende Verglasung zwischen Bad und Schlaf-/Arbeitsbereich transluzent geschaltet
16 Variationsmöglichkeiten des modularen Basiskonzepts durch horizontale Addition und Modifikation der einzelnen Module
17 Anpassung des Konzepts an andere Klimazonen
18 home+ in Gegenden mit hohem Windenergiepotenzial

nen Kamin in alten mitteleuropäischen Bautypologien. Nur spendet er keine Wärme, sondern im heißen Madrider Sommer angenehm kühle Luft. Nachts dienen die Tücher im Inneren des Turms als Projektions- bzw. lichtstreuende Flächen, die mithilfe von farbigen LED-Leuchten ein wechselndes Farbspiel bieten.

Das Möbelband definiert eine dienende Zone, in der von Süden nach Norden der Eingang, die Küche und das Bad liegen. Durch die Höhe der Möbel wird der Bezug zwischen Hauptzone und dienender Zone moduliert. So öffnet sich der Eingangsbereich erst allmählich zum großen Gemeinschaftsbereich, während der niedrige Küchenblock einen starken Bezug zwischen dem Koch- und dem Essbereich zulässt. Ein hohes Möbel trennt das Bad vom Individualbereich zum Arbeiten und Schlafen.

Am Waschbecken ermöglicht eine mittels LCD-Technologie (siehe S. 40) zwischen transparent und transluzent schaltbare Verglasung die individuelle Regulierung der Sichtbeziehung zwischen

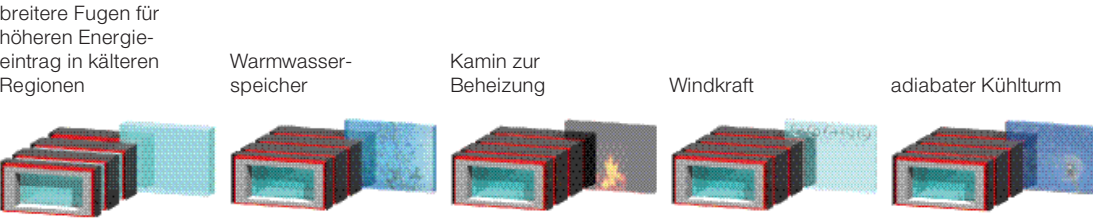
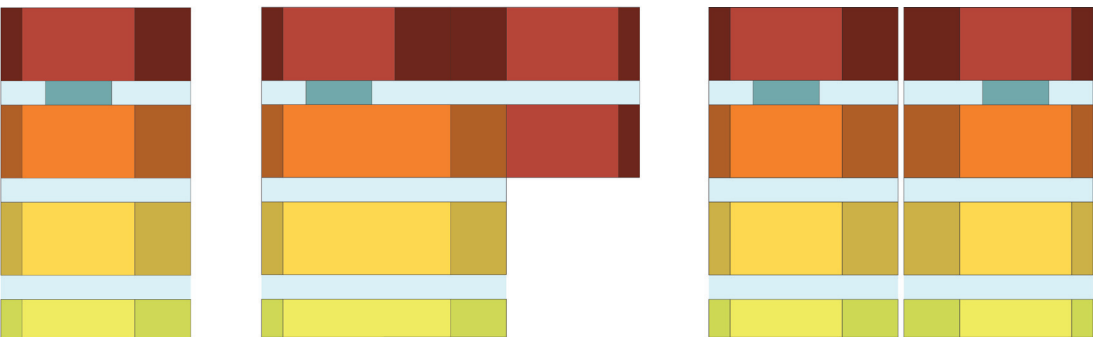
Bad und Schlafbereich. Im Wohnbereich verschwindet der Fernseher bei Bedarf hinter einer ebenso schaltbaren Verglasung.

MÖBLIERUNG Die offene und klare Zonierung des Innenraums lässt trotz der geringen Grundfläche von ca. 50 m² ein großzügiges Raumgefühl entstehen. Eine flexible Möblierung bespielt die multifunktional nutzbaren Flächen: einfache Hocker, die durch einsteckbare Lehnen zu bequemen Sitzen werden, sowie zwei Tische, die einzeln oder zu einer großen Tafel zusammengeschoben genutzt werden können. Der Gemeinschaftsbereich lässt sich durch die flexible Möblierung sowohl in einen Ess- und einen Wohnbereich untergliedern wie auch mit zwei aneinandergestellten Tischen im Ganzen für eine größere Einladung nutzen. Auch die Beleuchtung des Raums ist auf die verschiedenen Nutzungsszenarien abstimmbare. So können zwei Lampenschirme an den jeweils passenden Stellen an der Decke befestigt und mit

Strom versorgt werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, einen der beiden Schirme auf einem Ständer zu befestigen und als Stehleuchte flexibel im ganzen Haus einzusetzen. Die Sitznischen laden zum Entspannen ein. Auch die zeitweise nicht benötigten Hocker lassen sich hier unterbringen.

Der Privatbereich im Norden ist ebenfalls flexibel nutzbar. Ausgestattet mit einem der beiden Tische und einem Hocker dient er als Arbeitsraum. Abends wird mit wenigen Griffen das Bett aus dem Wandschrank aufgestellt und der Raum in einen Schlafbereich verwandelt.

MODULARITÄT – MEHR ALS NUR EIN HAUS
Der modulare Aufbau von home+ ermöglicht die Weiterentwicklung zu einem Bausystem. Durch die horizontale und vertikale Addition der Module und Fugen können nachhaltige, energieeffiziente und architektonisch hochwertige Gebäude mit hohem Wohnwert für Singles, Paare, Familien oder Wohngemeinschaften entstehen. Eine



Anpassung an die benötigten Raumgrößen ist dabei vor allem durch die maßliche Modifikation der Holzmodule und deren Addition möglich. Darüber hinaus kann das Gebäude, insbesondere über die Modifikation der Fugen, an die klimatischen Gegebenheiten des jeweiligen Standorts funktional angepasst werden. So steigern z. B. größere Fugen in nördlichen Ländern den Lichteintrag und die passiven solaren Wärmegewinne. Genauso ist in windreichen Küstenregionen anstelle der adiabaten Kühlung auch die Stromproduktion durch Windturbinen im oberen Bereich des Energieturms denkbar. In feucht-heißen Zonen könnte mit einer solar regenerierten sorptiven Entfeuchtung reagiert werden.



MODULARER AUFBAU Das Gebäude besteht aus vier Holzmodulen, die mit Stahl-Glas-Fugen verbunden sind. Drei der vier Holzmodule und die dazwischenliegenden Fugen umschließen den konditionierten Innenraum und sind daher auch an Wand, Decke und Boden gedämmt. Die Verglasungen sind durchgängig mit Dreifach-Isolierglas ausgeführt. Das vierte Holzmodul ist nur etwa halb so breit und dient ausschließlich als Witterungsschutz und Verschattung. So ist auch die südlichste der drei Fugen lediglich mit Einfachverglasung versehen. Module und Fugen bilden zusammen ein Gebäude mit äußeren Abmessungen von 10,90 x 6,80 m im Grundriss und einer Gebäudehöhe von 3,50 m.

MONTAGE Bei der Montage des Hauses wird zunächst die Unterkonstruktion aus Stahlfüßen aufgestellt und in allen Richtungen ausgerichtet. Die Abstände zwischen den Fundamenten erge-

ben sich dabei über einlegbare Flachstahlstangen, die gleichzeitig als Aussteifung dienen. Die Höhe wird in einem ersten Schritt über Unterleghölzer eingestellt und mithilfe der vertikal verstellbaren Auflagerpunkte fein justiert. Mit einem gut eingespielten Team ist es möglich, die komplette Unterkonstruktion in etwa 90 Minuten zu errichten.

Auf die Auflagerpunkte der Unterkonstruktion werden die Holzmodule gesetzt. Diese bestehen aus je zwei Rahmen aus Furnierschichtholz (FSH, Stärke 75 mm), die im Decken- bzw. Bodenelement mit Balken aus Konstruktionsvollholz und OSB-Platten verbunden sind. Die oberen und unteren Rahmenriegel müssen die Lasten aus dem Dach bzw. aus dem Boden zu den Auflagern hin abtragen, die beiden seitlichen Rahmenstiele steifen in Querrichtung aus. Die biegesteife Eckverbindung wird über eingeleimte Gewindestangen mit Vorspannung erreicht. An diesen werden auch die Kranhaken

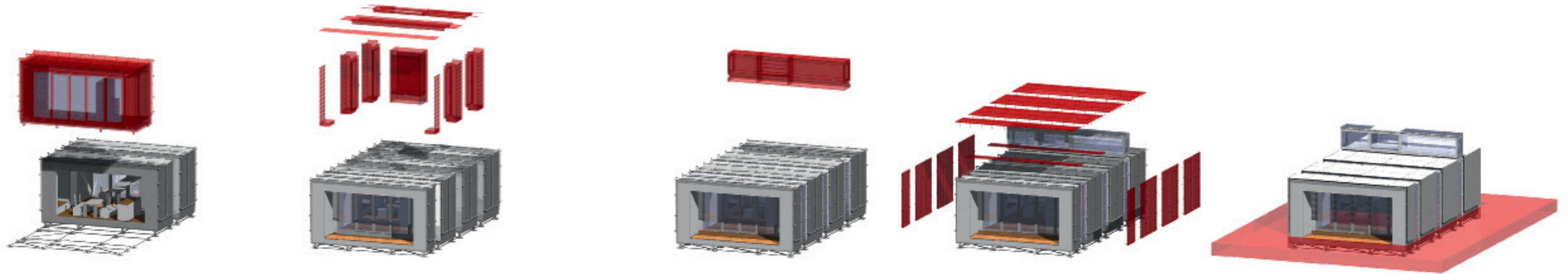
befestigt, sodass die statische Belastung der Konstruktion sich beim Versetzen der Module kaum von der Belastung im montierten Zustand unterscheidet. Die außen liegenden senkrechten Rahmenstiele weisen eine statische Höhe von ca. 65 cm auf. Die beiden Modulrückwände bestehen aus Furnierschichtholzplatten mit gesperrter Faserrichtung.

VORFERTIGUNG Die Vorfertigung der Holzmodule erfolgte in den Hallen der Firma müllerblaustein in Blaustein bei Ulm, die an der Ausführung der Holzbauarbeiten maßgeblich beteiligt war. Auch die Dämmung der Module mit Vakuumdämmpaneelen (Wand, Dach und Boden) und Schafwolle (Decke und Boden; siehe S. 90), die Abdichtung, die Montage der Unterkonstruktion für die PV-Module und ein Großteil der HLS- und Elektroinstallationen wurden dort an- und eingebracht. Die Ausbauten der Innenoberflächen und der Möbel wurden erst während der

Montage in Stuttgart im schon geschlossenen Gebäude vollendet. Die Vorfertigung in der Halle erlaubt präzises Arbeiten ohne störende Witterungseinflüsse und stellt eine hohe Qualität der Bauausführung sicher. Gerade bei der Verarbeitung von Vakuumdämmpaneelen ist dies von hoher Bedeutung. Durch diese Dämmpaneele und eine Unterkonstruktion aus Recycling-PUR erreicht der Wandaufbau einen U-Wert von 0,13 W/m²K und der Decken- und Bodenaufbau sogar einen U-Wert von 0,10 W/m²K. Damit liegt home+ unter dem im Passivhausstandard definierten Wert von 0,15 W/m²K.

FUGEN Sind die Module auf der Unterkonstruktion ausgerichtet, kann mit dem Versetzen der Fugen begonnen werden. Die Stahl-Glas-Fugen sind jeweils aus drei Teilen aufgebaut. Die beiden vertikalen Elemente bestehen aus den außen liegenden Glaslamellen, den gedämmten Seitenteilen mit Blechverkleidung und den Drehkipp-

- 19 Absetzen der Module auf der ausgerichteten Unterkonstruktion
- 20 Vorfertigungs- und Montagekonzept von home+
- 21 Montage des Aufsatzes für den Energieturm
- 22 Anbringen der solaraktiven Gebäudehülle
- 23 Errichtung des Außenbereichs (Terrasse)



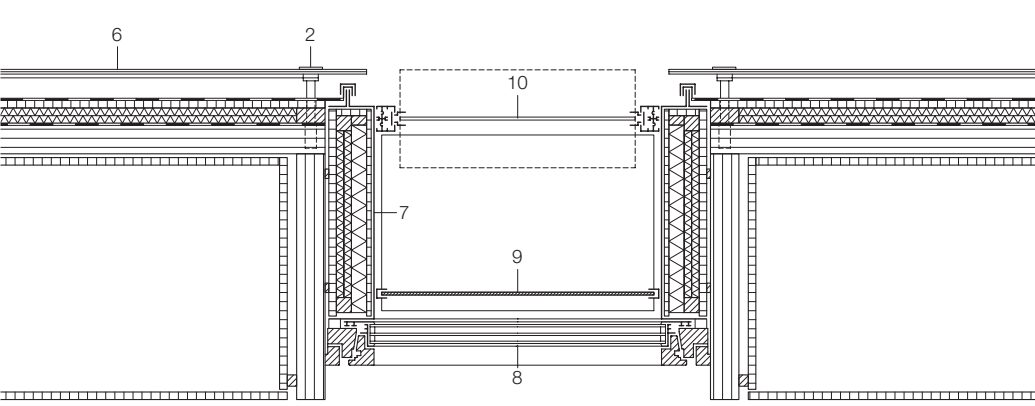
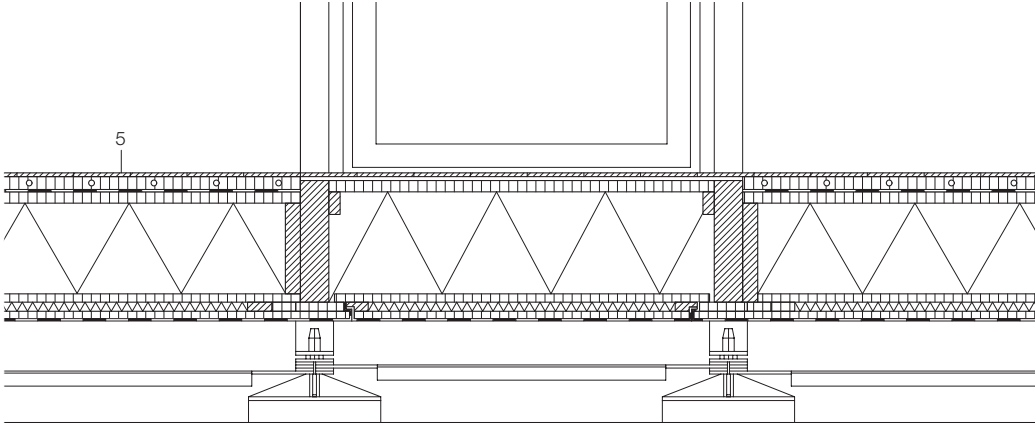
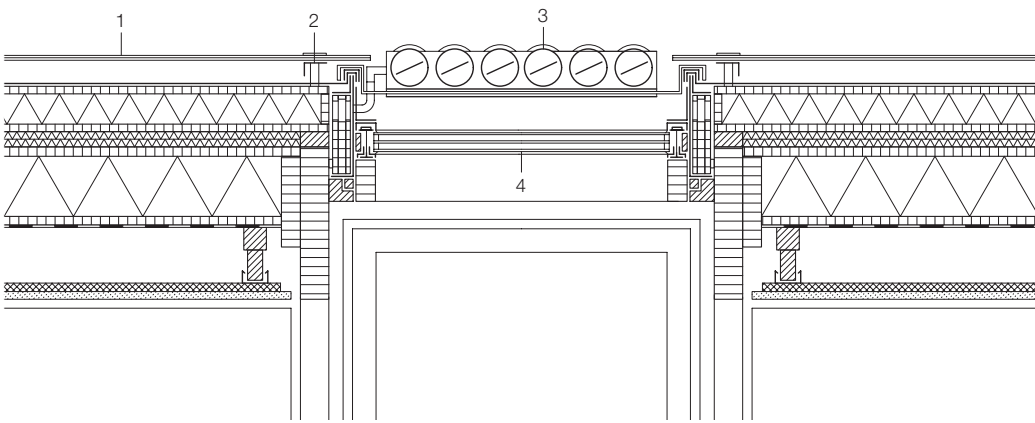


fenstern aus Holz mit Dreifach-Isolierverglasung. Sie werden als ein Element auf jeweils einer Stahlkonsole aufgesetzt und mit den Holzmodulen verbunden und abgedichtet. Im Dachbereich schließt eine große Dreifach-Isolierverglasung mit einem Holzrahmen die Fuge. In der nördlichen Fuge ist die horizontale Verglasung zweigeteilt, dazwischen findet der untere Teil des Energieturms als eigenständiges Element seinen Platz. Die aufgesetzte Laterne mit Glaslamellen im oberen Teil des Energieturms und zwei Solarkaminen vervollständigt diesen Gebäudeteil. Im Bodenbereich schließt eine Sandwichkonstruktion aus OSB-Platten und Vakuumdämmpaneelen die Fugen nach unten ab. Sämtliche HLS- und Elektroleitungen verlaufen im Boden und müssen in den Fugen beim Aufbau verbunden werden, bevor der Zwischenraum mit Schafwolle gedämmt und die oberen Bodenplatten eingelegt werden können.

PHOTOVOLTAIKMODULE Die Unterkonstruktion der PV-Module besteht aus Flachstahl und trägt die Lasten über einzelne Befestigungspunkte auf die Holzmodule ab. Die PV-Module selbst sind großformatige und rahmenlose Glas-Glas-Module und mit Punkthaltern auf der Unterkonstruktion befestigt.

- 24 Errichtung der Rohbaumodule in der Montagehalle in Blaustein bei Ulm
- 25 Einbau der Trassen und Medienversorgung in die Rohbaumodulen
- 26 Vertikalschnitt Fuge im Dachbereich Maßstab 1:20
- 27 Vertikalschnitt Fußboden Maßstab 1:20
- 28 Horizontalschnitt Fuge Maßstab 1:20

- 1 Dachaufbau:
Photovoltaikpaneel aus VSG mit einlamierten Solarzellen 17,7 mm
Abdichtungsbahn
OSB-Platte mit 3 % Gefälle 20 mm
Dämmung Schafwolle 120 mm
OSB-Platte 20 mm
Vakuumdämmung 2-lagig mit versetzten Stößen 40 mm
OSB-Platte 25 mm
Holzbalkendecke 80/160 mm, dazwischen Dämmung Schafwolle 160 mm
OSB-Platte 22 mm
Dampfsperre
Kühldecke 54 mm
Phasenwechselmaterial (85 % Salzhydrate, 15 % Graphit) 10 mm
Gipskartonplatte 20 mm
- 2 Tragkonstruktion für Photovoltaik aus verzinktem Stahl
- 3 Vakuumröhrenkollektoren direkt durchströmt
- 4 Dreifach-Überkopfverglasung $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 48 \%$
ESG 6 mm + Argon 18 mm + ESG 4 mm + Argon 18 mm + VSG 6 mm
- 5 Bodenaufbau:
Bodenbelag Eiche weiß geölt 10 mm
Weichfaserplatte mit Fußbodenheizung 30 mm
Ausgleichsschicht, OSB-Platte 30 mm
Holzbalkenkonstruktion 60/240 mm, dazwischen Dämmung Schafwolle 240 mm
OSB-Platte 22 mm
Vakuumdämmung 24 mm
OSB-Platte 20 mm, Abdichtungsbahn
- 6 Wandaufbau:
Photovoltaikpaneel aus VSG mit einlamierten Solarzellen 17,7 mm
Abdichtungsbahn, OSB-Platte 20 mm
Vakuumdämmung 2-lagig mit versetzten Stößen 40 mm
Dampfsperre
Tragkonstruktion Furnierschichtholz 75 mm
Möbelkorpus Spanplatte 650 mm
- 7 Fugenleibung:
Aluminiumverkleidung beschichtet 3 mm
OSB-Platte 12 mm
Schafwolle 40 mm
Vakuumdämmung zweilagig mit versetzten Stößen mit Silikatfüllung 40 mm
OSB-Platte 20 mm
Tragkonstruktion aus Furnierschichtholz 75 mm
Möbelkorpus Spanplatte 650 mm
- 8 Dreifach-Verglasung $U = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 50 \%$
ESG 4 mm + Argon 18 mm + ESG 6 mm + Argon 18 mm + VSG 4 mm
- 9 Sonnenschutz
- 10 Glaslamellen $h = 250 \text{ mm}$ aus VSG 8 mm, motorbetrieben



Das Klima in Madrid ist heiß und trocken, gerade zur Zeit des Wettbewerbs im Juni. Die Wettbewerbsregeln geben vor, dass im Inneren der Häuser die Temperatur zwischen 23 und 25 °C und die relative Luftfeuchte zwischen 40 und 55 % gehalten werden soll. Dies ist im Hinblick auf die sinnvolle Verwendung regenerativer Energien sicher infrage zu stellen, da zumindest im europäischen Kontext die Behaglichkeitskriterien weiter gefasst werden könnten. Die engen Wertefenster des Reglements beim Solar Decathlon Europe erzwingen einen unverhältnismäßig hohen Technikeinsatz. Neben dem Wettbewerb in Madrid spielt für den Entwurf aber auch die Nachnutzung in Stuttgart eine große Rolle.

Das Energie- und Versorgungskonzept von home+ basiert auf folgenden Grundprinzipien:

- maximale Reduktion des Energiebedarfs durch Optimierung der sogenannten passiven Maßnahmen: optimales Verhältnis von Hüllfläche zu Volumen, richtige Orientierung, Wärmedämmung, angemessenes Öffnungsverhältnis, wirksame Verschattung, Ausnutzen der Möglichkeiten der natürlichen Lüftung, Maximierung der Wärmespeicherkapazitäten im Haus etc.
- maximale Effizienz im Umgang mit dem Restenergiebedarf (hier grundsätzlich Strom) für

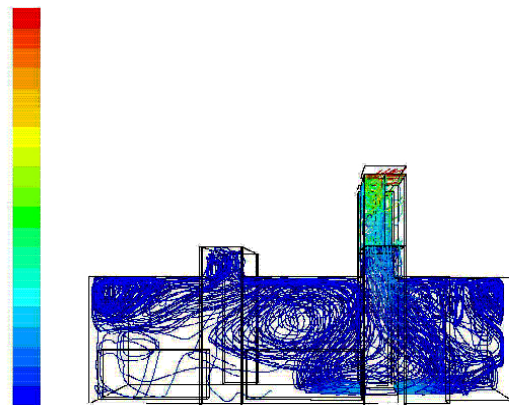
Haushaltsgeräte, Wärmepumpe, Beleuchtung, Hilfsenergie etc.

- maximale eigene Bereitstellung regenerativer Energie: Strom über Photovoltaik auf dem Dach und an den Fassaden, Wärme über Vakuumröhrenkollektoren über den Glasfugen, Kälte (und teilweise auch Wärme) über spezielle, neu entwickelte photovoltaisch-thermische (PV/T) Kollektoren auf dem Dach
- maximale Nutzung von Synergieeffekten durch Optimierung des hydraulischen Systems und der Gebäudesteuerung. Hierzu gehört auch der sinnvolle Einsatz von Speichertechnik zur Überbrückung der Tag-Nacht-Wechsel.

NATÜRLICHE LÜFTUNG In einem hochgedämmten und weitgehend dichten Gebäude spielt die Kontrolle der Lüftung eine maßgebliche Rolle. Die natürliche Lüftung übernehmen in diesem Fall die verglasten Fugen. Je nach Anforderungen an die Zuluft kommt eine der folgenden drei Möglichkeiten zur Anwendung:

- Belüftung über den Energieturm
- Öffnung der Fugen zur freien Querlüftung und Kühlung in den Übergangsjahreszeiten
- in den Wintermonaten Vorerwärmung der Luft durch die doppelschalig verglasten Fugen, bevor sie in den Innenraum eingeführt wird

29



TEAM STUTTGART

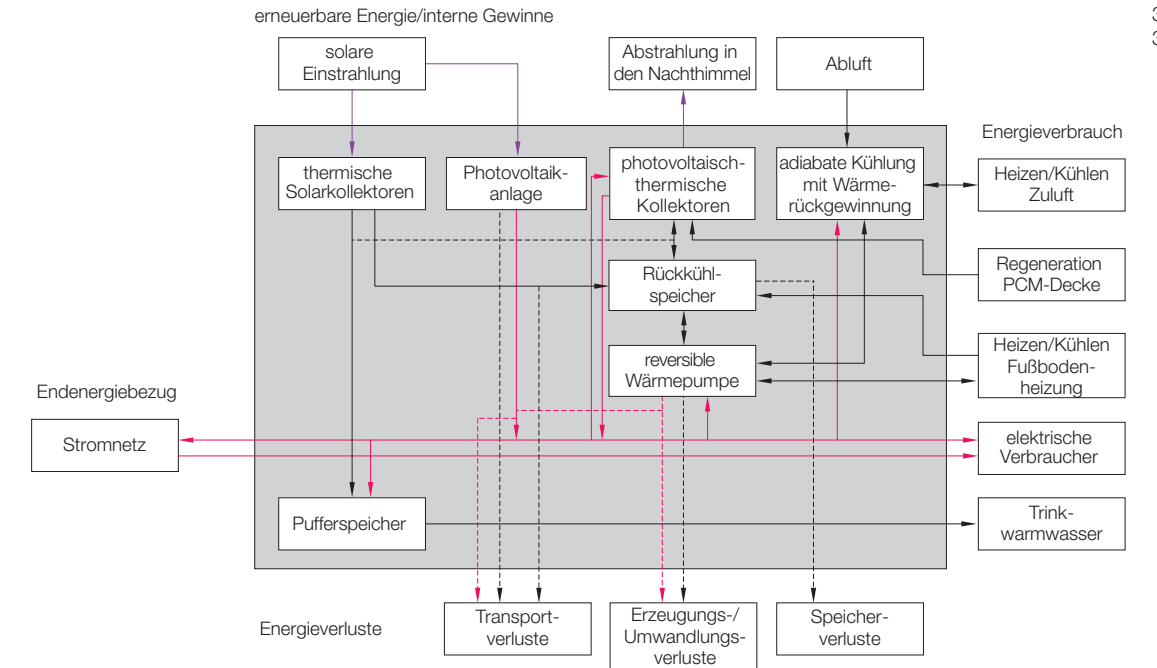
Aufgrund der Klimabedingungen in Madrid, vor allem durch die hohe solare Einstrahlung und die hohen Außentemperaturen, besitzt der Kühlfall Priorität. Die hochgedämmte Bauweise begrenzt den sommerlichen Wärmeeintrag, aber auch die Transmissionswärmeverluste, die in der Nacht im Sommer vorteilhaft wären. Gleichzeitig reduziert sich hierdurch die im Winter in Madrid oder Stuttgart erforderliche Heizlast auf ein Minimum.

ENERGIETURM Der Energieturm stellt ein Kernelement für die Gewährleistung hohen Wohnkomforts dar. In Verbindung mit den schon erwähnten traditionellen Motiven entsteht mit heute verfügbaren Materialien und Technologien ein Bauteil, das dem Nutzer Behaglichkeit bei niedrigem Energieverbrauch ermöglicht. Gleichzeitig macht der Energieturm als gestalterisches Element einen Teil des Energiekonzepts für den Nutzer sicht- und erlebbar.

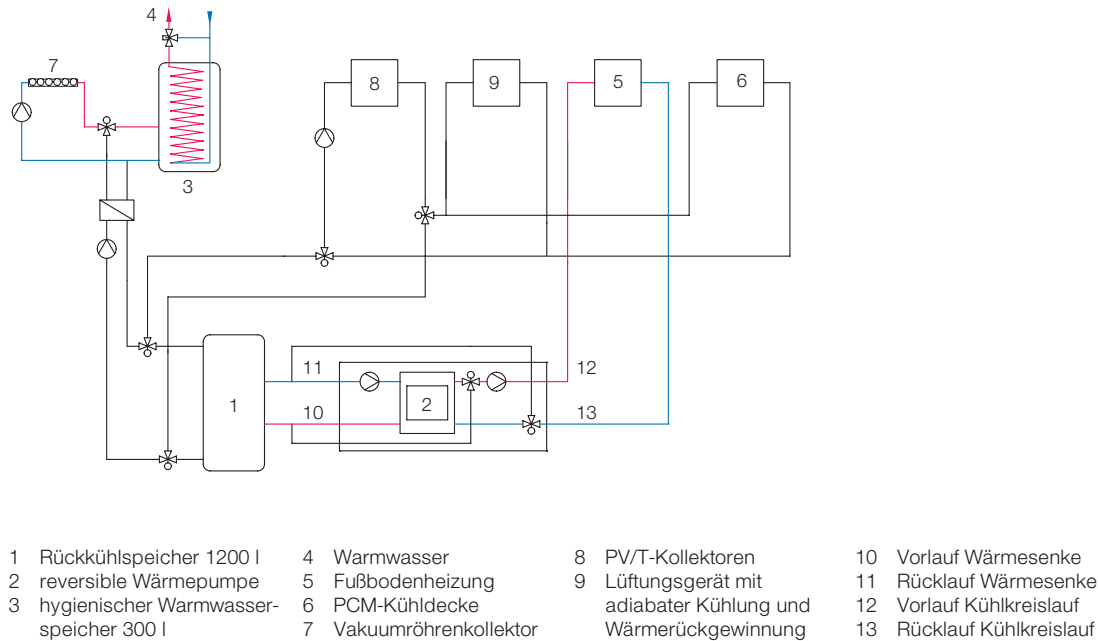
Die Klimafuge, in der sich der Energieturm befindet, ist in drei vertikale Bereiche geteilt. Der mittlere Bereich fängt die anströmende Luft oben ein und leitet sie nach unten ins Gebäudeinnere. Da der Turm das Gebäude aufgrund der Rahmenbedingungen des Wettbewerbs nur geringfügig überragt, wurde das Anströmverhalten im Vorfeld ausführlich durch Simulationen und Windkanaltests anhand eines Modells untersucht.

- 29 Untersuchung der Strömungssituation für die Nutzung des Energieturms: Anströmverhalten von außen und Verteilung der Luft im Gebäude
- 30 schematische Darstellung des Energieversorgungskonzepts
- 31 erhöhter Blick von Südost

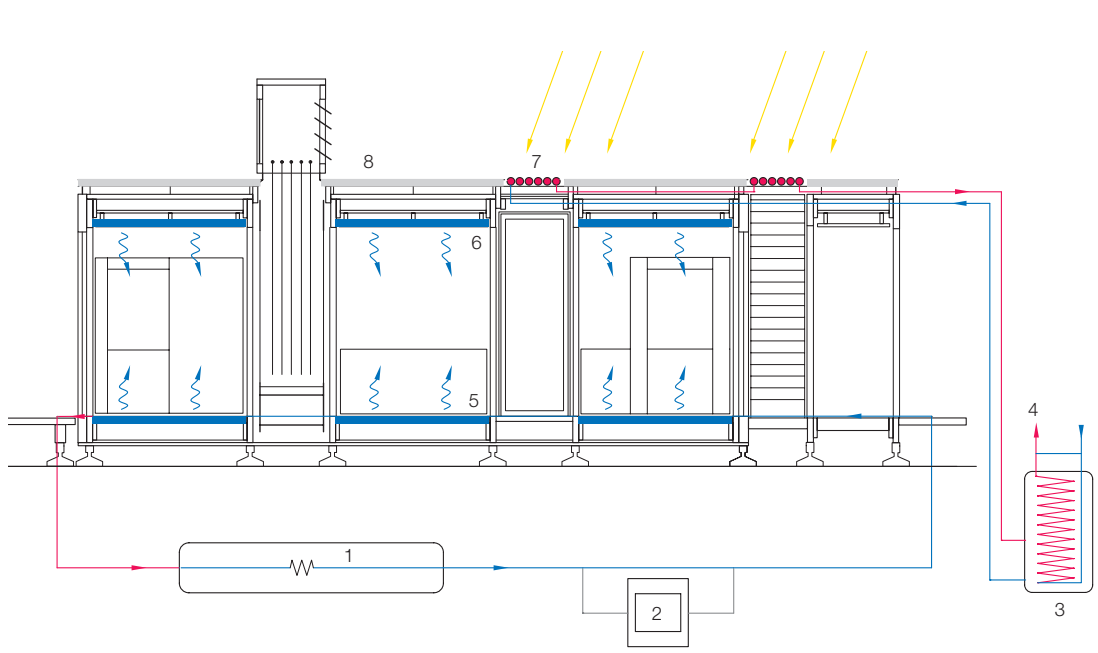
ENERGIEKONZEPT

30
31

32
33



34
35

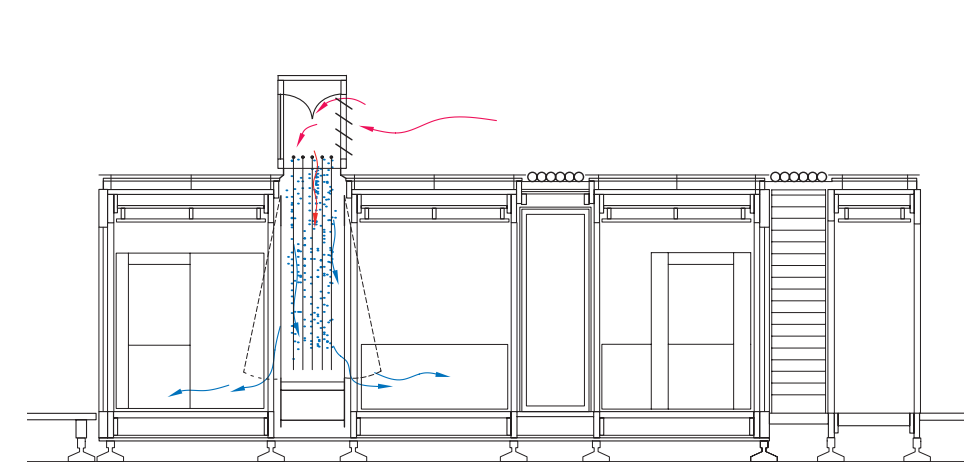


PASSIVE KÜHLUNG Im Inneren des Turms werden abgehängte Baumwolltücher von oben über ein perforiertes Rohr und eine speziell entwickelte Stoffbefestigung gleichmäßig mit Wasser benetzt. Das Ziel der Wasserversorgung und -verteilung ist, dass die Flüssigkeit nicht in großen Mengen an den Tüchern hinunterläuft, was eine hohe Wassenumwälzung zur Folge hätte und ineffizient wäre, sondern dass diese vollflächig feucht gehalten werden. Dadurch kühlt die durchströmende Luft über Verdunstungskühlung ab und wird befeuchtet. Anschließend tritt diese gekühlte Luft im Sockelbereich des Turms quellluftartig in den Innenraum und trägt zum Wohnkomfort bei. Die Funktion des Turms wurde anhand eines 1:1-Modells ausführlich durch Messungen untersucht. Die Abluft verlässt das Gebäude durch die offenen Bereiche im Dach des Energieturms links und rechts neben dem Wind Eintrittsbereich, unterstützt durch sogenannte Solarkamine. In diesen heizen sich mobi-

leartig 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, was die Funktion des kühlenden Teils des Turms stärkt. Konstruktiv ist dieses Fugenelement von hoher Komplexität, denn die thermische Trennebene wird im mittleren Bereich nach innen verlegt. Gleichzeitig erhöhen die geforderte Transportfähigkeit und die äußerst kurze Auf- und Abbauphase im Wettbewerb die Anforderungen erheblich. Letztendlich wurde die Energieturm fuge daher in fünf vorgefertigte Teile zerlegt.

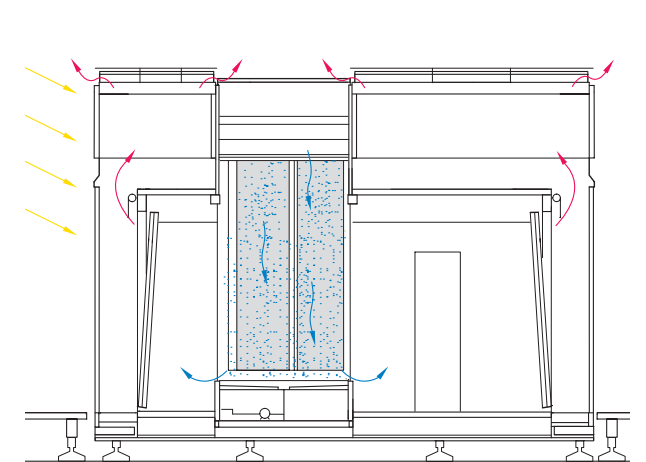
LEISTUNGSFÄHIGKEIT Der Energieturm kann vor allem dann einen Beitrag zur Gebäudekühlung liefern, wenn die Umgebungstemperaturen nicht zu hoch und die Umgebungsfeuchte niedrig ist. Um die relative Feuchte im Raum auf

ADIABATE KÜHLUNG Die adiabate Kühlung nutzt die Verdunstung von Wasser zur Kühlung von Luft. Die für die Verdunstung, also den Phasenübergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand, benötigte Energie wird der Umgebung in Form von Wärme entzogen. Dadurch kühlt sich die Umgebung im Bereich der Verdunstung ab. Dieser Effekt findet auch in der Natur Anwendung, z.B. bei der Temperaturregulierung des Körpers durch Schwitzen. Der Schweiß verdunstet an der Oberfläche der Haut und entzieht die dafür notwendige Energie dem Körper, der sich dadurch abkühlt.



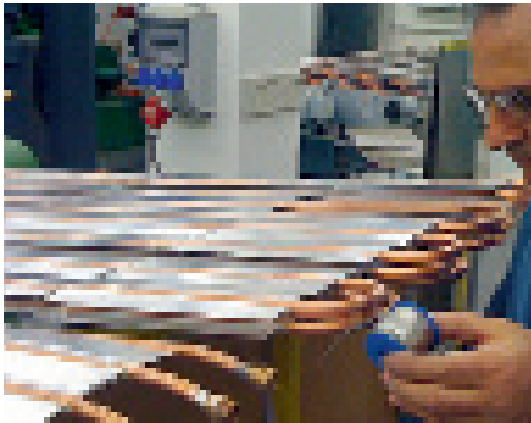
32 Technikische im Eingangsbereich mit Wärmepumpe, Solarspeicher (grau) und Lüftungsgerät (blau)
33 schematische Darstellung der aktiven Kühlung über die reversible Wärmepumpe
34 Beleuchtungsprobe für den Energieturm. Die Tücher

im Turm können über LED in jeder Farbe angestrahlt werden.
35 schematische Darstellung der freien Kühlung über den Fußboden
36-37 Längs- und Querschnitt durch den Energieturm

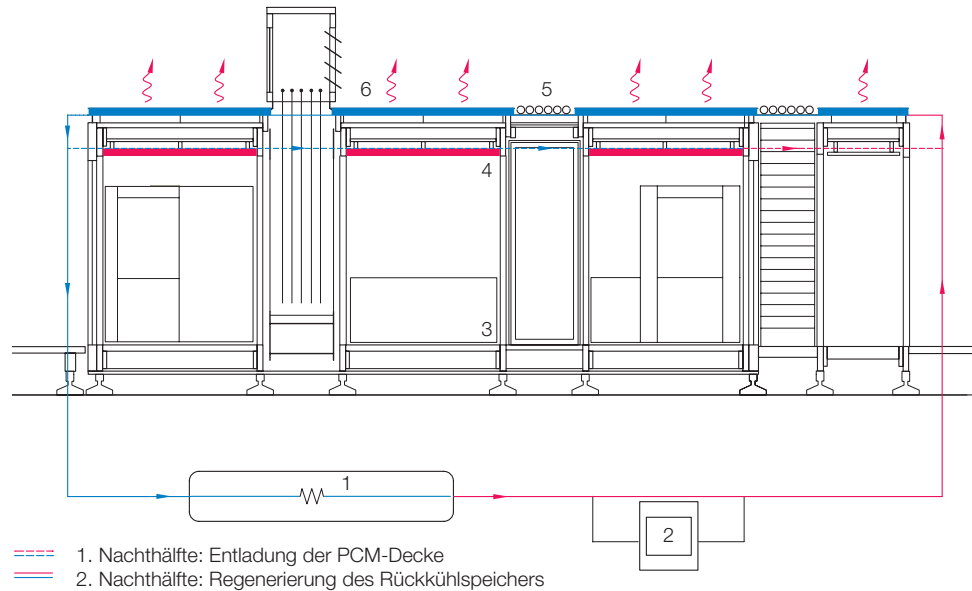


36
37

38
39



40



70

- 38 Herstellung der PV/T-Kollektoren: Verkleben der Wärmeleitbleche auf der Modulrückseite
39 Lötarbeiten in den Werkstätten der HFT Stuttgart
40 schematische Darstellung der nächtlichen Nutzung der PV/T-Kollektoren zur thermischen Entladung der PCM-Decken und zur Regeneration des Rückkühlspeichers
1 Rückkühlspeicher 1200 l
2 reversible Wärmepumpe
3 Fußbodenheizung
4 PCM-Decke

- 5 Vakuumröhren
6 PV/T-Kollektoren
Vertikalschnitt Maßstab 1:10
41 PV/T-Kollektoren und PCM-Decke
1 einlamierte PV-Zellen im Glas-Glas-Modul
2 Absorberbleche und Zirkulationsleitung
3 Zirkulationsleitung
Gipskartonplatte mit aufgelegten Graphit-infiltrierten PCM-Platten
42 Gebäude bei Nacht: Die farbige Wechselbeleuchtung der Tücher im Energieturm ist deutlich zu sehen.

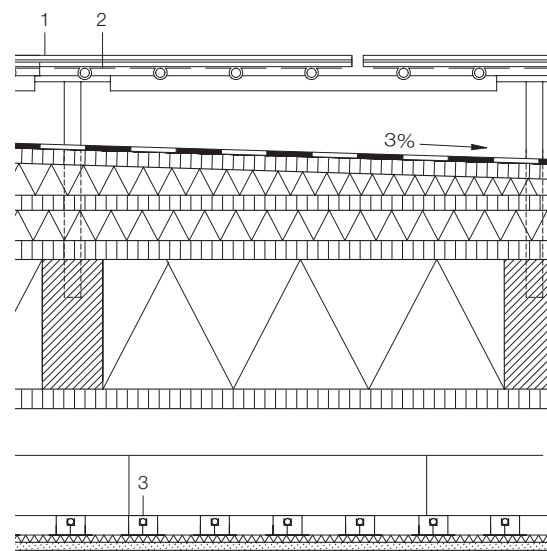
maximal 55 % bei 25°C Raumtemperatur zu begrenzen, darf die Zuluftfeuchte 11 g pro kg Luft nicht überschreiten. Ausgehend von der jeweiligen gemessenen Außenluftfeuchte berechnet die Gebäudesteuerung die maximale Außenlufttemperatur, mit der bei Verdunstungskühlung durch den Energieturm der Raum noch gekühlt werden kann. Ist die Außenluft bereits sehr feucht, darf die Umgebungstemperatur nur geringfügig über dem Sollwert der Zulufttemperatur liegen, während bei trockener Außenluft auch bei hoher Außentemperatur noch ein Kühleffekt erzielt wird, ohne dass die relative Luftfeuchte einen angenehmen Wert überschreitet. Erst wenn die Außenbedingungen eine Nutzung des Energieturms nicht mehr zulassen, muss auf die aktiven Systeme (Lüftungsgerät, Wärmepumpe) ausgewichen werden.

Die Luftmenge, die durch den Energieturm strömt, hängt von der jeweiligen Windrichtung und Windgeschwindigkeit ab. Die entsprechenden Widerstandsbeiwerte wurden im Windkanal mit einem Gebäudemodell detailliert vermessen. Mit den Beiwerten lässt sich der Antriebsdruck für eine gegebene Windgeschwindigkeit und -richtung berechnen. Abhängig von den Druckverlusten im Gebäude wird dann der durch den Turm beförderte Volumenstrom ermittelt, der Aussagen über sein Einsatzpotenzial zulässt, d.h. unter welchen Außenbedingungen der Turm wie viel leisten kann. Pro Pascal Antriebsdruck ergeben sich etwa 200 m³/h Luftvolumenstrom. Der für die Verdunstungsmenge an den Baumwolltüchern wichtige Massenübergangskoeffizient wurde in einem Prototyp von 5 m Höhe experimentell bestimmt und liegt bei $2,24 \times 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$. Die Prüfstandsmessungen wurden zur Validierung eines Simulationsmodells verwendet, mit dem das Potenzial des Energieturms für unterschiedlichste Umgebungsbedingungen im Vorfeld des Wettbewerbs ermittelt wurde. Bei 30°C und 50 % relativer Feuchte werden bei moderaten Windgeschwindigkeiten von 2,5 m/s maximal 1,2 kW Kühlleistung erzeugt. Sinkt die Wind-

TEAM STUTT GART

geschwindigkeit auf 1 m/s, reduziert sich die Leistung auf 0,4 kW. Eine Durchströmung des Turms findet allerdings nur bei günstigen Windrichtungen statt. Der energetische Beitrag zur sommerlichen Kühlung des Gebäudes ist mit 1,1 kWh/m² eher gering. Ein Einsatz ist aber in einer Jahresbetrachtung vor allem auch durch den Nutzen in den Übergangszeiten sinnvoll, zumal die Kühlenergie nahezu ohne Antriebsenergie mit einem sehr geringen Wasserverbrauch bereitgestellt wird. Zudem lässt sich der Turm über weite Teile des Jahres zur freien Lüftung ohne Antriebsstrom nutzen.

INNOVATIVE SPEICHERDECKE UND PV/T-KOLLEKTOREN Die einfachste Methode zur Vermeidung von Temperaturspitzen im Raum besteht darin, ein Gebäude mit ausreichend thermischer Masse in den raumumschließenden Bauteilen auszuführen. Bei einem Haus, das ca. 1800 km quer durch Europa transportiert werden muss, kommt eine massive Bauweise aus nachvollziehbaren Gründen nicht infrage. Bauteile mit



ENERGIEKONZEPT

integrierten Phasenwechselmaterialien (PCM, siehe S. 44) bieten aber die Möglichkeit, Leichtbauten mit zusätzlicher thermischer Trägheit zu versehen. Die Materialien (in diesem Fall spezielle Salzhydrate) nehmen im Temperaturbereich ihres Schmelzpunkts (hier ca. 22°C) verhältnismäßig große Mengen an Wärme aus dem Raum auf. Sinkt die Raumtemperatur unter die Erstarrungstemperatur oder werden die PCM mit Wasser gekühlt, gehen sie wieder in den festen Aggregatzustand über und geben Wärme ab. Die mit PCM belegte abgehängte Decke nimmt tagsüber Wärme aus dem Raum auf und speichert sie. Diese Wärme 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. Hinter den auf der Dachfläche liegenden PV-Modulen, die mit dem kalten Nacht-

himmel im Strahlungsaustausch stehen, wird deshalb Wasser vorbeigeführt, das dabei abkühlt. Dieses Wasser durchströmt die Decke, dadurch härten die PCM nachts wieder aus. Je nach Wasser- und Außentemperatur sowie Bewölkungsgrad sind dabei Kühlleistungen von ca. 50–120 W pro m² Dachmodulfläche realistisch.

STRAHLUNGSKÜHLUNG Das Prinzip der Strahlungskühlung (siehe S. 125) beruht auf der Wärmeabgabe durch langwellige Abstrahlung eines Körpers an einen anderen Körper mit niedrigerer Temperatur, der als Wärmesenke dient. In der Anwendung zur Kühlung von Gebäuden stellt die Gebäudeoberfläche den zu kühlenden Körper dar, die Wärmesenke ist der Himmel. Dieser eignet sich dafür besonders gut, da die Himmelstemperatur – insbesondere in der Nacht – niedriger ist als die der meisten Gegenstände auf der Erde. Auch in Sommernächten kann die Himmelstemperatur auf unter 0°C absinken; bei klarem Himmel können sogar Himmelstemperaturen von -10 °C und darunter erreicht werden. Um diesen Effekt auszunutzen, wurde home+ mit einem



41
42

71



Strahlungskühlungssystem ausgestattet, das photovoltaisch-thermische (PV/T) Hybridkollektoren verwendet. Solche PV/T-Kollektoren mit Wasser als Wärmeträgermedium werden üblicherweise eingesetzt, um tagsüber Strom und Wärme zu produzieren. Je nach Anwendungsfall kann dabei entweder der elektrische oder der thermische Ertrag im Vordergrund stehen. Im ersten Fall muss das Fluid die PV-Zellen so weit wie möglich abkühlen, um ihren Wirkungsgrad zu steigern. Im zweiten Fall setzt die Art der Anwendung (Brauchwassererwärmung, thermische Kühlung etc.) eine bestimmte Austrittstemperatur für das Fluid voraus. Die Konstruktion des PV/T-Kollektors wird demzufolge in erster Linie vom festgelegten Ziel definiert. Eine Anwendung von PV/T-Kollektoren zur Ausnutzung von Strahlungskühlung war bisher nicht bekannt. Sie erfordert eine spezielle, auf maximale langwellige Abstrahlung des Kollektors an den Himmel ausgelegte Konstruktion des PV/T- Moduls. Aus diesem Grund wurde ein Kollektor ohne Abdeckung gewählt. Darüber hinaus muss eine möglichst gute thermische Anbindung des Absorbers an das PV-Modul erfolgen. home+ setzt das System zur nächtlichen Strahlungskühlung in Form von 36 m² PV/T-Kollektoren um, die auf dem Dach horizontal angeordnet sind. Sie werden in den frühen Nachtstunden ab ca.

22 Uhr zunächst dazu verwendet, die PCM-Decke zu regenerieren, und anschließend, um einen 1,2 m³ großen Speichertank herunterzukühlen, der tagsüber als Wärmesenke für die Wärmepumpe dient. Die PV/T-Kollektoren wurden speziell für die Anwendung zur nächtlichen Strahlungskühlung an der HFT Stuttgart entwickelt. Dabei wurde eine möglichst gute thermische Anbindung der durchströmten Absorberbleche an das Photovoltaikmodul angestrebt und durch einen wärmeleitfähigen, mit Aluminium versetzten Spezialkleber realisiert. Um die erzielbare nächtliche Kühlleistung experimentell zu testen, wurden im Vorfeld handelsübliche PV/T-Kollektoren ohne die standardmäßige Glasabdeckung auf dem Testdach der Hochschule untersucht. Da die Temperaturdifferenz zwischen den nächtlich kühlen PV/T-Kollektoren und dem warmen Speichertank meist höher ist als zwischen dem PV/T-Kollektor und der PCM-Decke mit annähernd Raumtemperatur, ist die mittlere Kühlleistung bei Rückkühlung des Speichertanks höher. Für eine gegebene elektrische Leistung der Umwälzpumpe steigt somit auch die elektrische Leistungszahl.

KÜHLENERGIE Die gesamte sommerliche Kühlenergiemenge der PV/T-Kollektoren beträgt

mehr als 2000 kWh, was einer spezifischen Energiemenge von 60 kWh/m² entspricht. Von dieser Energiemenge werden ca. 600 kWh direkt für die Regeneration der PCM-Decke verwendet, was eine Kühlenergiemenge von 11 kWh/m² ergibt. Die restlichen ca. 1400 kWh werden für die Abkühlung des Speichers genutzt. Davon sind ca. 400 kWh bei so niedrigen Temperaturen verfügbar, dass eine Fußbodenkühlung von 30 m² betrieben werden kann. Die restlichen ca. 1000 kWh werden für die Rückkühlung der elektrischen Kältemaschine (reversible Wärmepumpe im Kühlmodus, siehe S. 95) verwendet. Die PCM-Decken stellen somit 30 % der gesamten erforderlichen Kühlenergiemenge von 40 kWh/m² bereit. Die Durchströmung des Fußbodens mit kühlem Speicherwasser deckt weitere 20 % der Kühlenergiemenge. Zusammen stellen die PV/T-Kollektoren damit direkt 50 % der Kühlenergie des Gebäudes zur Verfügung. Die verbleibenden 50 % werden zum Teil durch indirekte Verdunstungskühlung der Frischluft bereitgestellt (20 %), zum anderen Teil durch die elektrische Kältemaschine (Wärmepumpe). Durch die Abkühlung des Speichertanks tragen die PV/T-Kollektoren auch zur Verbesserung der Leistungszahl der Kältemaschine bei, die durch die günstige Rückkühlung eine mittlere Leistungszahl von 4 erreicht.

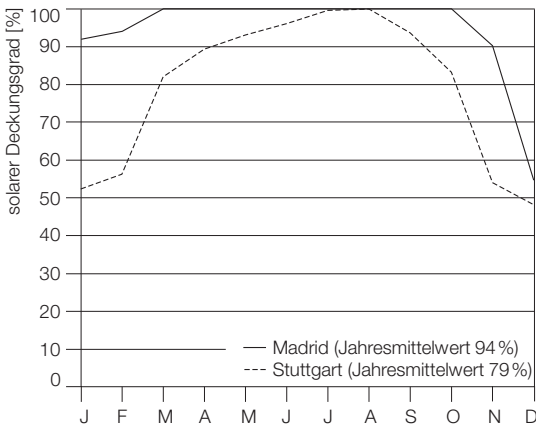
AKTIVE SOLARTECHNIK IN DER GEBÄUDEHÜLLE Eine Hülle aus Photovoltaikmodulen bekleidet die vier Gebäudemodule an der Ost- und Westfassade sowie auf dem Dach. Ihren besonderen Charakter erhält die Hülle durch den Einsatz farbiger PV-Zellen aus polykristallinem Silizium. Durch die Verwendung der Farbtöne Bronze und Gold und den Abstand der Zellen zueinander in den transparenten Glas-Glas-Modulen entsteht eine in verschiedenen Farben schillernde, mehrschichtige Fassade, die die dahinterliegende weiße Abdichtungsebene noch erahnen lässt, und 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 Zellwirkungsgrad von etwa 13 % auf und lassen sich somit auch in einem Modul verbauen, ohne nennenswerte Einbußen beim Stromertrag in Kauf nehmen zu müssen. Lägen die Werte für den Wirkungsgrad der verschiedenen Zellen weit auseinander, wäre für den Modulwirkungsgrad nur die Effizienz der schwächeren Zellen entscheidend.

SELEKTIVE BESCHICHTUNGEN Das Spektrum der solaren Strahlung erstreckt sich vom kurzwelligen Ultraviolett- über den sichtbaren bis hin zum langwelligen, nahen Infrarotbereich. Die strahlungsphysikalischen Eigenschaften von Materialien – Absorptions-, Reflexions- und Transmissionsgrad sowie Emissivität – variieren in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Selektive Beschichtungen ermöglichen es, die Transmissions- oder Reflexionseigenschaften der Trägermaterialien für bestimmte Wellenlängenbereiche einzustellen und so für den Einsatz in Gebäuden zu optimieren.

Datum	Kühlenergie [kWh]	Betriebszeit [h]	durchschnittliche Kühlleistung [W/m²]	elektrischer Verbrauch der Pumpen [kWh]	elektrische Leistungszahl [-]
19.–20. Juni	23,7	9,5	65,6	0,81	29,3
21.–22. Juni	13,4	9,2	38,5	0,78	17,2
22.–23. Juni	24,6	10,6	61,1	0,90	27,3
23.–24. Juni	17,0	10,4	43,0	0,89	19,2
24.–25. Juni	25,7	10,8	62,4	0,92	27,9

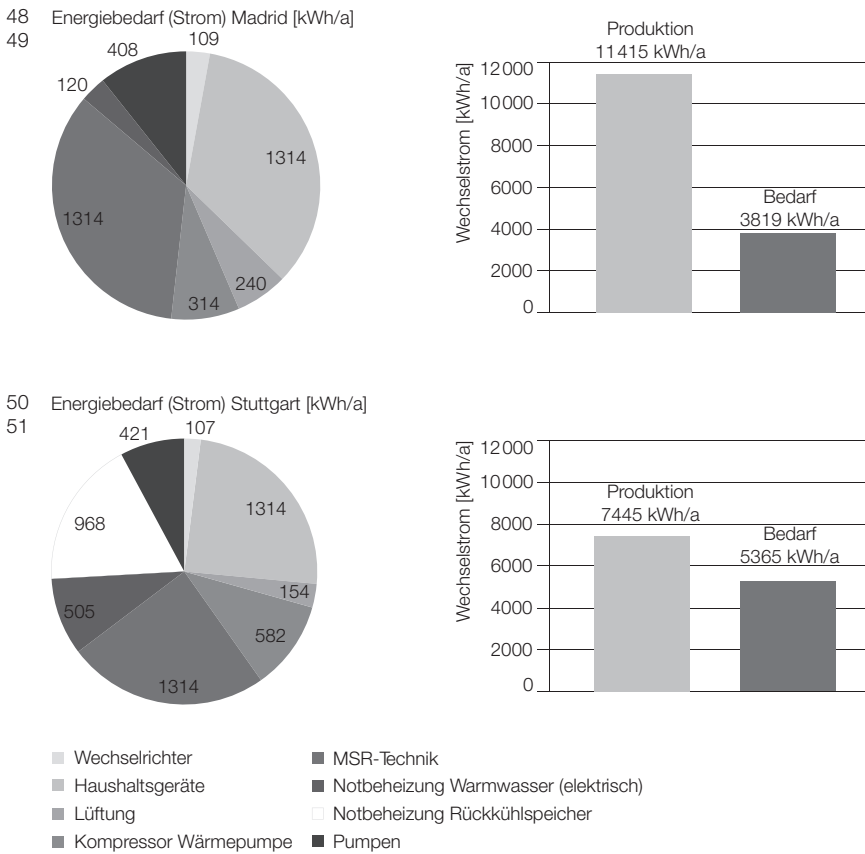
45

PV/T-Kollektoren	
mittlere Kühlleistung	43,8 W/m²
Kühlleistung bei Betrieb mit PCM-Decke	31,0 W/m²
Kühlleistung bei Betrieb mit Speicher	46,4 W/m²
mittlere elektrische Leistungszahl (COP)	32,5
elektrische Leistungszahl bei Betrieb mit PCM-Decke	13,6
elektrische Leistungszahl mit Speicherbetrieb	75,4



46
47

- 43 Die Dachfläche von home+ als fünfte Fassade: zweifarbige PV-Module, PV/T-Module und Vakuumröhrenkollektoren
- 44 Blick auf den Energieturmaufsatz, Deckel und Lamellen sind geschlossen.
- 45 Messergebnisse der PV/T-Kollektoren in den Wettbewerbsnächten von 19. bis 25. Juni 2010
- 46 Potenzial der PV/T-Kollektoren
- 47 Jahresbetrachtung des solaren Deckungsgrads für Madrid und Stuttgart



Mit einem Zellwirkungsgrad von etwa 17 % liefern die monokristallinen Zellen auf dem Dach den größten Anteil des jährlichen Stromertrags. Bei einer installierten maximalen Gesamtleistung von etwa 12 kWp (6 kWp an den Fassaden, 6 kWp auf dem Dach) liegt der jährliche Stromertrag am Standort Madrid bei etwa 11 500 kWh. Wird das Nutzungsprofil aus den Wettbewerbsvorgaben zugrunde gelegt, liegt der jährliche Stromverbrauch bei etwa 4000 kWh. Es ergibt sich also ein jährlicher Überschuss bei der Stromerzeugung von etwa 7500 kWh. Thermische Kollektoren dienen in Madrid zur solaren Warmwasserbereitung und am späteren Standort in Stuttgart bei Heizbetrieb im Winter zusätzlich zur Heizungsunterstützung bzw. zur Erwärmung des Rückkühlspeichers als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Gleichzeitig übernehmen diese speziellen, relativ großen Vakuumkollektorröhren im Dachbereich die Funktion des Sonnenschutzes der verglasten Fugen. Durch die optimierte Stellung und Ausrichtung der Absorberbleche in den Röhren entsteht eine Art Sheddach bzw. Nordlichtsituation in diesen Bereichen.

GEBÄUDESTEUERUNG Der Entwurf für eine Gebäudesteuerung (siehe S. 47) ist von der Vor-
gehensweise her dem architektonischen Entwurf

sehr ähnlich. Am Anfang steht die Analyse der Aufgabenstellung, aus deren Anforderungen das Konzept für die Gebäudesteuerung entsteht. Anhand des Entwurfs wird ein System ausgewählt, das sich zur Umsetzung der gestellten Aufgabe eignet. Für das Projekt home+ standen folgende Anforderungen bzw. Aufgaben an vorderster Stelle:

- geringer Stromverbrauch der Gebäudesteuerung
- einfache, selbsterklärende Bedienoberfläche
- Webbrowser-basierter Fernzugriff auf die Bedienoberfläche
- externer Fernzugriff über WLAN bzw. Internet
- kontinuierliche Messdatenaufzeichnung
- Eingriffsmöglichkeiten des Nutzers in die regelungstechnischen Vorgänge
- Beleuchtungssteuerung
- Regelung der Heizung, der thermischen Solaranlage und der Lüftung inklusive aller Untergruppen

Um diese Anforderungen umzusetzen, wurde eine Gebäudesteuerung aus der Industrie gewählt. Das System besteht aus einem Industrie-PC mit externer Peripherie, auf dem das Automationsprogramm als eigener Task (SPS-Programm) im Hintergrund läuft. Die Software ist so programmiert, dass sämtliche auftretenden

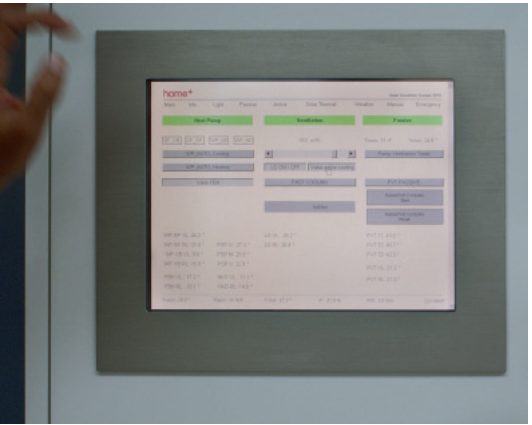
Informationen (Temperaturen, Stellsignale, Energiedaten, Daten der Wetterstation etc.) aufgezeichnet und in einer Datei abgelegt werden. Diese Daten lassen sich dann mit einem gebräuchlichen Tabellenkalkulationsprogramm weiterverarbeiten. Die Bedienoberfläche, die dem Nutzer den Zugriff auf die Steuerung ermöglicht, wurde als Web-Visualisierung realisiert, die Bedienung des Gebäudes erfolgt über einen Standardbrowser. Ein Fernzugriff auf das System ist somit problemlos möglich. Als weitere Innovation wurden sämtliche im Raum angebrachten Bedienelemente mit einer neuartigen Funktechnologie ausgestattet. Dabei erzeugt der Lichtschalter durch die eingesetzte mechanische Energie bei Betätigung einen elektrischen Impuls, der von einem Empfänger in einen Schaltbefehl (z. B. »Tischleuchte ein«) umgewandelt wird. Eine Verkabelung dieser Bedienelemente entfällt dadurch komplett. Auch die farbigen LED-Lichtleisten im Energieturm stellen eine Besonderheit dar. Durch ein Bussystem (DMX-Bus) ist es möglich, die Turmbeleuchtung mit einem Farbspiel zu unterlegen, das dem Gebäude nachts ein besonderes Erscheinungsbild gibt. Am Tag signalisiert ein dunkles Blau der LED-Beleuchtung dem Nutzer, dass der Energieturm bereit ist, die frische

Außenluft abzukühlen und somit das Gebäude natürlich zu klimatisieren. Bei der Programmierung des Klimakonzepts wurde großes Augenmerk auf eine klare Programmstruktur mit einer Vielzahl von Möglichkeiten für Nutzereingriffe gelegt. Wichtige Kenngrößen werden von der Gebäudesteuerung automatisch erfasst und dem Nutzer über die Visualisierung auf der Bedienoberfläche angezeigt. Die Philosophie der Programmierung besteht darin, dass der Nutzer entscheidet, welche Raumkonditionen er haben möchte, und diese durch wenige Eingriffe selbst einstellt. Die Grundklimatisierung erfolgt dabei stets automatisch im Hintergrund.

PRIMÄRENERGETISCHE AMORTISATIONSZEIT Eine ausführliche Nachhaltigkeitsbetrachtung, die sich an den Kriterien der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) orientiert, ergibt für home+ eine sehr positive Bilanz. Dazu wurden für die gesamte fossile Primärenergie, die in der Konstruktion inklusive der solaren Aktivtechnik enthalten ist, ca. 612 GJ ermittelt. Wird dieser Wert durch den jährlichen Stromertrag unter Berücksichtigung des deutschen bzw. spanischen Strommix dividiert, ergibt sich für den Standort Stuttgart eine primärenergetische Amortisationszeit von ca. 26 Jahren und für Madrid von nur ca. sieben Jahren.



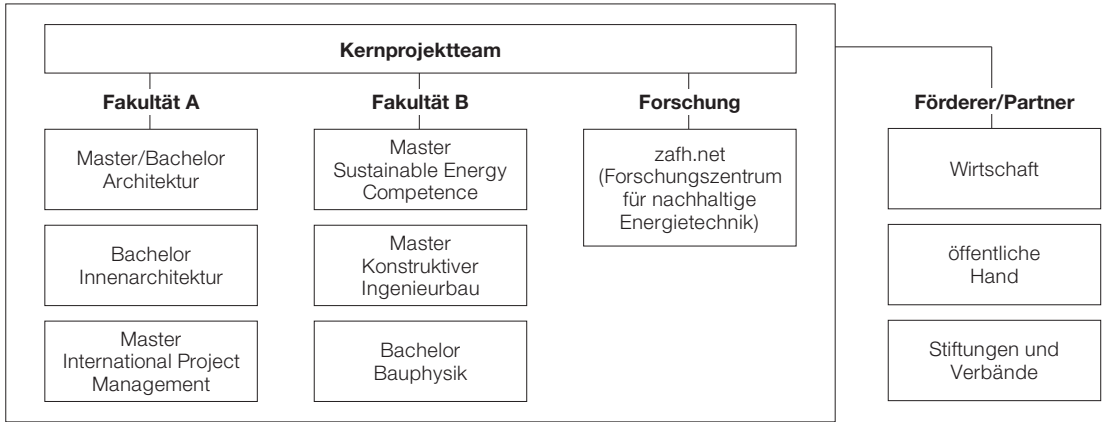
Energiebilanz	Stuttgart	Madrid
Energieproduktion [kWh]	7445	11 415
Energiebedarf [kWh]	5323	3819
Differenz [kWh]	2122	7596
Differenz im Energiemix [MJ]	23 618	85303
gesamter Energieaufwand der Konstruktion [MJ]	612 487	
Energie-Rückgewinnungszeit [a]	26	7



Für die Teilnahme am Solar Decathlon Europe 2010 wurde die umfassende Kompetenz der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT Stuttgart) gebündelt, indem neben allen einschlägigen Studiengängen (Architektur, Bauphysik, Innenarchitektur, Konstruktiver Ingenieurbau, Infrastrukturmanagement und Sustainable Energy Competence) auch das Zentrum für angewandte Forschung – Nachhaltige Energietechnik (zafh.net) eingebunden wurde. Das zafh.net hat bereits beim Solar Decathlon 2007 das siegreiche Team Germany der TU Darmstadt bei der Durchführung der energetischen Gebäudesimulation und der Entwicklung eines

innovativen Kühlkonzepts unterstützt. Den Kern des Teams der HFT Stuttgart bildete eine Gruppe von Studierenden aus dem Masterstudiengang Architektur, die über die gesamte Laufzeit im Projekt engagiert waren. Sie koordinierten die Beiträge aller beteiligten Studierenden, zwischenzeitlich bis zu 150 Personen, sowie der Fachplaner und Firmen. Gerade die Zusammenarbeit mit professionellen Projektpartnern bot eine hervorragende Gelegenheit zum praxisnahen Lernen und zu interdisziplinärer Zusammenarbeit, die besonders auch auf studentischer Ebene geprobt und gelebt wird.

55



TEAM STUTTGART

TEAM



56

55 Organisationsstruktur des Teams der HFT Stuttgart
56 Team Stuttgart vor home* beim Wettbewerb in Madrid