

Die deutschen Beiträge zum solar Decathlon Europe 2010 – Vier Konzepte gebäudeintegrierter Photovoltaik und ihre Umsetzung

Sebastian Fiedler*, Soara Bernard, Marcus Bui, Marcus Wehner

*Hochschule für Technik Stuttgart

Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

Tel.: +49 711 8926-2876

Email: sebastian.fiedler@hft-stuttgart.de

Internet: <http://www.sdeurope.de>

1. Die Herausforderung Solar Decathlon Europe

Beim „Solaren Zehnkampf“ treten 20 ausgewählte Hochschulteams aus der ganzen Welt an, um bis Juni 2010 ein 74 m² großes und ausschließlich mit solarer Energie versorgtes Wohnhaus zu entwerfen und zu bauen. Dann werden die Häuser aller Teams eine Woche lang in Madrid einer breiten Öffentlichkeit präsentiert und die Sieger gekürt.

Neben hohen Anforderungen an die Energieeffizienz und die Einbindung solarer Energiegewinnung in das Konzept, stellt auch der Transport und die schnelle und zuverlässige Montage in Madrid eine große Herausforderung dar, die es zu meistern gilt. Darüber hinaus werden auch architektonische Qualitäten des Gebäudes, die Kommunikation der Ideen und Konzepte und ihre Marktfähigkeit bewertet.



Abb.1: Solar Decathlon 2007, Washington D.C. (Foto: Kaye Evans-Lutterodt/ Solar Decathlon)

Das Hauptziel des Wettbewerbs ist es, bei Studenten und in der breiten Öffentlichkeit das Bewusstsein für und das Wissen um die Möglichkeiten des energieeffizienten

Bauens und der Nutzung regenerativer Energien zu steigern. Darüber hinaus soll die Markteinführung innovativer solarer Energietechnologien gefördert und der Nachweis erbracht werden, dass energieeffizientes Bauen mit hohem Wohnkomfort und architektonischer Qualität verwirklicht werden kann.

Tab. 1: Disziplinen und Gewichtung der Bewertung

Architektur	1. Architektur	120
	2. Konstruktion	80
Solar	3. Solarsysteme	80
	4. Elektrische Energiebilanz	120
Komfort	5. Komfortbedingungen	120
	6. Haushaltsgeräte	120
Sozial & Ökonomisch	7. Kommunikation & soziales Bewusstsein	80
	8. Industrialisierung und Marktfähigkeit	80
Strategie	9. Innovation	80
	10. Nachhaltigkeit	120
		1.000

In den Jahren 2003, 2005 und 2007 wurde der Solar Decathlon vom amerikanischen Energieministerium (DOE) ausgelobt und in Washington D.C. ausgetragen. Nach dem vielbeachteten Siegen der TU Darmstadt beim Solar Decathlon 2007 und 2009 in den USA wird der Wettbewerb 2010 nun zum ersten Mal auch in Europa stattfinden, ausgelobt vom spanischen Wohnungsbauministerium in Zusammenarbeit mit dem DOE.

2. Die Beiträge der deutschen Teams

Aus Deutschland haben sich vier Hochschul-Teams erfolgreich für den Wettbewerb qualifiziert und arbeiten an der Planung und Umsetzung ihrer Beiträge:

- HTW Berlin, Beuth-Hochschule Berlin, Universität der Künste Berlin (Team living EQUIA)
- FH Rosenheim
- HFT Stuttgart
- Bergische Universität Wuppertal

In allen vier Gebäudekonzepten spielt die gebäudeintegrierte Photovoltaik eine wichtige Rolle und wird auch in mehreren Disziplinen des Wettbewerbs bewertet (vgl. Tab.1). Im Folgenden werden alle vier Lösungsansätze kurz vorgestellt.

Alle vier deutschen Teams werden aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

2.1 Team Berlin – living EQUIA

Architekten und Energietechniker von living EQUIA waren sich von Beginn an einig, dass die Solarenergienutzung in der architektonische Entwurfsentwicklung eine zentrale Rolle spielen muss. Die teamintern entstandene Motivation steht noch vor der wettbewerbsseitigen Forderung nach einer ästhetisch wertvollen Integration von Photovoltaik-Elementen in moderne Architektur. Die PV-Spezialisten im Team wissen, dass es in der steten Weiterentwicklung der modernen Technologie der Solarstromgewinnung auch um ästhetische Fragen geht, um die Akzeptanz der Module auch insbesondere bei Architekten zu erhöhen. Immer mehr Hersteller nehmen sich dem Thema der gebäudeintegrierten Photovoltaik an und bieten ihre PV-Module als Gestaltungsmittel für moderne Gebäudefassaden. Indachanlagen und Dünnschichtmodule erfreuen sich dadurch eines steigenden Interesses.

Ergebnis bei der Entwicklung des living EQUIA Entwurfs ist die Adaption des traditionellen Satteldachs. Dadurch erhält die Aufdach-Photovoltaikanlage ihre Südausrichtung bei einem Neigungswinkel von 29°. Mit diesem erreicht die Anlage insbesondere in mitteleuropäischen Breitengraden optimale Jahreserträge. Mit Glasflächen wurde sparsam umgegangen, um solare Einträge im Sommer und damit die Kühllasten zu minimieren jedoch gleichzeitig Tageslichtnutzung zu ermöglichen. Sie werden durch einen Sonnenschutz verschattet der ebenso PV-Module auf sich trägt – die innovativen PV-Lamellen vereinigen beispielhaft Ästhetik, Funktionalität und Technik. Beide PV-Systeme wie auch die solarthermischen Kollektoren werden durch ihr dunkles bis schwarzes Erscheinungsbild zum gleichwertigen Element des Fassadenkonzeptes: Die hinterlüftete Fassade wird durch abgeflamnte Holzpaneele verkleidet und durch den planen Abschluss der technischen Bauteile mit den Holzpaneelen wird ein durchgängig homogenes Bild geschaffen. Die dunkle Farbgebung und das quadratische Raster prägen das äußere Erscheinungsbild maßgeblich – living EQUIA erreicht damit die Gebäudeintegration von Photovoltaik auf seine eigene Art und Weise.

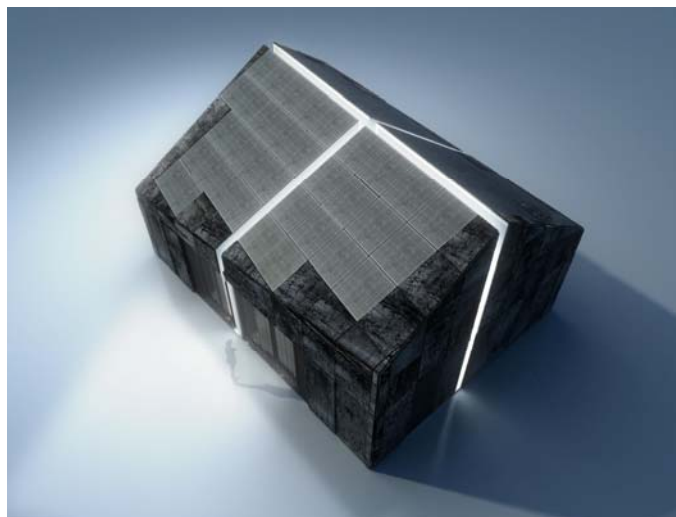


Abb. 2.1.1: Rendering des living EQUIA Entwurfs, Ansicht aus Südosten

Aufdachanlage

Die hocheffizienten monokristallinen Photovoltaik-Module liefern mit 6.600 kWh pro Jahr in Madrid mehr Strom als tatsächlich benötigt wird. Aber auch in Regionen mit geringerer Sonneneinstrahlung erzeugt die 4,6 kWp starke PV-Anlage, die komplett von der Berliner Solon SE zur Verfügung gestellt wird, genug Energie, um aus dem Passivhaus ein Plusenergiehaus zu machen. Zur energetischen Unterstützung trägt der photovoltaische Sonnenschutz bei.

Photovoltaischer Sonnenschutz

Die Kombination von Sonnenschutz und Solarstromgewinnung stellt gerade im Sommer unter energetischen Gesichtspunkten eine sehr sinnvolle Lösung dar: bei hoher Einstrahlung verhindert er eine übermäßige Aufheizung des Gebäudeinneren und nutzt dabei die einfallende Strahlungsenergie – ein doppelter Nutzen also durch Stromproduktion bei gleichzeitiger Reduktion des Kühlaufwandes. Außerdem bietet die Verschattungseinrichtung Blendschutz insbesondere im Winter bei tiefstehender Sonne.

Living EQUIA entwickelt in enger Zusammenarbeit mit der Firma Colt eine individuelle Lösung für das Plusenergiehaus, die sich in das Fassadenkonzept des Gebäudes eingliedert: Mit Bezug zum gestalterischen Raster der Fassade werden vor den Glasflächen Faltschattensysteme mit Vertikallamellen installiert, die elektrisch verfahrbar und sowohl strahlungs- als auch nutzergesteuert sind. Für die Realisierung der Verfahrbarkeit wird das vertikale Lamellensystem in Leichtbauweise gefertigt: daher sollen leichte, flexible Dünnschichtmodule zum Einsatz kommen, die um einen Aluminiumrahmen gespannt werden. Die zur Verfügung stehenden Glasflächen der Süd- und Westfassade bieten Platz für zwei Teilanlagen von ca. 400 bzw. 200 Wp.

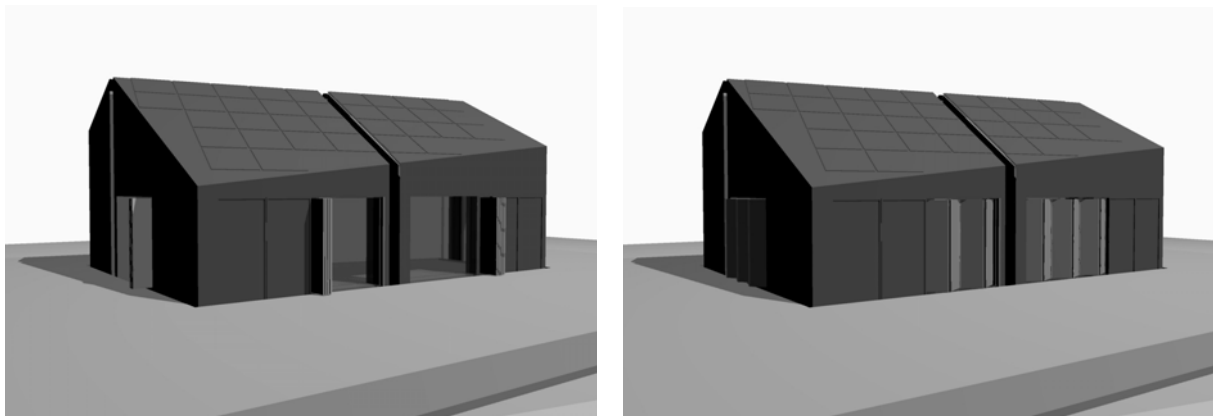


Abb. 2.1.2: Rendering mit offenem und geschlossenem Lamellensystem

Zum aktuellen Planungsstand sind detailliertere Angaben zur Konstruktion, zum Kostenaufwand und Ertragsprognosen noch nicht möglich. Bis zum Veranstaltungszeitpunkt im März 2010 ist mit der Fertigstellung der Lamellen und dadurch auch mit ersten Ergebnissen und Erfahrungsberichten zu rechnen.

2.2 FH Rosenheim

Während im Durchschnitt in Deutschland ein Einfamilienhaus (EFH) ca. 2.500 kWh Strom im Jahr mit Elektro-Warmwasserbereitung verbraucht, wird der jährliche Strombedarf für das Solar Haus der Hochschule Rosenheim (siehe Abbildung 2.2.1) hochgerechnet ca. 4.000 kWh betragen. Dies wird durch genauere Kenntnis über die Rahmenbedingungen des Wettbewerbes ersichtlich. Denn der hohe Strombedarf resultiert zum einen aus den Wettbewerbsregeln (Rules and Regulations, R+R) die uns obliegen und zum zweiten aus der eingesetzten Gebäudetechnik. Auch der eingesetzte Automatisierungsgrad durch die Gebäudeleittechnik des Hauses trägt zu den hohen Verbräuchen bei. Die R+R des Wettbewerbes geben beispielsweise ein durchschnittliches Nutzerprofil vor, nach dem z.B. die Waschmaschine und der Wäschetrockner mehrmals täglich betrieben werden müssen. Was nicht in jedem Einfamilienhaushalt der Fall ist. Weiterhin müssen die Verbräuche des täglichen Lebens in Form von Duschen, Kochen, Spülen usw. berücksichtigt werden. Diese Aufgaben werden jeweils auch öfter am Tag durchgeführt, damit in der kurzen Wettkampfzeit genügend Lasten generiert werden. Um einen Vergleich der Teilnehmer möglich zu machen.



Abb. 2.2.1: visualisiertes Model des Solar Haus

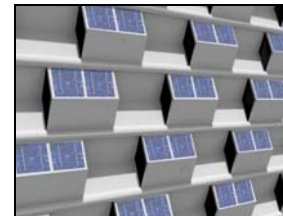


Abb. 2.2.2: PV Integration in die Zackenfassade

Um den Stromverbrauch zu decken und darüber hinaus noch Energie ins Netz einspeisen zu können, haben wir uns für zweierlei Wege entschieden. Der Hauptertrag des Stromes wird konventionell durch die 12,6 kWp installierte Leistung der SunPower Module 315 erzeugt. Diese Module werden auf dem Dach unter 3° Neigung montiert (siehe Abbildung 2.2.3).

Die geneigte Lage der Module resultiert aus dem Ansatz der Strahlungskühlung. Es ergeben sich zwar geringe Verluste seitens der Stromerzeugung, dafür wird aber ein optimales Flächenverhältnis für die Benetzung mit Wasser geschaffen. In vier Reihen, jeweils um eine Modulreihe versetzt, werden Wasserleitungen angebracht. Durch diese wird während der Nachstunden ein Wasserfilm auf die Module gebracht. Entlang der Neigung fließt so das Wasser über die Module in die Regenrinne in die Mitte des Daches. Bei klarem Nachthimmel findet mit der Umgebung ein Strahlungsaustausch statt, der die Temperatur des Wassers um ca. 4-5 Kelvin absenkt und gleichzeitig die Module von Schmutz reinigt. Das kühle Wasser fließt

wieder zurück in den Kühlwasserkreislauf und unterstützt so durch eine passive Kühlung die Wärmepumpe. Das ZAE Bayern, welches diese Technik bereits in einem Forschungsprojekt getestet hat, unterstützt uns mit wissenschaftlichen Erfahrungen.

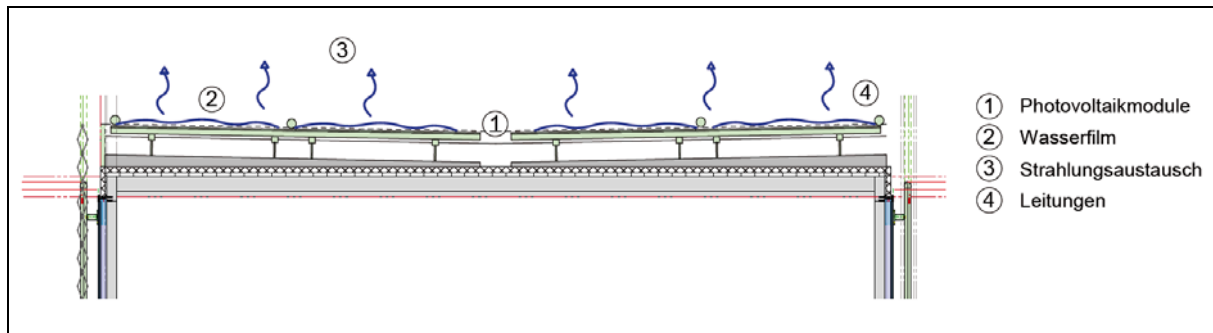


Abb. 2.2.3: Querschnitt des Solar Hauses

Generell kann aus dieser Idee ein Konzept für Flachdachanlagen in südlichen Klimaregionen hergeleitet werden. Da das Prinzip der Strahlungskühlung auf der Grundlage von Regenwassernutzung basiert, und auch die Möglichkeit der aktiven Kühlung von Photovoltaikmodule bereitstellt. Die Kühlung der Module während des Tages würde die Überhitzungsproblematik von Flachdächern und die daraus resultierenden Verschlechterungen des Wirkungsgrades reduzieren. Die so entstehenden Verdunstungsverluste werden durch die Wiederverwendung des Regenwassers nachhaltig gedeckt. Dies ermöglicht eine zweifache Nutzung des Systems. Zum einem wird nachts das Wasser gekühlt bzw. rückgekühlt und kann dann gegebenenfalls zur Raumkühlung verwendet werden. Zum anderem besteht die Möglichkeit während des Tages das Fluid auch zur aktiven Kühlung der Photovoltaikanlage zu verwenden.

Als zweiten und neuartigen Ansatz ist die Integration von PV Elementen in die Fassaden- und Sonnenschutzkonstruktion geplant. Dazu wurde eine räumliche Zackenstruktur, welche auf die Größe von Dünnschichtzellen optimiert wurde und deren Geometrie sich im Tagesverlauf der Sonne nicht selbst verschattet, von den Studierenden entwickelt (siehe Abbildung 2.2.2). Insgesamt enthält die Fassaden- und Sonnenschutzkonstruktion 1.200 PV Waver. Somit können zusätzlich 3,5 KWp erzeugt werden. Unterstützt wird die Entwicklung von den Firmen WAREMA Sonnenschutztechnik GmbH und Linder Fassaden GmbH. Der Entwurf und dessen Umsetzung in eine funktionierende Konstruktion wird eine Vielzahl von mechanischen und elektrotechnischen Problemstellungen mit sich bringen. Welche eine übliche Gewährleistungszeit von 20 Jahren, und den Standard Anforderungen an eine industrialisierte Verwendung in dieser Form nicht stand halten wird. Ist es schwer abzusehen ob die Fassade bis zum Beginn des Wettbewerbes den Status eines Prototypen überschreiten kann. Wir betrachten es deshalb als einen Versuch, dem Leitsatz folgend „Design follows Function“, sich der Integration von Photovoltaischer Technologie einmal anders zu nähern.

2.3 HFT Stuttgart - home⁺

Der Entwurf des Beitrages home⁺ zeichnet sich durch die Integration energietechnischer Elemente aus, die sowohl die äußere Erscheinung des Gebäudes, wie auch den Innenraum prägen.

Entwurfskonzept

Ausgangspunkt ist ein kompaktes und sehr gut gedämmtes Volumen. Im Inneren dienen Phasenwechselmaterialien der Erhöhung der thermischen Masse. Das Volumen wird in einzelne Module aufgeteilt, die mit etwas Abstand zueinander angeordnet werden. Die entstehenden Fugen dienen der Belichtung, der Belüftung, der Vorwärmung 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 beiträgt. Nach traditionellen Vorbildern aus heißen und trockenen Regionen bildet er ein Element, das hohen Komfort bei niedrigem Energieverbrauch ermöglicht und die gestalterische und räumliche Wahrnehmung des Gebäudes maßgeblich prägt.

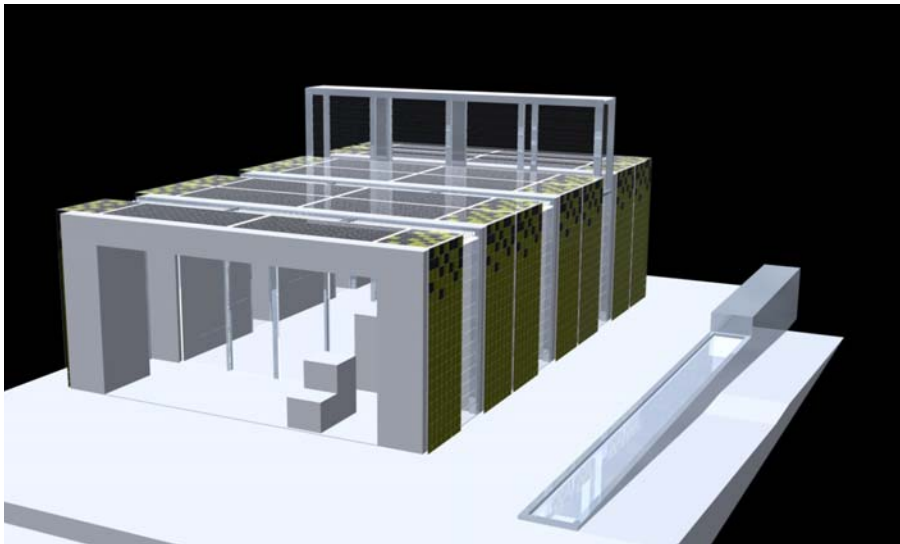


Abb. 2.3.1: Außenansicht home⁺

Gebäudehülle und Photovoltaik

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 mehrtonig 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 bewerkstelligt.

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 Leistung von etwa 12 kWp (6 kWp an den Fassaden, 6 kWp auf dem Dach) liegt der jährlichen Stromertrag am Standort Madrid bei etwa 10.000 kWh. Nach den Wettbewerbsvorgaben ergibt sich ein anzunehmender jährlicher Stromverbrauch von etwa 6.000 kWh. Legt man diesen zugrunde, so ergibt sich ein jährlicher Überschuss der Stromerzeugung von etwa 4.000 kWh.

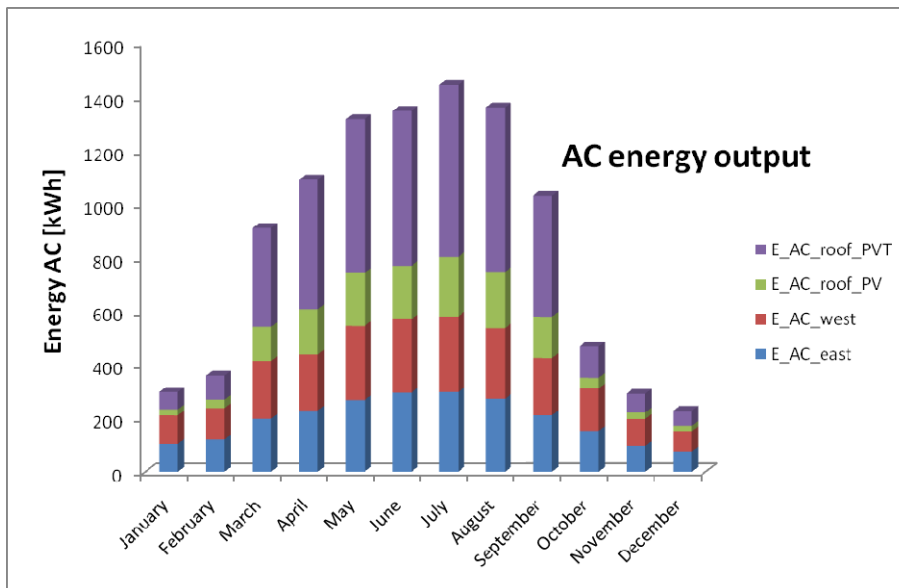


Abb. 2.3.2: Stromertrag der verschiedenen PV-Flächen

Energiekonzept und Photovoltaik

home+ ist also ein Plusenergiehaus, und dies trotz der Vorgabe aus dem Wettbewerb, die Raumtemperatur immer zwischen 23-25° Celsius zu halten. Diese Vorgabe bedeutet natürlich gerade für die Wettbewerbswoche in Madrid, dass der Vermeidung sommerlicher Überhitzung und der Kühlung des Gebäudes besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden muss. Neben dem oben beschriebenen Energieturm nutzen wir dazu auch die PV-Flächen auf dem Dach. Auf der Rückseite der Module werden Absorberbleche mit Rohrleitungen angebracht, durch die in der Nacht Wasser zirkuliert. Durch die Abstrahlung der PV-Flächen gegen den kalten Nachthimmel kühlen sich die PV-Flächen ab und entziehen dem dahinter zirkulierendem Wasser Wärme. Das dadurch abgekühlte Wasser wird gespeichert und für die Kühlung des Gebäudes verwendet.

In unserem Projekt home+ wird die Photovoltaik also nicht nur im Sinne der Gestaltung des Gebäudes und der Strombilanzierung integriert, sondern durch eine Doppelnutzung der Flächen auch direkt in das thermische Energiekonzept.

2.3 Bergische Universität Wuppertal

Das Team der Bergischen Universität Wuppertal verfolgt mit seinem Beitrag zum Solar Decathlon Europe 2010 die Konzeptidee eines „Europäischen Hauses“. Sowohl im sonnenwarmen Klima von Madrid als auch am späteren Nutzungsort Madrid sollen hohe Komfortansprüche ebenso erreicht werden, wie eine ausgeglichene Jahresenergiebilanz (Netto-Nullenergiehaus). Die solare Stromerzeugung über in die Architektur integrierte Photovoltaik stellt einen Hauptbestandteil des Gebäudekonzeptes dar.

Die Architektur

Die Leitidee des Projektes zielt auf ein funktional offenes und mit dem Außenraum verwebtes Haus, das mit reduzierten gestalterischen Mitteln ein wandlungsfähiges, atmosphärisch spannungsvolles und zukunftsfähiges Raumkonzept formuliert.

Die Gebäudegrundstruktur entwickelt sich aus zwei solaraktiven Wandschotten, die einen fließenden Raum zwischen Innen und Außen definieren. Zwischen den Schotten spannt sich der Innenraum mit einer Wohnfläche von rund 50 m² auf. Durch ein auf den Wandschotten liegendes Tragwerk, welches eine Dachterrasse und einen den Innenraum überhöhenden „Raumkörper“ beinhaltet, wird der obere Raumabschluss gebildet.



Abb. 2.4.1: Architektonisches Konzept mit integrierter Photovoltaik in Fassade und Dach

Das Energiekonzept

Das Energiekonzept folgt dem eines Netto-Nullenergie-Gebäudes. Voraussetzung dafür ist eine ausgeglichene Jahresenergiebilanz, d.h. es wird im Zeitraum eines Jahres mindestens genauso viel Energie produziert wie verbraucht wird. Da es sich bedingt durch das Reglement um ein „Nur-Strom-Haus“ handelt, entspricht die eigespeiste Solarstrommenge ins öffentliche Netz mindestens dem Strombezug.

Durch regelungstechnische Optimierung und eine Batteriepufferung wird erreicht, dass dabei ein möglichst geringer „Mismatch“ vorliegt und Spitzenlasten vermieden werden.

Mit der hochwärmegeprägten Gebäudehülle, einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung, adiabater Kühlung und einem leistungsfähigen Sonnenschutz wird der Energiebedarf für Heizen und Kühlen minimiert. Der standortunabhängige Strombedarf für Haushaltsgeräte und Beleuchtung wird durch den Einsatz von effizienten Geräten und LED-Technik minimiert. Somit kann über die Deckung des eigenen Energiebedarfs hinaus, standortabhängig zusätzlich ein mehr oder weniger deutlicher Überschuss an Solarstrom in das Netz eingespeist werden.

Photovoltaikintegration

Während 27 Standardmodule mit monokristallinen Zellen auf einer Fläche von 40 m² für fast 70% des jährlichen Stromertrags sorgen, ist das auffällige architektonische Merkmal des Gebäudes die „Solarwand“. Auf einer Fläche von 30 m² erzeugen speziell designte PV-Module mit unterschiedlichen Zelltypen und transparentem Rückseitenlaminat als Vorhangfassade ein individuelles Bild. Beide Generatoren nutzen Module des Herstellers SolarWorld.

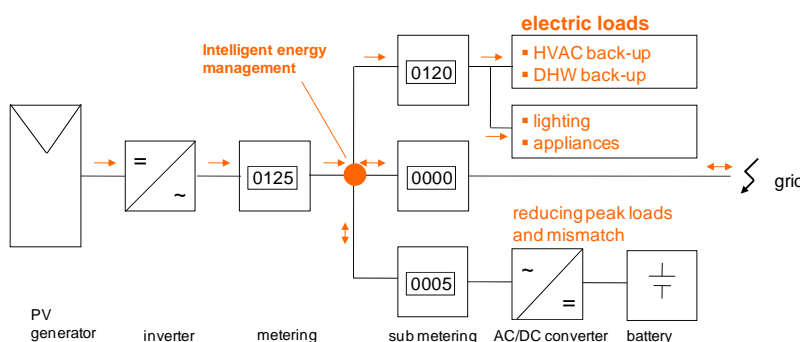


Abb. 2.4.2: Blockschaltbild der Stromversorgung

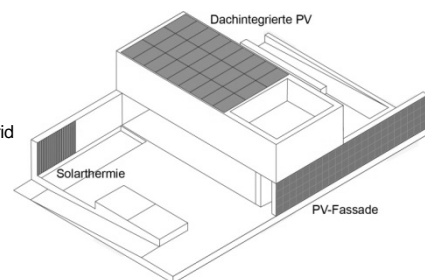


Abb. 2.4.3: Verortung der solaraktiven Flächen im Gebäude

Netzintegration

Neben den drei traflosen Netzwechselrichtern besitzt das Gebäude einen kleinen Batteriesatz (48V) mit 6 kWh Speicherkapazität, der über einen separaten Wechselrichter eingebunden wird. Das Energiemanagement ist so ausgelegt, dass ein möglichst hoher Anteil des Stromverbrauchs aus eigenem Solarstrom gedeckt wird. Während dies ohne Batteriepufferung rechnerisch in der Jahressumme nur zur Hälfte gelingt, steigert der Batteriesatz diesen Anteil auf über 95%. Vorteilhaft ist insbesondere die nächtliche Stromversorgung aus der Batterie.