

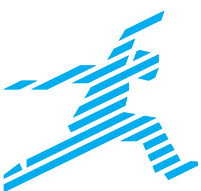


Hamburg voraus

INTERNATIONALE BAUAUSSTELLUNG HAMBURG

Smart Material House Soft House

Juni 2013



IBA_HAMBURG

Stadt neu bauen

Impressum

Herausgeber:

IBA Hamburg GmbH
Am Zollhafen 12
20539 Hamburg

TEL. +49(0)40.226 227-0
FAX +49(0)40.226 227-315

www.iba-hamburg.de
info@iba-hamburg.de

Datum:

Juni 2013

Projektkoordination:

Hubert Lakenbrink

Konzeption und Gestaltung:

IBA Hamburg GmbH
Jens-Phillip Petersen

Texte und Redaktion:

IBA Hamburg GmbH
Christian Roedel, Jens-Phillip Petersen

Corporate Design:

feldmann+schultchen design studios
www.fsdesign.de

Inhalt

4	A	EINFÜHRUNG
4	A.1	SMART MATERIAL HOUSES
6	A.2	PROJEKTSKIZZE SOFT HOUSE
8	B	PROJEKTDDETAILS SOFT HOUSE
8	B.1	ARCHITEKTONISCHES KONZEPT
20	B.2	SMART MATERIAL KONZEPT
15	B.3	HAUSTECHNISCHES KONZEPT
17	B.4	PLANUNGSPROZESS
20	B.5	BEWERTUNG
22		ABBILDUNGSVERZEICHNIS

A Einführung

A.1 Smart Material Houses

Smart Materials sind Materialien, Materialsysteme und aus ihnen herstellbare Produkte, die sich im Unterschied zu herkömmlichen Baustoffen nicht statisch, sondern dynamisch verhalten. Das heißt, aufgrund ihrer Beschaffenheit können die Materialien auf veränderte Umweltbedingungen reagieren und sich diesen anpassen. Diese besonderen Eigenschaften resultieren aus physikalischen oder chemischen Einflüssen, zum Beispiel unterschiedlich hohen Temperaturen oder der Sonneneinstrahlung, die auf den Baustoff trifft.

Dabei steht vor allen Dingen die Gebäudehülle im Vordergrund: Durch den Einsatz der Smart Materials in der Fassade können Energie- und Materialströme verbessert und möglichst klein gehalten werden, da ein Großteil dieser Stoffe Energie mittel- oder unmittelbar aus der Umgebung bezieht.

Smart Materials sind unter anderem in der Natur zu finden. So können beispielsweise in Glas-elementen von Fassaden Mikroalgen gezüchtet werden, die durch Photosynthese und Solarthermie, also die Umwandlung von Sonnen- in Wärmeenergie, Biomasse und Wärme produzieren. Die Fassade wird zum Bestandteil der Haustechnik.

Die Smart Material Houses sind eine neue Form von Häusern, bei denen anpassungsfähige Baukonstruktionen sowie intelligente Technologien und Baustoffe kombiniert werden. Als einer der Themenbereiche der „Bauausstellung in der Bauausstellung“ sind sie ein architektonisches Pilotprojekt: Sie zeigen anhand von vier exemplarischen Gebäudetypen, wie sich sowohl neue technologische Ansätze in eine zukunftsweisende Architektursprache übersetzen lassen als auch traditionelle Techniken neu interpretiert werden können.

Ausgangspunkt für die IBA zum Thema Smart Material Houses waren die folgenden Thesen: Smart Materials sind aktive Materialien mit transformativem Charakter. Sie reagieren auf sich verändernde Umwelteinflüsse. Im intelli-

genten Zusammenspiel mit Smart Technologies kann dieser Prozess auf die Ebene der vernetzten Gebäudetechnik ausgeweitet werden und den Energie- und Materialhaushalt eines Gebäudes überwachen und optimieren.

Hierfür müssen bekannte Kategorisierungen von Materialien neu überdacht werden, da Smart Materials als aktive Materialien gegensätzliche Eigenschaften und Funktionen zu verschiedenen Zeitpunkten annehmen. Material- und Technologieinnovationen waren in der Architekturgeschichte immer verknüpft mit einem grundsätzlichen Wandel dessen, was Architektur sein könnte und sein sollte. Heute lässt sich beobachten, dass Nachhaltigkeit die Legitimation vieler Entwurfsentscheidungen darstellt.

- Smart Materials und Smart Technologies ermöglichen es, durch adaptive Funktionen Energie- und Materialströme nachhaltig zu steuern.
- Mit der Adaptivität von Smart Materials gewinnen im Besonderen zeitliche Abläufe eine wesentliche Bedeutung.
- Ein performatives Verständnis von Materialien und Technologien ermöglicht und fordert einen neuen Umgang mit dem architektonischen Entwurfsprozess.

Es zeichnet sich ein Paradigmenwechsel hin zu dezentralen Infrastruktursystemen ab. Mit Dezentralisierung meint man die Integration von städtischen Aufgaben in die Gebäudetechnik. Wasserkreisläufe, Stromerzeugung, die Nutzung von Abwärme, Miniaturpumpen und Kraft-Wärme-Kopplung werden lokal im Gebäude oder in seiner unmittelbaren Umgebung eingesetzt und abgewickelt. Ein Großteil der im Gebäude verbrauchten Energie soll zukünftig aus lokal vorhandener Energie gewonnen werden, um den Anteil hochwertiger Exergie zu senken.

Die Infrastrukturen der Stadt müssen in diesem Zusammenhang neu überdacht und organisiert werden.

- Durch die Integration von städtischen Aufgaben in die Gebäudetechnik wird das Haus zum Akteur in einem (kommunikativen, d.h. rückgekoppelten) Netzwerk. Entsprechend übernimmt es zusätzliche Funktionen, zum Beispiel als „Kraftwerk“, als „Energiespeicher“ oder als „kommunikativer Ort“ im städtischen Kontext.
- Die Gebäudehülle ist das zentrale Element des Energieaustauschs zwischen Innen und Außen. Sie kontrolliert hinein- und hinausfließende Energieströme und Stoffkreisläufe. Mithilfe von Smart Materials und Smart Technologies können Gebäudehüllen aktiv Energie- und Stoffströme regeln.
- Seit der Moderne wurde die Haustechnik gebündelt, zentralisiert und damit oft unsichtbar. Mit der Verbreitung von Smart Materials kann die Materialoberfläche selbst zum Trägermedium von Energie und Information werden.
- Die neuen Technologien ermöglichen es, Gebäudetechnik zu multiplizieren und auf verschiedene Oberflächen zu verteilen. Materialien werden zu dynamischen Infrastrukturen, die variable, teils gegensätzliche Effekte hervorbringen können.
- Der Faktor Zeit wird mit der Verbreitung polyfunktionaler Oberflächen integraler Bestandteil des Entwurfs und bedingt gleichzeitig die Möglichkeit hybrider Raum- und Gebäudenutzungen.
- Einhergehend mit dem Bedeutungsgewinn von zeitlichen Abläufen kann man einen Wandel vom „offenen Grundriss“ zum „re-konfigurierbaren Grundriss“ ausmachen.
- Rekonfigurierbare Grundrisse generieren sich aus der Veränderbarkeit des Raumes und der Transformierbarkeit der Materialien sowie der Adaptationsfähigkeit der Technologien und nicht mehr allein durch ihre (statische) Offenheit für unterschiedliche

Nutzungen.

- Es tritt eine „Ästhetik der Phänomene“ in den Vordergrund, die vor allem das Verhalten von Materialien thematisiert. Entscheidend ist nicht, wie das Material sich darstellt, sondern wann es in Erscheinung tritt.

In dieser Broschüre werden das architektonische und haustechnische Konzept des Smart Material House Soft House detailliert dargestellt. Desweiteren wird der Planungsprozess dezidiert aufgezeigt, da es vom Entwurf bis zur Ausführung des Projekts zu zahlreichen Veränderungen gekommen ist. Diese Veränderungen sind technisch, finanziell oder funktional begründet - sodass ursprüngliche Zielvorgaben teilweise angepasst werden mussten.

Gerade bei Modellprojekten kommt es immer wieder zu Planänderungen - auch das ist, neben innovativen Endprodukten, ein Stück weit Ziel einer Bauausstellung: Bauweisen und Verfahrenspraxis erproben. Erst nach der Betrachtung des Planungsprozesses ist es möglich zu bewerten, ob ein Modellbauvorhaben als beispielhaft für den Umgang mit Smart Materials im 21. Jahrhundert gelten kann. Diese Broschüre soll neben technischen Details für Fachleute im Besonderen eine Tendenz zur objektiven Bewertung der Frage ermöglichen, ob es sich bei dem Modellprojekt Soft House wirklich um ein solches handelt und ob bzw. inwieweit die Ziele, die vor Planungsbeginn gesetzt wurden, überhaupt erreicht wurden.

Nach dieser kurzen Einleitung wird das Smart Material House Soft House steckbriefartig vorgestellt und anschließend detailliert erläutert. Dabei wird mit dem architektonischen sowie haustechnischen Konzept begonnen, bevor der Planungsprozess beschrieben wird und die Bewertung des Modellprojekts erfolgt. Der Fokus der Darstellung für das Soft House liegt im Besonderen auf dem Energiekonzept, dem flexiblen Dach sowie dem Holzbau.

A. 2 Projektskizze Soft House

BESONDERHEITEN

- Die dynamische und textile Membranfassade verknüpft regenerative Energiegewinnung mit Architektur
- Eine nachhaltige Vollholzbauweise
- Smart Curtains ermöglichen flexible Raumnutzung
- Die direkte Nutzung der erzeugten Energie für das Gebäude



Abb. 1: Ansicht Südfassade, Mai 2013



Abb. 2: Südwestansicht, Juni 2013

Jede der vier familienfreundlichen Reihenhauswohneinheiten hat einen eigenen Garten. Die im Passivhausstandard ausgeführte und innen naturbelassene Holzkonstruktion schafft lichtdurchflutete und über alle Ebenen miteinander verbundene dreigeschossige Wohnhäuser. Architektonisch prägend ist die Textilmembran auf der Südseite des Hauses.

Die dynamische Fassade reagiert flexibel, ähnlich dem Prinzip der Sonnenblume, die dem Sonnenlicht folgt. So können die Bewohner Lichteinfall und Aussicht regulieren. Im Sommer spendet die Fassade Schatten, im Winter minimiert sie Energieverluste und lässt das Licht in die Räume einfallen.

PROJEKTPARTNER

Architektur

- KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
- 360grad+ architekten GmbH, Hamburg

Tragwerksplanung/ Brandschutz

- Knippers Helbig GmbH, Stuttgart
- Bauart Konstruktions GmbH & Co. KG, München

Investor

- PATRIZIA Immobilien AG, Augsburg

Partner Baustoffe

- Global Solar® Energy, Inc, Tucson
- Svensson Markspelle, Kinna
- Phillips Color Kinetics, Burlington
- Barbizon Lighting Company, London

Technische Gebäudeausrüstung

- Büro Happold, Berlin

Textilfassade und Dachkonstruktion

- Textil Bau GmbH, Hamburg

Weitere Projektpartner

- Wacker Ingenieure, Birkenfeld (Materialtests)
- G2 Landschaft, Hamburg
- Miele & Cie. KG, Gütersloh (Haushaltsgeräte)

PROJEKTDATEN

Projektkosten

- Rund 2,4 Mio. Euro

Grundstücksgröße

- 1.050 m²

Bruttogeschossfläche

- 800 m²

Größe der Nutzungseinheiten

- 4 Häuser zu je 155 m², drei Geschosse

Energiestandard

- Passivhaus

Energieversorgung

- Integrierte mobile Photovoltaik-Elemente in Dach- und Fassadenmembran, Wärmepumpen in Kombination mit Geothermie

Bauzeit

- Februar 2012 - März 2013

B Projektdetails Soft House

B.1 Architektonisches Konzept

Das Soft House ist als Reihenhauszeile mit vier Reihenhäusern konzipiert. Dabei verteilen sich die 160 Quadratmeter Wohnfläche je Wohneinheit auf drei Etagen. Insgesamt ergibt sich hieraus eine BGF von etwa 800 Quadratmetern. Die Reihenhäuser haben eine Achsbreite von 5,90 Metern. Das Erdgeschoss nimmt mehr Fläche als die zurückspringenden Obergeschosse ein, da Stellplätze mit in das Erdgeschoss integriert sind. Die Architektur wird mit der auf regenerativer Energieversorgung basierenden

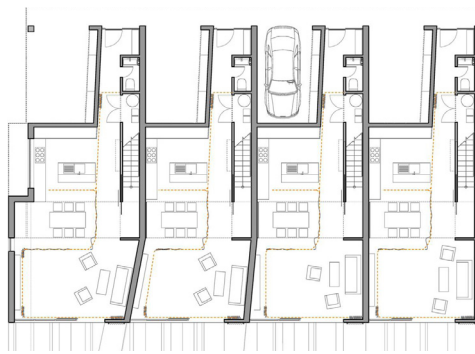


Abb. 3: Grundriss Erdgeschoss

Haustechnik so eng verknüpft, dass eine Form gefunden wurde, die Maßstäbe für die Verbindung von Architektur, Energieversorgung und Haustechnik setzt.

Die architektonische Besonderheit ist die bewegliche Dachkonstruktion, die sich über Teile des Daches und der Südfassade legt: Architektur und Energiegewinnung finden hier in einem gesamtheitlichen gestalterischen Konzept statt. Die Konstruktion bestimmt das Bild des Hauses, die für die optimale Energiegewinnung erforderliche Beweglichkeit verändert laufend das Erscheinungsbild der Fassade. Energieproduktion bleibt nicht anonym, sondern wird maximal erfahrbar.

Das Membrandach besteht aus zwei Teilen: Tragkonstruktion und Photovoltaikbahnen. Die Tragkonstruktion ist wiederum durch zwei unterschiedliche Materialitäten bestimmt: Der auf dem Dach befindliche Teil ist aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK), der vor der Fassade angebrach-

te Teil besteht aus einem kunststoffkaschiertem Glasfasergewebe. Während sich der obere Teil der Konstruktion durch Anpassung der Neigung dem Jahresgang der Sonne anpasst, reagieren die drehbaren Lamellen vor der Fassade auf den Tagesgang der Sonne. So wird immer die optimale Ausrichtung zur Sonne gewährleistet und maximale Effizienz für die Energiegewinnung erreicht. Auf beide Teile der Konstruktion sind Bahnen mit Dünnschichtphotovoltaik appliziert, die der Bewegung der Dachkonstruktion folgen.

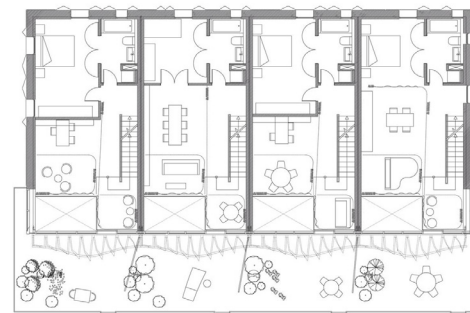


Abb. 4: Grundriss 1. OG

Das Soft House ist ein Passivhaus in Vollholzbauweise. Beide konzeptionellen Elemente spiegeln sich im architektonischen Ausdruck des Hauses wieder. Im Süden sind die für Passivhäuser ungewöhnlich großen Glasflächen prägend, alle übrigen Fenster werden zur Minimierung von Wärmeverlusten möglichst klein gehalten. Die Fassaden sind eine Mischkonstruktion aus gedämmter Putzfassade der Erdgeschosse und für die oberen Geschosse eine Lammellenkonstruktion aus Lärchenholz mit einer dahinterliegenden

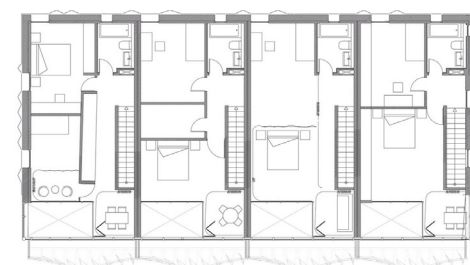


Abb. 5: Grundriss 2. OG



Abb. 6: Innenansicht 3. OG

grünen Dichtungsbahn, die auf die Dämmebene als weiche Konstruktion aufgebracht ist.

Im Gestalt- und Materialkonzept zeigt sich ein Grundthema des Büros Kennedy Violich: Die Suche nach weichen Ausdrucksformen in der Architektur. Das spiegelt sich auch im Inneren des Projektes in Form von Vorhängen wieder, die an geschwungenen Schienen durch die Räume geführt werden und mit denen die Räume individuell verändert werden können. In gewisser Weise handelt es sich bei diesem Konzept um eine Rückkehr zu traditionellen, vormodernen Ideen. Einst wurden Textilien an den Mauern oder Stoff rund ums Bett befestigt, um die Wärme zu halten. So können über die Vorhänge im Raum unterschiedliche Temperaturzonen und Raumsituationen geschaffen werden, gleichzeitig dienen sie aber auch vor zu starker Sonneneinstrahlung. Die Vorhänge erfüllen weiterhin haustechnische Funktionen: Der von der Photovoltaik erzeugte Strom wird über LED-Leuchtkörper, die in das mehrlagige Material eingearbeitet sind, direkt zur Beleuchtung der Räume genutzt (siehe Kapitel B.2, S. 10). Die gesuchte Weichheit der äußeren Erscheinungsform zeigt sich von außen

durch die sich ständig verändernde Textilmembrankonstruktion.

Die dreigeschossigen Wohneinheiten können bis zu vier Schlafräume enthalten und bieten so auch größeren Familien ausreichend Platz zum Wohnen und Arbeiten. An der Südseite ist ein zweigeschossiger Luftraum angeordnet, der Licht in die Mitte des tieferliegenden Erdgeschosses führt. Andererseits sind die Grundrisse so gestaltet, dass bei Bedarf das Erdgeschoss zu einer Einliegerwohnung umgestaltet werden kann. Das Haus kann so auch generationsübergreifenden Veränderungen und Anforderungen jeweils das passende Wohnkonzept bieten.



Abb. 7: Nord-Süd Schnitt durch das Modell

B.2 Smart Material Konzept

Bei den Smart Materials im Soft House geht es insbesondere - daher auch der Name - um die flexiblen, hochtechnisierten Materialien: Membranen, glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK), Dünnschicht-Photovoltaik, die Smart Curtains, die sich, zusammengebunden über ein komplexes Gebäudemanagementsystem (BMS), dem Thema Energiegewinnung und Energienutzung widmen. Andererseits geht es um traditionelle, einfache aber dennoch leistungsstarke Materialien, also eher einen Low-Tech-Ansatz: Die komplette Errichtung des Gebäudes in Holzbauweise, im wesentlichen in Vollholzbauweise, in Form von Brettstapelelementen.

Vollholzbau

Der Baustoff Holz bindet CO_2 und verbraucht in der Produktion deutlich weniger Energie als konventionelle Baustoffe und ist zudem ein erneuerbarer Baustoff. BSH / Fichte hat eine negative 1.2027 kg CO_2 -Äquivalente im Vergleich zu Stahlbeton von $+1.20 \text{ kg CO}_2$ -Äquivalente. Gleichzeitig ist ein späterer Rückbau möglich, da ein Großteil der Abfälle recycelt oder thermisch verwertet werden kann. Verbunden mit dem Passivhausthema und der Nutzung regenerativer Energien bildet der Holzbau die dritte Säule des Nachhaltigkeitskonzeptes des Hauses: Geringer CO_2 -Verbrauch der Primärkonstruktion, Recyclingfähigkeit, Reduktion des Materialeinsatzes.

Das Projekt wurde vollständig aus Brettstapelelementen hergestellt. Die nichtunterkellerten Gebäude sind oberhalb einer Fundamentplatte vollständig als Holzbauten ausgeführt. Die Wände bestehen im Wesentlichen aus gedübelten Brettstapelelementen, die auf traditionellen Holzbauweisen beruhen und im Grunde von jedem Holzbaubetrieb umgesetzt werden könnten. Die Herstellung der Elemente ist einfach und kann im Gegensatz zur Brettspertholzbauweise auch vollständig leimfrei und mit handwerklichen Techniken errichtet werden.

Für die Geschossdecken sind Brettstapelelemente zum Einsatz gekommen, die an wenigen Stellen



Abb. 8: Brettstapelbauweise

mit deckengleich integrierten Stahlprofilen verstärkt sind. Zur Aussteifung wurden die Brettstapelelemente für die Decken oberseitig und jene für die Wände außenseitig mit einer Beplankung aus OSB ergänzt. Zur Queraussteifung der Reiheneinheiten sind vereinzelt Brettspertholzelemente in das Baugefüge integriert worden. In den Aufenthaltsräumen sind die Wandoberflächen in Brettstapelbauweise, sowie große Bereiche der Geschossdeckenuntersichten unbekleidet belassen. Zur raumakustischen Optimierung haben die Bretter für die Deckenelemente einen Falz erhalten, sodass die Deckenelemente auch als Akustikprofile funktionieren.

Trotz Einordnung der Reihenhäuser in die Gebäudeklasse 2 durch die Bauaufsicht wurde die Bekleidung der Innenwände im Bereich der Treppe mit nichtbrennbaren Materialien als Kompensationsmaßnahme dafür vereinbart, die Treppe über die drei Geschosse ohne eigenen Treppenraum anzulegen. Die Brettstapelkonstruktion ist an sich mit F 30-B bewertet. An den Gebäudeabschlusswänden wurden zum ausgedämmten Zwischenraum hin Gipsfaserplatten angeordnet, mit dem Ergebnis, dass die Wände gegenüber von außen

einwirkendem Brand als feuerbeständig klassifiziert sind. Im Bereich der Gebäudeabschlusswände sind in den Aufbau der Fassadenkonstruktion als Maßnahme des konstruktiven Brandschutzes vertikal angeordnete Bleche integriert, die den Weiterbrand der Fassadenverkleidung von Einheit zu Einheit verhindern..

Verglichen mit konventionellen Holzrahmenkonstruktionen hat die Fertigung mit Brettstapelelementen den Vorteil, dass ein Großteil der Elemente vorgefertigt ist und höhere Lasten abtragen kann, als dieses im Holzrahmenbau möglich ist, was die Konstruktionszeit und damit auch die Kosten erheblich reduziert. Das Grundgerüst des Soft House wurde in nur etwa zwei Wochen errichtet. Damit steht auch der Übertragbarkeit des Konzepts auf anderen Grundstücken nichts im Weg. Ein weiterer positiver Effekt der Brettstapel-elementbauweise ist ein verbesserter Schall- und Brandschutz sowie eine höhere Resistenz gegen Feuchtigkeit, was zusammen das Raumklima sowie den Komfort für die Bewohner erhöht. Die Dämmfähigkeit vom Holzrahmenbau ist zwar besser - die Massivholzkonstruktionen sind thermisch hingegen deutlich stabiler, das heißt, sie kühlen langsamer aus, halten deutlich länger die Wärme wegen der größeren Masse und haben so bessere raumklimatische Eigenschaften.

Teil der Innovation ist die Integration der Installationsebenen in dem Element selbst oder in Konstruktionsebene, sodass das Holz als Oberfläche zum Tragen kommen kann (siehe Abbildung 6).

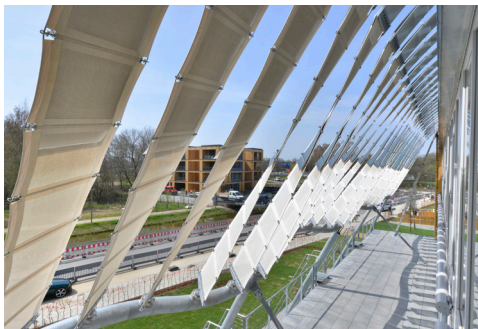


Abb. 9: Dynamisches Membrandach

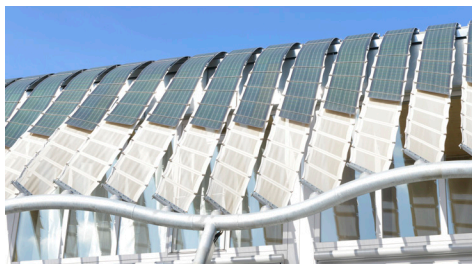


Abb. 10: Dachmembran mit PV-Elementen

Dies ist nicht nur beispielhaft in der Reduktion von Material und Energie im Ausbau, sondern ermöglicht auch eine umweltverträgliche Instandhaltung durch Abschleifen und Neuversiegelung der Oberfläche. Die Brettstapelbauweise kann im Soft House als Bemessungskonzept für aussteifende Wände von mehrgeschossigen Bauten gelten, da insbesondere alle bauphysikalischen und Schallschutzanforderungen erstmals im Detail berücksichtigt wurden. Auch eine Integration der Haustechnik in die Konstruktion bei gleichzeitiger Herstellung eines hohen Wohnkomforts ist bisher die Ausnahme im mehrgeschossigen Holzbau.

Dynamisches Membrandach

Das Flachdach des Hauses übernimmt alle Funktionen des Wetter- und Wärmeschutzes, gleichzeitig ist es die Installationsebene für das Membrandach. Das Membrandach besteht aus zwei bautechnischen Komponenten: Auf dem Haus sitzen Bahnen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK). Diese GFK-Boards sind das flexible Trägermaterial für die Dünnschichtphotovoltaik, die dem Jahresgang der Sonne nachgeführt werden. Dies erfolgt durch Biegung der GFK-Boards. Gleichzeitig kragen die Boards über den Dachrand aus und dienen als Feder für die textilen Membranstreifen (Twister) vor der Fassade. Getragen wird die gesamte Konstruktion von einem Stahlgerüst, das auf dem Flachdach und dem Grundstück verankert ist und die enormen Windkräfte aufnimmt. Im geschwungenen Träger der Konstruktion sind zudem die Motoren und die Hydraulikleitungen für die Twister verborgen.

Flexible Dünnschicht-Photovoltaikmodule in Form

von 6m langen Bahnen werden auf die 50 Zentimeter breiten Membranstreifen, die insgesamt etwa fünf Tonnen Last halten können, appliziert. Bei den Dünnschicht-Photovoltaik-Folien handelt es sich um das Produkt PowerFLEX™ BIPV - 300W von der Firma Global Solar® Energy, Inc., die ihren Hauptsitz in den USA hat. Die Module haben lediglich eine Dicke von drei Millimetern. Die PV-Module werden mechanisch gehalten: Am oberen Ende werden sie geklemmt und im weiteren Verlauf durch angeschweißte Laschen gesteckt und gleitend gelagert. Eine feste Verbindung mit den Boards und den Twistern war aufgrund des Verrautungseffektes bei der Drehung der Twister nicht möglich, da die PV-Module keine Verrautung (eine gleichzeitige Verformung des Materials in zwei Richtungen) vertragen.

Durch Biegen und Verdrehen dieser Streifen wird der Öffnungsgrad der Hülle gesteuert und die Photovoltaikmodule der Sonne nachgeführt. Auf diese Weise werden die Funktionen der Verschattung und der Energieerzeugung miteinander kombiniert. Gleichzeitig wird die Tageslichtnutzung bzw. der sommerliche Wärmeschutz durch die diffus-transparente Qualität des Gewebes und die drehbaren Streifen mit hohem Reflektionsgrad optimiert. Die Kombination von Verschatt-

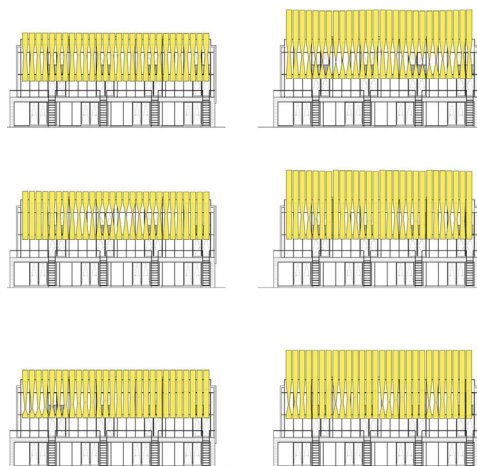


Abb. 11: Funktion der Dachmembran

tungs-, Energieerzeugungs- und Tageslichtsystem ist der Kern der Innovation.

Der auf dem Dach sitzende Teil des Membrandaches kann durch die Möglichkeit den Neigungswinkel zu verändern optimal auf den über das Jahr wechselnden Sonnenstand angepasst werden. Das System verfügt über einen hydraulischen Antrieb, der acht Bänder pro Wohnung gemeinsam antreibt. Auf eine Einzel-Steuerung der Bänder wurde aus Gründen der dann exponentiell steigenden Wartungskosten verzichtet. Die für die Hydraulik notwendigen Leitungen sind alle in einem geschwungenen Stahlrohr am unteren Ende des Membrandaches verdeckt geführt. Die Wohnungsnutzer können mit den Segeln ihres Hauses jeweils separat die Automatik, die die Segel auf die Sonne ausrichtet, übersteuern und so jederzeit Ein- und Ausblick auch individuell gestalten.

Für die Konstruktion aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) und der Membran aus kunststoffbeschichtetem Glasfasergewebe (PTFE) musste eine Zustimmung im Einzelfall beantragt werden. Es wurden zwar keine neuen Baustoffe entwickelt, aber als Baustoffe zugelassene Materialien in einen neuen Kontext, nämlich als Dach- und Sonnenschutzkonstruktion, als Bauteil gestellt. Insbesondere die Membran wurde zahlreichen Materialtests unterzogen (siehe Kapitel B.4, S. 17).

Flexible Dünnschicht-Photovoltaikzellen gewinnen immer größere Bedeutung in allen Einsatzgebieten und beginnen die traditionellen



Abb. 12: Windkanaltests

Silikonzellen zu ersetzen. Flexible Photovoltaikzellen zeichnen sich durch einfachere und in Zukunft kostengünstige Produktionsmethoden aus, eine über 50-prozentige Reduktion des CO₂-Äquivalenten und die Rückgewinnung der eingebundenen Energie in ca. einem Viertel der Zeit im Vergleich zu herkömmlichen Silikon-Photovoltaik-Modulen.

Die Konstruktion des Membrantragwerkes besteht aus einer Stahlkonstruktion mit minimierten Profilabmessungen. Die GFK-Boards sind auf eine Stahlkonstruktion montiert, die über Hydraulikantriebe verändert (aufgewölbt) werden kann. Die GFK-Boards ragen über die Dachkante hinaus und dienen als Befestigung für die PTFE-Membranen. Die Membranen sind an den GFK-Boards starr befestigt, das GFK übernimmt durch seine Flexibilität die erforderliche Vorspannung für die Membranen (wirkt wie eine starre Feder). Zweiter Befestigungspunkt der PTFE-Membranen ist der geschwungene Stahlträger vor der Fassade, in den auch die Hydraulik und die Motoren integriert sind. Die PTFE-Membranen selber sind durch Drahtseile und Querverstrebungen aus

schlanken Stahlstäben ausgesteift und gegen die starken Windkräfte verstärkt.

Zur Bemessung der Konstruktion mussten spezielle Windkanaltests gemacht werden. Bei dem Test wurde auch die Befestigung für die Bahnen der Dünnschicht-PV-Module getestet. Diese werden lose gleitend aufgelegt und nur punktuell auf den GFK-Boards befestigt. Auf den Membranen werden die PV-Module durch Stahlspannen gehalten. Pro Membranstreifen wurden Leistungen von 300 Watt installiert. Das Material der PTFE-Membranen zeichnet sich aufgrund seiner optischen Qualität, Lichtdurchlässigkeit von 35 Prozent sowie Flexibilität, günstigen Brandschutzeigenschaften (B 1, S 1- d 0 (EN 13 50)), hoher Festigkeit und der hohen Lebensdauer von mehr als 30 Jahren aus. Insgesamt ist die biegbare und verformbare Konstruktion an Vorbilder aus der Natur angelehnt.

Niedrigvoltsystem / Smart Curtains

Das Niedrig-Volt-System soll in zweifacher Weise die Umwandlungsverluste vermeiden: Bei der Erzeugung des Stroms durch Photovoltaik im Niedrigvoltbereich und bei der Nutzung durch

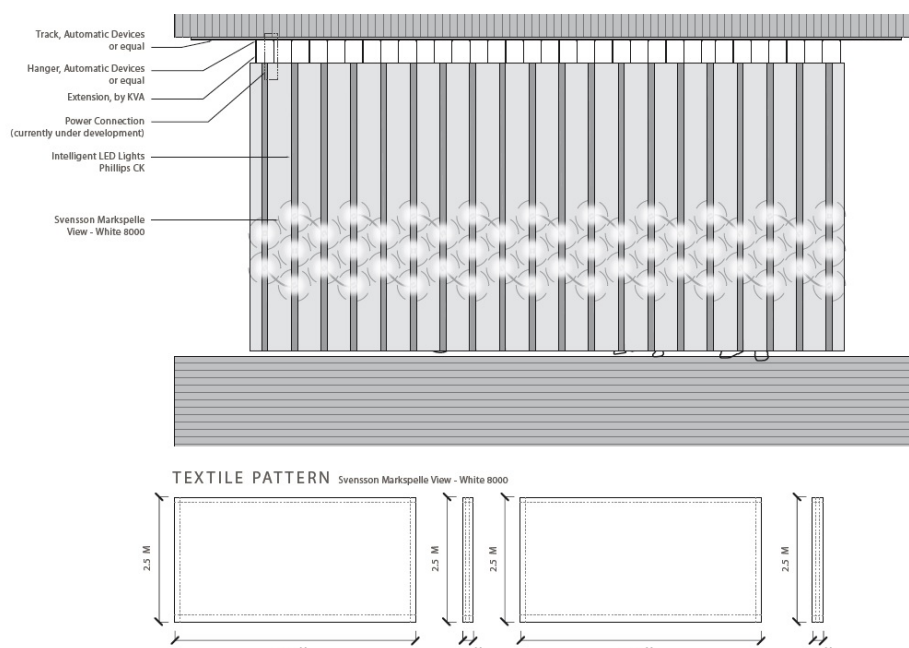


Abb. 13: Aufbau der Smart Curtains



Abb. 14: Smart Curtain mit LEDs

moderne Niedrigvolt-Beleuchtungssysteme. Es erhöht dadurch die Effektivität des photovoltaischen Systems um ca. 19 Prozent. Gleichzeitig steigt die Zahl der Niedrigvoltgeräte (etwa 30 Prozent per Haushalt 2010) an, worauf mit einem eigenen Stromnetz reagiert wird. Strom, der tagsüber über Dach und Fassade erzeugt wird, wird in einer Batterie zwischengespeichert und abends für die Raumbelichtung wieder genutzt.

Die Smart Curtains sind Teil dieses Systems und Teil der Innovation des Architektur-, Strom- und Klimakonzepts des SoftHouse. Sie ermöglichen die angepasste wandelbare Nutzung der gleichen Grundfläche mit minimalem Energie- und Materialeinsatz. Für die Smart Curtains wurde eine Beleuchtungskomponente über LEDs und einen Niedrigvoltanschluss entwickelt. Die LEDs - genau 50 Stück - in den Smart Curtains sind separat ansteuerbar und sind in der Lage auf die natürlichen Windverhältnisse zu reagieren. Gleichzeitig dienen die Vorhänge als weiche, raumprägende Elemente. Dadurch wird den Nutzern ermöglicht die Räume je nach Bedarf zu vergrößern oder zu trennen.

Durch die beispielhafte Entwicklung der Leitungsführung werden Systemelemente mit der Innenarchitektur des Hauses verknüpft. Ein gestalterisches und im Soft House raumdefinierendes Element - der Vorhang - erhält mit der Niedrigvoltstromversorgung eine haustechnische Funktion.

Building Management System (BMS)

Das pro Gebäudeeinheit und zur Regelung der haustechnischen Anlagen eingesetzte intelli-

gente Hausautomationssystem (BMS - Building Management System) dient zur Vernetzung und Steuerung der vorgenannten Exzellenzmaßnahmen, im besonderen der Energieernte über die dynamische textile Hülle, der Zwischenspeicherung des PV-Stroms in einem Batteriesystem, der direkten Eigennutzung des Niedrigvoltstroms, der Wärmeversorgung des Hauses über die Wärmepumpe bzw. der additiven Kühlung über die Geothermie im Sommer. Das BMS unterstützt die Erreichung der maximalen Synergien durch die Vernetzung der energetisch relevanten Komponenten des Hauses bis hin zum Nutzerverhalten. Durch die Visualisierungs- und Mobilfunkkomponente des Systems kann der Nutzer immer den besten Weg für Energiegewinnung und Energienutzung bestimmen und beeinflussen. Das System macht Haustechnik so für den Nutzer transparent und trägt durch die Interaktivität dazu bei über das eigene Verhalten ein anderes Bewusstsein für Energiegewinnung und -verbrauch zu entwickeln.

Ein weiterer Teil der Innovation ist die Vorbereitung auf die ab 2011 vorgeschriebenen lastabhängigen Stromtarife (SmartMetering) durch das BMVBS mit einem aktiven und passiven Lastmanagement. Die Automatisierungsstationen werden so gewählt, dass die aussichtsreichen Bussysteme zum Ansteuern/Aufschalten von Haushaltsgeräten integriert sind. Bei aktiviertem Lastmanagement ist das System in der Lage, Geräte der Haustechnik (Pumpen, Lüftungsgerät, Beleuchtung etc.) und über ein Bussystem die zugehörigen Haushaltsgeräte in ihrer Leistungsaufnahme zeitbegrenzt und priorisiert zu steuern, sodass ein Maximalwert nicht überschritten wird. Entsprechende Geräte der Firma Miele, die dies ermöglichen, wurden miteingebaut.

Dabei ist der Entwurf des Gesamtsystems integraler Bestandteil der haustechnischen Steuerung, für das ein Visualisierungskonzept mit stationären und mobilen Oberflächen entwickelt wurde, um ein innovatives Lastenmanagement sowie Nutzerpartizipation zu ermöglichen.

B.3 Haustechnisches Konzept

Das Soft House ist ein Passivhaus nach PHPP. Die Versorgung mit Warmwasser erfolgt über eine Wärmepumpe, die Versorgung mit Heizwärme über Geothermie in Form von 80 Meter Tiefbohrungen gekoppelt über eine Wärmepumpe. Im Sommer wird das System als zusätzliche Kühlung des Gebäudes genutzt. Man hat sich für Erdsonden als Wärmespeicherung entschieden, da drei Viertel des Wärmebedarfs ganzjährig auf die Warmwassererhitzung und nur ein Viertel im Jahresgang saisonal auf Raumwärme entfallen.

Zum Betrieb der Wärmetauscher wird keine zusätzliche Primärenergie notwendig, da die Pumpen über die Erträge der Photovoltaik versorgt werden. Diese werden über Wärmetauscher an das System der Fußbodenheizung sowie an die Anlagen zur kontrollierten Wohnungslüftung gekoppelt und ermöglicht einen kostenlosen, CO₂-neutralen, leichten Kühlbetrieb im Sommer.

Der über die Photovoltaik erzeugte Strom mit Niedervoltspannung wird durch das Niederspannungsnetz des Hauses direkt dem Haushaltsstrom zugute kommen. Das elektrische System verfügt über eine Pufferung durch Batterien, die es ermöglichen den Strom möglichst direkt nutzen zu können ohne ihn umspannen zu müssen und somit über das Netz wieder Strom von außen beziehen zu müssen; dieser müsste dann ebenfalls

wieder heruntertransformiert werden um für das System aktiviert zu werden.

Im Soft House sind vier sogenannte Photovoltaik-Hybridssysteme der Firma Bauer Elektroanlagen GmbH Halle installiert. Für jede Wohnung übernimmt das System folgende Funktionen: Eine Leistungsoptimierung der je acht verbauten Photovoltaikmodule durch MPPT-Tracking, die Speicherung und Bereitstellung des erzeugten Solarstroms zu allen Tageszeiten, die Bereitstellung von maximal einem Kilowatt Gleichstrom für die Gleichstromverbraucher, die Bereitstellung von maximal drei Kilowatt Wechselstrom für die Wechselstromverbraucher. Dazu erfolgt eine tarifoptimierte Einspeisung des Solarstroms in das Verteilernetz und im Bedarfsfall eine Umwandlung von Wechselstrom aus dem Verteilernetz zur Versorgung der Gleichstromverbraucher, sollte die Batterie einmal komplett entladen sein.

Der Status all dieser Prozesse wird in der Anlagenüberwachung dargestellt, die auf einer Montageplatte in einem belüfteten Raum unterhalb der Treppe zusammen mit allen anderen Anlagenkomponenten für die Nutzer zugänglich installiert wurde. Auch eine Fernüberwachung per Mobiltelefon ist durch den eingebauten Server möglich.

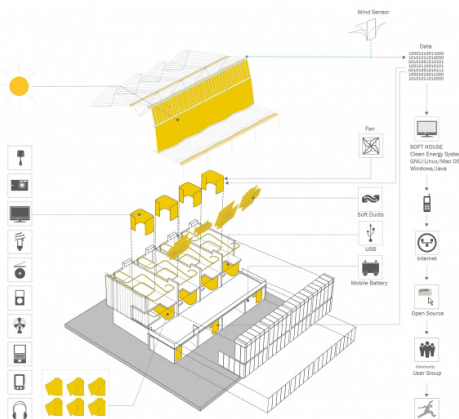


Abb. 15: Explosionszeichnung der Elemente zur Energiegewinnung und -verteilung



Abb. 16: Blei-Gel-Batterie

Die Speicherung des Solarstroms erfolgt je Reihenhaushaus in 24 wartungsfreien 2V-Blei-Gel-Batterien, die damit keine flüssige Säure beinhalten. Jede Batterie hat eine Kapazität von 440 Ah, so dass man insgesamt auf eine Speicherkapazität von 21,12 kWh pro Reihenhaushaus kommt. Das Soft House ist somit bilanziell in der Lage alle zum Betrieb des Hauses notwendigen Anlagen sowie die Nutzer komplett mit Strom aus Photovoltaik zu versorgen. Die Batterie ist für zwei Tagesverbräuche ausreichend, was die Effizienz der Photovoltaik somit auf 200 Prozent erhöht. Die Wechselrichter haben von Gleich- zu Wechselstrom einen Wirkungsgrad von 97 Prozent. Die verwendeten PV-Elemente haben eine geringere Effizienz, nehmen aber insgesamt mehr diffuse Strahlung auf. So wird das Leben mit dem Wetter für die Bewohner wieder mehr erlebbar.

Die Elektroverteilung des Hauses ist so aufgebaut, dass durch einen einfachen Umbau in der Unterverteilung der Niederspannung über das Stromnetz des Hauses an alle Verbrauchsstellen für die Raumbelichtung zur Verfügung gestellt werden kann. Derzeit bietet die Industrie keinen einheitlichen Standard für LED-Leuchtmittel, in der Regel sind das Leuchtmittel mit klassischer Fassung und einer Umspannung direkt im Leuchtkörper von 240V auf 12V, 24V oder 42V.

Das Haus erhält zudem eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung als eigenständige Anlage. Diese wird über das jeweilige Steuerungssystem des Hauses eingebunden, sodass auch der Wärmebedarf des Hauses gering gehalten werden kann (15 kWh/a).

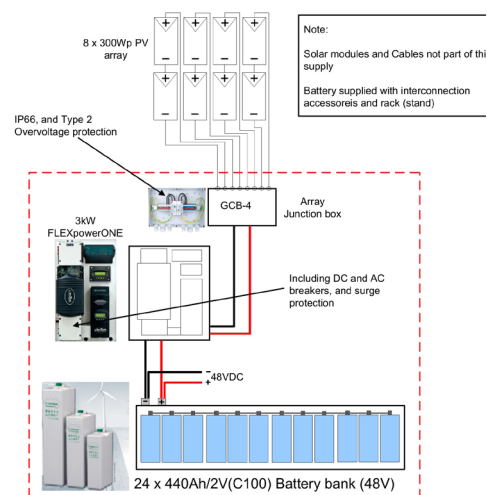


Abb. 18: Schutzeinrichtungen und Aufbau des Gesamtsystems

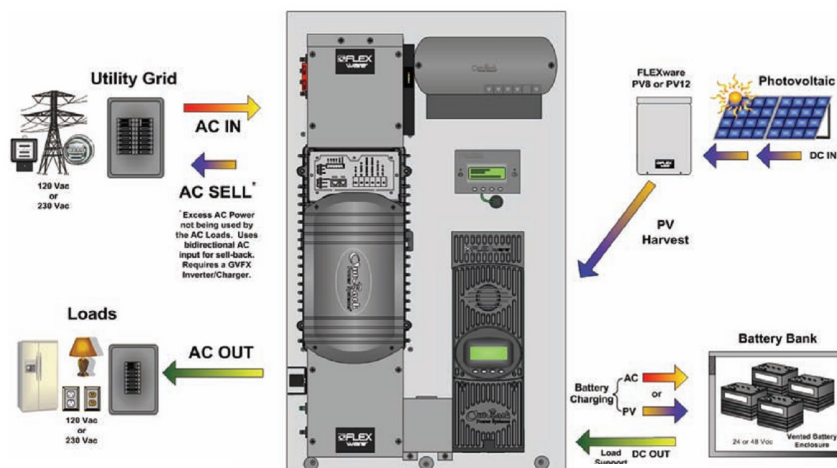


Abb. 17: Funktionen des Photovoltaik-Hybridsystems

B.4 Planungsprozess

Im ersten Abschnitt des Ende 2009 gestarteten zweistufigen Wettbewerbs wurde durch ein Planungsteam aus Architekten und Haustechnikern eine Idee entwickelt, die ein komplexes energetisches Konzept und die Verwendung von Textilien als Träger von Dünnschicht-Photovoltaik-elementen in Dach und Fassade vorsah. Vom Preisgericht wurde angemerkt – trotz lobender Erwähnung – dass unklar sei, wie konstruktive und steuerungstechnische Details (Verhalten bei Windlast, Steuerung der Photovoltaikanlage) gelöst werden können. Dieses stellte sich im Verlaufe des Planungsprozesses tatsächlich als schwieriger Punkt heraus, der einige Änderungen im Konzept erwirkte.



Abb. 19: Ansicht aus dem Wettbewerb

Kernpunkte des Konzeptes waren:

- Bau im Passivhausstandard
- Die Nutzung von Holz als nachhaltigem Baustoff
- Thermische sowie elektrische Energieautarkie
- Einsatz einer flexiblen Photovoltaik-Anlage
- Interaktives Raumkonzept mit veränderbaren Räumen und Visualisierung der haustechnischen Prozesse im Innenraum

Das Thema des Passivhauses führte zu einer kompakteren Ausformulierung des Baukörpers. Die im Wettbewerb noch vorgesehene Kompletterglasung der Südseite wurde in der Ausführungsplanung verkleinert um den sommerlichen Wärmeschutz zu gewährleisten.

Die Verbindung von Holzbau und den statischen Anforderungen an den Baukörper, die aus den



Abb. 20: Innenausbau Dezember 2012

eingeleiteten Kräften aus der Dachkonstruktion resultieren, führte ebenfalls zu einer kompakteren Anordnung der Grundrisse, in Form von Reihenhäusern. So konnten auch die Anforderungen an Schall- und Brandschutz deutlich vereinfacht werden. Das Thema des flexiblen Wohnens wurde durch eine große Varianz in der Grundrissgestaltung und die Möglichkeit der Veränderung der Räume durch die smart curtains als Raumtrenner beibehalten.

Die ursprünglich vorgesehene komplette Sichtigkeit der Holzflächen im Inneren konnte nicht umgesetzt werden, einerseits durch Brandschutzauflagen der Behörde zum anderen durch die hohen energetischen Anforderungen, durch die in das Haus integrierte Garage. So sind die vier freistehenden Reihenhäuser durch GFK-Platten brandschutztechnisch voneinander getrennt.

Die größte Herausforderung stellte das zusätzliche Dach mit der applizierten Dünnschicht-Photovoltaik dar. Vorgesehen war ein reines Textildach auf einer leichten Metallkonstruktion mit auf das Textil applizierten kleinteiligen Dünnschicht-PV-Modulen. Mit der Krise der Photovoltaik-Industrie wurden die vorgesehenen Produktlinien nicht weiter produziert. So musste auf ein anderes System umgestellt werden. Die ursprüngliche Kleinteiligkeit und die damit verbundene Flexibilität konnte nicht vollständig eingelöst werden, es musste auf Bahnenware mit 6 Meter Länge umgestellt werden. Dies stand im Widerspruch zu den erforderlichen Verdrehungen, die die Twister vollziehen sollten. Gelöst werden konnte der Konflikt nur,



Abb. 21: Übergang von GFK-Boards zur Textilmembran

indem die PV nicht über die gesamte Länge der Twister gezogen wurde und ein alternatives Befestigungssystem zu den üblichen Befestigungen per Klettbänder gefunden wurde.

Das Membrandach war ursprünglich auf beiden Seiten, auf der Nord- und Südseite des Hauses vorgesehen. Das im Wettbewerb noch stärker gestalterisch geprägte Element des Membrandaches wurde in der Überarbeitung stärker technisch und funktional interpretiert und kam nur auf der Südseite zum Einsatz. Auch das Thema Membran wurde technisch und funktional weiterentwickelt: Die Membran auf dem Dach war als Trägermaterial nur bedingt geeignet. Das GFK ermöglichte eine gute Befestigungsebene für die Dünnschicht-Photovoltaik und die Halterung für die Membran der Twister. Entscheidend für die Membran war die Kombination aus Trägerstoff für PV und Transluzenz für die Lichtsteuerung.

Das Thema der Nutzung des erzeugten Niedervoltstroms über die PV direkt ohne Umspannung durch die Verbrauchsstellen des Hauses und durch die smart curtains ist ein zentraler Baustein des regenerativen Ansatzes des Hauses. Um Umspannverluste zu vermeiden sollte der erzeugte Strom direkt im Haus gespeichert und genutzt werden. Einsparungen von 19 Prozent sollten nur durch die Reduzierung/Vermeidung von Umspannverlusten entstehen. Mittlerweile hat sich die Effizienz der Umspannung deutlich verbessert und es können Verluste, die nur noch bei drei Prozent liegen, realisiert werden. Dem Thema der

Direktnutzung des Stroms nimmt das allerdings keineswegs die Relevanz, da mittlerweile durch die reduzierte Einspeisevergütung das Einspeisen in das öffentliche Netz wirtschaftlich weniger rentabel ist als die direkte Nutzung und den Verzicht auf den Verbrauch teuren „Fremdstroms“ aus dem Verbundnetz.

Einheitliche technische Standards zur Nutzung des PV-Stroms werden derzeit von der Industrie nicht zur Verfügung gestellt. Vielmehr arbeiten die großen Hersteller jeweils mit unterschiedlichen Spannungen zur Versorgung von LED-Leuchtmitteln. Das heißt, beim Netz und der anliegenden Netzspannung von 240 V bleibt alles beim Alten und erst beim Leuchtmittel selbst wird auf die verschiedenen Spannungen für die LED heruntertransformiert. So sind die Häuser mit der Möglichkeit der Nutzung des Niedervoltstroms für die gesamte Beleuchtung des Hauses ausgestattet worden, entscheiden muss darüber später allerdings der Nutzer selbst. Für die Pufferspeicherung durch Batterien konnte erst kurz vor Fertigstellung des Hauses eine Systemlösung gefunden werden. Das einzige in allen Häusern gleiche Element zum direkten Verbrauch des eigenen Stroms neben dem Anlagenstrom sind die smart curtains, die die Möglichkeiten der Direktnutzung den Nutzern sehr bildlich vorführen.



Abb. 22: PV-Module auf GFK-Boards



Abb. 23: Aufstellung der GFK-Boards

Das Ursprungsprinzip der Architekten, eine bewegliche Dachkonstruktion zur optimalen Energieausbeute zu entwickeln, stand lange infrage. Die endgültige technische und genehmigungsrechtliche Klärung lag erst Anfang 2013 vor.

Da die Kräfte aus Torsion und Windbelastung nicht nur direkt das Materialkonzept beeinflussten, sondern auch tief in das Gebäude wirkten, musste umgeplant werden: Die Fundamentierung, die Kraftableitung im Gebäude und die Dimensionierung der Stahlteile mussten ein Zusammenspiel bilden, was in der Entwurfsphase noch sehr unterschätzt wurde und so den erhöhten Materialtest- und Plaungsaufwand nötig machte.

Erforderlich Versuchsarrangements waren:

- Materialprüfversuche für Biegung und Bruch des GFK
- Absicherung der rechnerisch-statischen Modelle im Windkanal, da das Verhalten der Twister im Wind rechnerisch nicht abschließend simuliert werden konnte.



Abb. 24: Aufständigung der GFK-Boards

B.5 Bewertung

Das Soft House, als ein Vertreter der Smart-Material-Typologien, thematisiert richtige und wichtige Fragen:

- Einfache nachhaltige Grundkonzeption (Holz als Low-Tech-Material mit High-Tech-Eigenschaften)
- Hohe Energieeffizienz (durch Bauweise im Passivhausstandard)
- Energetische Autarkie, bei maximaler Eigennutzung der erzeugten Energie

Der Smart-Material-Ansatz verbindet die Idee des leichten Tragwerks in Kombination mit der leichten Dünnschicht-Photovoltaik-Folie. Auch dieses ist eine richtige und wichtige Fragestellung, die mit dem Bau des Gebäudes thematisiert wurde. Reduzierter Materialansatz um Ressourcen zu schonen bei gleichzeitig maximaler Effizienz. Deswegen war auch die Beweglichkeit des Systems vonnöten.

Der Smart-Technology-Ansatz stellt ebenfalls wichtige Fragen:

- Die effektive Eigennutzung und Zwischenspeicherung von Energie
- Systemische Vernetzung aller haustechnischen Parameter
- Visualisierung der technischen Vorgänge für den Nutzer und Einbindung des Nutzers als entscheidende Variable auf dem Weg zu einer optimalen Nutzung der für das Haus notwendigen Energie

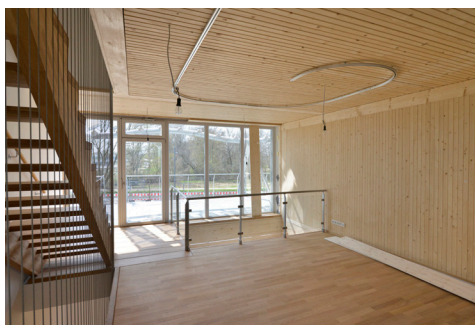


Abb. 25: Innenraum im 1. OG



Abb. 26: Nordansicht, Juni 2013

Auch architektonisch stellt das Haus die richtigen Fragen und thematisiert diese anschaulich: Der energetische Produktionsprozess ist Teil der architektonischen Gestaltung des Hauses und verändert fortlaufend sein Erscheinungsbild. Der Produktionsprozess, die Autarkiebestrebung in der Versorgung, wird für alle sichtbar. Komplexe technische Vorgänge geschehen nicht im Verborgenen sondern werden täglich präsentiert. Durch das von der TU Braunschweig vorgenommene Monitoring der Verbrauchsdaten des Hauses wird sich zeigen, ob die gesteckten Ziele erreicht werden können.

Im Hinblick auf die eingesetzten Materialien hat in der Umsetzung vor allem die Dünnschicht-Photovoltaik enttäuscht. Das Projektteam ist bei seiner Konzeption von einem minimalistischen Materialansatz bei gleichzeitig hoher Effizienz ausgegangen. Die Industrie hat an entsprechenden Lösungen gearbeitet, mit der Zunahme der Krise der Photovoltaik-Industrie gab es keine Möglichkeiten mehr mit einem Industriepartner neue Lösungen für die Applikationen der PV-Elemente auf den Membranen zu entwickeln. So musste auf ein standardisiertes Bahnenprodukt zurückgegriffen werden.

Leider scheiterte auch das Thema der einfachen Direktnutzung des PV-Stroms für die Beleuchtung des Hauses an unzureichenden Lösungen der Industrie. Verfügbar sind zwar unterschiedlichste Lösungen für LED-Leuchtmittel, nicht aber der systematische Einsatz von LEDs in Verbindung



Abb. 27: smart curtains

mit einem durch Photovoltaik gespeisten Niedervoltnetz, was gerade im Neubau ganz neue Perspektiven eröffnen könnte.

Dennoch zeigt das Modellvorhaben sehr konsequent die Durchdringung von Materialwahl, energetischem Konzept, Wohnkonzept und architektonischem Ausdruck. Dieses geschieht nicht nur in der Breite der aufgegriffenen Themen sondern vor allem in der Tiefe ihrer gegenseitigen Vernetzung und Abhängigkeit.



Abb. 28: Südansicht, Mai 2013

Abbildungsnachweis

Titelbild:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 1:	Bernadette Grimmenstein / IBA Hamburg
Abb. 2:	Bernadette Grimmenstein / IBA Hamburg
Abb. 3:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 4:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 5:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 6:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 7:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 8:	IBA Hamburg GmbH
Abb. 9:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 10:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 11:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 12:	Wacker Ingenieure, Birkenfeld
Abb. 13:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 14:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 15:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 16:	Büro Happold, Berlin
Abb. 17:	Büro Happold, Berlin
Abb. 18:	Büro Happold, Berlin
Abb. 19:	IBA Hamburg GmbH
Abb. 20:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 21:	KENNEDY & VIOLICH ARCHITECTURE, Boston
Abb. 22:	Büro Happold, Berlin
Abb. 23:	Büro Happold, Berlin
Abb. 24:	Büro Happold, Berlin
Abb. 25:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 26:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 27:	Martin Kunze / IBA Hamburg
Abb. 28:	Martin Kunze / IBA Hamburg