



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

FORSCHUNGSINITIATIVE
Zukunft BAU

Zukunft bauen

Forschungsinitiative Zukunft Bau 2014



Forschungsinitiative Zukunft Bau

Kontakt

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Referat II3 · Forschung im Bauwesen, Gebäudemanagement
Kurt Speelmanns
Deichmanns Aue 31-37 · 53179 Bonn
Telefon +49 228 99401 2730
E-Mail: kurt.speelmanns@bbr.bund.de

www.forschungsinitiative.de

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)
Referat B I 5 · 11055 Berlin
E-Mail: BI5@bmub.bund.de · www.bmub.bund.de

Redaktion

BMUB, Referat B I 5
Ministerialrat Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner,
Dipl.-Ing. (FH) Andrea Pfeil

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR),
Referat II3 · Deichmanns Aue 31-37 · 53179 Bonn
Dipl.-Ing. Architekt Guido Hagel

Titelbild

Institut für Baukonstruktion, TU Dresden

Gestaltung

KOMBO MedienDesign Rainer Geyer, Siegburg

Druck

DCM Druck Center Meckenheim GmbH

Bildnachweis

Siehe Seite 106

Stand

Mai 2014

Auflage

3 000 Exemplare

Bestellungen der Publikation

BBSR, Referat II3
E-Mail: zb@bbr.bund.de

Hinweis

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Gedruckt auf Recyclingpapier.

Nachhaltiges, klima- und ressourcenschonendes Bauen voranbringen!



Dr. Barbara Hendricks

Mit der Neubildung der Bundesregierung im Dezember 2013 wurde der Bereich des Bauwesens in ein gemeinsames Bundesressort für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit integriert. Das sehe ich als große Chance, die Themen Umwelt-, Klima- und Naturschutz noch stärker mit den Zielen modernen Bauens zu verknüpfen. Immerhin sollen z. B. die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 % reduziert werden. Der Gebäudebereich ist hier ein wichtiger, noch stärker zu aktivierender Sektor. Aber auch Themen wie Ressourceneffizienz, Verbesserung des stofflichen Recyclings oder das barrierefreie Bauen sind wichtige Themen, die sich auch in den Nachhaltigkeitskriterien meines Hauses wiederfinden. Dabei ist Nachhaltigkeit nicht nur eine ökologische Frage, sondern wird wesentlich auch durch ökonomische und sozio-kulturelle Aspekte geprägt. Bezahlbares modernes Wohnen und geringe Lebenszykluskosten sind uns genauso wichtige Anliegen wie hochwertige Baukultur und Komfort.

Der überwiegend mittelständisch geprägte Bau- und Immobiliensektor zählt zwar zu den größten Wirtschaftszweigen in Deutschland. Er muss aber unterstützt werden, um Innovationen zügiger in die Praxis umsetzen zu können. Nur so sind wichtige gesellschaftliche Ziele auch zu erreichen.

Die „Forschungsinitiative Zukunft Bau“ spielt dabei eine gewichtige Rolle. Mit diesem Programm werden nicht nur politikbegleitende Untersuchungen in Auftrag gegeben, sondern auch gemeinsam mit der Bau- und Immobilienwirtschaft getragene Forschungsaufgaben unterstützt. Seit dem achtjährigen Bestehen der Forschungsinitiative sind insgesamt 750 Forschungsprojekte gefördert und dafür 83 Mio. € Bundesmittel eingesetzt worden. Allein im letzten Jahr konnten in der Antragsforschung mit über 6 Mio. € 40 neue Forschungsvorhaben unterstützt werden.

Auch im neuen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) werden wir diese Forschungsinitiative fortführen. Die Förderliste für das aktuelle Programmjahr ist mit über 50 Themen gut gefüllt und wird durch den zuständigen Projektträger, dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), mit Freigabe des gesetzlichen Haushalts umgehend umgesetzt.

Die Forschungsergebnisse und Projekte, die im aktuellen Magazin der Forschungsinitiative vorgestellt werden, zeigen, dass wir insgesamt auf dem richtigen Weg sind. Insbesondere Fragen des energieeffizienten und klimagerechten Bauens tragen mehr und mehr die technologische Entwicklung des Bauwesens. Erfreulich ist in diesem Zusammenhang, dass das Netzwerk der „Effizienzhäuser Plus“ wie geplant wächst und wir diese Modellgebäude intensiv untersuchen können. So wird es uns gelingen, das große gesellschaftliche Projekt Energiewende mit einem entscheidenden Beitrag zu bereichern. Ich wünsche allen Lesern interessante Erkenntnisse bei der Lektüre dieser Broschüre und allen Anwendern viel Mut und Kraft bei der Umsetzung der neuesten Forschungsergebnisse.



Dr. Barbara Hendricks

Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Inhalt

Innovationen für Nachhaltiges Bauen.....	6
eLCA – das Gebäude-Ökobilanzierungstool für jeden Planer	12
Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen	16
„Forschung braucht Förderung“ – Interview	21
Die Forschungsinitiative Zukunft Bau – aus Vision wird Wirklichkeit.....	24
Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte-Anwendungen-Innovationen	26
Modulationsmöglichkeiten der Gebäudeaußenhaut mittels wärmesensitiver Aufnahmeverfahren	30
„Die Steigerung der Sanierungsquote ist das zentrale Thema“ – Interview	34
Klimagerechter Stadtumbau historischer Quartiere.....	38
Aktiv-Stadthaus – Das erste innerstädtische Plus-Energie- Mehrfamilienhaus	42
Marktübersicht Hausbatterien.....	46
Batteriekapazitätstool.....	48
Gebäude als Stromspeicher.....	52
Das Plusenergiehaus in einem virtuellen Kraftwerk.....	56

DysCrete – Sonnenstrom aus Beton.....	60
Opakes Fassadenpaneel mit Photovoltaikintegration.....	62
Gebäudeautomation – Potenziale und Grenzen – Interview	66
Energieeffizientes Mehrscheiben-Isolierglas – weniger Gewicht ist mehr.....	70
Hochwärmedämmende monolithische Sichtbetonaußenteile aus Architekturbeton.....	74
Entwicklung dünnwandiger Konstruktionselemente aus UHPC und geeigneter Verbindungstechniken	79
Marktgerechte Akustikputzsysteme mit hoher thermischer Effizienz.....	82
Praxis: Krankenhausbau	86
Von der Idee zum Forschungsprojekt – erfolgreiche Antragsvorbereitung.....	90
Leitfaden Barrierefreies Bauen	92
Installieren multipler Häuser in der Modellregion Stettiner Haff – Begleitforschung.....	96
Mazeration historischer Dachkonstruktionen.....	98
3-D-Kartierung von Verformungen und Schäden an Bauwerken	102
Abbildungsverzeichnis.....	106

Innovationen für Nachhaltiges Bauen

Ministerialrat Hans-Dieter Hegner, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Die Bau-, Wohnungs- und Immobilienwirtschaft steht in vielfältigen Wechselbeziehungen mit Maßnahmen und Zielen der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung. Hervorzuheben sind insbesondere der Klimaschutz und die Verbesserung der Energieeffizienz, die Verbesserung der Energie- und Rohstoffproduktivität, die Senkung der Flächeninanspruchnahme und die Gestaltung des demografischen Wandels. Der Gebäudebereich nimmt deshalb in der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung eine zentrale Rolle ein.

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

Nachhaltiges Bauen zielt auf eine ganzheitliche Qualitätsverbesserung des Bauens über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks ab: von den ersten Planungsschritten über die bauliche Realisierung bis hinein in die Zeit der eigentlichen Nutzung. Die Bewertung des Beitrags von Bauwerken für eine nachhaltige Entwicklung beziehen umfassende ökologische, ökonomische und sozio-kulturelle Aspekte ein. Dabei ist klar, dass Nachhaltigkeit keine Floskel bleiben darf, sondern sich real messen lassen muss. Die Staatssekretärsrunde für Nachhaltigkeit beim Bundeskanzleramt hatte deshalb schon im Dezember 2010 einen Maßnahmenplan für die Bundesregierung vorgelegt. An erster Stelle stehen dabei die nachhaltige Beschaffung von Immobilien und die damit im Zusammenhang stehende Einführung eines Bewertungs- und Zertifizierungssystems für den Bundesbau, das sich überwiegend auf quantitative Bewertungen und

Beschreibungen stützt. Dieses „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ (BNB) wurde als freiwilliges Marktinstrument erarbeitet. Die Bundesregierung hat es mit dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ verbindlich für die Bundesbauverwaltung umgesetzt. Natürlich kann das System auch von privaten Anbietern genutzt werden. Auch dazu wurden Regeln veröffentlicht. Der Bund konzentriert sich auf Gebäudekategorien, die von erheblichem öffentlichem Interesse sind. In Arbeitsgruppen gemeinsam mit den Trägern öffentlicher Belange wurde das System nicht nur wissenschaftlich erarbeitet sondern auch breit diskutiert und erprobt.

Das Bewertungssystem des Bundes folgt einem modularen Ansatz, der die Ziele des Leitfadens eins zu eins abbildet. Neben den Grundsätzen zum nachhaltigen Bauen (Teil A des Leitfadens) wurden drei Bewertungsmodule konzipiert, die für unterschiedliche Gebäudekategorien spezifiziert werden können:

- Modul Neubau (Teil B)
- Modul Nutzen und Betreiben (Teil C)
- Modul Komplettmodernisierung (Teil D), (Abb. 2)

Die Module wurden zuerst für die Gebäudekategorie Büro- und Verwaltungsgebäude erarbeitet. Andere Systemvarianten wurden dann auf dieser Grundlage entwickelt.

Der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundes, der bereits im Jahre 2012 für alle großen Neubaumaßnahmen (Investitionen über 2 Mio. €) verbindlich eingeführt wurde, wurde im Jahr 2013 um die Teile C und D erweitert. Mit der aktuellen Leitfadenversion werden damit auch Bestandsmaßnahmen bedient. In der Nutzung sind bisher die Systemvarianten für Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude und Außenanlagen. Die Systemvarianten Laborgebäude und überbetriebliche Ausbildungsstätten befinden sich gerade in der Fertigstellung. Das Bewertungssystem gliedert sich in eine genaue Anzahl von Kriterien,



Abbildung 1: Leitfaden Nachhaltiges Bauen

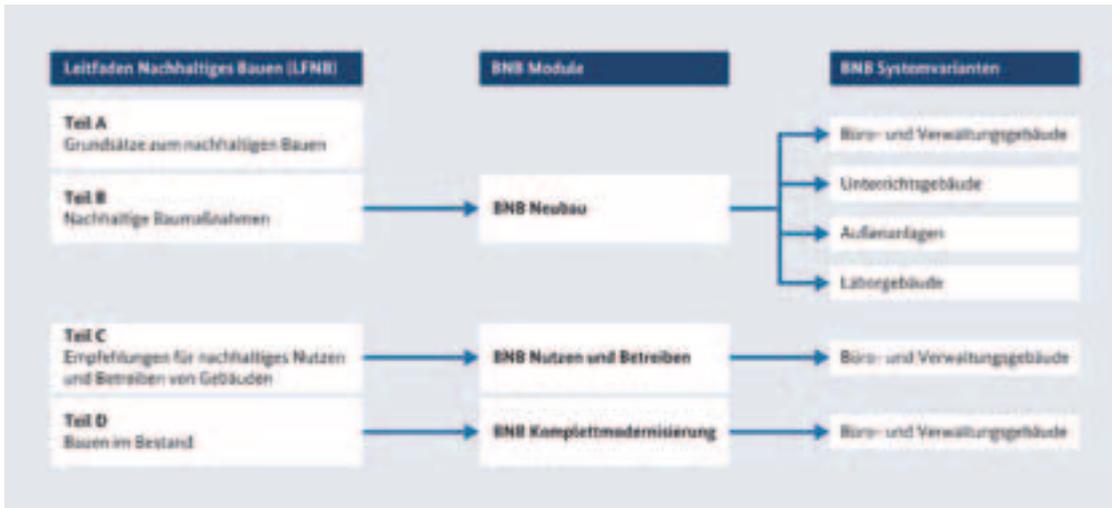


Abbildung 2: Übersicht über Module und Systemvarianten des „Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen“ (BNB)

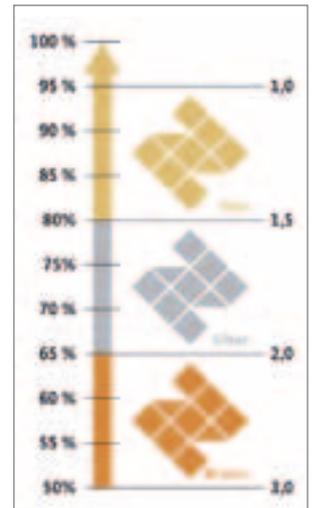


Abbildung 3: BNB-Bewertungsskala

für die Messmethoden und Benchmarks in sog. Kriterien-Steckbriefen klar beschrieben sind. Ziel war es, alle bauordnungsrechtlichen Anforderungen und sonstigen öffentlich-rechtlichen Regelungen einzubeziehen. Im ökologischen Bereich wird außer den im Zuge der Planung ohnehin abzuliefernden Nachweisen eine Ökobilanz verlangt. Bei den ökonomischen Qualitäten sind nicht nur die Investitionskosten, sondern die Lebenszykluskosten zu ermitteln. Die zusätzlichen Anforderungen an Nachweispflichten sind eher gering, wenn im normalen Planungsprozess bereits übergreifend Überlegungen und Dokumentationen zur Nachhaltigkeit erfolgen.

Die Ausrichtung der Planung auf Übererfüllung der Mindestanforderungen und prozessbegleitende Qualitätskontrolle ist das eigentliche Merkmal einer Nachhaltigkeitszertifizierung. In der Zusammenfassung der

Bewertungsergebnisse wird eine Gebäudenote vergeben und die Standortmerkmale werden beschrieben. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fordert die Erfüllung des sog. Silber-Standards (65 % Erfüllungsgrad) bezüglich der Nachhaltigkeit und die Unterschreitung der Anforderungen an die Energieeinsparverordnung von bis zu 30 %. Das normale Baugeschehen in Deutschland liegt bei einem Erfüllungsgrad von bis zu 50 %. Der Bund als großer öffentlicher Bauherr will hier Vorbildwirkung entfalten und hofft auf eine möglichst breite Anwendung des „Leitfadens Nachhaltiges Bauen“ auch durch andere große Marktteilnehmer, wie Immobiliengesellschaften, andere öffentliche Bauherren wie Länder, Kommune und private Bauherren.

Die im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau entwickelten Steckbriefe, Methoden, Datenbanken sowie Arbeitshilfen tragen dazu bei, dass insbesondere die öffentliche Hand einen ausgewogenen Kriterienkatalog für zukunftsfähiges Bauen erhält und anwenden kann.

Nachhaltige Unterrichtsgebäude

Auf einer Fachveranstaltung des BMUB anlässlich der internationalen Baufachmesse bautec 2014 in Berlin wurden Anwendungsbeispiele im Bereich nachhaltiger Bildungsgebäude vorgestellt und besondere Qualitätsmerkmale gemeinsam mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt mit Fachleuten diskutiert. Hierbei wurde auch das Bewertungssystem „Nachhaltige Unterrichtsgebäude“ vorgestellt, das im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau erarbeitet wurde und insbesondere auch auf gemeinsame Arbeitsergebnisse von Bund und Ländern beruht.

In der als Arbeitshilfe zu verstehende gleichnamigen Informationsbroschüre wird das Nachhaltigkeitsbewertungs-



Abbildung 4: Bundesministerin Dr. Babara Hendricks auf der Fachveranstaltung zu nachhaltigen Bildungsbauten des BMUB anlässlich der internationalen Baufachmesse bautec 2014



Abbildung 5: Grundschule in Hohen-Neuendorf – ausgezeichnet mit dem BNB-Siegel in Gold



Abbildung 6: Foyer der Schule in Hohen-Neuendorf: hohe visuelle Qualität

system nicht nur theoretisch hergeleitet, sondern auch anhand von praktischen Erprobungen an unterschiedlichen Bildungsgebäuden erläutert. Ein besonders hervorzuhebendes Projekt ist eine Grundschule der Gemeinde Hohen-Neuendorf bei Berlin, die im Plusenergiestandard errichtet wurde. Das heißt, diese Schule produziert über ein ganzes Jahr gesehen mehr Energie, als für ihren Betrieb notwendig wäre. Grundlage der Planungsbegleitung und abschließenden Untersuchung der Schule war das BNB-System der Bundesregierung. Im Gesamtergebnis konnte ein Gold-Zertifikat ausgestellt werden, was nicht zuletzt darauf zurückzuführen ist, dass allein 24 der 40 Kriterien deutlich im besten Bereich der Bewertung lagen. Das Gebäude überzeugt insbesondere durch das architektonische Konzept, das eine gute öffentliche Partizipation und eine flexible Nutzung mit modernen Unterrichtsmethoden

zulässt. Die öffentliche Nutzung von Aula, Sporthalle und Bibliothek ist gegeben. Die Zugänglichkeit ist gut gelöst, da alle Funktionen der öffentlichen Bereiche an den Eingängen liegen. Die Umnutzbarkeit des Gebäudes ist hoch, ebenso die Innenraumqualität, aber auch die Barrierefreiheit. Das Architekturkonzept geht von sog. Heimatbereichen aus, d. h. alle notwendigen Funktionen sind in einer Nutzungseinheit vorhanden: das Klassenzimmer, ein Raum für Gruppenarbeit, Garderobe, Sanitärbereich und Flurerweiterung. Damit sind unterschiedliche Unterrichtsformen möglich. In Bezug auf die Nachhaltigkeit sind das positive Punkte für:

- Drittverwendungsfähigkeit
- Vandalismusprävention
- Innenraumqualität
- Aneignung durch die Nutzer



Abbildung 7: Erweiterungsbau des Umweltbundesamtes in Dessau, Perspektive



Abbildung 8: Erweiterungsbau des Umweltbundesamtes in Dessau, Modell

Besonders wichtig in der Nachhaltigkeitsbewertung ist der thermische Komfort. Die Gebäudehülle entspricht dem Passivhausniveau. Die Fenster sind alle mit Dreischeibenverglasung ausgestattet. Der Eintrag externer Lasten wird durch den Sonnenschutz wirksam verringert. Die thermischen Massen der Konstruktion werden für die Pufferung der Lastspitzen im Sommer genutzt und über die automatische Nachtlüftung abgeführt. Die Beheizung erfolgt über einen Heizkessel und ein Blockheizkraftwerk mit Pellets. Durch eine Photovoltaikanlage und das BHKW wird Strom erzeugt, der selbst genutzt und ins Netz eingespeist wird. Der Primärenergiebedarf wird dadurch erheblich gesenkt. Das wirkt sich günstig auf die Ökobilanz und die Betriebskosten aus.

Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass eine Halbierung der (negativen) Umweltwirkung in der Gesamtbilanz bei Betrachtung aller Indikatoren gelungen ist. Die CO₂-Emissionen für Herstellung und Betrieb wurden um 77 % gesenkt. Den ca. 10 % höheren Baukosten gegenüber der Standardvariante stehen 21 % niedrigere Lebenszykluskosten und 6 % niedrigere Betriebskosten gegenüber. Hier war der Bauherr an einer langfristigen und damit nachhaltigen Entwicklung interessiert.

Nachhaltiges Bauen im Wettbewerbsverfahren

Ein besonders wichtiges Anliegen der jüngsten Zeit war die Aufgabe, Nachhaltigkeitskriterien bereits in frühen Planungsstufen zu etablieren. Eine besondere Herausforderung sind dabei Planungswettbewerbe. Einzelne Betrachtungsfelder des nachhaltigen Bauens werden seit jeher in Wettbewerbsverfahren berücksichtigt. Hierzu zählen bspw. funktionale Anforderungen, wie die Erschließung und die Barrierefreiheit, oder Wirtschaftlichkeitsaspekte, wie die Errichtungskosten oder die Flächeneffizienz. Der ganzheitliche Ansatz des nachhaltigen Bauens nach den Bewertungssystemen BNB im Lebenszyklus wurde bisher

im Regelfalle jedoch nicht berücksichtigt. Deshalb war zu klären, wie sich der Nachhaltigkeitsansatz in das etablierte Wettbewerbswesen integrieren lässt. Dabei waren Fragen zu beantworten, wie:

- Welche Nachhaltigkeitskriterien sind phasengerecht bzw. wettbewerbsrelevant?
- Wie und in welche Detailtiefe werden diese Kriterien überprüft?
- Wie werden die Vorprüfergebnisse für das Preisgericht zusammengefasst und dargestellt?
- Wie müssen Wettbewerbsverfahren strukturiert und durchgeführt werden, um Nachhaltigkeitsanforderungen zu integrieren?

Im Rahmen einer Forschungsarbeit wurden dafür konkrete Empfehlungen in Form der Broschüre „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen Planungswettbewerben“ (SNAP-Broschüre) erarbeitet. Um die Nachhaltigkeitsmethodik in die bewährte Kultur der Wettbewerbsverfahren zu integrieren, wurde ein Kern von 15 Nachhaltigkeitskriterien herausgearbeitet, die Gestalt prägend und vorentwurfsrelevant sind und im Rahmen von Wettbewerben mit angemessenem Aufwand seitens der Planer darzustellen und seitens der Vorprüfer zu beurteilen sind. Wie in der Bauforschung üblich, wurde vor Veröffentlichung der Forschungsergebnisse bzw. der o.g. Broschüre ein Praxistest durchgeführt. Testprojekte waren dabei der Neubau des Bundesministeriums für Bildung und Forschung am Kapellenufer in Berlin sowie der geplante Erweiterungsbau des Umweltbundsamtes in Dessau. Insbesondere das Gebäude in Dessau hatte mit hohen Anforderungen zu kämpfen. Hier sollte ein Null-Energiehaus konzipiert werden und das Qualitätsniveau BNB-Gold erreicht werden. Im Ergebnis wurde ein Beitrag als Wettbewerbssieger ausgezeichnet, der umfangreiche Einzelaspekte des nachhaltigen Bauens in einem ganzheitlichen Konzept in hoher Qualität bündelt.



Abbildung 9: Bundesministerin Dr. Babara Hendricks auf dem Stand der Forschungsinitiative Zukunft Bau des BMUB auf der bautec 2014 in Berlin

Digitale Anwendungshilfen

Derzeit liegt der Fokus der Forschungsansätze beim nachhaltigen Bauen in der Qualitätssicherung und auf der Bereitstellung elektronischer Arbeitshilfen sowie der Fortschreibung der Datenbanken im Kontext mit der europäischen Normung. Damit soll gewährleistet werden, dass sowohl die Bundesbauverwaltung als auch alle anderen öffentlichen Hände und private Anbieter die Systeme für nachhaltiges Planen und Bauen zügig und mit angemessenem Aufwand umsetzen können. Instrumente wie „eLCA“ und „eBNB“ verknüpfen bestehende Datenbanksysteme mit dem Nachhaltigkeitsbewertungssystem und geben schnell Antworten im Planungsprozess. Das BMUB wird auf seinem weiterentwickelten Internetportal (www.nachhaltigesbauen.de) die notwendigen Werkzeuge schnell zur Verfügung stellen und über Neuentwicklungen informieren.

Unterstützung des nachhaltigen Bauens der Privatwirtschaft

Auch private Nachhaltigkeits-Bewertungssysteme, wie das der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. (DGNB), die auch weitergehende Gebäudekategorien ansprechen, profitieren von den Ergebnissen der Forschungsinitiative Zukunft Bau. Einerseits können private Systeme

in einem formalen Verfahren vom BMUB offiziell anerkannt werden. Andererseits nutzen die privaten Systeme insbesondere methodische Entwicklungen und Datenbanken. So sei darauf verwiesen, dass die Entwicklungen der Systemvariante Laborbauten gemeinsam von BMUB und DGNB erfolgt. Darüber hinaus ist die Fortentwicklung der Daten für die Ökobilanzierung von Bauprodukten (nationale Datenbank „Ökobau.dat“), Daten für die Nutzungsdauer von Bauteilen oder Bauprodukt- und Gefahrstoffinformationssysteme (z. B. das von BMUB und der bayerischen Architektenkammer zur Verfügung gestellte WECOBIS) ein ständiges Anliegen der Bauforschung.

Nachhaltigkeitsbewertungssysteme im Wohnungsbau haben sich mithilfe von Entwicklungen im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau ebenfalls etabliert. Zur bundesweiten Umsetzung haben die Verbände der Wohnungs- und Immobilienwirtschaft den Verein zur Förderung der Nachhaltigkeit im Wohnungsbau gegründet (siehe auch www.nawoh.de). Das dort bisher etablierte System für den Neubau im Mehrfamilienhaussektor soll noch 2014 um ein System im Kleinhausbau ergänzt werden.

Die Forschungsinitiative Zukunft Bau hilft, Planungen und Ausführungen von Gebäuden zukunftssicherer zu machen. Sie kann so einen Zukunftsmarkt mitgestalten. ■

eLCA – das Gebäude-Öko-bilanzierungstool für jeden Planer

Stephan Rössig, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Für die meisten Planer ist die Ökobilanzierung von Gebäuden ein neues Thema. Mit dem Bilanzierungswerkzeug eLCA kann die ökologische Qualität eines Bauwerks auf einfache Weise nachgewiesen werden. Es steht ab Sommer 2014 kostenfrei zur Nutzung im Internet.

Ziel des nachhaltigen Bauens ist der Schutz allgemeiner Güter, wie Umwelt, Ressourcen, Gesundheit, Kultur und Kapital. Aus diesen leiten sich die klassischen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und soziokulturelle Aspekte – ab, an denen auch die Qualität eines Gebäudes gemessen werden muss. Darüber hinaus sind technische Qualitäten sowie die Prozessqualität zu betrachten, die als Querschnittsqualitäten Einfluss auf alle Teilaspekte der Nachhaltigkeit haben.

Im Zuge der wachsenden Akzeptanz der Zertifizierungssysteme des nachhaltigen Bauens kommt der ökologischen und gesundheitsrelevanten Bewertung von Gebäuden und einer damit verbundenen Baustoffauswahl eine immer größere Bedeutung zu. Da Gebäude über sehr lange Zeiträume genutzt werden, kann erst die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus Aufschluss über die tatsächliche Qualität eines Gebäudes geben.

Die Lebensphasen eines Bauwerks wie Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betrieb müssen im Hinblick auf die unterschiedlichen Aspekte der Nachhaltigkeit analysiert und in ihrem Zusammenwirken optimiert werden. Ziel ist das Erreichen einer hohen Gebäudequalität mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Umwelt.

Das Instrument zur quantitativen Berechnung und einer darauf basierenden Bewertung von Umweltwirkungen im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) ist die Ökobilanz auf Gebäudeebene.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Um die Erstellung einer Ökobilanz zu erleichtern und zu vereinheitlichen, wurde das einfach zu bedienende Ökobilanzierungstool für Gebäude eLCA entwickelt. Es unterstützt den Anwender bei der Realisierung dieser komplexen Anforderungen über den gesamten Planungsprozess.

eLCA, Ökobilanzierungstool für Gebäude

Ökobilanz

Die Ökobilanz für Gebäude quantifiziert und qualifiziert die Umweltwirkungen, die das Errichten und Nutzen eines Gebäudes über den Bilanzierungszeitraum von 50 Jahren verursachen. Zu berücksichtigen sind dabei der Einsatz der für den Bau verwendeten Baustoffe mit den dazugehörigen Massen sowie die in der Nutzung anfallenden Energiemengen bezogen auf den jeweiligen Energieträger. Hierbei sind diese Prozesse über den gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Instandhaltung, Nutzung und Entsorgung) in Abhängigkeit zur Nutzungsdauer abzubilden.

Baustoffdaten

Grundlage für die Berechnung einer Gebäudeökobilanz bilden die Daten der ÖKO-BAU.DAT. Mit der deutschen Baustoffdatenbank ÖKOBAU.DAT steht allen Akteuren eine vereinheitlichte Datenbasis für ökologische Bewertungen von Bauwerken zur Verfügung. In über 1 000 Datenblättern werden Baumaterialien sowie Bau- und Transportprozesse in ihren ökologischen Wirkungen beschrieben. Die ÖKOBAU.DAT enthält sowohl generische Datensätze als auch firmen- oder verbandsspezifische Datensätze aus Umweltproduktdeklarationen.

Im Rahmen der Ökobilanzierungen auf Gebäudeebene müssen üblicherweise die Datenblätter eines Baustoffes über den Lebenszyklus verknüpft werden, d. h., es sind die für einen Baustoff entsprechenden Datenblätter für Herstellung, Nutzung und Entsorgung zu verknüpfen und unterschiedliche Nutzungsdauern zu berücksichtigen. In eLCA liegen sämtliche Baustoffdatensätze bereits komplett vorkonfiguriert vor. Hiermit wird eine sinnvolle und einheitliche Vorgehensweise vorgegeben und dem Anwender werden die aufwendigen Prozesse zur Verknüpfung von Datensätzen erspart.

Projektname ES Bau +EW Bau +Ausführungsplanung + Bauausführung Varianten ES Bau Auswählen

Projektdaten Baukonstruktion Auswertungen

▼ Bauwerk

- 310 Baugrube
- 320 Gründung (0/1)
- 330 Außenwände (5/16)
- 331 Tragende Außenwände (5)
- 332 Nichttragende Außenwände
- 333 Außenzulzen
- 334 Außentüren und -fenster (1)
- 335 Außenwandbekleidungen, außen (5)
- 336 Außenwandbekleidungen, innen (5)
- 337 Elementierte Außenwände
- 338 Sonnenschutz
- 339 Außenwände, sonstiges
- 340 Innenwände (1/3)
- 350 Decken (1/2)
- 360 Dächer (0/2)
- 370 Baukonstruktive Einbauten
- 390 Sonst. Maßnahmen f. Baukonstr.

▼ Haustechnik

- 410 Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen (1)
- 420 Wärmeversorgungsanlagen (1 / 3)
- 430 Lufttechnische Anlagen
- 440 Starkstromanlagen
- 450 Fernmelde- u. Informationst. Anl.
- 460 Förderanlagen
- 470 Nutzungsspezifische Anlagen
- 480 Gebäudeautomation
- 490 Sonst. Maßn. f. Techn. Anlagen

330 Außenwände BAUWERK - BAUKONSTRUKTIONEN

Fassade_Ost [1835] BAUTEIL

Allgemein

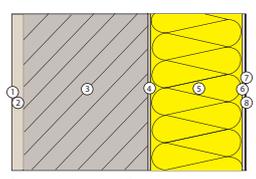
Name * Attribute

OZ U-Wert R'w

Beschreibung BNB 4.1.4

Rückbau Trennung Verwertung

Verbaute Menge * Bezugsgröße *



- ① Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest
- ② Gipsputz (Gips), 20,00 mm
- ③ Mauerziegel Durchschnitt, 240,00 mm
- ④ Armierung (Kunstharzspachtel), 2,00 mm
- ⑤ Dämmstoff, 100,00 mm
- ⑥ Armierung (Kunstharzspachtel), 4,00 mm
- ⑦ Kunstharzputz - VDL, 2,00 mm
- ⑧ Isolierglas 2-Scheiben, 10,00 mm

Verknüpfte Bauteilkomponenten

Bauteilkomponente (opak)	Verbaute Menge	DIN 276
1. Gips-Putz/Anstrich	<input type="text" value="350"/> m²	336 Außenwandbekleidungen, innen
2. Mauerziegel 24 cm	<input type="text" value="350"/> m²	331 Tragende Außenwände
3. WDVS	<input type="text" value="350"/> m²	335 Außenwandbekleidungen, außen

Bauteilkomponente (nicht-opak)

1. Fenster_Isolierglas	<input type="text" value="50"/> m²	334 Außentüren und -fenster
--	------------------------------------	-----------------------------

▼ Gesamteinsatz

Lebenszyklus	PEI n. em.	PEI em.	ADP	EP	ODP	POCP	GWP	AP
--------------	------------	---------	-----	----	-----	------	-----	----

Der Bauteileditor, die Kernkomponente der Bauteilmodellierung

Projektname ES Bau +EW Bau +Ausführungsplanung + Bauausführung Varianten ES Bau Auswählen

Projektdaten Baukonstruktion Auswertungen

Prognose, Gesamtwerte

Wärmeversorgungsanlagen: 33 Jahre, 1.2000 m²

Wärme: kWh

Energieerzeuger

Erzeugung	Energieerzeugung in kWh/a					Gesamt
	Heizung	Warmwasser	Belastung	Lüftung	Kühlung	
► Heizwärme (20) 120 kW analog ENEC	<input type="text" value="10.000"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Lücken 10.000
► Heizwärme (20) 120 kW analog ENEC	<input type="text"/>	<input type="text" value="4.500"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Lücken 4.500
► Belastung (Wärme) 2 kW Sturz	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="2.500"/>	<input type="text"/>	Lücken 2.500

Zusammenfassung

Das Prognosemodul ermöglicht erst grobe Abschätzungen zu einer frühen Projektphase

Wirkungs-kategorie	Zielwert (Schwellenwert)	Beste Prognose	Mittlere Prognose	Schlechteste Prognose
PEI n. em.	35	100	100	100
EP	35	100	100	100
ODP	35	100	100	100
POCP	35	100	100	30
GWP	35	100	100	100
AP	35	100	100	100

Das Prognosemodul ermöglicht erst grobe Abschätzungen zu einer frühen Projektphase

Im eLCA-Bilanzierungstool können alle ÖKOBAU.DAT-Versionen (2009, 2011, 2013) als Berechnungsgrundlage ausgewählt werden, da die Daten direkt mit dem Tool verknüpft sind. Mit der ÖKOBAU.DAT 2013 liegen bereits mit der DIN EN 15804 konforme Ökobilanzdaten vor.

Projekt

Im Rahmen von eLCA kann jeder Nutzer beliebig viele Projekte anlegen und bearbeiten. Alle für die Ökobilanzierung eines Gebäudes benötigten Grunddaten werden abgefragt und übersichtlich zusammengestellt. Neben den relevanten Flächen bzw. Mengen gliedert sich jedes Projekt in den Bereich der Baukonstruktion und die für den Betrieb des Gebäudes benötigten Energiemengen. Um dem Anwender eine langwierige Einarbeitungszeit zu ersparen, orientiert sich das Tool an etablierten Strukturen aus dem Planungsprozess sowie an den im BNB geforderten Grundlagen. So erfolgt die Bauteilerfassung gemäß der Gliederung der DIN 276 und die Erfassung der Energiemengen erfolgt analog zum Energieausweis. Dies ermöglicht bereits in einer sehr frühen Leistungsphase, auf Basis weniger Eingabewerte erste grobe Abschätzungen zur Einordnung des Projektes hinsichtlich seiner globalen Umweltwirkungen zu generieren. Eine sich über den Projektfortschritt verdichtende Datenlage lässt sich über das Anlegen von zusätzlichen Projektphasen abbilden. Bereits erfasste Daten können komfortabel übernommen und weiterbearbeitet werden. Innerhalb der Projektphasen können wiederum beliebig viele Varianten angelegt, bearbeitet und miteinander verglichen werden. Dies ermöglicht es, Projekte ohne großen Aufwand über den gesamten Projektverlauf vollständig zu dokumentieren.

Bauteile modellieren

Die Kernkomponente von eLCA bildet der sogenannte Bauteileditor. Mit dem Bauteileditor kann der Anwender über die Zuweisung des Materials sowie der Materialstärke Bauteilschichten erzeugen und zu einem Bauteil zusammenfassen. Alle für die Berechnung benötigten Parameter (Parameter der Materialdatensätze über den kompletten Lebenszyklus verknüpft, Nutzungsdauer) werden automatisch dem Bauteil, wie in der Baustoffkonfiguration hinterlegt, zugeordnet. Zur Kontrolle der Eingabe steht

dem Anwender eine dynamische Grafik zur Verfügung. Diese Grafik bildet das sich in der Bearbeitung befindliche Bauteil mit den dazugehörigen Materialien und Schichtdicken in einem eigenen Kontrollfenster ab. Dieses gewährleistet eine sofortige visuelle Kontrolle und lässt fehlerhafte Eingaben frühzeitig erkennen und direkt beheben.

Bauteilvorlagen

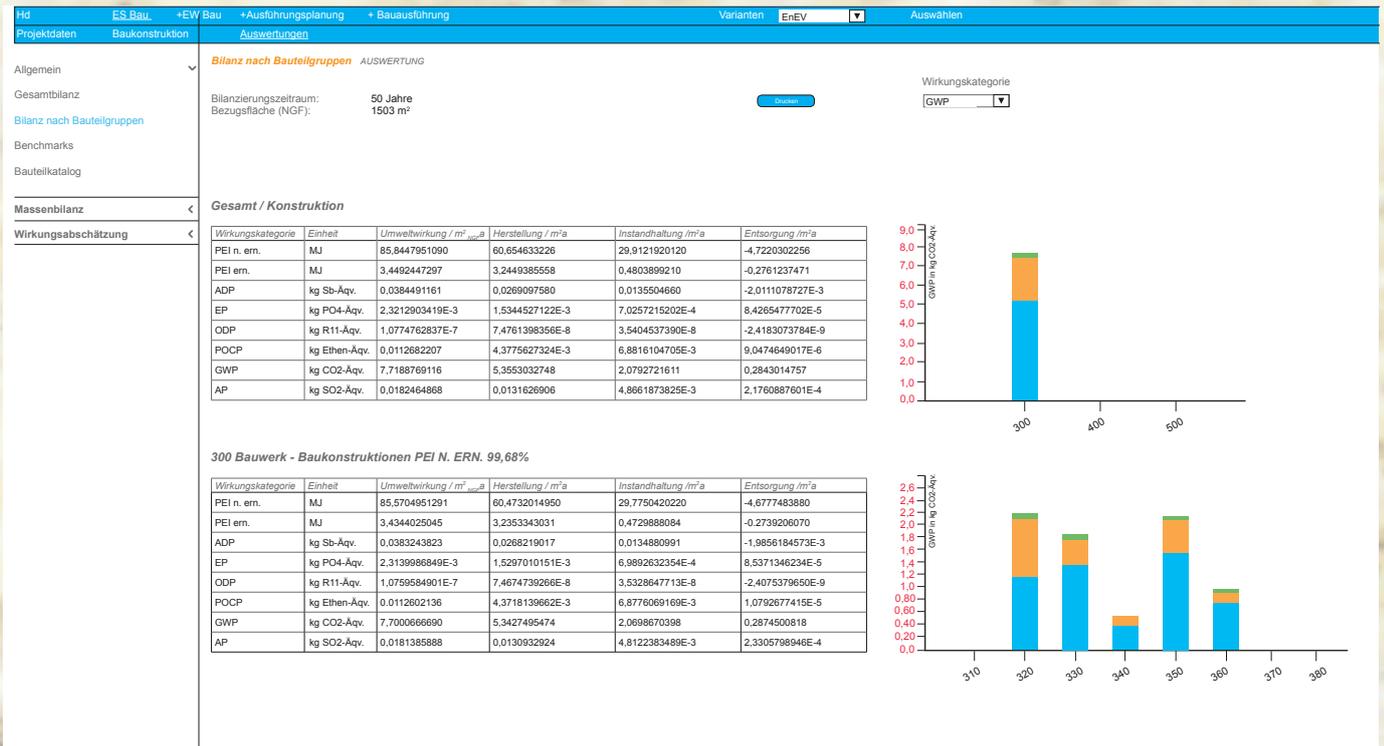
Neben der Möglichkeit, eigene Bauteile komplett neu zu erstellen, hat der Anwender die Möglichkeit, auf Bauteilvorlagen zuzugreifen. eLCA stellt allen Anwendern eine Grundausrüstung von typischen Konstruktionen als Bauteilvorlage zur Verfügung. Die angebotenen Vorlagen lassen sich komfortabel in Projekte einbinden und können an die projektspezifischen Bedürfnisse angepasst werden. Die Verwendung dieser Bauteilvorlagen ermöglicht eine nutzerfreundliche und schnelle Bearbeitung einer vollständigen Ökobilanzierung.

Kataloge

Um dem Anwender den Zugriff auf die vorhandenen Bauteilvorlagen komfortabel und übersichtlich zu gestalten, sind diese in Katalogen organisiert. Kataloge strukturieren Bauteilvorlagen in die Kategorien Gebäudetyp und Bauweise. So ist es z. B. möglich, sich temporär nur alle Bauteilvorlagen, die vorzugsweise im Verwaltungsbau Anwendung finden, anzeigen zu lassen. Zusätzlich zur Gebäudetypologie kann die Suche auch auf eine beliebige Bauweise, wie z. B. Holz- oder Stahlbau, eingeschränkt werden. Diese in eLCA verfügbaren Filter unterstützen den Anwender beim schnellen und gezielten Auffinden von passenden Bauteilvorlagen.

Auswertung

Neben der BNB-konformen Projektbewertung wird eine Vielzahl von praxistauglichen Auswertungen zur Verfügung gestellt. Die Teilergebnisse werden transparent für die Bauteile nach Lebenszyklusphasen gegliedert abgebildet und unterstützen den Anwender bei der Ergebnisanalyse. Das umfangreiche Zahlenmaterial wird strukturiert und übersichtlich in Tabellen dargeboten. Zusätzlich werden sämtliche Zahlenwerte für eine schnelle Interpretation der Ergebnisse in leicht ablesbaren Diagrammen abgebildet.



Auswertung der Baukonstruktion bezogen auf CO₂

Projektergebnisse

Die ökologische Qualität im BNB-System wird über den Nachweis von elf Kriterien sichergestellt und geht zu 22,5 % in die Gesamtbewertung ein. Sieben dieser elf Kriterien aus dem Bereich der „ökologischen Qualität“ werden mit dem Tool in einem Rechengang vollständig BNB-konform erstellt. Die gebäudebezogenen Einzelwerte werden transparent ausgewiesen und den im BNB geforderten Anforderungsniveaus gegenübergestellt. Ziel ist es, für eine positive Bewertung die Materialien so zu wählen, dass die negativen Beiträge zu den Umweltwirkungen möglichst gering ausfallen.

Zurzeit befindet sich eLCA in einer intensiven Testphase. Erste positive Rückmeldungen bestätigen eine sehr gute Qualität und hohe Nutzerfreundlichkeit. Besonders positiv wird die leichte Bedienung und die Transparenz der Berechnungen bewertet. Das Tool soll im Laufe des Jahres 2014 freigeschaltet werden. Nach einer erfolgreichen Registrierung wird das vom BNB anerkannte Ökobilanzierungstool für Gebäude eLCA kostenlos im Internet zur Verfügung stehen. Die praxisorientiert strukturierte Benutzerführung ermöglicht es, einfach und schnell eine gebäudebezogene Ökobilanz zu erstellen. ■

Entwicklung eines Online-Ökobilanzierungstools für den Verwaltungsbau

Forscher/Projektleitung	BEIBOB Medienfreunde Tobias Lode und Fabian Möller GbR
Projektleiter	Stephan Rössig, BBSR, Ref. II-6
Projektlaufzeit	bis November 2013



Abbildung 1: BHV Homme, Paris, bodenfreie Fassadenbegrünung – Kühlung, Luftreinigung, Attraktivität in der städtischen Dichte

Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen

Nicole Pfoser, TU Darmstadt

Mit der Ausrichtung unseres Handelns auf ein gesteigertes Umweltbewusstsein und auf effiziente Umsetzungsstrategien wird das Leitbild des verantwortungsvollen Ressourcenumgangs zunehmend auch zum Motor des Fortschritts in Architektur, Landschaftsarchitektur und Städtebau. Bezogen auf die Entwicklung der Architekturgestalt bedeutet dies für die Zukunft, die Ausprägung der Gebäudehülle interdisziplinär funktional und formal neu zu ordnen. Das Forschungsprojekt hat das Ziel, das Leistungsspektrum der Gebäudebegrünung sichtbar zu machen und in Wechselbeziehung zu den Techniken des energetischen Bauens zu setzen.

Die reale Möglichkeit der Nutzung von Gebäudeflächen als Grünflächen ohne Bodenverbrauch, die Wertsteigerung von Substanz und Adresse sowie die neu erkannte Synergie von Umweltverantwortung und Wohn- bzw. Arbeitsplatzqualität erreichen heute auch Bauträger und Investoren, die eine positive Kostenbilanz anstreben müssen.

Im Forschungsbericht werden zunächst die Potenziale der Gebäudebegrünung bezüglich Stadtraum, Freiraum und Einzelgebäude (s. Abb. 3) sowie die Prinzipien der Energieeffizienz und Energiegewinnung in ihrer Wirkung auf das Gebäude dargestellt. Die Zukunftseignung ist in aller Interesse: Dabei geht es zunächst um Begrünungssysteme für private bzw. städtische Zielsetzungen, ebenso wie um deren Beitrag bezüglich der Zukunftsstrategien zu den Klimazielen, zur Luftreinhaltung, Schonung der Ressource Wasser und Schutz von Natur und Artenvielfalt. Die Systemvarianz heutiger Dach- und Fassadenbegrünung wird hinsichtlich der Ausführungstechniken und Wirkungen ausführlich erläutert. Parallel wird eine aktuelle Gesamtübersicht effizienter Techniken zur Gewinnung und Bewahrung von Umweltenergie durch die Gebäudehülle vorgestellt, indem die Bandbreite passiver, teilaktiver und aktiver Systeme erläutert wird.

Ausführlich befasst sich dieser Teil des Forschungsberichts mit dem Grundwissen zur Gebäudebegrünung in Kombination mit energetischen Maßnahmen bezüglich ihrer Leistungskriterien: Die Synergien und Konkurrenzen bei der Bedarfsdeckung der Heizwärme und der Kühlung werden dargestellt (s. Abb. 4 und 5). Mögliche Effizienzsteigerungen bei der Bedarfsdeckung von Strom (PV-Kühlung), Frischluft, Kühlung, Wärme und Wasser werden aufgezeigt (s. Abb. 2), ebenso die erreichbaren Kombinationsgewinne von Begrünung und Energie in Bezug auf den Umgang mit Oberflächenwasser, Regenwasserverdunstung, Lärmschutz und Biodiversität (s. Abb. 6). Die klimatische und energetische Wirkung der Gebäudebegrünung wird anhand

von Literaturrecherchen und eigenen Messungen vor Ort dokumentiert.

Im Folgenden werden die Leistungsfaktoren der Gebäudebegrünung in ihrer Anwendung auf das Nah-Umfeld und das Stadtklima behandelt und quantifiziert. Regenwasserrückhalt und -verdunstung durch Gebäudebegrünung werden – in Verbindung mit einer (sommerlichen) Verschattung der baulichen Hitzespeicher – als effizientes natürliches Gegenmittel zur Gebäude- und Bodenflächenaufheizung und als Schutzmaßnahme gegen die unter Temperaturextremen vorzeitig alternden Dächer und Fassaden beschrieben. Kühlung, Luftreinigung, Lärmreduktion und Naturelement inmitten der städtischen Verdichtung sind neben der Gestaltqualität die Gründe für die hohe Akzeptanz.



Abbildung 2: Maßnahmen zur Bedarfsdeckung von Strom, Frischluft und Wasser im Gebäudebetrieb sowie die ökobilanziellen Aspekte der Herstellung. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in Kombination mit Gebäudebegrünung

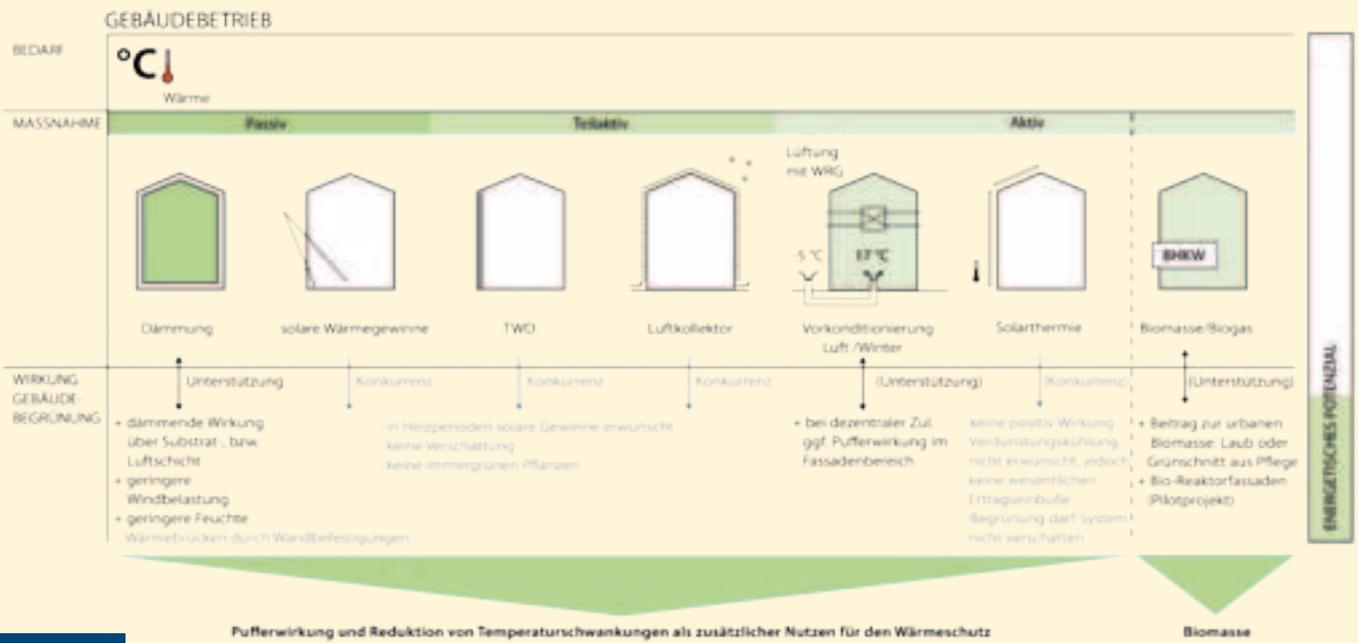


Abbildung 3

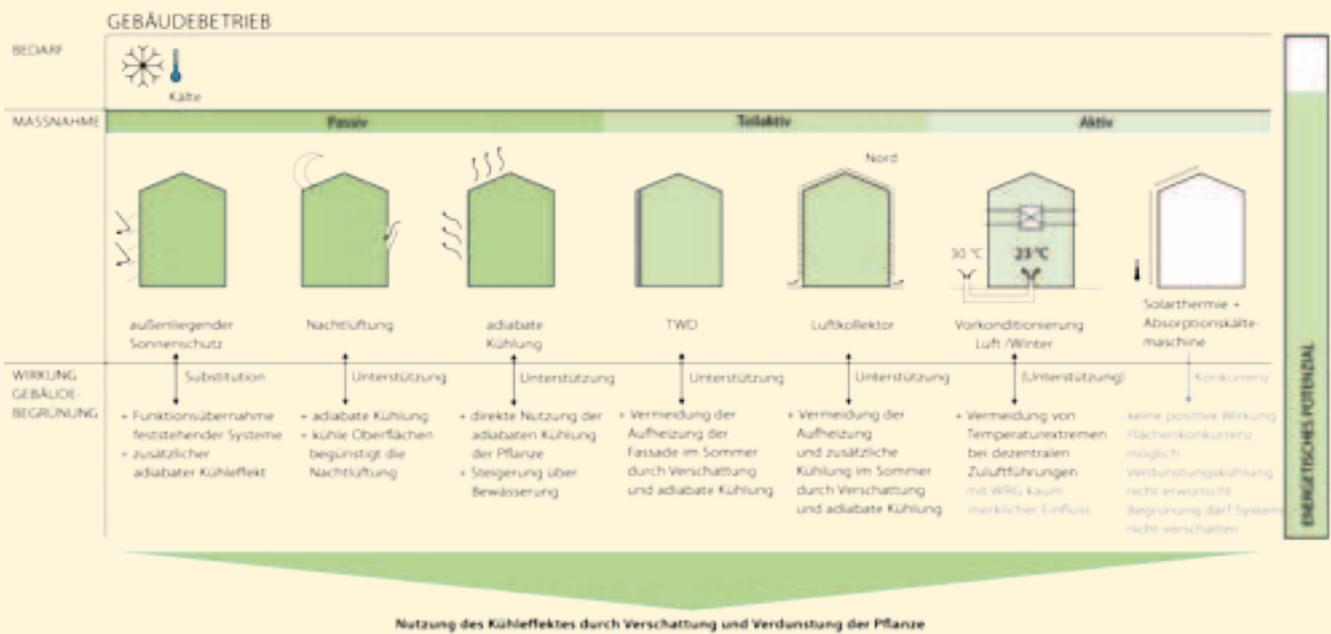


Abbildung 4

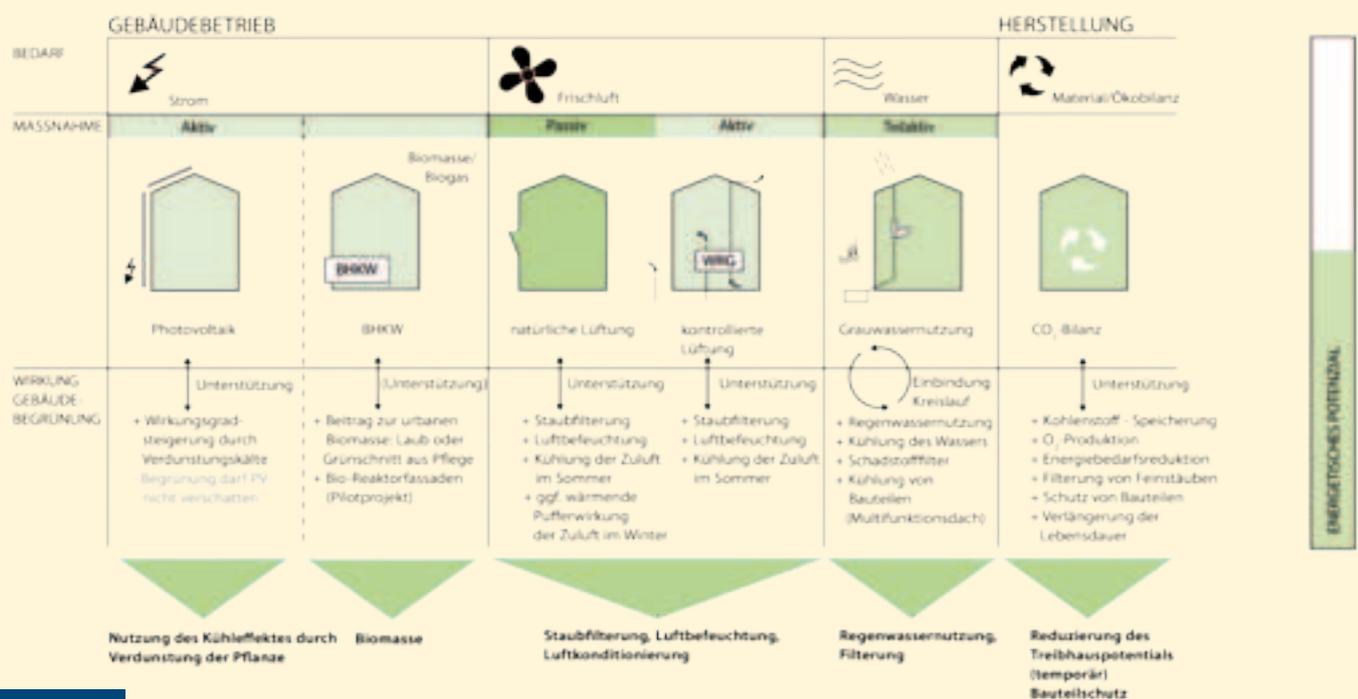


Abbildung 5

Abbildung 3
Wirkpotenziale der Gebäudebegrünung auf den Stadtraum, das Grundstück und das Gebäude

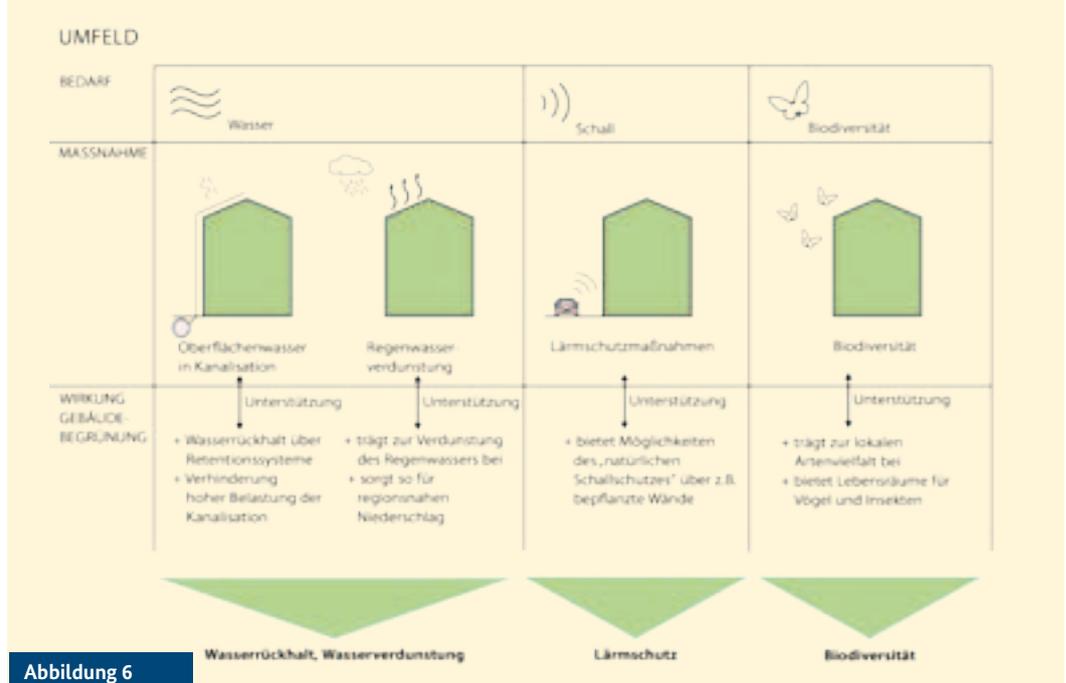


Abbildung 6

Abbildung 4
Maßnahmen zur Bedarfsdeckung der Heizwärme. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in Kombination mit Gebäudebegrünung

Abbildung 5
Maßnahmen zur Bedarfsdeckung der Kühlung. Darstellung der Synergien und Konkurrenzen in Kombination mit Gebäudebegrünung

Abbildung 6
Darstellung der Synergien im Gebäudeumfeld in Bezug auf den Umgang mit Oberflächenwasser, Regenwasserverdunstung, Lärmschutzmaßnahmen und Biodiversität in Kombination mit Gebäudebegrünung

Der praxisorientierte Leitfaden fasst weiterhin in einer ausführlichen Übersicht die Planungs- und Ausführungsparameter der Gebäudebegrünung bezüglich der geografischen Exposition, die Einflussfaktoren des umgebenden Geländes bzw. der vorhandenen Bebauung, der bau- und nachbarrechtlichen Auflagen sowie eine Empfehlung von Handlungsschritten für eine direkte interdisziplinäre Projektierungsanwendung zusammen.

Zur Veranschaulichung der Thematik „Gebäudebegrünung und Energiegewinnung“ werden im Leitfaden zusammenfassend hervorragende internationale Bauprojekte vorgestellt und beschrieben. Sie zeigen beispielhafte Realisationen und liefern Erfahrungswerte zu den erreichbaren klimatischen, akustischen, ökologischen und ökonomischen Vorteilen sowie zur architektonischen Gestaltungssynergie von energetisch korrekter Bauweise und Gebäudebegrünung.

Der Anhang liefert zu den verschiedenen Begrünungssystemen eine Kostenübersicht sowie eine in dieser Form erstmals zusammengestellte Gesamtübersicht über die zu den Kriterien des jeweiligen Begrünungssystems mögliche Pflanzenauswahl.

Der Leitfaden bietet Hilfestellung zu einer fehlerfreien Umsetzung von Begrünung in Verbindung mit einer energieeffizienten Gebäudeplanung. Er fasst den aktuellen Kenntnisstand zu den unterschiedlichen Begrünungstechniken und zu den Prinzipien des energieeffizienten Bauens zusammen und leitet über zu zielbezogenen Entscheidungsparametern bei der Anwendung der Gebäudebegrünung an Einzelgebäuden und zu den organisatorischen und planerischen Entscheidungsparametern bei einer Anwendung auf Stadtebene.

Die Vernetzung von energetischer Bauweise, Begrünungstechnik und Architekturgestalt ist eine wesentliche Erfolgsgrundlage des zukünftigen Bauens. Die Motivierung und Beratung der Entscheidungsträger in Politik und Praxis bedarf der übergreifenden Information: Interesse und Anwendungswille können durch beispielhafte Vorbilder, durch Information zum Leistungsspektrum der Gebäudebegrünung, der energetischen Flächenaktivierung und der synergetischen Verknüpfung beider Potenziale unterstützt werden. Der interdisziplinäre Leitfaden bietet Motivation, Planungshilfe, Forschungsergebnisse und Praxiserfahrung, um Gebäudebegrünung in Verbindung mit der Nutzung von Umweltenergie als eine reale Option in der Breite des Baugeschehens zu verankern. ■

Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen

Ein interdisziplinärer Leitfaden als Planungshilfe zur Nutzung energetischer, klimatischer und gestalterischer Potenziale sowie zu den Wechselwirkungen von Gebäude, Bauwerksbegrünung und Gebäudeumfeld

Forscher	Dipl.-Ing. N. Pfoser, Dipl.-Ing. N. Jenner, Dipl.-Ing. J. Henrich, M.Sc. J. Heusinger, Prof. Dr. S. Weber Mitarbeiter: B.Sc. J. Schreiner, B.Sc. C. Unten Kanashiro Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Freiraumplanung, Prof. Dr. J. Dettmar, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, Prof. M. Hegger In Zusammenarbeit mit: Technische Universität Braunschweig, Institut für Geoökologie, Abteilung Klimatologie und Umweltmeteorologie, Prof. Dr. S. Weber
Projektleiter	Dipl.-Ing. N. Pfoser
Gesamtkosten	105 98 €
Anteil Bundeszuschuss	73 500 €
Laufzeit	August 2012 bis August 2013



„Sinn und Zweck der Forschungsförderung ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens zu stärken und die Entwicklung von Innovationen zu unterstützen. Wie dies gelingt, zeigt uns die Entwicklung des Plusenergiestandards.“

Harald Herrmann,
Direktor und Professor des BBSR

Harald Herrmann ist seit 2012 Direktor und Professor des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Er studierte Rechtswissenschaften in Mainz, danach arbeitete er unter anderem als persönlicher Referent von Bundesbauminister Klaus Töpfer und als Leiter des Referats Bauwirtschaft im Bundesbauministerium. Von 1998 bis 2011 leitete Harald Herrmann die Zentralabteilung des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung.

„Forschung braucht Förderung“

Das BBSR ist Projektträger der Forschungsinitiative Zukunft Bau und für die Durchführung der Antragsforschung zuständig. Welche Aufgaben hat das Programmmanagement im BBSR?

Zunächst einmal geht es ums Operative: Wir bereiten das Antragsverfahren vor und setzen es um, begleiten fachlich die geförderten Projekte bis zur Abnahme der Forschungsergebnisse. Unsere Forschungsverwaltung kontrolliert den Umgang mit den Fördermitteln. Das gehört auch zum „Verwaltungshandeln“ eines Forschungsförderers. Aber mit der Abgabe des Forschungsberichts ist die Arbeit lange noch nicht getan. Nun gilt es, die Forschungsleistung bekannt zu machen und zu schauen, was davon umgesetzt werden kann.

Die Forschenden müssen ihre Ergebnisse generell selbst veröffentlichen, wir kümmern uns zudem um die Vernetzung der Einzelergebnisse. Wir führen Forschende zusammen, die in einem Themengebiet arbeiten und bieten verschiedene Möglichkeiten, die Ergebnisse koordiniert zu präsentieren: über Fachkongresse, Seminarreihen und eigene Publikationen des BBSR. Und in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau betreuen wir das Portal Forschungsinitiative.de und die angeschlossenen Bauforschungsdatenbanken. Über die Website können Interessierte alle geförderten Arbeiten recherchieren und kostenfrei anfordern.

Wir möchten also Öffentlichkeit für die Ergebnisse schaffen. Nur so können wir ja auch den eigentlichen Programmzweck erfüllen, Innovationen im Bauwesen zu unterstützen.

Können Sie das Programmmanagement auch mit Zahlen beschreiben?

Im Rahmen der Antragsforschung erreichen uns im Jahr rund 180 Anträge, von denen im Schnitt 40 Projektvorschläge von externen Gutachtern als förderungswürdig befunden werden. Etwa 120 Projekte sind zeitgleich (laufend) in Bearbeitung und werden von uns betreut. Und eine weitere Zahl: Im Rahmen der Forschungsförderung stehen unsere fachlichen Betreuer der Einzelprojekte mit etwa 1 200 Personen im Jahr in Kontakt. Das erfordert von meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern nicht nur eine hohe fachliche Kompetenz, sondern auch große kommunikative Fähigkeiten.



Wer definiert den inhaltlichen Rahmen? Wer setzt die Schwerpunkte?

In der Programmbeschreibung zur Forschungsinitiative Zukunft Bau werden zwar einige Schwerpunkte genannt, wie energieeffizientes Bauen, der Umgang mit dem Bestand oder die Nachhaltigkeit. Letztlich ist aber jeder Forschende frei, Unterstützung für das Thema zu beantragen, das aus seiner Sicht wichtig ist. Der inhaltliche Rahmen entsteht aus dem Wettbewerb der Ideen. Das einzelne Forschungsvorhaben muss jedoch im Ergebnis anwendbar für den Hochbau sein. So gesehen, bestimmen die Forscher selbst die Schwerpunkte.

Wenn wir die Themen-Cluster betrachten: Was dominiert?

Etwa die Hälfte der beantragten und geförderten Projekte beschäftigt sich in irgendeiner Form mit der Energie. Sei es in der Materialforschung, bei der energetischen Bilanzierung eines Gebäudes, der Steuerung der Haustechnik oder den Speichertechnologien. Anhand der eingereichten Anträge zu diesem Thema ist zu erkennen, dass diese Frage von den Forschern als vordringlichste Aufgabe gesehen wird – ganz unabhängig von möglichen politischen Vorgaben. Aber auch die Entwicklung innovativer Bauelemente und die Materialforschung sind stark vertreten. Die interessantesten Projekte aus meiner Sicht haben Innovationen im Fassadenbau im Fokus.

Welchen Einfluss hat die Forschungsförderung auf das Bauen in Deutschland? Welche Wirkungen gehen denn von der Forschungsförderung aus?

Sinn und Zweck der Forschungsförderung ist es, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens zu stärken und die Entwicklung von Innovationen zu unterstützen. Wie dies gelingt, zeigt uns die Entwicklung des Plusenergiestandards. Ausgangspunkt war die Unterstützung des Beitrags der TU Darmstadt am Solar-Decathlon-Wettbewerb des US-Energieministeriums im Jahr 2006. Diesen Wettbewerb hat damals die TU Darmstadt auf der National Mall in



Washington vor dem Capitol gewonnen. Fortan war der Plusenergiegedanke in der Bauwelt und konnte über eine Vielzahl geförderter Einzelprojekte weiterentwickelt werden. Inzwischen hat sich daraus ein neuer Gebäudestandard in Deutschland etabliert, der auch im Ausland viel beachtet wird. Das deutsche Know-how auf diesem Gebiet ist international sehr gefragt. Dies ist aber nur ein Beispiel aus der Palette interessanter Entwicklungen, die wir mit der Forschungsförderung angestoßen haben.

Was sind die wichtigsten Zukunftsthemen? Worüber sprechen wir in fünf bis zehn Jahren?

Meiner Meinung nach muss es mehr Forschung im Bereich der Bestandserneuerung und -umgestaltung geben. Hier geschieht einfach noch zu wenig. Wir müssen es schaffen, weniger Ressourcen zu verbrauchen. Hier kann der Einsatz neuartiger Materialien in innovativen Bauelementen sehr hilfreich sein. Ich denke da beispielsweise an das Leichtbaufenster Ultraslim, das wir auf der Bau 2013 in München zeigen konnten. Ein energieeffizientes Fenstersystem, das für den Einsatz in der Bestandserneuerung entwickelt wurde und lediglich 25 % des Gewichts eines derzeit üblichen Fensters aufweist. Für mich ein Beispiel eines zukunftsweisenden Projekts.

Wie wohnen Sie? Sind Ihre Wünsche erfüllt? Wenn man Bauen ganz persönlich sieht.

Da kann ich an das eben Gesagte anknüpfen. Wir wohnen in einem Haus, das inzwischen 35 Jahre alt ist. Also in einem „Bestandsgebäude“, das wir im Laufe der Jahre nach und nach den Anforderungen angepasst haben, von der Dachsanierung über die Heizung bis zu den Fenstern. Wir wohnen in einer gewachsenen, urbanen Umgebung. Alles ist gut erreichbar. So wie wir es uns in jungen Jahren gewünscht haben – und es passt bis heute! ■

Die Forschungsinitiative Zukunft Bau – aus Vision wird Wirklichkeit

Helga Kühnhenrich, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Wie kaum ein anderer Sektor bestimmt das Bauen die Welt von morgen. Um den Herausforderungen und Entwicklungen im Baubereich gerecht zu werden, beschäftigt sich der Bundesbau nicht nur mit der Formulierung rechtlicher Rahmenbedingungen und der Umsetzung seiner eigenen Bauten, sondern er treibt durch unterschiedliche Maßnahmen die Forschungsentwicklung und Zukunftsfähigkeit des Bauens in der Bundesrepublik voran. Welches sind die zentralen Impulse und Megatrends der Bauforschung von morgen? Welche Auswirkungen haben die Energiewende, die Ressourcenverknappung und der demografische Wandel auf das Bauen? Wie muss das Bauen zukünftig ausgerichtet sein, um den Anforderungen künftiger Generationen gerecht zu werden? Welchen Beitrag kann hierzu der Bund leisten? Wie können die Visionen und neuen Denkweisen umgesetzt und tatsächlich gelebt werden?

Mit derartigen Fragestellungen beschäftigen sich die vielfältigen Forschungsprojekte, die von der bundeseigenen Forschungsinitiative Zukunft Bau angestoßen oder unterstützt werden.

Vergleichbar mit einer Forschungsabteilung eines großen Unternehmens agiert das 2006 durch das Bundesbauministerium gegründete Forschungsprogramm Zukunft Bau als Impulsgeber sowohl für das Bauwesen der Bundesregierung als auch des gesamten Bausektors der Bundesrepublik. Ziel der Forschungsinitiative ist es, das Bauen auf die Herausforderungen der Zukunft vorzubereiten, die Wettbewerbsfähigkeit des deutschen Bauwesens im europäischen Binnenmarkt zu stärken sowie neue Erkenntnisse im Bereich technischer, baukultureller und organisatorischer Innovationen zu fördern. Hierbei sieht sich die Forschungsinitiative als explizites Forschungsprogramm für die angewandte Bauforschung – aus Vision wird gebaute Wirklichkeit.

In zahlreichen Veranstaltungen, Modellvorhaben und Veröffentlichungen werden die Forschungsergebnisse präsentiert und der Diskurs über das Bauen der Zukunft angestoßen. Seit Anfang des Jahres präsentiert sich die Forschungsinitiative Zukunft Bau mit einem neu gestalteten Internetauftritt unter www.forschungsinitiative.de. Mit interaktiven Funktionen fördert das neue Portal gezielt den Gedankenaustausch innerhalb der Bauforschung und der Bau- und Wohnungswirtschaft und wird zum Wissensvermittler in der Branche.

Die Umsetzung

Durch die Neubildung der Bundesregierung ist die Zuständigkeit des Bauens, und damit auch die Forschungsinitiative Zukunft Bau, in das Bundesministerium für Umwelt, Natur-

schutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) übergegangen. Unter diesem neuen Namen wird die Forschungsinitiative wie gehabt sowohl politisch als auch organisatorisch vom Bundesbauministerium getragen, während das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) die Funktion des Vertragspartners mit den Forschenden einnimmt und das Ministerium in fachlichen Fragen berät.

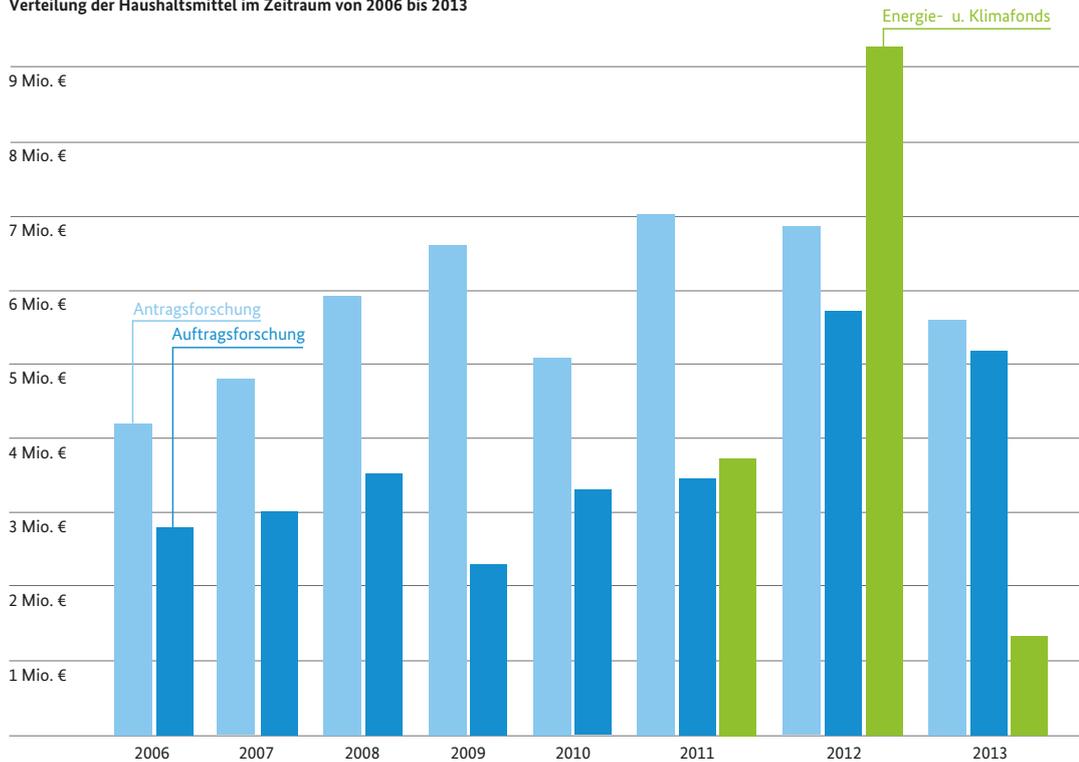
Seit dem achtjährigen Bestehen der Forschungsinitiative sind insgesamt 750 Forschungsprojekte gefördert und dafür ca. 83 Mio. € Bundesmittel eingesetzt worden. Dabei beruht das Forschungsprogramm auf drei Säulen: der Auftragsforschung, der Antragsforschung und dem Netzwerk Effizienzhaus Plus.

Auftragsforschung

Durch die gezielte Ausschreibung von Forschungsaufträgen bereitet der Bund sein Regierungshandeln vor und beauftragt die Erstellung von Gutachten und Untersuchungen zu Gesetzesvorhaben und aktuellen Politikfeldern. Die Ressortforschung wird vollständig aus Bundesmitteln finanziert. Dabei spielte in den letzten Jahren eine besondere Rolle:

- die Fortschreibung der Energieeinsparverordnung, die Fortentwicklung der Energieausweise
- die Weiterentwicklung des nachhaltigen Bauens (Einführung der Bewertungssystemvariante nachhaltige Forschungs- und Laborgebäude)
- die Weiterentwicklung von Baustoffdatenbanken wie WECOBIS oder Ökobau.dat
- die Aufstellung eines digitalen Leitfadens barrierefreies Bauen.

Verteilung der Haushaltsmittel im Zeitraum von 2006 bis 2013



Entwicklung der Haushaltsmittel seit Bestehen der Forschungsinitiative Zukunft Bau



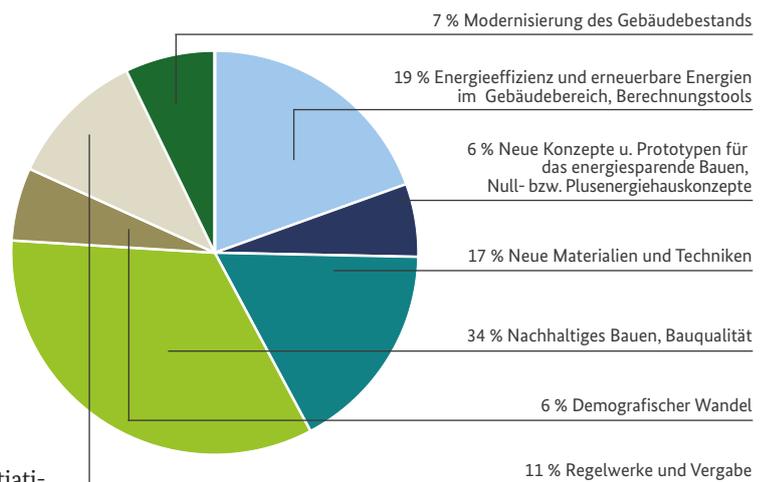
Die drei Säulen der Forschungsinitiative Zukunft Bau

Antragsforschung

Mit der Antragsforschung verfolgt die Forschungsinitiative das Ziel, Forschungsimpulse, die vom Markt kommen, aufzunehmen. In Zusammenarbeit mit der Wissenschaft und mit möglicher Unterstützung von Industriepartnern reicht die Baubranche Forschungsansätze zu vorgegebenen Themenschwerpunkten ein. Insbesondere soll die Innovationskraft und Marktposition der überwiegend klein- und mittelständigen Unternehmen gestärkt werden. In Form von Zuwendungen werden Forschungsvorhaben vom Bund anteilig bezuschusst.

Modellprojekte des Netzwerks Effizienzhaus Plus

Neben der Entwicklung neuer Baumaterialien oder der Anwendung innovativer Technologien beschäftigt sich die Forschungsinitiative auch mit zukunftsgerechten Gebäudekonzepten. Im Jahr 2010 ist der Effizienzhaus Plus Standard durch die Forschungsinitiative eingeführt worden, den



Antragsforschung 2013: Themenverteilung der eingegangenen Anträge

Häuser erfüllen, welche in der Bilanz mehr Energie im Jahr erzeugen, als für deren Betrieb notwendig ist. Dieses Plus an Energie soll insbesondere für die Elektromobilität oder Quartiersversorgung zur Verfügung stehen. Neben dem Pilotprojekt der Bundesregierung „Mein Haus, meine Tankstelle!“ in Berlin, ist seit 2011 ein bundesweites Netzwerk aus rund 35 unterschiedlichen Modellvorhaben im Ein- und Mehrfamilienhausbau durch das Förderprogramm Effizienzhaus Plus im Wohnungsbau aufgebaut worden. Die ersten Ergebnisse der bereits realisierten Gebäude bestätigen das langfristige Ziel, diesen Gebäudestandard in Zukunft bundesweit zu etablieren. ■

Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen

Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe

Christoph Sprengard, FIW München

Die energetische Sanierung und Steigerung der Energieeffizienz bestehender Gebäude ist entscheidend für die Reduzierung des Energieverbrauchs in Deutschland und damit der Schlüssel für das Gelingen der Energiewende. Bisher gab es jedoch keine Untersuchung zu den bauteilbezogenen Einsparpotenzialen im unsanierten Wohngebäudebestand für die unterschiedlichen energetischen Ausgangszustände der Gebäude. Weiterhin fehlte es an einer umfassenden, aber neutralen Beschreibung der technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Aspekte der dort eingesetzten Dämmstoffe. Auch sieht sich die Baubranche immer wieder dem Vorwurf ausgesetzt, sie sei nicht innovativ. Hinzu kommt noch die derzeit ausgeprägt negative Berichterstattung über Dämmstoffe, nicht rentable Sanierungsmaßnahmen und vereinzelt Brandereignisse an Fassaden. Durch diese teils unsachliche Berichterstattung sind potenzielle Investoren verunsichert und die Sanierungsquote kommt nicht voran.

Zunächst wird die Struktur des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchersektoren und Anwendungsbereichen analysiert. Der Energieverbrauch im Gebäudebereich wird aufgeschlüsselt und die große Bedeutung der Raumwärme der privaten Haushalte für den Endenergieverbrauch in Deutschland gezeigt. (Abb. 1)

Die Materialdaten typischerweise im Hochbau eingesetzter Dämmstoffe werden in standardisierter, gegliederter Form

zusammengestellt und enthalten jeweils Angaben zu den eingesetzten Rohstoffen, Lieferform und Verarbeitung, Eigenschaften, gesundheitlichen und ökologischen Aspekten sowie den Anwendungsbereichen. Normative Regeln werden in die gesetzgebende und ordnungspolitische Umgebung in Deutschland und Europa eingeordnet. Ein Überblick über die Marktentwicklung und die Verteilung der wichtigsten Dämmstoffe am Markt ist in Abbildung 2 dargestellt. Darüber hinaus werden in der Studie ausführliche Angaben

Endenergieverbrauch nach Anwendung in Deutschland 2010

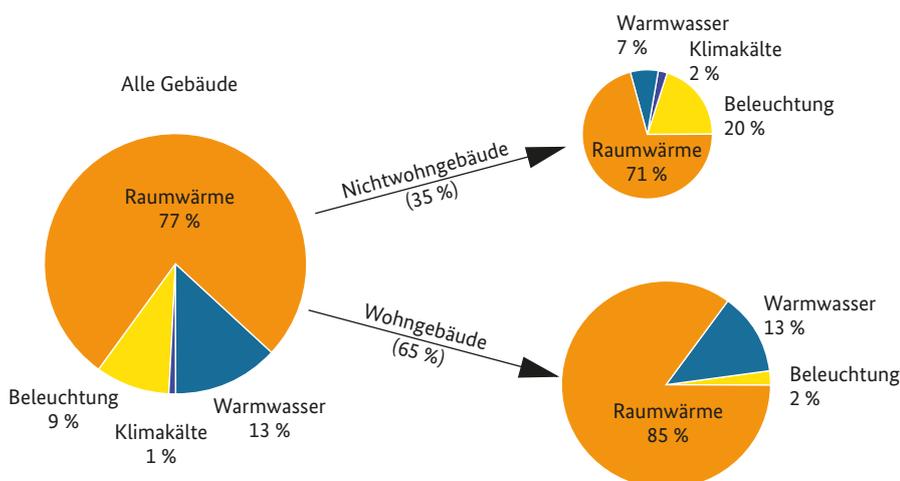


Abbildung 1: Endenergieverbrauch der Gebäude in Deutschland und Aufteilung auf Wohngebäude und Nichtwohngebäude

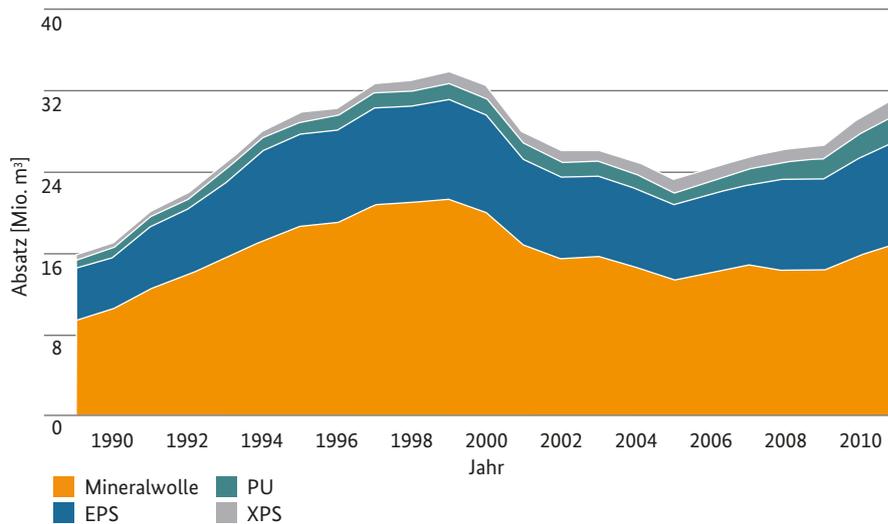


Abbildung 2: Absatz der wichtigsten Dämmstoffe in Deutschland in Mio. m³ pro Jahr (1989–2011)

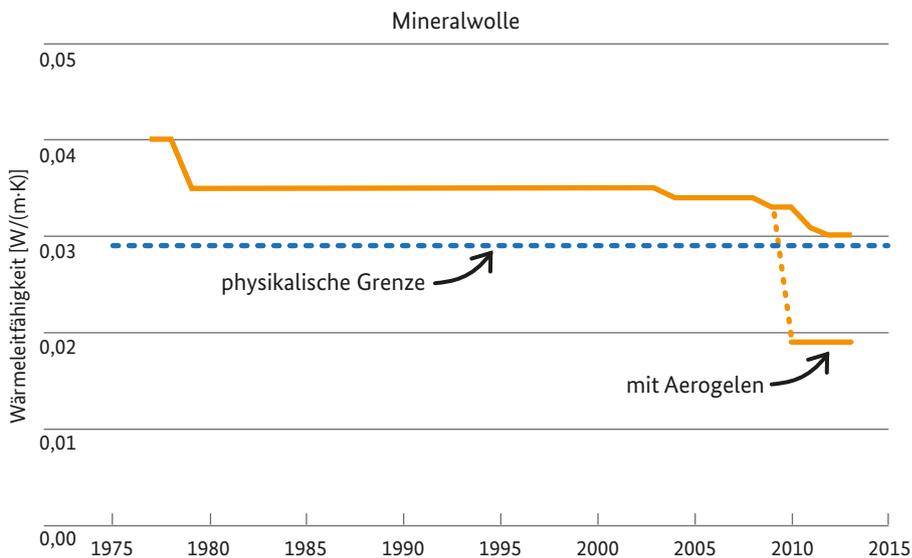


Abbildung 3: Exemplarische Darstellung der Weiterentwicklung von Mineralwolle hinsichtlich der Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit seit 1975

zum Einsatz der Dämmstoffe nach Einsatzort und Bauteilen gemacht.

Nach einer Darstellung der physikalischen Grundlagen zur Wärmeübertragung werden die wichtigsten Innovationen der letzten Jahre im Bereich der Dämmstoffe und Baustoffe zusammengestellt und bewertet. Eine solche Darstellung der Verringerung der Wärmeleitfähigkeit zeigt Abbildung 3 am Beispiel der Mineralwolle. Für die verschiedenen Materialgruppen werden potentielle zukünftige Entwicklungsfelder im Bereich der Herstellungsverfahren (Produktionstechnik,

Zellgase etc.), Montagefreundlichkeit und der Substitution funktionaler Additive (Brandschutz) benannt.

Das Thema der Nachhaltigkeit von Dämmstoffen wird anhand ausgewählter Beispiele für die drei Schutzziele (Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle Aspekte) dargestellt. Dabei wird ausführlich die energetische Amortisation von Dämmstoffen und deren Abhängigkeit von den Materialcharakteristika diskutiert. Beispiele zur Bewertung von Dämmstoffen auf Basis von Ökobilanzdatensätzen, den Kostenstrukturen (Herstellung, Pflege, Entsorgung/Rückbau), der Nutzungs-

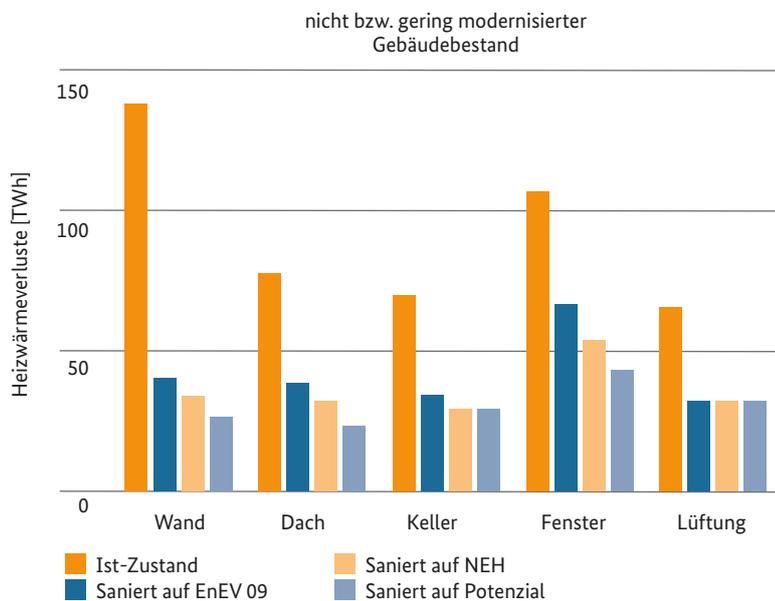


Abbildung 4: Aufsummierte Heizwärmeverluste je Bauteil des unsanierten (Ist-Zustand), bzw. des sanierten [auf die Anforderungen der EnEV 09, eines typischen Niedrigenergiehauses (NEH) und Passivhauses (Potenzial)] Wohngebäudebestands der GAK bis 2008

dauer und den gesundheitlichen und ökotoxikologischen Gefährdungspotenzialen durch Additive und Faserstäube helfen dabei, trotz der Komplexität der möglichen Wechselbeziehungen die relevanten Produkteigenschaften zu erkennen.

Auf Basis vorhandener Daten zum Gebäudebestand wird eine bauteilbezogene Abschätzung der möglichen Einsparpotenziale im Bereich der energetischen Sanierung erstellt. Aus den Datensätzen können Annahmen zu den erforderlichen Dämmstoffdicken und Abschätzungen zum benötigten Dämmstoffvolumen für unterschiedliche Sanierungsziele abgeleitet werden. Die aufsummierten Heizwärmeverluste

je Bauteil des unsanierten bzw. sanierten Wohngebäudebestands bis Gebäudealtersklasse (GAK) 2008 zeigt Abbildung 4.

Abschließend werden typische Sanierungshemmnisse detektiert. Die in der medialen Aufbereitung teils unscharf verwendeten Begriffe zu den Themenkomplexen Architektur, Energieeinsparung, Kosten und Rentabilität, biologischer Befall, Brandgefahr und Entsorgung werden präzisiert und in Form von fact sheets aufbereitet.

Eine Sanierung nach den Vorgaben der EnEV 09 spart bauteilbezogen ca. 55 % (Dach, Keller) bis ca. 78 % (Fassade) an Transmissionswärmeverlusten ein. Allein aus diesen

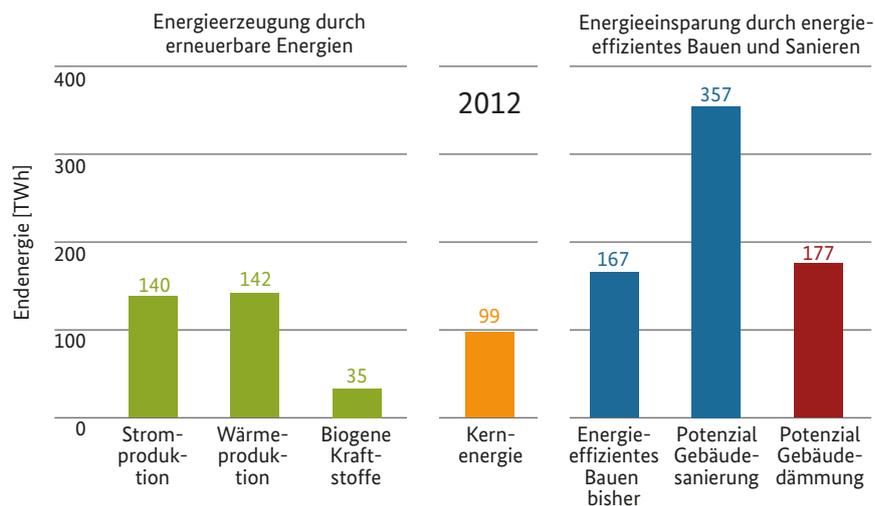


Abbildung 5: Bedeutung der Gebäudedämmung (Sanierung aller Wohngebäude auf das Niveau der EnEV 09) im Vergleich zur Endenergiebereitstellung aus regenerativer Energie bzw. aus Kernkraftwerken

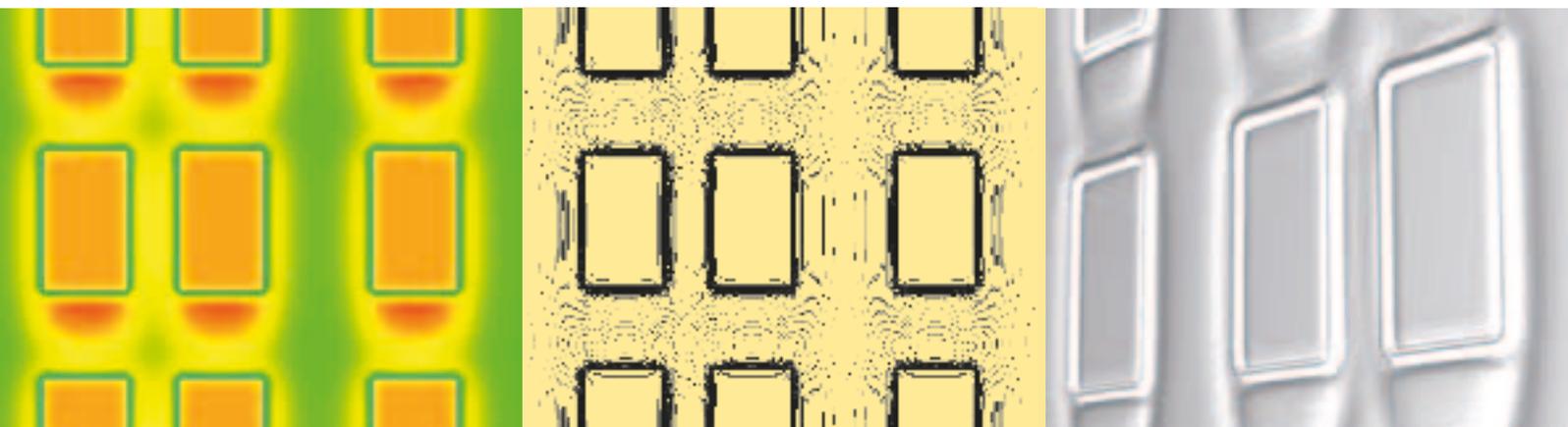
Maßnahmen im Bestand bis GAK 1993 leiten sich Einsparpotenziale von ca. 54 % (bezogen auf den aktuellen Bedarf an Endenergie für Raumwärme) ab. Abbildung 5 zeigt die große Bedeutung einer Verbesserung der Energieeffizienz durch energieeffizientes Bauen und Sanieren.

Die energiebedingten Mehrkosten einer Sanierung amortisieren sich in angemessenen Zeiträumen. Schäden an

Wärmedämmung sind gemessen an der verbauten Menge gering. Bei korrekter Verarbeitung erfüllen die angebotenen Systeme die Anforderungen des Brandschutzes. Die vollständige Studie ist zum Download erhältlich beim Fraunhofer IRB oder unter: www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf. ■

Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen

Forscher/Projektleitung	Dipl.-Ing. Christoph Sprengard (Projektleitung) Dr.-Ing. Sebastian Treml (wiss. Mitarbeiter) Prof. Dr.-Ing. Andreas Holm (Institutsleiter)
Antragsteller	FIW München, www.fiw-muenchen.de
Gesamtkosten	108 000 €
Anteil Bundeszuschuss	75 600 €
Laufzeit	September 2012 bis November 2013



Fassadenausschnitt als Thermografie

Fassadenausschnitt mit Isothermenverlauf

Fassadenausschnitt als 3-D-Modellierung

Modulationsmöglichkeiten der Gebäudeaußenhaut mittels wärme-sensitiver Aufnahmeverfahren

Faraneh Farnoudi, Hild und K Architekten, München

Das Dämmen von Fassaden ist eine unbestreitbare Notwendigkeit und vor allem im Gebäudebestand gehören Wärmedämm-Verbundsysteme zu den bestimmenden Baumaterialien unserer Zeit. Doch moderne Systeme zur Wärmedämmung bieten derzeit nur beschränkten Spielraum für eine individuelle Gestaltung und die heute schon vorhandenen gestalterischen Möglichkeiten dieser Systeme werden in Planung und Ausführung nicht ausgeschöpft.

Dieser fortschreitende Prozess birgt das Risiko, dass der Charakter des Stadtbildes vielerorts in Beliebigkeit verwandelt wird.

Das Forschungsprojekt begreift die energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle nicht nur als Ingenieurleistung, sondern auch als gestalterische Aufgabe und Chance. Konkret geht es darum, durch eine dreidimensionale Modulation der Dämmschicht sowohl die Fassadengestaltung zu individualisieren als auch die Leistung des Systems zu verbessern.

Im Hinblick auf ein konkretes Untersuchungsobjekt werden Wege erarbeitet, gestalterische Aussagen mit der Nutzung von Wärmedämm-Verbundsystemen (WDVS) zu

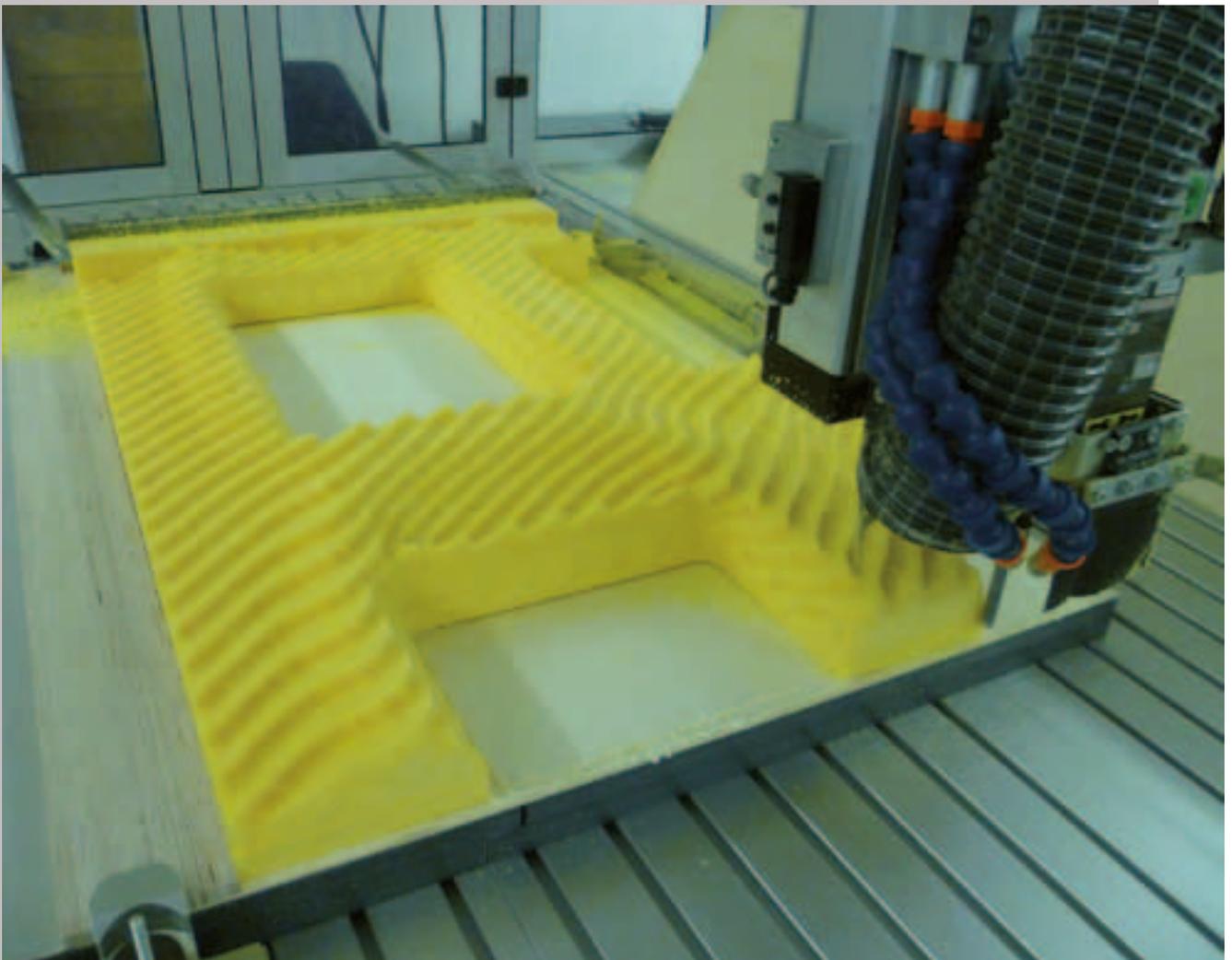
verbinden. Dabei geht es nicht um ein „Aufhübschen“ der vorhandenen Systeme, sondern um eine Weiterentwicklung von deren ästhetischen Potenzialen und Konsequenzen.

Die meisten Versuche der architektonischen Gestaltung von WDVS scheitern an dem Versuch, geputzte Massivbauoberflächen nachzuahmen. Bereits die technischen Gegebenheiten des Materials verhindern eine entsprechende Analogie.

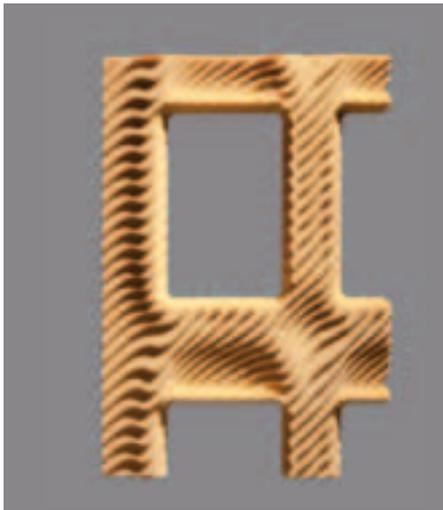
Das im Rahmen dieses Forschungsvorhabens verfolgte Konzept setzt daher nicht beim Putz an, sondern bei der darunter liegenden Wärmedämmung. Deren Eigenschaften kommen einer Bearbeitung durchaus entgegen: Ihrer Verformung steht nichts im Weg, sofern man waagerechte Flächen und die daraus resultierende Feuchteproblematik vermeidet. Würde die Dämmung entweder dreidimensional modelliert oder zugeschnitten, würde die Oberfläche des Hauses zu einer gestaltbaren Ebene, die wesentlich subtilere Abstufungen zuließe, als man sie vom Massivbau her kennt. Statt auf die Mimikry von Putzbauten setzt das Forschungsprojekt auf eine ästhetische Lösung, die sich aus den Qualitäten des WDVS selbst entwickelt. Es



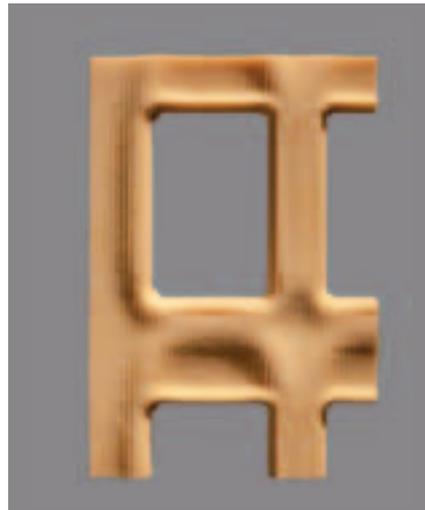
Fertigungsvariante Schichtmodell



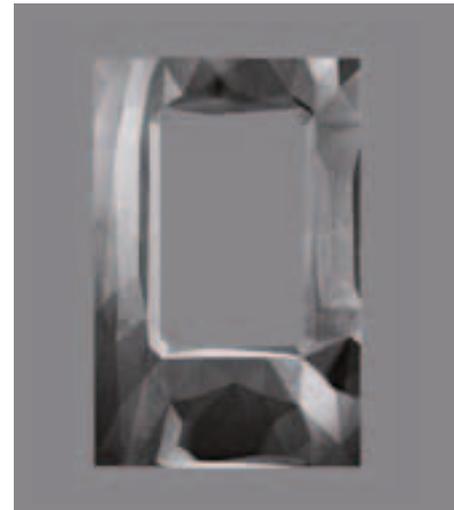
Vorversuch der Fertigung mit einer Dreiachsfräse



Modellvariante – 30°



Modellvariante – Vertikal



Modellvariante – Triangulation

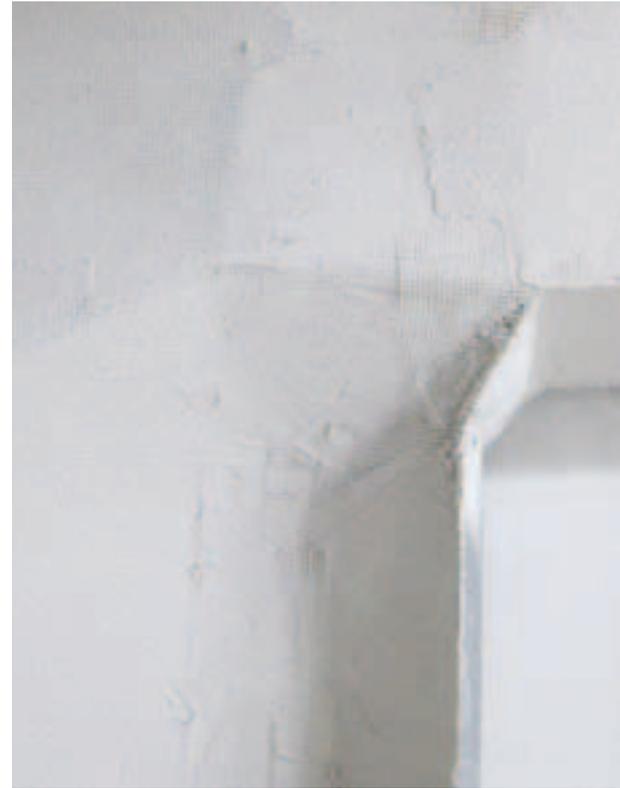
versucht nichts weniger, als dessen Funktion innerhalb der Fassadengestalt ablesbar zu machen. Ausgangspunkt für die daraus folgenden Überlegungen ist der unterschiedliche Wärmedurchgang verschiedener Bauteile einer Bestandsfassade. Wird die Dimensionierung des Dämmstoffs den ungleichen Wärmedurchgangskoeffizienten angepasst, entsteht eine Modulation der Oberfläche, die sich aus den unterschiedlichen thermischen Zuständen der Gebäudehaut ableitet. Hierfür berechnet ein Computerprogramm auf der Basis von thermografischen Aufnahmen Wärmedurchgänge und Mängel in der thermischen Hülle, Temperaturverteilungen und Wasserdampfdiffusionsströme des Gebäudes und simuliert diese in einem dreidimensionalen Modell. Grundsätzlich ließe sich diese vom Wärmedurchgang durch die Fassade abgeleitete Modulation bereits als Relief des Dämmstoffes wiedergeben. Allerdings wären die dabei entstehenden Flächen zweifach gekrümmt und daher nur mittels eines aufwendigen Prozesses herstellbar. Eine Realisierung sähe sich zudem mit dem Problem konfrontiert, dass es bisher keine dreidimensional verformbaren

Putzgewebe gibt. Das Forschungsprojekt untersucht daher Modulationen, die einerseits ausgehend von dem beschriebenen Modell den Wärmedurchgang abbilden, andererseits aber eine einfachere Fertigung versprechen.

Die Simulation des Wärmedurchgangs wird so zur Grundlage variantenreicher Entwurfsmöglichkeiten. Es entsteht nicht nur ein völlig neues Erscheinungsbild von Fassaden, sondern zugleich eine Einsparung von Ressourcen, da stets nur so viel Dämmung eingesetzt wird, wie an der jeweiligen Stelle nötig ist. So nimmt die Funktion des WDVS Gestalt an. Nach Fertigung der Dämmstoffblöcke müssen diese, wie auch bei herkömmlichen WDVS, am Objekt fixiert, armiert und verputzt werden. In den Verarbeitungsversuchen wurden verschiedene Modelle mit unterschiedlichen Methoden verputzt, um eine technische wie auch gestalterische Verifikation zu gewährleisten. Bei Verwendung geeigneter Werkzeuge und Materialien konnte auch hier das gewünschte Ergebnis erzielt werden. Insbesondere an die handwerkliche Ausführung werden dabei höhere



Erfolgreiche Putzversuche am Polystyrolmodell



Erfolgreiche Putzversuche am Polystyrolmodell

Anforderungen gestellt als bei konventionellen Systemen. Diese sind jedoch als umsetzbar anzusehen.

Abschließend ist festzuhalten, dass der Gestaltungsspielraum für WDVS sehr groß ist. Das Forschungsvorhaben entwickelte in diesem Rahmen eine Methodik zum Entwurf einer modulierten Gebäudeaußenhaut mittels WDV-System. Alle entworfenen Varianten konnten aus EPS-Dämmstoff produziert werden, zwei von ihnen sind mittels der heute verfügbaren Armierung und Schlussbeschichtung als umsetzbar einzustufen.

Dies zeigt, dass WDVS als eigenständiges Material agieren kann und eine weitere intelligente Auseinandersetzung damit notwendig und möglich ist, um die Potenziale vollständig auszuloten.

Somit wurde ein erster Impuls für eine Weiterentwicklung des Produktes WDVS unter grundlegend neuen gestalterischen Aspekten gesetzt. Das Ziel einer materialgerechten Ästhetik ist damit ein Stück näher gerückt. ■

WDVS-Modulation

Forscher/Projektleitung	Hild und K Architekten, München
Projektleiter	Faraneh Farnoudi
Gesamtkosten	158 958 €
Anteil Bundeszuschuss	99 659 €
Laufzeit	bis September 2013

Prof. Andreas Hild ist zusammen mit Dionys Ottl und Matthias Haber Inhaber des Architekturbüros Hild und K und seit 2013 Lehrstuhlinhaber der Professur Entwerfen, Umbau und Denkmalpflege an der TU München. Im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau forschte Prof. Hild an neuen Gestaltungsmöglichkeiten für Wärmedämm-Verbundsysteme.

„Die Steigerung der Sanierungsquote ist das zentrale Thema“

Sie haben eine Professur übernommen, die sich u. a. mit Denkmalpflege beschäftigt. Zeitgleich forschen Sie am Wärmedämmstoff Polystyrol. Wie geht das zusammen?

Der Lehrstuhl heißt Entwerfen, Umbau und Denkmalpflege. Wenn Sie also die Betonung auf den Umbau geben, ist das einfach ein Thema, mit dem man sich auseinandersetzen muss. Aber auch die energetische Sanierung von Denkmälern ist ein Thema, mit dem wir uns beschäftigen müssen. Da einfach so zu tun, als gebe es auf diesem Gebiet keinen Diskussionsbedarf, ist sicher nicht richtig.

Die Sanierungsquote in Deutschland beträgt gerade mal 1,5%, was in Zeiten der Energiewende und vor dem Hintergrund des demografischen Wandels als viel zu gering angesehen wird. Was muss geschehen, um die Sanierungstätigkeit zu steigern?

Ich glaube, dass wir da in relativ naher Zukunft zu sehr tiefgreifenden Veränderungen kommen müssen. Die Sanierungsquote ist aus sehr vielen verschiedenen Gründen zu niedrig. Ich will mich mal auf drei Themenfelder beschränken: Umbau ist in den meisten Fällen teurer als Neubau. Dies wiederum hat viele Gründe. Der wesentlichste Grund aber ist, dass die im Bestand enthaltene „graue Energie“ in der Investitionsrechnung des Investors nicht auftaucht. Würde man einen Kostenansatz für das gesellschaftlich ja bereits einmal bezahlte CO₂ machen müssen, wenn man

ein Gebäude abreißt, um Platz für einen Ersatzneubau zu schaffen, dann würde dieser Neubau wesentlich teurer sein als ein Umbau, und die Quote würde zwangsläufig steigen.

Wie könnte die graue Energie in die Baukosten eingebracht werden?

Da gibt es viele Möglichkeiten. Das könnten Steuererleichterungen für die Sanierung sein, auch ein Fondsmodell wäre denkbar, in das man einzahlen muss, wenn man abreißt, oder auch eine Art Zertifikatehandel. Wir versuchen gerade mit Wirtschaftsingenieuren und Bauökonominnen ein Forschungsvorhaben aufzusetzen, das hier zu Aussagen kommt. Dabei gibt es zum Beispiel sehr interessante arbeitsmarktpolitische Auswirkungen...

Sie sprachen aber von drei Themenfeldern.

Die Sanierungsquote ist nicht zuletzt deshalb so niedrig und die Baukosten so hoch, weil wir den Umbau mit Gesetzeswerken bewältigen müssen, die ganz klar für Neubau gemacht sind.

Im Umbau führen diese Grundlagen zu praktisch nicht auflösbaren Situationen, die zusammen mit der Rechtsprechung die Umbaurate systematisch senken, einfach weil der Umgang damit zu kompliziert und zu teuer wird. Denken Sie zum Beispiel an bestimmte Fragen des Brandschutzes

„Es wird darauf ankommen, dass wir Bilder produzieren können, denen es gelingt, die Menschen dahinter zu versammeln, um das Anliegen des Umbaus einer breiten Akzeptanz zuzuführen.“

Andreas Hild
TU München



oder Schallschutzes in Bestandsgebäuden. Dort werden wir zu anderen Bewertungsmöglichkeiten kommen müssen, wenn wir die Sanierungsquote nachhaltig erhöhen wollen.

Das dritte Themenfeld ist, glaube ich, dass wir eine große gesellschaftliche Diskussion über Komfort brauchen. Wenn wir in größerem Umfang sanieren sollen, werden wir das auf Dauer nicht an jeder Stelle Neubaustandard plus X erreichen können. Wir müssen die zugrunde liegenden Standards bewerten und diskutieren, was wir uns leisten wollen und welche Konsequenzen das hat.

Was sind die wichtigsten Zukunftsthemen? Wo sehen Sie die Schwerpunkte in der Bauforschung?

Wie bereits ausgeführt, ist die Steigerung der Sanierungsquote das zentrale Thema, und ich glaube, dass es vor allem

eines politischen Willens bedarf, hier etwas zu verändern. Politischer Wille ist natürlich nichts Isoliertes ... aber wir müssen die CO₂-Diskussion von einer Diskussion über Nebenkosteneinsparung zu einer Diskussion über den Umgang mit grauer Energie machen. Das ist eine anspruchsvolle Aufgabe, weil die Zusammenhänge kompliziert sind. Aber da müssen wir dran.

Zuletzt wird die Akzeptanz aller Maßnahmen auf diesem Gebiet aber davon abhängen, ob es uns Architekten gelingt, mit unseren Umbauten gesellschaftlich akzeptierte Bilder zu produzieren. Das umfasst die Ästhetik, aber natürlich auch Dinge wie Barrierefreiheit oder Inklusion, aber auch etwas wie Kostentransparenz.

Es wird darauf ankommen, dass wir Bilder produzieren können, denen es gelingt, die Menschen dahinter zu

versammeln, um das Anliegen des Umbaus einer breiten Akzeptanz zuzuführen.

Wie wird sich die Lehre im Bauwesen verändern?

Die Suche nach gesellschaftlich überzeugenden Umbaustrategien beginnt nicht zuletzt in der Lehre. Dort werden diejenigen ausgebildet, die das in Zukunft machen sollen. Es ist ganz klar, dass auch auf Planerseite im Umbau andere Strategien gefordert sind als beim Neubau. Darauf wird die Lehre reagieren müssen. Wir tun dies auch schon, aber bisher ist das Thema Umbau in der Lehre noch nicht so präsent, wie man es angesichts der kommenden Aufgaben erwarten würde. Es gibt in Deutschland kaum eine Hand-

voll Lehrstühle an Architekturfakultäten, die sich damit systematisch beschäftigen.

Wie wohnen Sie? Sind Ihre Wünsche erfüllt?

Meine Wünsche an Wohnen sind vollkommen erfüllt. Ich wohne sehr innerstädtisch am Rande der Münchener Altstadt, da wo München am dichtesten ist. Für mich ist es ein Privileg, dort wohnen zu dürfen, wenngleich meine Wohnsituation vermutlich nicht für jeden infrage käme. ■

Klimagerechter Stadtumbau historischer Quartiere

Julia Drittenpreis, Thomas Schmid, TU München

Um die Baukultur unserer Vergangenheit zu wahren, aber gleichzeitig auch eine zeitgemäße und behagliche Wohnbarkeit zu gewährleisten, sind Strategien für den klimagerechten Stadtumbau erforderlich. Der klimagerechte Stadtumbau wird einen wesentlichen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende leisten. Denn 75 % des deutschen Gebäudebestandes wurden bereits vor 1975 erbaut [1] und fallen unter den derzeit anfallenden Sanierungszyklus. Auch in Hinblick auf den demografischen Wandel und den Rückgang der Bevölkerungszahlen kommt der Erhaltung des Bestandes eine wichtige Rolle zu. Um diese Ziele zu erreichen, sind neue und integrierte Denkansätze für das Planen, Bauen und Sanieren von Gebäuden erforderlich.

Historische Gebäude und Quartiere haben ihre Stärke im Ensemble. Neben ortsprägenden und identitätsstiftenden Aspekten wird dadurch maßgeblich das Potenzial der Energieeinsparung und der Nutzung erneuerbarer Energien beeinflusst. Diese Potenziale gilt es zu nutzen. Zielführend ist, dass künftig neben der erforderlichen individuellen Betrachtung des Einzelgebäudes die erweiterte Betrachtung des Quartiers und der Gemeinde erfolgt. Die Energieproblematik wird nicht auf einzelne Gebäude reduziert, sondern erweitert sich auf die energetische Konzeption von Quartieren (Abb. 1). Dadurch können Synergieeffekte und lokale Energieressourcen genutzt werden. Dies setzt eine intensive Auseinandersetzung mit den historischen Gebäuden, lokalen Energiepotenzialen, Energieabnahmedichten und Infrastrukturen voraus.

Hierfür sind geeignete Planungsinstrumente erforderlich, um auf kommunaler Ebene einzelne Maßnahmen zu Energieeinsparung, Effizienzsteigerung und erneuerbaren Energien gezielt zu entwickeln und aufeinander abzustim-

men. Ein Energienutzungsplan (ENP) ist ein informelles Planungswerkzeug, welches die Verknüpfung komplexer Fragestellungen zum Thema Energie ermöglicht. Im Rahmen der Stadtentwicklungsplanung und Stadtsanierung ist er ein wichtiges Instrument, um den Teilbereich Energie zu koordinieren (Abb. 2).

Um Lösungen für den zukünftigen Umgang mit historischen Stadtquartieren aufzeigen zu können, wurde das Forschungsprojekt „Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen“ durch die Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert. Das Projekt zeigt Handlungsmöglichkeiten auf, wie kleine Kommunen mit einem hohen Anteil an historischen Gebäuden energetisch effizient und mit einem hohen Anteil an regenerativen Energien versorgt werden können. Die Forschungsergebnisse werden praxisbezogen am Beispiel der Stadt Iphofen aufgezeigt und können auf andere Städte und Gemeinden übertragen



Abbildung 1: Betrachtungsebenen für die Erstellung von Energienutzungsplänen historischer Quartiere – Gemeinde – Quartier – typische Gebäude

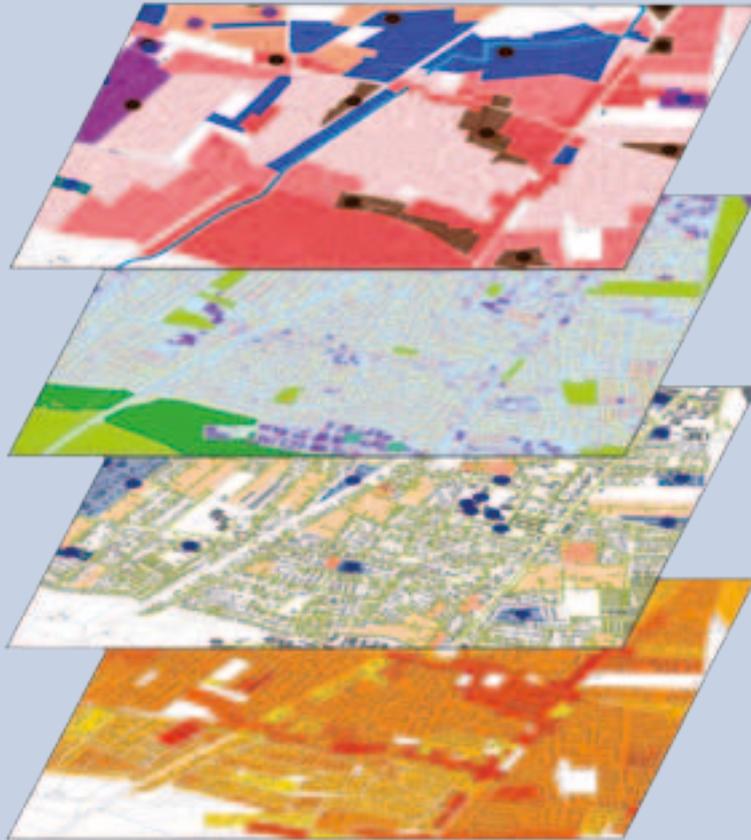


Abbildung 2: Ebenen eines Energienutzungsplans (Kartenausschnitte)

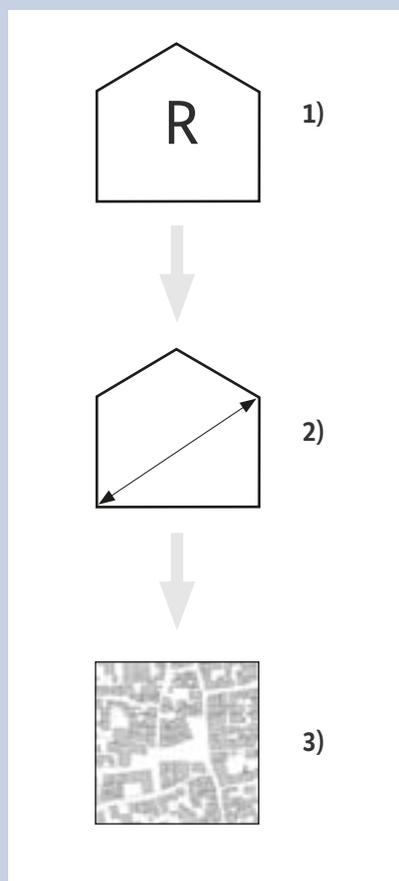


Abbildung 3:

Referenzgebäudeverfahren nach GemEB (Gemeinde-Energieberater Bilanzierungssoftware)

1) Referenzgebäude

Die spezifischen Heizwärmebedarfs-
werte der HEGT-Typologie basieren
auf exemplarischen Berechnungen von
typischen historischen Gebäuden. Diese
Gebäude sind auch in GemEB 2.0 als
Referenzgebäude hinterlegt.

2) Geometrische Anpassung

Da der Einfluss der Gebäudegröße
einen entscheidenden Einfluss auf
den Heizwärmebedarf hat, werden die
Referenzgebäude nach HEGT geome-
trisch an die real vorhandenen Gebäude
angepasst. Diese Anpassung erfolgt mit
der Bilanzierungssoftware GemEB 2.0.

**3) Ortsbezogene Heizwärmebedarfs-
werte**

Dadurch lassen sich gezielt Wärmebe-
darfsdichten ermitteln, die den Faktor
der individuellen Bebauungsstruktur
und die Gebäudegrößen vor Ort be-
rücksichtigen.

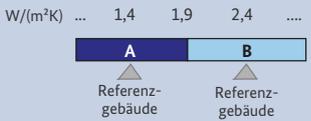
HEGT			Geschosse	Konstruktionsklasse A $Q'h$ [kWh/(m ² Wohnfläche *a)]	Konstruktionsklasse B $Q'h$ [kWh/(m ² Wohnfläche *a)]
1 freistehend/ geringer Anbaugrad				1	227
			2-4	176	230
2 mittlerer Anbaugrad			1	202	239
			2-4	149	188
3 hoher Anbaugrad			1	167	182
			2-4	110	127

Abbildung 4: Historisch-Energetische Gebäudetypologie HEGT

Anhand der Historisch-Energetischen Gebäudetypologie (HEGT) kann auf einfache Weise über die Kriterien des Anbaugrads und die Konstruktionsklasse eine Einschätzung des Wärmebedarfs vorgenommen werden. Die HEGT-Tabelle zeigt eine erste Tendenz des Heizwärmebedarfs der Gebäude auf. Der Heizwärmebedarf ist abhängig von der Kompaktheit bzw. dem Anbaugrad 1, 2, 3 und der Anzahl der Geschosse. Gebäude mit einem hohen Anbaugrad weisen niedrigere Heizwärmebedarfswerte auf. In zweiter Linie ist die Konstruktionsklasse energetisch relevant. Für Iphofen wurden zwei typische Konstruktionsklassen gebildet. Diese Klassen sind jedoch auf eine Vielzahl von Gebäuden auch regional übertragbar. Bei Bedarf kann die Konstruktionsklasse interpoliert und angepasst werden.

Konstruktionsklasse A
z. B. Fachwerkwände mit Lehmgefach sowie massive Steinwände mit geringer Rohdichte wie z. B. Ziegelwände; diese Wände weisen eine thermische Tendenz von $U=1,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf

Konstruktionsklasse B
z. B. Fachwerke mit Steingefach, massive Natursteinwände aus Sandstein, Muschelkalk, Bruchstein, Fachwerke mit Bruchstein-Mauerwerk aus Naturstein oder Lessstein/Feldstein, Fachwerke mit Lehmziegelgefach; je nach Wandstärke können diese Wände eine thermische Tendenz von $U=2,40 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ aufweisen



Energienutzungsplan unter besonderer Berücksichtigung des Denkmalschutzes am Beispiel der Stadt Iphofen

Forscher/Projektleitung	Dipl.-Ing. (FH) Julia Drittenpreis, M. Eng. Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Thomas Schmid, M. Sc. Dipl.-Ing. Oliver Zadow, Architekt
Gesamtkosten	240 000 €
Anteil Bundeszuschuss	120 000 €
Laufzeit	Januar 2011 bis Oktober 2012

werden. Prägend für Iphofen ist der hohe Anteil historischer Fachwerk- und Massivgebäude aus dem 17. und 18. Jahrhundert.

Im Rahmen des Forschungsprojektes ist ein Leitfaden entstanden, der allgemeingültige Empfehlungen, Hinweise zum Arbeitsprozess, Kennwerte und wichtiges Hintergrundwissen für die Umsetzung von Energienutzungsplänen in Kommunen mit einem hohen Anteil historischer Gebäude zusammenfasst. Dabei werden folgende Themenstellungen beleuchtet:

- Historische Quartiere haben ein sehr hohes Potenzial für eine zentrale Versorgung mit erneuerbaren Energien. Dies ist insbesondere auf die hohe städtebauliche Dichte und die damit zusammenhängende hohe Wärmeabnahmedichte zurückzuführen. Im Rahmen des Forschungsprojektes werden wesentliche Zusammenhänge und mögliche Konzepte aufgezeigt.
- Historische Gebäude und Quartiere lassen nur ein begrenztes Maß an energetischer Sanierung zu. Auf Gebäudeseite werden dazu Sanierungs- und technische Nachrüstungsmaßnahmen aufgezeigt, um eine effiziente Versorgung sicherstellen zu können. Mithilfe weiterentwickelter Werkzeuge für den Energienutzungsplan können Sanierungs- und Versorgungsszenarien auf Gemeinde- bzw. Quartiersebene berechnet werden.
- Um die prägenden Kriterien der städtebaulichen Dichte und die Verwendung typischer regionaler Baumaterialien bei der Ermittlung der Wärmebedarfsdichte historischer Quartiere zu berücksichtigen, wurde eine Historisch-Energetische Gebäudetypologie (HEGT) erarbeitet (Abb. 3). Dadurch können unabhängig von Baualtersklassen und historischen Klassifizierungen Wärmebedarfsdichten ermittelt werden.

- Die HEGT-Sanierungsmatrix zeigt exemplarisch die energetische Relevanz unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen auf. Dies ermöglicht eine Abwägung hinsichtlich der gestaltprägenden Auswirkungen, der Wirtschaftlichkeit und der energetischen Relevanz für die Festlegung von angemessenen Gebäudesanierungskonzepten.

Die verorteten Heizwärmebedarfe zur Erstellung der Wärmebedarfsdichtekarten können softwaregestützt ermittelt werden. Hierfür fließt die HEGT-Typologie als Referenzgebäudeverfahren in die eigens entwickelte Bilanzierungssoftware GemEB ein. Mit dieser Software lässt sich der Wärme- und Trinkwarmwasserbedarf mit unterschiedlichen Sanierungsszenarien verbrauchsangenehrt auf Grundlage geometrisch angepasster Referenzgebäude ermitteln (Abb. 4).

Die energetische Stadtsanierung historischer Quartiere mit ganzheitlichen Lösungswegen ist möglich. In Iphofen ist es Ziel, den Energienutzungsplan in den nächsten Jahren schrittweise umzusetzen. Derzeit wird der weitere Ausbau des bestehenden Nahwärmenetzes geplant. Zudem sollen künftig Bürgersprechstunden über geeignete und historisch verträgliche Sanierungsmaßnahmen informieren. Im Sommer 2013 wurde der Stadt Iphofen zusammen mit dem Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Gerhard Hausladen, sowie der SBS-Planungsgemeinschaft die Auszeichnung für „Historische Stadtkerne – integriert denken und handeln“ im Bundeswettbewerb Städtebaulicher Denkmalschutz verliehen. ■

Quellen und Literatur:

[1] Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Hauser, G., Sager, C., Weber, H., co2online gemeinnützige GmbH; Friedrich, M., Becker, D., Grondey, G., Laskowski, F.: CO₂ Gebäudereport 2007, (Hrsg.) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Berlin, 2007

Aktiv-Stadthaus

Das erste innerstädtische Plus-Energie-Mehrfamilienhaus

Manfred Hegger, HHS Kassel

Mit dem Aktiv-Stadthaus sollen die bisherigen Entwicklungen von Plus-Energie-Gebäuden im Einfamilienhausbau erstmals auf einen großmaßstäblichen Geschosswohnungsbau im Innenstadtbereich übertragen und ihre Umsetzbarkeit in Form eines Demonstrativ-Bauvorhabens geprüft werden. Beim Aktiv-Stadthaus handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus, das die ABG Frankfurt Holding derzeit in Frankfurt am Main errichtet und das 2015 fertiggestellt werden soll. Es wird insgesamt acht Geschosse mit 74 Wohneinheiten erhalten.

Gegenstand des Forschungsvorhabens

Ziel ist eine vorbereitende Machbarkeitsstudie zur Entwicklung und Planung von Mehrfamilienhäusern im Netto-Plus-Energie-Standard. Diese konzentriert sich im Wesentlichen auf folgende vier Kernthemen:

- Energiekonzeption
- Elektromobilität im Hausverbund
- Energiemanagement für den Nutzer
- Lebenszyklusbetrachtung

Energiekonzeption

Die Bilanzierung wurde gemäß der Definition Effizienzhaus Plus des BMUB vorgenommen und mit Bilanzen gemäß dem Passivhausprojektierungspaket verglichen. Wesentliche Unterschiede und Empfehlungen wurden auf dieser Basis herausgestellt.

Dabei geht es darum, den Energiebedarf möglichst weitgehend zu senken und den Restenergiebedarf so effizient wie möglich regenerativ zu decken. Bei einer Analyse von Optimierungspotenzialen im Bedarf hat sich im Anschluss an die Optimierung der Gebäudeform und -hülle der Bedarf für Haushaltsstrom als ausschlaggebende Größe herausgestellt. Zudem ist die Kubatur und Geschossigkeit ein wichtiger Faktor für das Erzielen eines Plus im Mehrfamilienhausbau. Das Aktiv-Stadthaus soll als „Nur-Strom“-Gebäude errichtet werden. In der Technikkonzeption ist eine Abwasserwärmenutzung über eine Wärmepumpe für die Wärmebereitung vorgesehen. Die Deckung des Strombedarfs soll über fassaden- und dachintegrierte Photovoltaik erfolgen. Im innerstädtischen Bereich liegt dabei der Fokus auf der Optimierung des PV-Ertrags in der Dachfläche. Gemäß Bilanzierungsansatz nach BMUB wird ein Plus von 11 % erzielt. Eine intelligente Lastmanagement- und

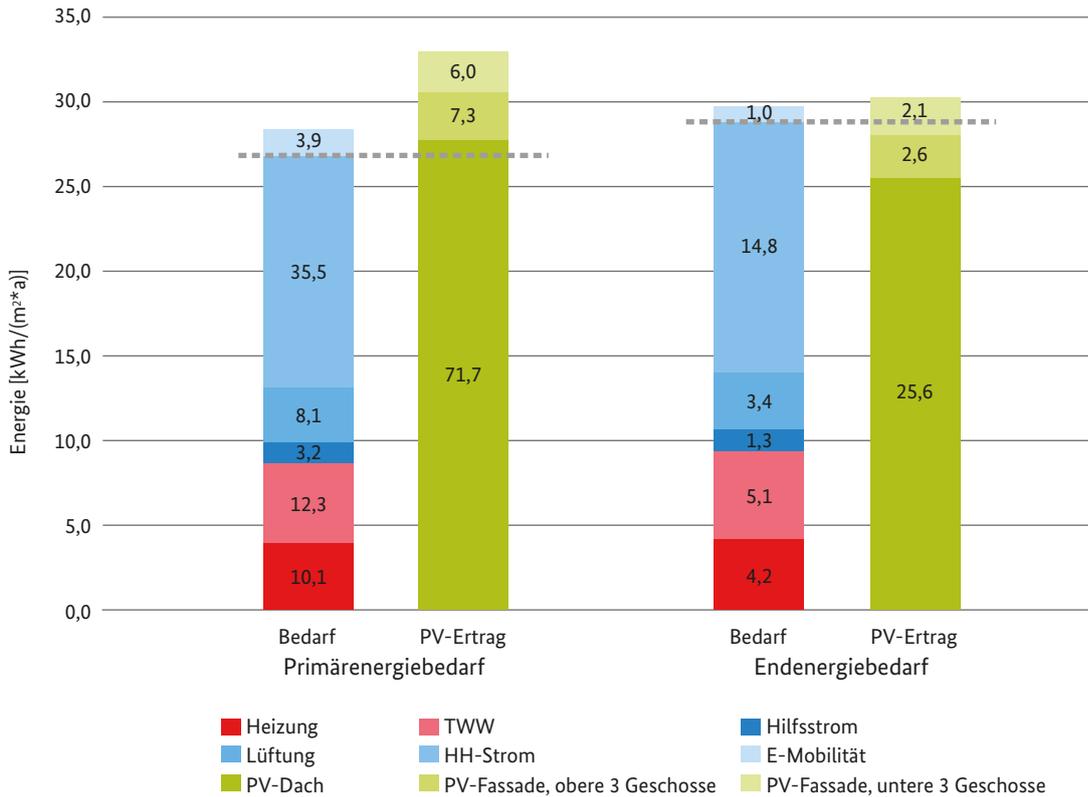


Energieflussschema
Aktiv-Stadthaus



Aktiv-Stadthaus, Rendering,
Perspektive Südwest

Flächenbezug nach EnEV (DIN V 18599): 8764 m²
Standort: Frankfurt



End- und Primärenergiebilanz, Standort Frankfurt, Stand 22.10.12

Speicherkonzeption soll darüber hinaus zu einer Erhöhung des Eigengebrauchs des solar erzeugten Stroms beitragen. Ein Stromspeicher ermöglicht unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit einen ca. 50%igen Eigennutzungsgrad. Eine weitere Erhöhung wird durch die Einbindung der Wärmepumpe in das Lastmanagement erreicht. Für die Umsetzung des Energiekonzepts bedarf es zudem eines neuartigen Abrechnungsmodells im Mietwohnungsbau, welches im Rahmen des Projektes analysiert wurde. Eine monatliche Energiepauschale für Strom und Wärme garantiert dem Anlagenbetreiber einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage und den Nutzern eine erneuerbare und preisstabile Energieversorgung.

E-Mobilität

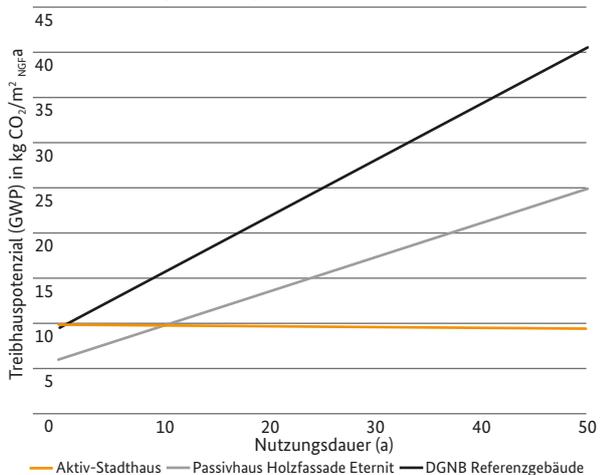
Ganzheitliche energetische Gebäudekonzepte der Zukunft betrachten die Energieströme über die Systemgrenze des Gebäudes hinaus. Hier ist als wesentlicher gebäudenahe Energieverbraucher die Mobilität der Bewohner zu identifizieren. Im Aktiv-Stadthaus soll über die Integration von E-Mobilen im Gebäudeverbund ein nachhaltiges Mobilitätskonzept entwickelt werden. Angedacht ist eine Car-Sharing-Flotte von bis zu acht E-Mobilen und fünf E-Bikes, die den Hausbewohnern und der Öffentlichkeit

zur Verfügung stehen. Durch die Einsparung von Parkraum, die Mehrfachnutzung des Autos und die damit verbundene Umweltentlastung durch solar geladene E-Mobile wird ein nachhaltiges Mobilitätskonzept angestrebt. Für die Ladeinfrastruktur sind sowohl konduktive Ladesäulen wie auch Flächen für induktive Ladung vorgesehen.

Energiemanagement für den Nutzer

Neben innovativen Technologien der Energieerzeugung

Treibhauspotential des Aktiv-Stadthauses im Vergleich zu einem Passivhaus und DGNB Referenzgebäude in gleicher Bauweise



Entwicklung des Treibhauspotenzials (GWP) des Aktiv-Stadthauses aus Gebäudekonstruktion und -betrieb über 50 Jahre im Vergleich zu einem Passivhaus und dem DGNB-Referenzgebäude gleicher Bauweise.



Beispielseiten Nutzerinterface: Startseite, Energiebilanz, E-Mobilität, Stromverbrauch (Monat, aktuell und Vergleich der einzelnen Stromverbräuche)

sollen die Nutzer über ein Nutzerinterface zum Energiesparen sowie zur Steigerung des Eigengebrauchs des solar erzeugten Stroms angeregt werden. Über Touchpanels in den Wohneinheiten werden Energieverbrauch sowie regenerative Energieerzeugung des Gebäudes sichtbar gemacht. Ein Warmmietenkonzept mit einem bedarfsgerechten Energieguthaben soll zudem einen verstärkten Anreiz zur Energieeinsparung schaffen. Ein Nutzerinterface mit Integration eines Guthabenskonzeptes wurde im Rahmen des Forschungsprojektes skizzenhaft entwickelt.

Lebenszyklusanalyse

Aufgrund der reduzierten Betriebsenergieverbräuche gewinnen Energieaufwendungen im gesamten Lebenszyklus des Gebäudes an Gewicht. Vor allem beim Plus-Energie-Standard gilt es, den Materialeinsatz detailliert zu untersuchen und zu optimieren, damit die Plus-Energie-Bilanz nicht durch im Betrieb unsichtbare Energieaufwendungen energetisch „teuer“ erkaufte wird. Eine erhebliche Energieaufwendung in der Herstellung stellt die Photovoltaik dar.

Durch das Plus im Gebäudebetrieb erreicht das Aktiv-Stadthaus jedoch ein leicht negatives Treibhauspotenzial im Betrieb. Verglichen mit einem Passivhaus kompensiert es die Mehrmissionen aus der Gebäudekonstruktion in ca. zehn Jahren.

Die Studie zeigt die Machbarkeit eines Plus-Energie-Mehrfamilienhauses im urbanen Kontext. Die erschwerten Bedingungen, wie das beengte Grundstück und die acht Geschosse, erlauben dennoch einen bilanziellen Überschuss an End- und Primärenergie. Grundlage hierfür sind eine optimierte energetische Gebäudehülle, eine hocheffiziente Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe und energieeffiziente Haushaltsgeräte in Kombination mit einer Photovoltaikanlage auf dem Dach und in der Fassade. Der Plus-Energie-Standard erfordert bereits in frühen Entwurfs- und Planungsphasen einen interdisziplinären Dialog zwischen den Architekten und Fachplanern. Der Mehraufwand und die Ergebnisse für das Gebäude, die Umwelt und die Profession lohnen jedoch nachhaltig. ■

Aktiv-Stadthaus

Forscher/Projektleitung	<ul style="list-style-type: none"> • TU Darmstadt, Fachbereich Architektur, Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, Prof. Manfred Hegger (FGee), Projektleitung • Steinbeis-Transferzentrum Energie-, Gebäude und Solartechnik (STZ), Prof. Dr.-Ing. Norbert Fisch • HHS Planer + Architekten AG
Drittmittelgeber	<ul style="list-style-type: none"> • ABG FRANKFURT HOLDING, Wohnungsbau- und Beteiligungsgesellschaft mbH • Hager Vertriebsgesellschaft mbH & Co. KG
Gesamtkosten	277 597 €
Anteil Bundeszuschuss	164 697 €
Laufzeit	Dezember 2011 bis einschl. Februar 2013



Effizienzhaus Plus Berlin

Marktübersicht Hausbatterien

Tobias Mayer, LION Smart

Die Zahl an Erzeugern von regenerativer Energie steigt und birgt nicht nur Vorteile wie Klimaschutz, Unabhängigkeit oder Kostensparung. Im Gegensatz zu konventionellen Kraftwerken liefern diese nämlich auch dann Strom, wenn er nicht benötigt wird, oder nur dann, wenn die Umweltbedingungen dies zulassen.

Durch das Vorhaben der Bundesregierung, bis 2050 einen Großteil des Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien zu decken, rückt die Frage nach Stromspeichern mehr und mehr in den Vordergrund. Eine Möglichkeit dazu bietet die Nutzung von Hausbatterien.

Im Rahmen des Forschungsprojekts Marktübersicht Hausbatterien wurden zunächst die dafür besonders infrage kommenden Haustypen genauer betrachtet, um die Standardsituation für die Nutzung einer großen Hausbatterie zu definieren. Nach Vorgaben des Industrieausschusses des Europäischen Parlaments sollen sämtliche Gebäude, die ab 2019 neu errichtet werden, ihren Energieverbrauch selbst decken können. Diese Ziele können nur mittels regenerativer Energiequellen und Zwischenspeicher erreicht werden. Im nächsten Schritt werden Verbräuche, Erzeugungsleistungen und Erzeugungsmengen detaillierter betrachtet. Faktoren, die hier eine besondere Rolle spielen, sind die Personen-

anzahl eines Haushaltes, die Art der Wärmeerzeugung und Stromerzeugung sowie große Verbrauchsposten wie die Nutzung von Elektrofahrzeugen. Für stationäre Hausbatterien spielt dabei die Stromerzeugung durch Solaranlageflächen eine besondere Rolle. Ferner werden die Randbedingungen der Wirtschaftlichkeit beleuchtet, hierfür wurden Anschaffungskosten und Vergütungskosten gegenübergestellt. Ein Überblick der möglichen Energiespeicherarten beleuchtet die besonderen Vorteile eines stationären Lithium-Ionen-Batteriespeichers. In einem gesonderten Kapitel wird die Verwendung gebrauchter Batteriezellen, die sogenannte Second-Life-Nutzung, beleuchtet. Diese Idee wird vorerst in-



Stationärer Second-Life-Batteriespeicher des Effizienzhauses Plus

nerhalb des Pilotprojektes Effizienzhaus Plus in Berlin, eines durch das BMUB geförderten Forschungsprojekts, geprüft. Nach den bisher gesammelten Erfahrungen der LION Smart GmbH sind für eine umfangreiche kommerzielle Second-Life-Nutzung von Batteriezellen noch einige Voraussetzungen zu erfüllen. Zum Ende der Studie werden baurechtliche Fragestellungen und unterschiedliche Betriebsweisen sowie Förderrichtlinien vorgestellt. Eine Marktübersicht über die verfügbaren stationären Systeme anhand ausgewählter Parameter gibt einen Überblick über den Stand der Technik. Prognosen hinsichtlich der weiteren Marktentwicklung und die Betrachtung der Entsorgung schließen die Analyse ab.

Grundsätzlich sind Lithium-Ionen-Batterien gut für stationäre Speicheranwendungen geeignet, jedoch sind die Erfahrungen mit solchen Speichern noch gering und der Preis der Systeme für einen wirtschaftlichen Einsatz ist noch zu hoch. Auf Zellebene ist die Kostenparität

mit vergleichbaren Bleisystemen jedoch bereits erreicht. Für eine Second-Life-Verwendung ist eine Vielzahl von Voraussetzungen zu schaffen. Bei weiter fallenden Batteriezellpreisen erscheint eine solche Wiederverwendung im privaten Bereich eher fraglich. Wachsende Stückzahlen, insbesondere im Anwendungsbereich Elektrofahrzeuge, werden die Preise der Batterien aber voraussichtlich weiter senken und so auch wirtschaftlich rentable Stationärspeicher ermöglichen. Die Förderung stationärer Speicher gibt hierzu den ersten Anreiz. Grundsätzlich ist beim Kauf eines stationären Speichers auf die Garantie und die Lebensdauer zu achten sowie auf eine entsprechende Sicherheitsabnahme durch ein unabhängiges Testinstitut, wie z. B. des LION Smart Joint Ventures, der TÜV SÜD Battery Testing GmbH. Ein stationärer Speicher bietet sich für alle diejenigen Nutzer an, die daran interessiert sind, ihren Eigenverbrauch aus erzeugter Solarenergie zu maximieren und Netzausfälle durch eine Notstromversorgung zu kompensieren. ■

Marktübersicht Hausbatterien – LION Smart GmbH

Forscher/Projektleitung	Bojan Sandurkov, Waldemar Parschkoff
Projektleiter	Tobias Mayer
Laufzeit	bis Ende 2015

Batteriekapazitätstool

Oliver Mayer, General Electric Global Research

Das Speichern von Energie ist heute ein wichtiges Thema bei der Nutzung regenerativer Energien. Speicherung ist eigentlich selbstverständlich, wenn wir mit Energie umgehen: Wir speichern Lebensmittel in Regalen und Kühlschränken, wir speichern Treibstoff im Tank unseres Autos, ein Kohlekraftwerk funktioniert nicht kontinuierlich, wenn nicht eine Kohlehalde als Speicher verfügbar ist, und in einem Atomkraftwerk werden große Mengen an Brennstäben im Reaktor platziert, was auch eine Speicherung darstellt. Für regenerative Energien ist daher das Thema Speicherung genauso wichtig wie normal und nichts Besonderes.

Dieses Projekt fokussiert sich auf das „regenerative Energiemanagement für Wohnhäuser“. Kosten für elektrische Energie steigen stetig. Aus diesem Grund gibt es einen positiven Trend zum Eigenverbrauch dezentral erzeugter Energie. Das Auftreten von regenerativer Energie aus Photovoltaik und Wind ist Fluktuationen unterworfen. Vonnöten ist eine Speicherlösung, um den Eigenverbrauch zu steigern. Batterien erfüllen als Speicher die Anforderungen für ein Wohnhaus, da diese klein und leistungsstark sind.

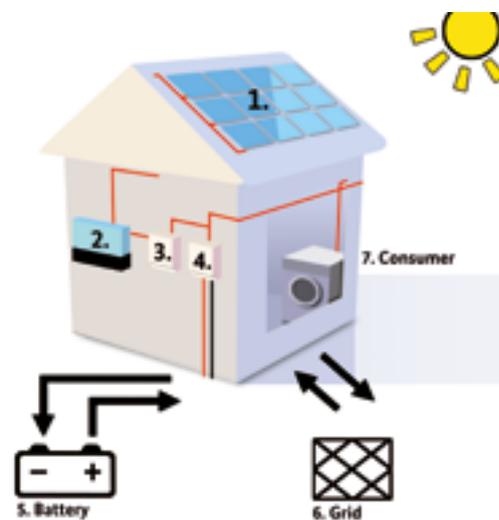
Im Rahmen des Projektes ist zu ermitteln: Welche Dimensionierung der Batteriekapazität ist für ein Wohnhaus nötig und wie viel Eigenverbrauch kann damit erreicht werden?

Ein Simulationsprogramm wurde entwickelt zur Überprüfung der Auslegung. Die Anforderungen wurden auf eine einfache und leicht handhabbare Software gelegt. Die Berechnung erfolgt als Besonderheit über eigens anpassbare Last- und Generatorprofile. Eigenverbrauch kann zu einem

zufriedenstellenden Maße erhöht werden. Die Bedingung dafür sind fortlaufende und hinreichende Energieerträge von der Generatorseite.

Übersicht, wie ein PV- und Batteriesystem arbeitet:

1. PV-Generator
 2. Wechselrichter
 3. Einspeisungszählermesser
 4. Zweiwegeregler
 5. Batterie
- Speicherung überschüssiger Energie, wenn die Anforderung bereits berücksichtigt ist
 - Leistungsanforderung, wenn Erzeugung ausreichend ist
6. Stromnetz
- Volle Batterie:
- Einspeisung in das Netz
- Leere Batterie:
- Energienachfrage aus dem Netz
7. Verbraucher



Schema für ein Haussystem

Das Bild zeigt ein typisches Energiesystem für ein Einfamilienhaus mit PV-Anlage. Die PV-Anlage erzeugt tagsüber Strom, der mittels Wechselrichter von Gleichstrom in Wechselstrom umgewandelt wird. Die Menge an generiertem Strom wird gemessen. Eine Batterie ist an das Wechselstromnetz über einen Regler angeschlossen. Je nach PV-Energieerzeugung, Ladezustand der Batterie und Verbraucherlast, wird die Batterie über PV geladen, an die internen Verbraucher entladen oder aus dem Netz geladen. Für diese Situation wurde ein Softwaretool entwickelt, mit dem die optimale Größe der Batteriekapazität bestimmbar ist unter energetischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

Methodik

Das PV-Batterieprogramm wurde konzipiert, um dem „KISS“-Vorgehen zu entsprechen (keep it short and simple). Daher wurden Excel und die integrierte Sprache Visual Basic for Applications (VBA) als Programmplattform gewählt. Dieses Officeprodukt ist weit verbreitet.

Ein Generator (photovoltaisch) versorgt die Verbraucher eines Wohnhauses zusätzlich zum Netz. Der Verbrauch eines Haushalts wird über ein genormtes Lastprofil, das mit H0 bezeichnet wird, beschrieben. H0 ist das einzige Profil



Neuer Batteriespeicher, Kapazität 13,2 kWh



für Haushalte. Für Nichthaushalte gibt es andere Profile, wie G0 für Gewerbe, N0 für Nachtheizung, L0 für Landwirtschaft und A0 für Straßenbeleuchtung.

Das Profil H0 ist ein Mittelwert von 150 Haushalten. Die Schrittgengauigkeit beträgt 15 Minuten. Die Intervallgröße von 15 Minuten wird als Voreinstellung von den Versorgungsunternehmen für die Abrechnung verwendet. Die PV-Daten wurden über die SQL-Datenbank von GE Global Research Europe in Garching bei München gewonnen. Die Ein-Sekunden-Genauigkeit wurde auf 15-Minuten-Mittelwerte summiert.

Die Last- und Erzeugungsprofile können subtrahiert werden, um den Energiewert zu berechnen, der geladen oder entnommen werden muss.

Der Batterie-Berechnungsalgorithmus wurde als nächstes entwickelt. Überschüssige Energie wird innerhalb vorgegebener Grenzen in der Batterie gespeichert. Energie wird von der Batterie geliefert, solange der minimale Ladezustand nicht erreicht ist. Die Eigenverbrauchsquote im

Programm wird auf die Gesamtladedaten und nicht auf die Gesamterzeugung angewandt.

Simulationstool

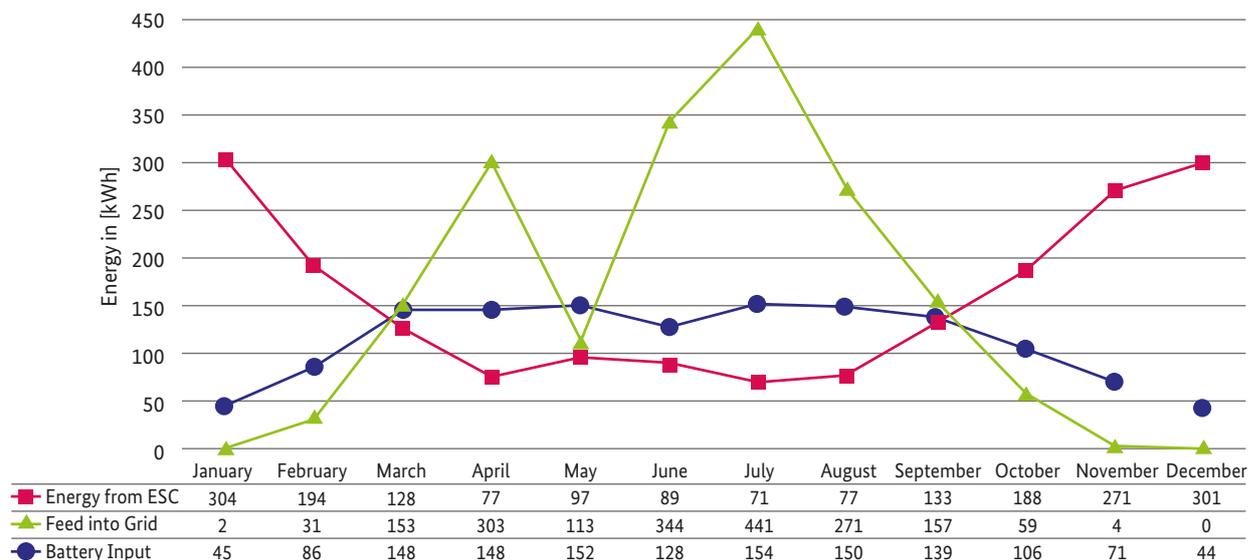
Das Simulationstool ist in einzelne Registerkarten unterteilt:

1. Hauptmenü
2. Profilübersicht
3. Parametereinstellungen
4. Ein-Jahres-Datenberechnung
5. Monte-Carlo-Simulation
6. Robustheitsanalyse

Hauptmenü

Das Hauptmenü enthält sämtliche Haupteingangsparameter für Generatoren, Lasten und Batterie sowie wichtige Ausgangswerte, wie Energieeinspeisung in das Netz, vom Stromlieferanten erhaltene Energie und Batteriecharakteristiken. Erzeugung, Last und Batterie sind editierbar. Nach Eingabe der Daten in den INPUT-Abschnitt werden durch Drücken der [Calculate]-Taste die OUTPUT-Daten, die monatliche Ansicht sowie die zwei-Tages-Musteransicht unmittelbar aktualisiert.

Ergebnisgrafik



Ergebnisgrafik

Das Bild zeigt das Jahresergebnis einer Simulation. Die Einspeisung ins Netz steigt bis Juli (grüne Linie), während sich der Netzverbrauch gegensätzlich verhält und in den Wintermonaten steigt; der Batteriedurchsatz hängt von der Batteriekapazität ab. Von März bis September ist der Batterie-Input nahezu identisch. Die Kapazität kann für höhere Eigenverbrauchsraten erhöht werden, da die Einspeisung in das Netz ausreichend ist und die Energie weiterhin vom Stromversorger geliefert werden muss. Der Batterie-Input erreicht seine Maxima um die Monate März und September aufgrund der moderaten Einstrahlung und des moderaten Energiebedarfs. Im Sommer ist der Energie-Input niedriger. Es gibt reichlich überschüssige Energie und der Bedarf ist auf dem Minimum. Die Batterie wird wahrscheinlich nicht

einmal über Nacht entladen. Aus diesem Grund erreicht der Netzverbrauch ebenso sein Minimum. Die Batterie wird während der Monate Oktober bis einschließlich Februar nicht effizient genutzt. Zu dieser Zeit sollte für eine bessere Lebenserwartung der Batterie der Ladealgorithmus optimiert werden für einen höheren mittleren Ladezustand.

Zusammenfassung

Speicher sind ein zentrales Element für die Eigennutzung von PV-Strom. Es stellte sich die Frage nach der richtigen Größe eines Speicher im Spannungsfeld zwischen Investitionskosten und Einsparung von Stromkosten. Hierzu wurde ein einfaches, aber effektives Simulationstool auf Excelbasis erstellt. ■

Gebäude als Stromspeicher

Jakob Schneegans, Klaus Klimke, Hana Riemer, TU München

Im Zuge der Energiewende gewinnt die Integration erneuerbarer Energien maßgeblich an Bedeutung. Dazu werden die Stromerzeuger zukünftig mit den Verbrauchern in einem intelligenten Stromnetz, dem „Smart Grid“, gesteuert. Das System kann aktiv in Lastgänge eingreifen, um den Verbrauch an die zunehmend fluktuierende Erzeugung anzupassen.

Im Rahmen eines aktuell laufenden Forschungsvorhabens am Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik der Technischen Universität München wird untersucht, welche Gebäudetypen und Anlagentechniken für Lastmanagement geeignet sind, indem Stromspitzen in der Gebäudemasse thermisch zwischengespeichert werden.

Das Potenzial zur Nutzung von Lastmanagement in Gebäuden wird sowohl durch die technische Gebäudeausrüstung (TGA) als auch durch die bauphysikalischen Eigenschaften des Gebäudes bestimmt. Die Speicher- und Lastmanagementpotenziale werden mittels gekoppelter Gebäude- und Anlagensimulationen untersucht. Die zeitliche Verschiebung des Betriebs gebäudetechnischer Systeme geschieht dabei unter der Randbedingung, dass in den Räumen die Kriterien der thermischen Behaglichkeit erfüllt werden. Für die Potenzialermittlung wird in einem ersten Schritt lediglich die operative Raumtemperatur als Kriterium betrachtet. Das Behaglichkeitsband wird in der Heizperiode von 20–24 °C, im Kühlfall von 22–26 °C festgelegt. Für eine tatsächliche Implementierung von Lastmanagementmaßnahmen müssen weitere Behaglichkeitskriterien berücksichtigt werden (z. B. Strahlungsasymmetrie, Luftfeuchte).

Um die Vielzahl an unterschiedlichen Nutzungsarten, Altersklassen und baulichen Eigenschaften zu begrenzen, wird zunächst eine Vorklassifizierung in acht repräsentative Gebäudetypen aus den Sektoren Wohnen, Büro und Einzelhandel vorgenommen. Die Variation der Wärme- und Kälteübergabesysteme ist in Abbildung 1 zusammengefasst.

Sensitivitätsanalyse

Um den Einfluss auf das Speicherpotenzial zu quantifizieren, wird eine Sensitivitätsanalyse mittels thermischer Gebäudesimulation eines Modellraums durchgeführt. Die isoliert betrachteten Parameter sind beispielsweise Bauweise, Speicher- masse, TGA und interne Wärmelasten. Ausgehend von einer definierten Ausgangstemperatur (Komforttemperatur)

wird das thermische Aufheiz- bzw. Auskühlverhalten des Raumes in Abhängigkeit des jeweiligen Parameters untersucht. Dabei werden konstante Randbedingungen für den Heiz- und Kühlfall unterschieden.

In Abbildung 2 ist das Auskühlverhalten des Modellraumes in Abhängigkeit der Bauweise für den Heizfall dargestellt. Es zeigt sich, dass sich eine mögliche Abschalt- dauer bis zur unteren Behaglichkeitsgrenze bei einer schweren Bauweise gegenüber einer leichten Bauweise mehr als vervierfacht.

In Abbildung 3 ist das Zuschaltverhalten des Modellraumes bei einer mittelschweren Bauweise in Abhängigkeit der Wärmeübergabesysteme Bauteilaktivierung (BTA), Radiatorheizung sowie Fußbodenheizung (FBH) dargestellt. Die maximal mögliche Zuschalt- dauer, bis der obere Temperaturgrenzwert von 24 °C erreicht wird, ist bei Verwendung einer trägen BTA etwa siebenmal so lang wie bei einer Radiatorheizung, welche schneller reagiert und zunächst die Raumluft erhitzt.

Gebäudespezifische Simulation

In einem dynamischen Simulationsansatz mit instationären Randbedingungen werden die gewählten Gebäudetypen und deren Nutzungsprofile auf ihr instationäres Lastmanagementpotenzial untersucht. Mit ausgewählten Außen- temperatur- und Strahlungsdaten eines Testreferenzjahres wird das zeitabhängige Verhalten bei Ab- bzw. Zuschalten des Wärme- und Kälteübergabesystems analysiert. Dieser Ansatz liefert Antwort auf die Frage: Wann kann *wie viel* Leistung für *wie lange* ab- bzw. zugeschaltet werden, um das Stromnetz zu entlasten?



Photovoltaikanlage auf einem Einfamilienhaus

	Gebäudetyp	Heizsystem	Kühlsystem
Wohnen			
Büro			
Handel			

Abbildung 1: Ausgewählte Gebäudetypen und deren Anlagentechniken

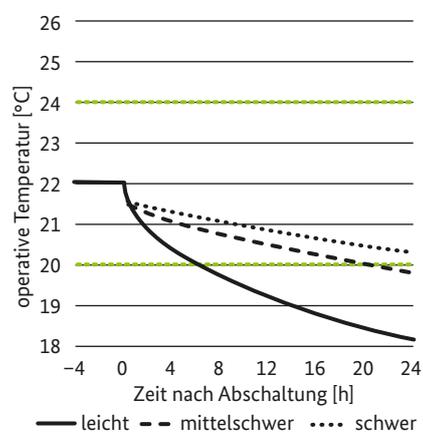


Abbildung 2: Simulationen zur maximal möglichen Abschaltdauer in Abhängigkeit der Bauweise

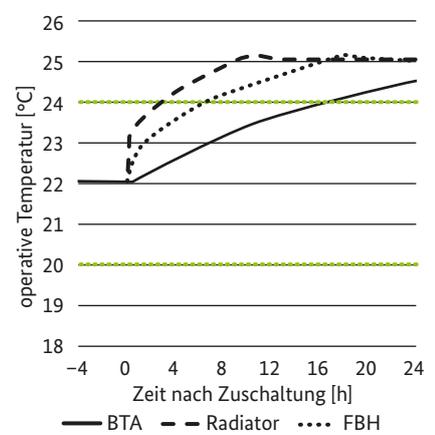


Abbildung 3: Simulationen zur maximal möglichen Zuschaltdauer in Abhängigkeit des Wärmeübergabesystems

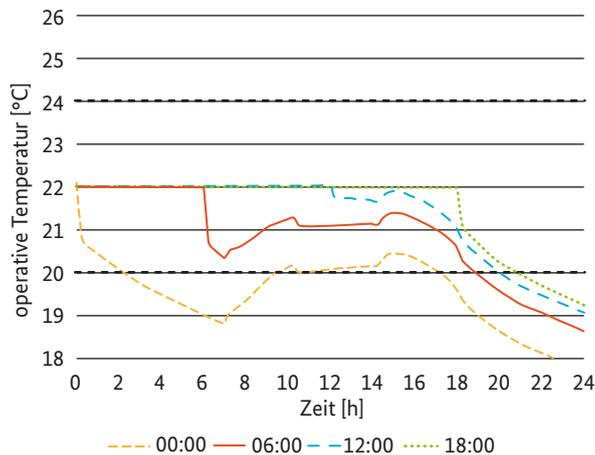


Abbildung 4: Verlauf der operativen Raumtemperatur nach Abschalten der Heizung zu unterschiedlichen Zeitpunkten beim Gebäudetyp Büroneubau an einem sehr kalten Wintertag

Beispielhaft wird der Verlauf der operativen Raumtemperatur nach Abschalten der Heizung an einem sehr kalten Wintertag anhand eines Büroneubaus in Abbildung 4 dargestellt. Darin wird der Einfluss der Nutzungszeit und der internen Wärmelasten von Personen und elektrischen Geräten deutlich. Wird die Heizung um Mitternacht abgeschaltet, fällt die Temperatur bereits nach ca. zwei Stunden unter die Behaglichkeitsgrenze von 20 °C. Ab sieben Uhr führen interne Wärmelasten sowie Wärmegewinne durch solare Einstrahlung dazu, dass die Auskühlung gebremst wird und die operative Temperatur sogar zeitweise ansteigt. Bei einer Abschaltung der Heizung um sechs Uhr wird daher das thermische Behaglichkeitsband erst nach etwa 13 Stunden verlassen. Die tageszeitabhängigen maximalen Abschaltdauern für den betrachteten Wintertag sind in Abbildung 5 mit einer durchgängigen schwarzen Linie zusammengefasst. Im gleichen Diagramm wird in rot die

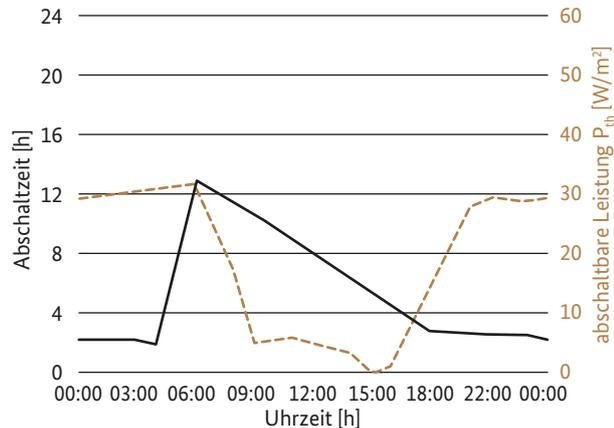


Abbildung 5: Abschaltdauer und abschaltbare Leistung des Gebäudetyps Büroneubau an einem sehr kalten Wintertag

spezifische Heizleistung dargestellt, die benötigt wird, um zu jedem Zeitpunkt die Komforttemperatur von 22 °C einhalten zu können. Das Lastmanagementpotenzial, das zu einer Uhrzeit maximal möglich wäre, wird durch Integration der Leistung über die längst mögliche Abschaltdauer zu diesem Zeitpunkt berechnet. Im betrachteten Fall der Abschaltung um sechs Uhr ergibt die Integration der abschaltbaren Heizleistung über die folgenden 13 Stunden ein maximal nutzbares thermisches Potenzial von etwa 125 Wh/m². Für eine Integration der volatilen regenerativen Energieerzeugung ist bereits eine kurzzeitige Regelleistung zur Entlastung der Stromnetze relevant. Daher wird in der Studie auch ein kurzzeitiges, auf zwei Stunden begrenztes, Lastmanagementpotenzial betrachtet. Wie in Abbildung 6 dargestellt, beträgt das kurzzeitige Abschaltpotenzial für das Büromodell in der Nacht durchschnittlich 60 Wh/m² und tagsüber, aufgrund des durch interne Lasten reduzierten Heizbedarfs, lediglich 10 Wh/m².

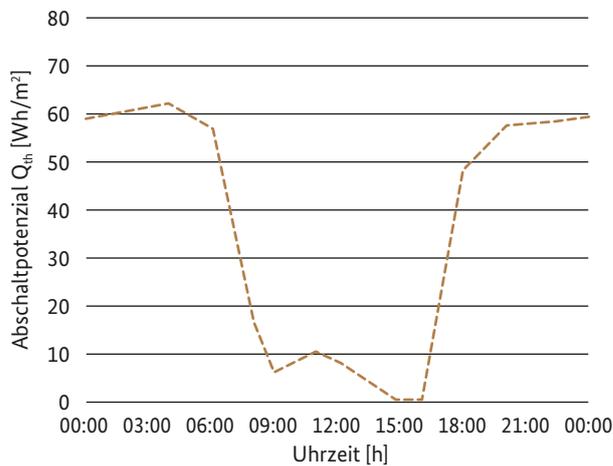


Abbildung 6: Kurzzeitiges Lastmanagementpotenzial des Gebäudetyps Büroneubau bei den gewählten Randbedingungen eines sehr kalten Wintertags

Die Analyse der Lastmanagementpotenziale wird in einem Gebäudekatalog zusammengefasst, in dem die Eignung der untersuchten Gebäudetypen zur Entlastung des Stromnetzes bei unterschiedlichen Wetterbedingungen und Tageszeiten verglichen wird.

Jede Gebäudetypologie wird mit sieben Typtagen simuliert, die repräsentativ den Wetterverlauf eines Jahres abbilden. Dies ermöglicht eine Abschätzung des Lastmanagementpotenzials in einer jahreszeitlichen Betrachtung. Beispielsweise zeigt das Gebäudemodell Büroneubau während der Nachtstunden der Wintermonate ein besonders hohes Abschaltpotenzial. Dieses nimmt in der Übergangszeit ab und ist im Sommer vernachlässigbar gering. Der jahres-

zeitliche Verlauf ist vor allem durch den variierenden Leistungsbedarf begründet. Leistungsspitzen der Heizung in sehr kalten Nächten zeigen hohe Potenziale für kurzfristige Abschaltungen. Der reduzierte Heizbedarf während der Übergangsmonate bietet die höchsten Zuschaltpotenziale. Da in Büros die Kühlung nachts meist abgestellt wird, steht im Sommer auch keine abschaltbare Leistung während der Nachtstunden zur Verfügung.

Zur Abschätzung eines absoluten Lastmanagementpotenzials werden in einem weiteren Schritt die untersuchten Gebäudetypen mit ihrem Flächenbestand gewichtet. Die Studie soll im Juli 2014 veröffentlicht werden. ■

Speicher- und Lastmanagementpotenziale in Gebäuden

Forscher/Projektleitung	Dipl.-Ing. Jakob Schneegans, Dipl.-Wirt.-Ing. Klaus Klimke
Gesamtkosten	150 000 €
Anteil Bundeszuschuss	100 000 €
Laufzeit	bis Mai 2014



Plusenergiehaus in Köln- Frechen

Das Plusenergiehaus in einem virtuellen Kraftwerk

Tobias Langshausen, TSB Bingen

Eine Batterie in einem Effizienzhaus wird bisher vor allem eingesetzt, um den Nutzungsanteil des eigenerzeugten Stroms zu steigern. Zusätzlich sind jedoch auch Systemdienstleistungen für das Stromnetz denkbar. Im Rahmen eines Forschungsprojektes des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung wurde die Batterie in ein virtuelles Kraftwerk integriert, um die Möglichkeiten der Systemdienstleistungen zu testen. Gleichzeitig wurde ein Onlineoptimierer vorgeschaltet, um die Wirtschaftlichkeit zu verbessern.



Im Rahmen der Energiewende erfolgt der stetige Ausbau der regenerativen, im Wesentlichen fluktuierenden Stromerzeuger. Hierdurch wird der Bedarf für die Regelenergie zur Stabilisierung der Netzfrequenz weiterhin zunehmen. Diese muss in Zukunft immer mehr von dezentralen Anlagen bereitgestellt werden.

Fällt die Netzfrequenz, herrscht Strommangel und es müssen weitere Stromerzeuger in das Netz einspeisen bzw. Verbraucher ihre Stromaufnahme reduzieren. Steigt die Netzfrequenz, gibt es einen Stromüberfluss. Die Stromerzeugung muss reduziert werden oder Verbraucher müssen zuschalten. Das Zuschalten bzw. Reduzieren der Leistung wird in den Märkten der Regelenergie vergütet.

Im Rahmen des Projektes sollte untersucht werden, welche Möglichkeiten die Gebäudewirtschaft in diesem Kontext durch die Bereitstellung von Batterien hat. Diese können theoretisch in der Nacht über die Regelenergie beladen und tagsüber entladen werden. Dies steht eventuell im Konflikt mit dem eigentlichen Sinn einer Batterie. In der Abbildung auf Seite 58 wird ein typischer Verlauf des Ladezustands der Batterie dargestellt. Eine Beladung der Batterie in der Nacht über die negative Regelenergie, würde die Möglichkeiten der Beladung am Tag durch den selbst erzeugten Strom reduzieren. Hier gilt es das wirtschaftliche Optimum zu bestimmen.

Aus diesem Grund wurde ein Online-Optimierer entwickelt, welcher neben dem gelernten Nutzungsverhalten im Gebäude, der Wetterprognose auch die Strommärkte beobachtet, um zum richtigen Zeitpunkt die maximale Flexibilität im Sinne der Regelernergie oder den optimalen Ladezustand im Sinne der Nutzung von selbst erzeugtem Strom zu erreichen.

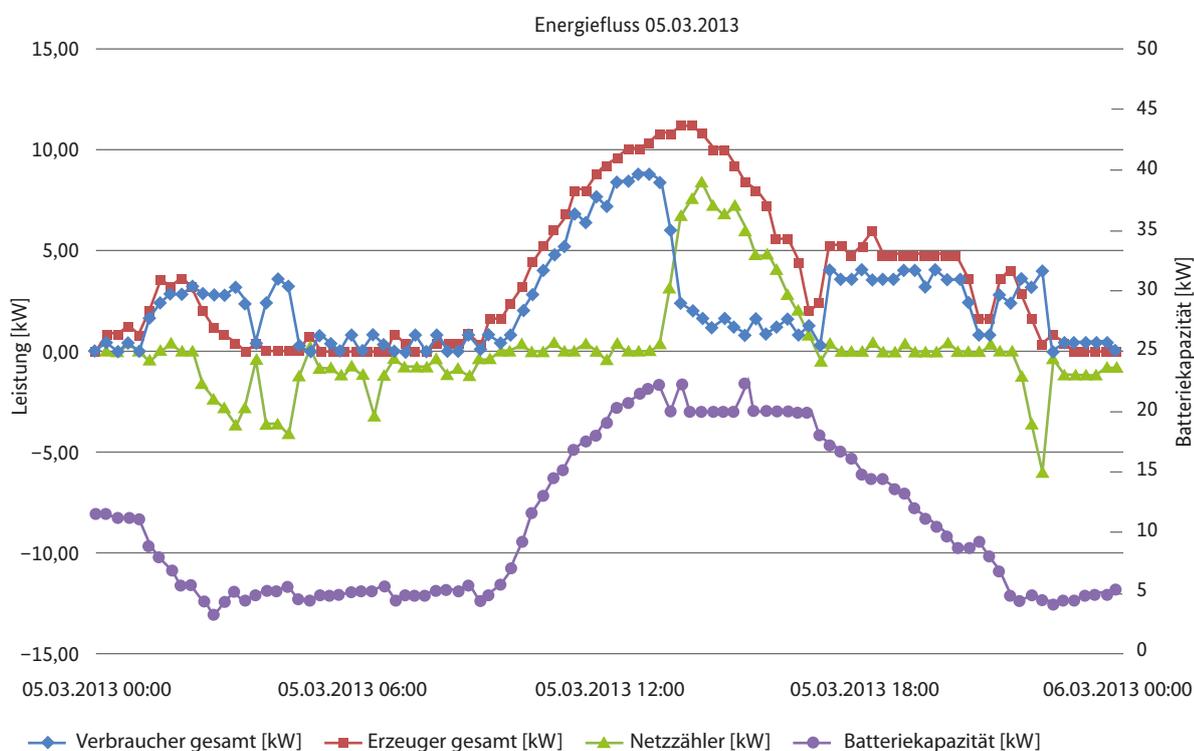
Kommunikative Anbindung in ein virtuelles Kraftwerk

Die bei der Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung Bingen seit über 10 Jahren entwickelte und mit einer gepoolten Leistung von über 200 MW im Einsatz befindliche Technik des virtuellen Kraftwerks (Software EC24) wurde für den Aufbau genutzt. Die Anbindung an EC24 wurde realisiert, indem direkt an das Gebäudeleitsystem / Energiemanagementsystem (EMS) des Gebäudes angekoppelt wurde.

Die erforderlichen Datenpunkte wurden definiert und deren Übertragung in ein Energiedatenmanagementsystem eingerichtet, sodass die Daten archiviert, visualisiert und ausgewertet werden können. Die Ansteuerung der Batterieanlage wurde mit den für die Erbringung von Minutenreserve notwendigen Parametern auf der Schnittstelle komplett definiert. Die Datenübermittlung wurde in beide Richtungen funktionsfähig eingerichtet.

Entwicklung eines energiewirtschaftlichen Optimierers

In der energiewirtschaftlichen Optimierung wurde der Stromeinkauf und die PV-Strom Eigennutzung mit Zwischenpufferung durch die Batterie als Standardvariante der Stromversorgung und Batterienutzung angenommen. Durch eine energiewirtschaftliche Optimierung können zusätzliche Erlöse erzielt werden, welche maßgeblich von den



Energiefluss im Effizienzhaus Plus

Freiheitsgraden der Batterie und der Prognosegüte des Verbrauchs sowie der Erzeugung am Folgetag abhängen. Für die Optimierung wurden der Regelleistungsmarkt der Minutenreserve (Vermarktung am Folgetag) und der Intradaymarkt (Vermarktung in der Folgestunde) herangezogen.

Der energiewirtschaftliche Optimierer verarbeitet aktuelle Messwerte aus dem Effizienzhaus Plus und ebenso die vorhandenen Prognosewerte des Verbrauchs und der Erzeugung. Auf Basis dieser Werte werden die zu vermarktenden Leistungen in den einzelnen Zeitscheiben der Minutenreserve berechnet. Dazu wurde ein Ranking der Zeitscheiben nach deren Einnahmepotenzial erstellt. Die Vermarktung findet dann immer zuerst in denjenigen Zeitscheiben statt, die statistisch den größten Minutenreserve Bedarf aufweisen.

Die untertägige Vermarktung am Intradaymarkt kann erfolgen, wenn die Anlagenleistung in derselben Leistungsrichtung noch nicht in der Minutenreserve vermarktet worden ist. Interessant ist die Vermarktung am Intradaymarkt dann, wenn die Angebote in der Minutenreserve durch zu hohe Leistungspreise keinen Zuschlag bekommen oder sich untertägig neue Freiheitsgrade ergeben.

Finanzielle Potenzialabschätzung

Die durch den energiewirtschaftlichen Optimierer berechneten Freiheitsgrade können in der Minutenreserve vermarktet werden und so Einnahmen generieren. Je nach Angebotsstrategie in der Minutenreserve können unter-

schiedliche Erlöse erzielt werden, diese sind vor allem abhängig vom gebotenen Arbeitspreis.

Vermarktungsbeispiel:

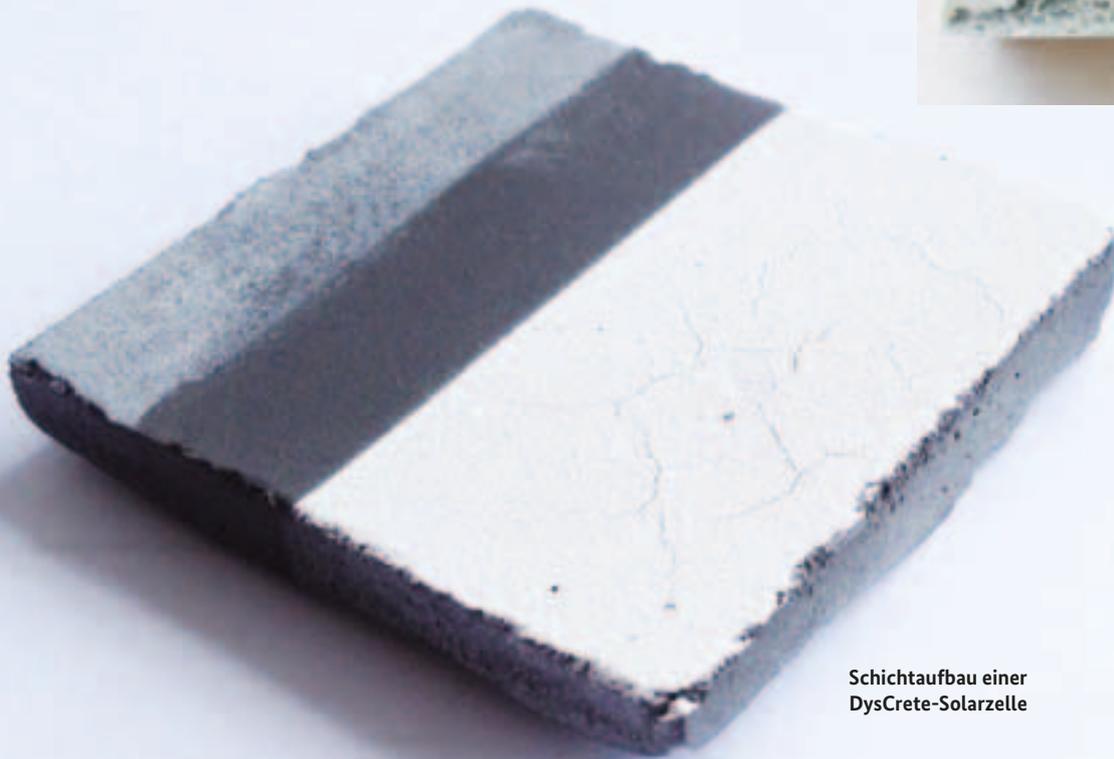
Mit der gegebenen Batterie und deren Freiheitsgraden könnten bei einem Arbeitspreis von 1 000 €/MWh in positiver und negativer Leistungsrichtung etwa 150 €/a aus Leistungs- und Arbeitspreis an Zusatzlöhnen generiert werden. Dies wäre mit einer Abrufdauer von etwa 3 Stunden pro Jahr verbunden.

Dieser Wert gibt eine Größenordnung des Einnahmepotenzials an, welches allerdings von vielen Einflussfaktoren abhängig ist und auch durch Preisänderungen am Markt sowie durch Änderungen des Marktdesign beeinflusst werden kann.

Die Freiheitsgrade des Effizienzhauses Plus könnten schon heute einer Vermarktung zugeführt werden. Aber bedingt durch die niedrige Leistung, die aufwändigen Prognosen und die Prognoseungenauigkeiten ist ein solches Vermarktungsmodell derzeit nicht wirtschaftlich umsetzbar. Die auf das einzelne Haus bezogenen Prognoseungenauigkeiten können auch dazu führen, dass das energiewirtschaftliche Optimum nicht erreichbar ist. Deshalb wäre dieses Vermarktungsmodell nur mit einer hohen Anzahl von Gebäuden möglich, da die große Anzahl für eine Vergleichmäßigung sorgt und so immer ein Teil der Leistung einer Vermarktung zugeführt werden kann. ■

Plusenergiehäuser im Virtuellen Kraftwerk

Forscher/Projektleitung	Transferstelle für Rationelle und Regenerative Energienutzung Bingen – TSB
Projektleiter	Prof. Dr. Ralf Simon Dipl.-Ing.(FH) T. Langshausen M.Sc. Markus Sinß
Gesamtkosten	43 750 €
Laufzeit	bis Ende 2013



Schichtaufbau einer
DysCrete-Solarzelle



Prototyp einer DysCrete-Solarzelle, Versuchsreihe mit grünen Farbstoffen

DysCrete – Sonnenstrom aus Beton

Photovoltaische Funktionalisierung und Aktivierung von Beton/Entwicklung eines neuartigen photoreaktiven zementgebundenen Werkstoffs für innovative Fassaden-, Wand- und Bodensysteme im Bauwesen

Heike Klusmann, Uni Kassel

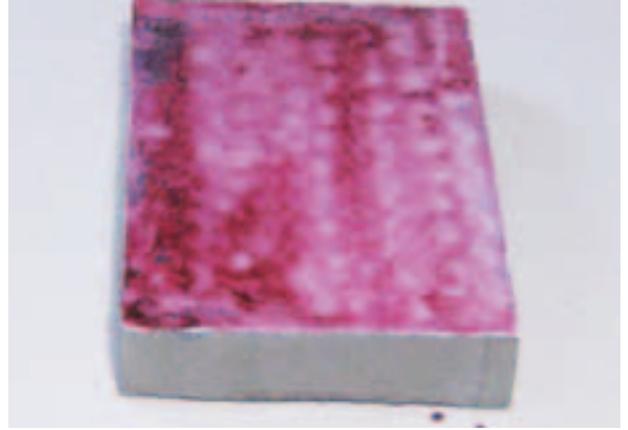
„DysCrete“ ist ein neuartiger Verfahrensansatz zur photoreaktiven Funktionalisierung (stromproduzierenden Veredelung) von Oberflächen aus Beton, der auf den technischen Prinzipien der farbstoffsensitivierten Solarzelle (DYSC) beruht.

Vor über zwanzig Jahren entwickelte der Chemiker Michael Grätzel eine Solarzelle nach dem Vorbild der Natur: Die Farbstoffsolarzelle (DYSC) nimmt Licht nicht mit Halbleitermaterialien, sondern mit Suspensionen organischer Farbstoffe auf. Dieses Prinzip wird heute auch als technische Photosynthese bezeichnet. Aus der Sicht der Architektur liegt die Frage nahe, ob sich die immer noch neuartige Technologie der Farbstoffsolarzelle auf Baustoffe wie Beton anwenden lässt: Der mittels elektrochemischer Reaktion Energie erzeugende DysCrete verwendet – ähnlich wie die chlorophyllhaltigen Pflanzen – zur Absorption von Licht organische Farbstoffe. Das Materialsystem ist regenerierbar, weitgehend recycelbar und umweltfreundlich. Die Buchstabenfolge DYSC der titelgebenden

Wortschöpfung steht für den englischen Ausdruck Dye Sensitized Solar Cell, das Kürzel „-crete“ für den Werkstoff Beton. Das neuartige Werkstoffsystem kann auch die Energie diffusen Lichts nutzen. DysCrete eignet sich besonders für die Herstellung von Betonfertigteilen im Hochbau, für neuartige Fassaden sowie Wand- und Bodensysteme. Die Anwendung dieser Technologie auf Werkstoffen wie Beton wurde bislang außer Acht gelassen, weil die Aufmerksamkeit zunächst glasbasierten transluzenten Modulen galt. Ihr großes Potenzial beruht auf ihrer prinzipiellen Einfachheit. Hauptbestandteile wie das Titanoxid werden auch in Zahnpasta und Wandfarbe verwendet. Das System hat das technologische Potenzial einer „Low Cost Energy Source“.



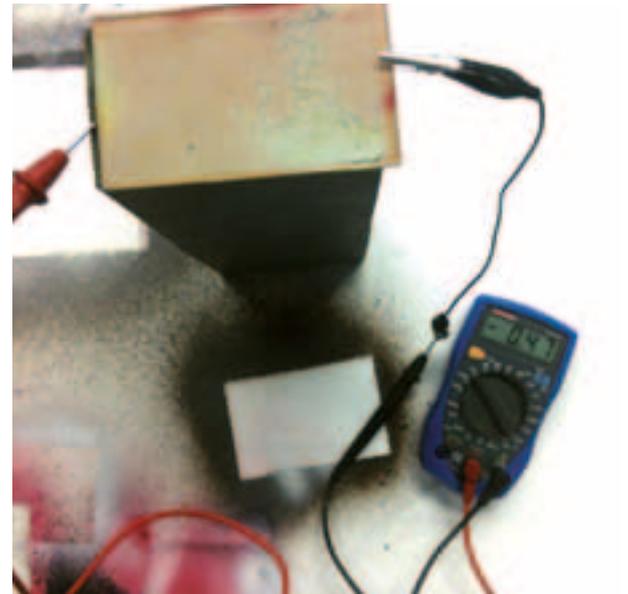
Prototyp einer DysCrete-Solarzelle, Versuchsreihe mit roten Farbstoffen



Prototyp einer DysCrete-Solarzelle, Versuchsreihe mit roten Farbstoffen



Ein leitfähiger Beton bildet den Rückkontakt des DysCrete-Solarzellenmoduls



Ein leitfähiger Beton bildet den Rückkontakt des DysCrete-Solarzellenmoduls

Der mittels elektrochemischer Reaktion Energie erzeugende DysCrete verwendet zur Absorption von Licht organische Farbstoffe. Die Energieerzeugungsfunktion wird ohne zusätzliche toxische Emissionen aus frei erhältlichen Komponenten hergestellt. In seiner projektierten Weise ist das Materialsystem regenerierbar, weitgehend recycelbar und umweltfreundlich. Das neuartige Verfahren bezie-

hungsweise das neuartige Werkstoffsystem kann auch die Energie diffusen Lichts nutzen, wodurch sich mittels des Baustoffs Beton und seiner Baulogik neue Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der gebäudeintegrierten Photovoltaik eröffnen. DysCrete eignet sich besonders für die Herstellung von Betonfertigteilen im Hochbau, für neuartige Fassaden sowie Wand- und Bodensysteme. ■

DysCrete – farbstoffsensitiver energieerzeugender Beton

Forscher	Prof. Heike Klusmann, Dipl.-Ing. Architekt Thorsten Klooster, Dipl.-Ing. Roman Polster, Jan Iwanovicz B.Sc., Tanja Simonovic B.Sc., Universität Kassel/FB 06 Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung/Forschungsplattform BAU KUNST ERFINDEN – www.baukunstfinden.org
in Kooperation mit	Prof. Bernhard Middendorf, Dr. Alexander Wetzel, Dipl.-Nano Sc. Johannes Arend Universität Kassel/FB 14/FG Werkstoffe des Bauwesens und Bauchemie www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/iki/werkstoffe-des-bauwesens-und-bauchemie/startseite.html
Industriepartner	Fabrino Produktionsgesellschaft mbh & Co. KG, Memmingen Lothar Beeck Fertigteilebau GmbH, Mönchengladbach
Projektleiter	Dipl.-Ing. Architekt Thorsten Klooster, Dr. Alexander Wetzel
Gesamtkosten	219 500 €
Anteil Bundeszuschuss	153 600 €
Laufzeit	bis September 2015

Opakes Fassadenpaneel mit Photovoltaikintegration

Bernhard Weller, Marc-Steffen Fahrion, Sebastian Horn, Jasmin Fischer, TU Dresden



Abbildung 1:
Flächenmäßiges Potenzial opaker
Brüstungsbereiche für die Integration
von PV

Opake Fassadenpaneele mit integrierter Photovoltaik (PV) für die Anwendung in Pfosten-Riegel-Fassaden ähneln aufgrund ihrer großteiligen Gliederung, der gleichen Materialität und Farbigkeit herkömmlichen opaken Fassadenpaneelen. Gegenüber der Anwendung von PV im Dachbereich sind dies gestalterische Vorteile. Dementsprechend waren die Entwicklung und der Test eines solchen neuartigen Paneels die Hauptziele des folgenden Forschungsvorhabens.

Opake Brüstungspaneele für Pfosten-Riegel-Fassaden bestehen im Allgemeinen aus einem Dämmkern, einer rückseitigen Verkleidung und einer vorderseitigen Abdeckung. Sie können ab Werk in einer hohen Stückzahl produziert und an der Baustelle relativ schnell und problemlos eingebaut werden. Zudem bietet die Pfosten-Riegel-Fassade die Möglichkeit einer verdeckten Leitungsführung der PV-Verschaltung in den Profilen. Opake Brüstungsbereiche können flächenmäßig einen großen Anteil an der Fassade ausmachen und besitzen somit ein großes Potenzial für die Nutzung zur Stromerzeugung, wie die Abbildungen 1 und 2 zeigen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens erfolgte deshalb durch die Integration eines Photovoltaikmoduls in die vorderseitige Abdeckung eines opaken Brüstungspaneeles eine Weiterentwicklung hin zu einem stromerzeugenden Bauteil (vgl. Abb. 3 und 4).

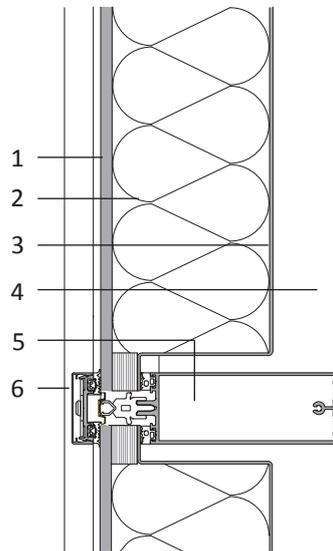
Dabei galt es zunächst grundlegende Voraussetzungen für die Produktentwicklung und Markteinführung einer nachhaltigen sowie baukonstruktiv und bauphysikalisch geeigneten Konstruktion zu schaffen, welche die besonderen Anforderungen der Photovoltaik berücksichtigt.



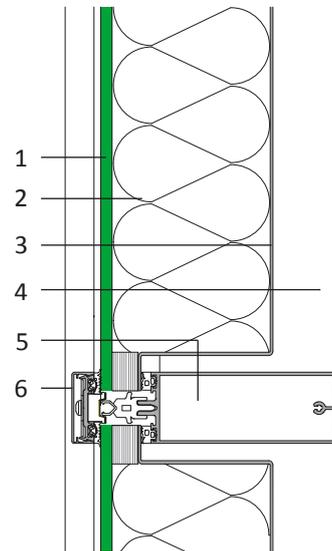
Abbildung 2: Fassade mit opaken Brüstungspaneelen



Abbildung 3: Prototypserie 1 für Befestigung über Klemmleisten



- opakes Paneel ohne PV
- 1 vorderseitige Abdeckung
 - 2 Dämmkern
 - 3 rückseitige Verkleidung
 - 4 Pfosten
 - 5 Riegel
 - 6 Klemmleiste

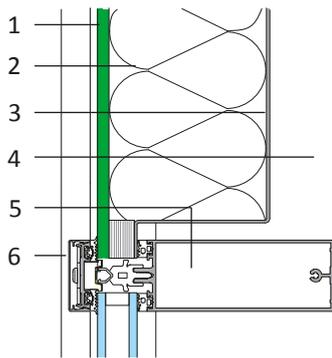


- opakes Paneel mit PV
- 1 PV-Element
 - 2 Dämmkern
 - 3 rückseitige Verkleidung
 - 4 Pfosten
 - 5 Riegel
 - 6 Klemmleiste

Abbildung 4: Detail Brüstungspaneel ohne und mit PV-Integration

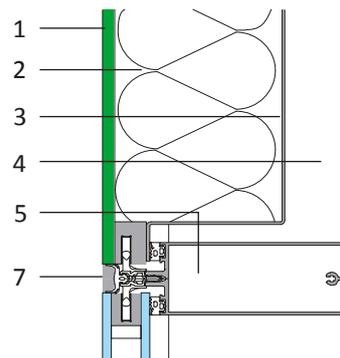
Vor allem das Problem der Modultemperatur spielt dabei eine wesentliche Rolle, da die Effizienz bei Solarzellen mit steigender Temperatur kontinuierlich abnimmt. Aufgrund der Hinterdämmung des PV-Elementes im Paneel war mit einer höheren Temperaturbelastung zu rechnen als dies z. B. bei einer hinterlüfteten Fassadenkonstruktion der Fall ist. Bei kristallinen Modulen können die Effizienzeinbußen bis zu einem halben Prozent pro Kelvin Temperaturanstieg aus-

machen. Aus diesem Grund kamen für die hier untersuchten Paneele Dünnschichtmodule zum Einsatz. Deren Temperaturkoeffizient ist in der Regel geringer als der kristalliner Module. Durch die Verwendung von Dünnschichtmodulen aus CIGS-Solarzellen stehen zudem homogene Oberflächen zur Verfügung, welche keine Kristallstruktur aufweisen. Zudem bieten sie erweiterte Gestaltungsmöglichkeiten, da sie auch in verschiedenen Farben herstellbar sind.



- Befestigung über Klemmleisten
- 1 PV-Element
 - 2 Dämmkern
 - 3 rückseitige Verkleidung
 - 4 Pfosten
 - 5 Riegel
 - 6 Klemmleiste

Abbildung 5: Vierseitige linienförmige Befestigung über Klemmleisten



- Befestigung über lastabtragende
Klebung
- 1 PV-Element
 - 2 Dämmkern
 - 3 rückseitige Verkleidung
 - 4 Pfosten
 - 5 Riegel
 - 7 Klebung

Abbildung 6: Befestigung über lastabtragende
Klebung aus Silikon

Innerhalb des Forschungsprojektes wurden zwei Prototypenserien hergestellt, für die jeweils Standardmodule mit den Abmessungen 60 x 120 cm zur Anwendung kamen. Die Prototypen unterschieden sich in der Durchbildung des konstruktiven Anschlusses an die Pfosten und Riegeln. Während Prototypserie 1 mittels Klemmleisten vierseitig linienförmig befestigt wird, wird Prototypserie 2 über eine lastabtragende Klebung aus Silikon mit den Riegeln und Pfosten verbunden. Die Abbildungen 5 und 6 zeigen die konstruktiven Unterschiede der beiden Serien.

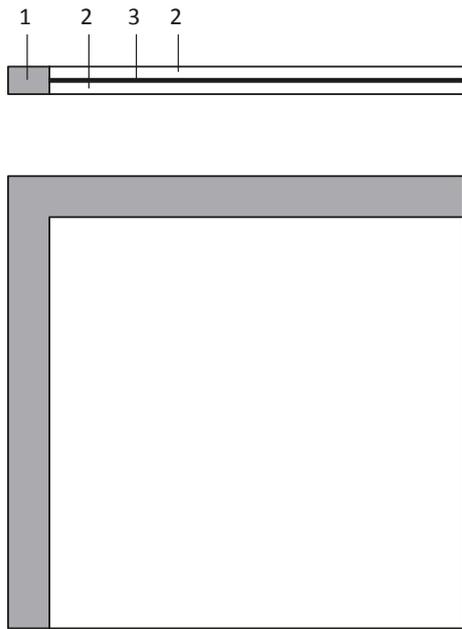
Für die verwendeten Klebstoffe wurde die Materialverträglichkeit von Klebstoff und Laminationsfolie in Anlehnung an die ift-Richtlinie DI-02/1 (Verwendbarkeit von Dichtstoffen, Teil 2 Prüfung von Materialien in Kontakt mit der Kante von Verbund- und Verbundsicherheitsglas) untersucht. Dabei wurden die Klebstoffe auf jeweils zwei der vier Kanten der Probekörper mit einer Dicke von 10 mm appliziert (vgl. Abb. 7) und anschließend je nach späterem Einsatzgebiet in der Glasfalz oder Wetterfuge unterschiedlichen Tests unterzogen.

Die Probekörper mit den Klebstoffen für den Einsatz in der Glasfalz wurden 21 Wochen einer Lagerung bei 60 °C im Umluftofen ausgesetzt. Probekörper mit Klebstoffen für den Einsatz in der Wetterfuge wurden dagegen bei einer Lufttemperatur von 58 °C bei einer Luftfeuchte > 95 % gelagert und anschließend 14 Wochen einer UV-Bestrahlung ausgesetzt. Bei allen Prüfungen sind keine Veränderungen

aufgetreten, die eine Auswirkung auf die Nutzungssicherheit erwarten ließen.

In einem weiteren Test wurden die Prototypen in der realen Einbausituation einer Bestrahlungsprüfung unterzogen, um die Temperaturentwicklung und das Temperaturverhalten der PV-Paneele unter konstanten Randbedingungen zu untersuchen (vgl. Abb. 8). Die dabei gewonnenen Messdaten dienen der Validierung eines Simulationsmodells, welches die Temperatur und Modulleistung für unterschiedliche Randbedingungen berechnen kann. Dabei zeigte sich unter Verwendung des Referenzklimas München, dass im hinterdämmten PV-Modul des entwickelten Panels bis zu 20 K höhere Temperaturen auftreten können als bei einem reinen PV-Modul, welches hinterlüftet wird. Die maximalen Temperaturen, die erreicht wurden liegen dabei unter 75 °C.

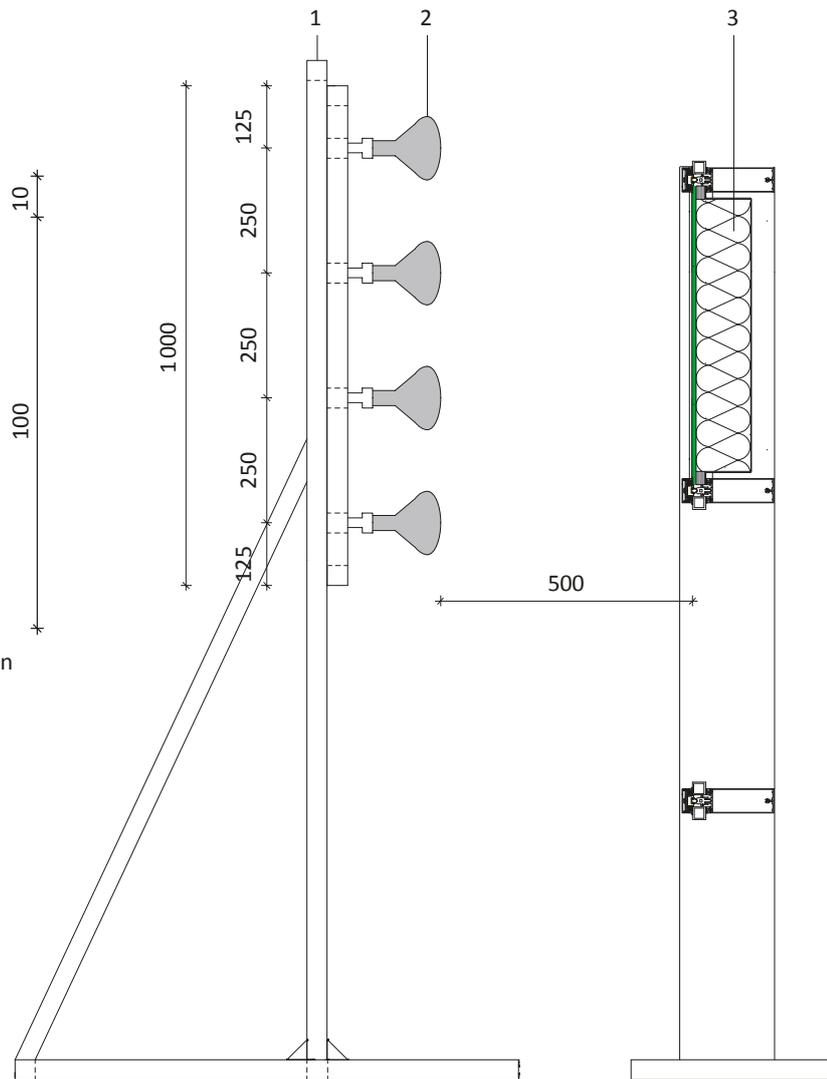
Die im Rahmen dieses Forschungsprojektes hergestellten Prototypen eines opaken Brüstungspaneels für Pfosten-Riegel-Fassaden mit integrierter PV und die an ihnen durchgeführten Tests lieferten wichtige Erkenntnisse zur Beurteilung der zu erzielenden Leistungsfähigkeit. Es zeigte sich, dass die Hinterdämmung des PV-Moduls im Paneel zu einer Temperaturerhöhung um bis zu 20 K im Vergleich zu einem hinterlüfteten PV-Modul führt. Bei einem ermittelten Temperaturkoeffizienten von ca. 0,4 %/K bedeutet dies Leistungseinbußen von bis zu 8%. Hier besteht noch weiterer Forschungsbedarf, um den Einsatz eines solchen Panels ökonomisch vertretbar zu machen. ■



Probekörper für Materialverträglichkeitsprüfungen

- 1 Klebstoff
- 2 Weißglasscheibe, d = 3 mm
- 3 Verbundfolie, d = 0,7 mm

Abbildung 7: Probekörper für Materialverträglichkeitsprüfungen



Versuchsaufbau Bestrahlungsprüfung

- 1 Tragrahmen UV-Lampen
- 2 UV-Lampen
- 3 Prototyp in realer Einbausituation

Abbildung 8: Versuchsaufbau Bestrahlungsprüfung

Untersuchung eines gedämmten Paneels mit integrierter Photovoltaik zur Verwendung in Pfosten-Riegel-Konstruktionen (Gedämmtes PV-Paneel)

Forschende Stelle	Technische Universität Dresden Institut für Baukonstruktion Prof. Dr.-Ing. Bernhard Weller, Dipl.-Ing. Jasmin Fischer
Projektpartner	Manz CIGS Technology GmbH, MBM Metallbau Dresden GmbH
Gesamtkosten	172 855 €
Anteil Bundeszuschuss	115 104 €
Laufzeit	Juli 2012 bis August 2013

Kurt Speelmans studierte Versorgungstechnik mit Abschluss als Diplom-Ingenieur. Danach arbeitete er in einem Planungsbüro für Technische Gebäudeausrüstung, ab 1976 im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung und in der Bundesanstalt für Immobilienaufgaben. Ab 1998 war er am Aufbau und Betrieb einer Organisationseinheit für das Gebäudemanagement der obersten Bundesbehörden in Berlin und Bonn beteiligt. Seit 2009 ist er Referatsleiter für Forschung im Bauwesen und Gebäudemanagement. Eines seiner Spezialgebiete ist die Gebäudeautomation mit dem Schwerpunkt Gebäudeleittechnik.

Gebäudeautomation – Potenziale und Grenzen

Was kann die Gebäudeautomation heute leisten?

Die GA (Gebäudeautomation) ist unverzichtbarer Bestandteil eines jeden Bauwerks, denn niemand wird eine Heizungs- oder Lüftungsanlage noch von Hand ein- oder ausschalten wollen. Neben diesen Komfortmerkmalen bietet die Gebäudeautomation unbegrenzte Möglichkeiten, den Betrieb der Technik hinsichtlich der Laufzeiten und der Betriebsweise so an den tatsächlichen Bedarf anzupassen, dass Energieverbrauch und Verschleiß der Geräte minimiert werden. So ist es z. B. Standard, in Versammlungsräumen die Lüftungsanlage zu den Nutzungszeiten nicht einfach nur einzuschalten, sondern die Betriebszeiten und die bewegte Luftmenge nach der Schadstoffkonzentration (CO₂-Gehalt der Raumluft) zu regeln. Wie schon gesagt: Jeder Wunsch lässt sich erfüllen und es ist deshalb eine Frage der Vernunft und des Geldbeutels, wie hoch man den technischen Aufwand treiben mag.

Eine weitere – allerdings wesentliche – Grenze ist in der mangelnden Verfügbarkeit erfahrener Fachleute zu sehen. Es gibt leider nur wenige Personen, die ausreichend qualifiziert sind, um die teilweise sehr komplexen Aufgabenstellungen zu überblicken und diese in eine fehlerfreie Programmierung umzusetzen.

Welche Rolle spielt die GA in Zeiten der Energiewende?

Im Zusammenhang mit der Energiewende ist zwischen teilweise hoch technisierten und gut ausgestatteten Zweckbauten und dem Wohnungsbau zu unterscheiden. Da unsere Gebäude in der Regel Unikate sind, ist es nur bedingt möglich, bei der GA so etwas wie eine Serienproduktion zu erreichen. Dementsprechend hoch sind die Kosten für deren Einrichtung. Im Wohnungsbau findet sich deshalb in der Regel keine individuell programmierte GA.

Stattdessen haben die einzelnen Komponenten hier (z. B. die Heizungsanlage) relativ hoch entwickelte Steuerungssysteme, die sich allerdings nur mit erheblichem Aufwand in einem übergeordneten Energiemanagementsystem mit anderen Komponenten der GA zusammenfassen lassen. Das ist aber die Voraussetzung für einen energiesparenden Betrieb der TGA.

Neben der unterschiedlichen Ausstattung der Gebäude mit Automatisierungstechnik ist aber auch im Zusammenhang mit der Bedienung und dem Betrieb der TGA festzustellen, dass es erheblichen Fachkräftemangel gibt. Das führt dazu, dass die erreichbaren Energieeinsparpotenziale nicht ausgeschöpft werden können.

Gibt es Strategien, um das zu kompensieren?

Bei größeren Zweckbauten ist es Standard, der GA eine Managementebene, die sogenannte Gebäudeleittechnik (GLT), überzuordnen. Damit kann man u. a. die Prozesse und Betriebszustände grafisch darstellen und es ist dann möglich, Betriebsabweichungen zu erkennen und Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Bei der Weiterentwicklung der GLT sind wir bemüht, die Systeme so aufzurüsten, dass auch Personen ohne akademische Ausbildung Fehlfunktionen leichter feststellen können. Ein Beispiel dazu sehen Sie in der Grafik (s. Abb. S. 69). Hier ist aus einer umfangreichen technischen Anlage ein Heizkreis mit Normsymbolen dargestellt. Man sieht die Rohrleitungen, die Umwälzpumpe, ein Regelventil und die relevanten Systemtemperaturen. Rechts daneben ist die Heizkurve des Reglers abgebildet. Diese Heizkurve zeigt, wie die Temperatur des Heizungswassers im Verhältnis zur Außentemperatur angepasst werden soll.



„Das Ziel ist, Fehlfunktionen in der Gebäudetechnik früher erkennbar zu machen. Das wird entscheidend zur weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs beitragen.“

Kurt Speelmanns



Um nun Fehlfunktionen aufzudecken, müsste das Bedienungspersonal die Vorlauftemperatur in eine Beziehung zur Außentemperatur bringen und das mit dem Istwert vergleichen. Diesen Rechenschritt haben wir dem Bediener dadurch abgenommen, dass der Istwert in dem Diagramm in Form eines grünen Punktes eingetragen wird. Wenn alles in Ordnung ist, liegt der grüne Punkt genau auf der roten Linie. Das ist in diesem Beispiel aber nicht der Fall, sodass nach den Ursachen der Abweichung zu suchen ist.

Was ist in dieser Hinsicht bezüglich der weiteren Entwicklung zu erwarten?

Im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau fördern wir aktuell ein Projekt, bei dem derartige Fehlfunktionen der GA automatisiert erkannt werden sollen. Das Ziel ist, den Betreiber einer solchen Anlage weiter zu entlasten und Fehler früher erkennbar zu machen. Das wird entscheidend zur weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs beitragen.

Wie stellt sich denn die Situation im Wohnungsbau dar?

Eine umfassende GA ist im Wohnungsbau nur in sehr geringem Umfang zu finden. Der Grund dafür ist, dass es an preiswerten und die gesamte Technik integrierenden Lösungen fehlt. Ausgeführte und in der Fachwelt vorgestellte Beispiele basieren auf Geräten und Verfahren, die wir aus Zweckbauten oder der Prozessautomation kennen. Entsprechend hoch sind die Kosten, die in der Regel in keinem Verhältnis zum wirtschaftlichen Nutzen stehen. Auch hier tritt zusätzlich das Problem der Verfügbarkeit entsprechend ausgebildeten Fachpersonals auf.

Will man also für die mehr als 20 Mio. Wohnungen in Deutschland beim Energiemanagement einen Durchbruch erreichen, so muss die Technik erschwinglich und leicht installierbar sein.

Was trägt die Bauforschung dazu bei?

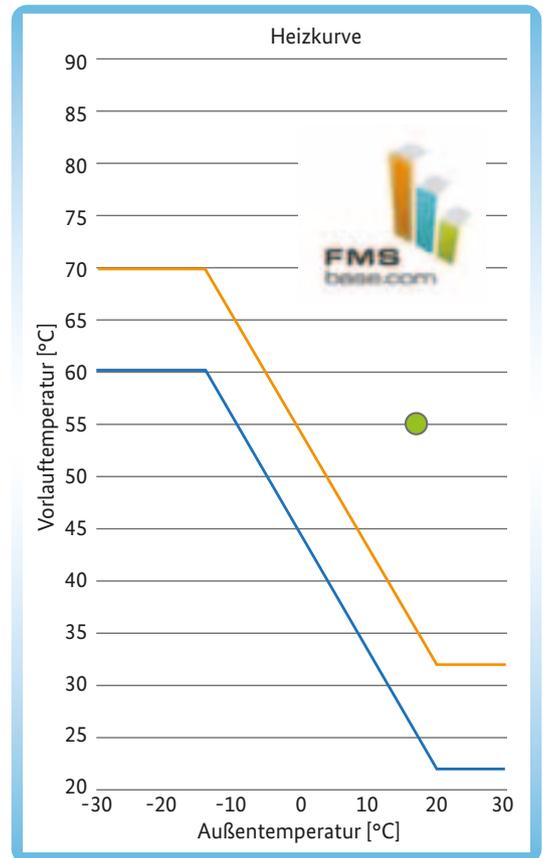
Unser Institut arbeitet hier zweigleisig. Einerseits beteiligen wir uns an einer Initiative der DKE

(Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik) mit dem Ziel, die künftig im Zusammenhang mit dem Smart Metering in jeder Wohnung vorhandenen Smart-Meter-Gateways nicht nur für die Übertragung der Stromzählerdaten zu nutzen. Die Absicht ist, auch alle anderen Verbrauchsdaten (Heizkosten, Wasser, Gas), aber auch Informationen aus dem Bereich Smart Home und dem Betreuten Wohnen (AAL) bis hin zur Telematik im Gesundheitswesen über diese Schnittstelle zu sammeln und zu übertragen. Dabei sind die Schutzprofile des Bundesamtes für die Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) einzuhalten und der Wohnungseigentümer muss direkt auf alle Informationen zugreifen können. Das setzt weiterhin voraus, dass es sich um ein offenes (nicht monopolbehaftetes) System handelt. Angesichts der großen Menge betroffener Nutzer erwarten wir hinsichtlich der in diesem Zusammenhang zu entwickelnden Softwarelösungen den dringend erforderlichen Innovationsschub, der es auch einem Laien ermöglicht, sich mit wenig Aufwand einen umfassenden Überblick über die technischen Systeme seiner Wohnung zu verschaffen.

Der zweite Förderbereich betrifft die Forschungsförderung zur Verwendung sogenannter Webservices zur Kommunikation in allen Bereichen der Gebäudetechnik. Es hat sich herausgestellt, dass es nur mit dieser Technologie möglich ist, mit geringem Aufwand Plug-and-play-Ansätze zu realisieren und die Schutzprofile des BSI einzuhalten.

Wie wohnen Sie?

Zusammen mit meiner Frau lebe ich in einer Doppelhaushälfte aus den 1980er-Jahren. Nach dem Auszug der Kinder haben wir das Haus an das Leben zu zweit angepasst und auch einige Verbesserungen realisiert. Energetisch betrifft das die Erneuerung der Fenster und den Einbau einer thermischen Solaranlage zur Unterstützung der Heizung. Geregelt und visualisiert wird das alles mittels einer von mir selbst programmierten Steuerung aus der Prozessautomatisierung. ■



Mit der Gebäudeleittechnik lassen sich Fehlfunktionen leichter feststellen

Energieeffizientes Mehrscheiben-Isolierglas – weniger ist mehr

Norbert Sack, ift Rosenheim

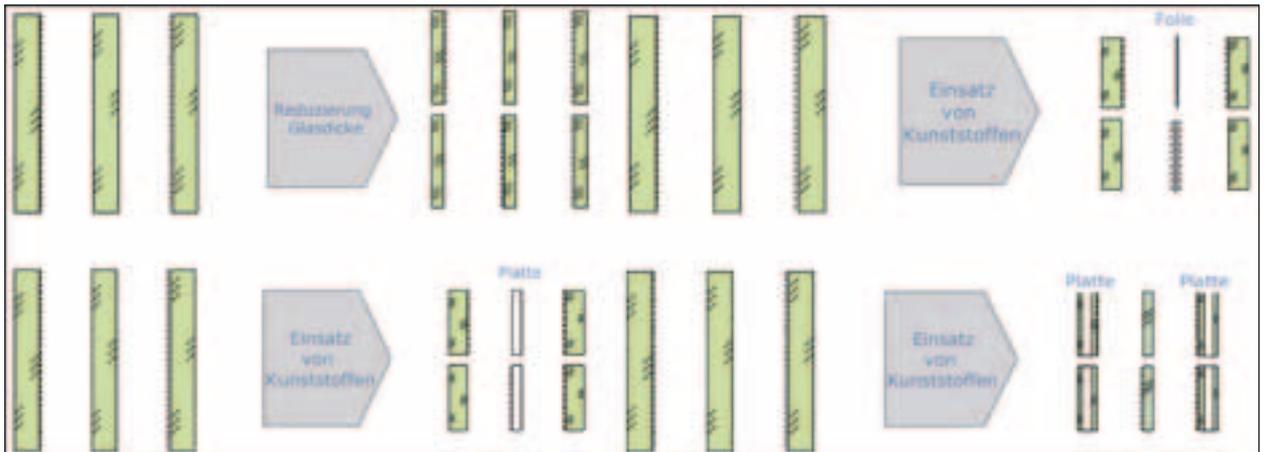
Durch weitere Verschärfungen der energetischen Anforderungen an die Gebäudehülle ist zu erwarten, dass in naher Zukunft Dreifach-Isolierglas in Fenstern und Fenstertüren zum Standard werden wird. Ebenso werden auch die Anforderungen an den Schallschutz, die Einbruchhemmung, den Feuerwiderstand und andere Leistungseigenschaften zunehmen. Der Trend zu größeren, offenbaren Fenstern/Fenstertüren und Fassadenelementen wird durch die moderne Architektur vorangetrieben. Geschosshohe Elemente wie z. B. Fenstertüren werden mehr und mehr auch im privaten Wohnungsbau eingesetzt.

Durch die genannten Entwicklungen erhöht sich das Gewicht des verwendeten Mehrscheiben-Isolierglases und infolgedessen des kompletten Bauelementes signifikant. Das Forschungsvorhaben hatte daher das Ziel, zu untersuchen, welche technischen Maßnahmen das Flächengewicht von Mehrscheiben-Isolierglas reduzieren könnten und welche Auswirkungen sich hieraus ergäben. Entsprechende Untersuchungen wurden hierzu für folgende konstruktive Maßnahmen durchgeführt:

1. Einsatz von dünnerem Glas
2. Einsatz von transparenten Kunststoffen in Form von Folien
3. Einsatz von transparenten Kunststoffen in Form von Platten



Einsatz von Glas zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur architektonischen Gestaltung von Gebäuden



Prinzipielle Möglichkeiten zur Reduzierung des Flächengewichtes

Exemplarische Berechnungen zur möglichen Gewichtsreduzierung

	Aufbau	Flächengewicht	Relativ
2-fach-MIG Referenz	4/16/4	20 kg/m ²	100 %
3-fach-MIG Standard	4/12/4/12/4	30 kg/m ²	150 %
3-fach-MIG dünnes Glas	3/12/3/12/3	22,5 kg/m ²	112,5 %
3-fach-MIG Kunststoffplatte	4/12/PC2/12/4	22,5 kg/m ²	112,5 %
3-fach-MIG Kunststofffolie	4/12/PET0,1/12/4	20 kg/m ²	100 %
3-fach-MIG Kombination dünnes Glas + Folie	3/12/PET0,1/12/3	15 kg/m ²	75 %

Die Untersuchungen sollten Antworten auf u. a. folgende Fragestellungen geben:

- Welchen Einfluss haben flächengewichtreduzierende Maßnahmen, im Speziellen die Verwendung von dünnerem Glas, auf die Gültigkeit der Dimensionierungsregeln für Mehrscheiben-Isolierglas?
- Welchen Einfluss haben flächengewichtreduzierende Maßnahmen, im Speziellen der Einsatz von Kunststofffolien oder -platten, auf die Dauerhaftigkeit des Isolierglases? Hier wären beispielhaft zu nennen: die Sicherstellung der Anforderungen an die Gasverlustrate sowie die Feuchtigkeitsaufnahme des Trocknungsmittels.
- Welchen Einfluss haben die konstruktiven Maßnahmen auf weitere Leistungseigenschaften wie z. B. Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert), Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert), Luftschalldämmung, Lichttransmission?

Die im Rahmen des Vorhabens aufgegriffenen Fragestellungen wurden im Wesentlichen experimentell beantwortet. Dies betrifft z. B. Fragen zur Dauerhaftigkeit, Verträglichkeit, Luftschalldämmung, Lichttransmission etc.

Wo es möglich und sinnvoll erschien, wurden die experimentellen Untersuchungen durch numerische Simulationen ergänzt.

Die durchgeführten Untersuchungen kamen zu folgenden Ergebnissen:

Mehrscheiben-Isolierglas mit dünnen Gläsern

Dimensionierungsregeln:

- Für äußere Lasten (Wind): Die nichtlineare Theorie ergibt signifikant niedrigere Werte für die Spannung und Durchbiegung. Bei großformatigen Isoliergläsern ist die Windlast im Regelfall die maßgebliche Last.
- Für innere Lasten (Klima): Die nichtlineare und die Kirchhoff-Theorie ergeben ähnliche Resultate. Die Anwendung der nichtlinearen Theorie hat keine Vorteile. Bei kleinformatigen Isoliergläsern ist die Klimlast im Regelfall die maßgebliche Last.
- Für schmale, lange Formate: Die nichtlineare und die Kirchhoff-Theorie ergeben ähnliche Resultate. Die Anwendung der nichtlinearen Theorie hat keine Vorteile.

Vorspannbedarf:

- Für Scheiben mit einer kurzen Kante unter ca. 65 cm besteht sowohl bei 4 mm als auch bei 3 mm Scheibendicke Vorspannbedarf.
- Für dünne Scheiben besteht im Vergleich zu 4 mm Float kein signifikant erhöhter Bedarf zum Vorspannen aufgrund einer Bemessung für Wind- und Klimlasten.
- Unter Umständen ergibt sich Vorspannbedarf auch aufgrund des Scheibehandlings oder thermischer Belastungen.

Strahlungsphysikalischen Eigenschaften:

- Für Isolierglas mit thermisch vorgespannten Glasscheiben können die spektralen Transmissions- und Reflexionsgrade von nicht vorgespanntem Floatglas zugrunde gelegt werden.

Mehrscheiben-Isolierglas mit Folie

- Aufbauten mit Folie als Ersatz der mittleren Scheibe sind komplexe Systeme. Die Qualifizierung von Folie/Dichtstoff/Abstandhalter-Kombinationen erfordert die Anwendung mehrerer Untersuchungsmethoden.
- Obwohl die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Probekörper individuell nicht alle Anforderungen der EN 1279 an die Gasverlustrate und Feuchtigkeitsaufnahme erfüllen konnten, weist die Gesamtheit der ermittelten Ergebnisse darauf hin, dass eine Erfüllung der Anforderungen grundsätzlich möglich ist.
- Es trat kein Fogging auf, auch nicht bei erhöhter Prüftemperatur.

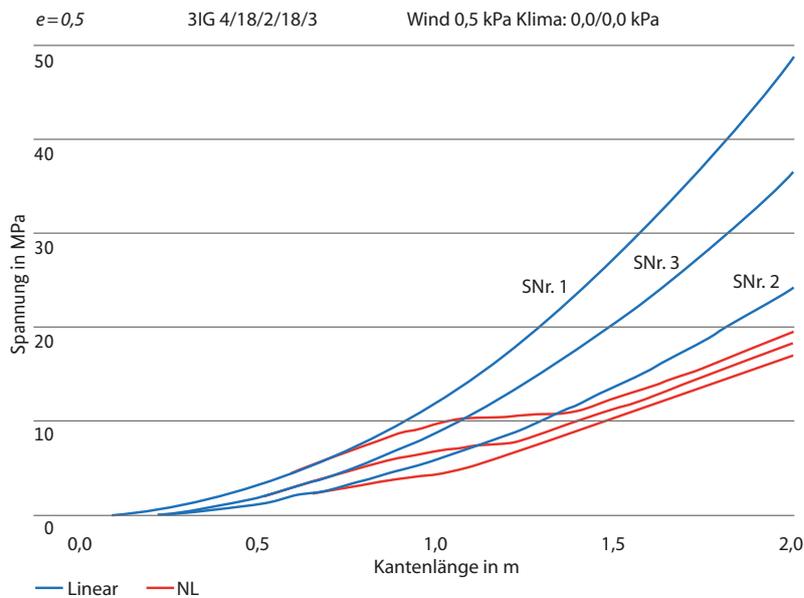
Mehrscheiben-Isolierglas mit Kunststoffplatte

- Kunststoffplatten als mittlere Scheibe erfordern eine spezielle Lagerung, die eine thermische Ausdehnung der Platten erlaubt, ohne den Randverbund zu belasten. Bei den untersuchten Probekörpern war hierzu ein Sonderprofil in den Randverbund integriert, welches eine schwimmende Lagerung der Kunststoffplatte ermöglicht.
- Bei den beiden untersuchten Kunststoffarten, Polycarbonat und PMMA trat kein Fogging auf, auch nicht bei erhöhter Prüftemperatur.

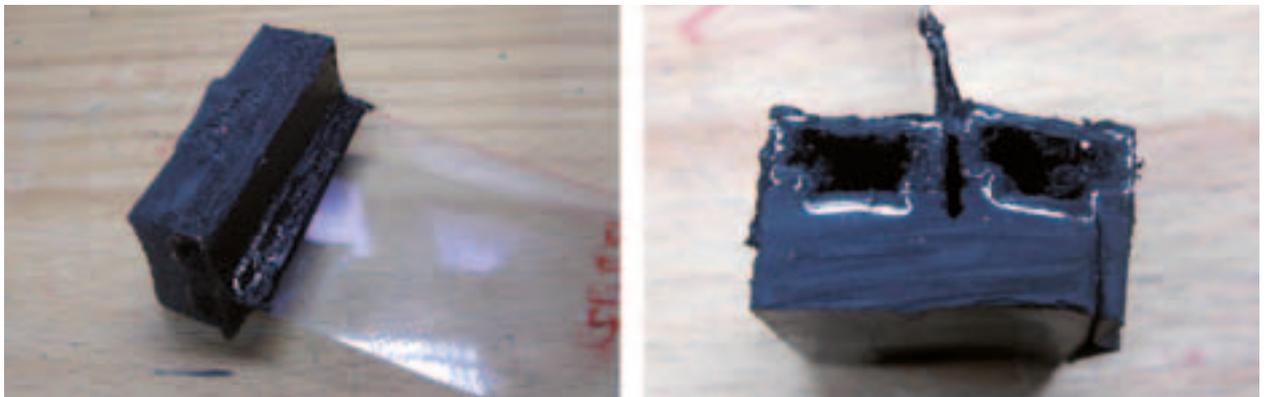


Vorbereiteter Probekörper zur experimentellen Untersuchung des Verformungsverhaltens von Mehrscheiben-Isolierglas mit dünnen Gläsern

- Bei der Verwendung von Kunststoffplatten als mittlerer Scheibe muss berücksichtigt werden, dass Feuchtigkeit aus dem Kunststoff freigesetzt und in den SZR abgegeben werden kann. Es ist entweder eine Trocknung der Kunststoffplatten vor dem Einbau oder eine entsprechende Dimensionierung der Trockenmittelmenge notwendig.
- Die im Rahmen des Forschungsprojektes untersuchten Probekörper mit einem wärmetechnisch verbesserten Randverbund haben den von der EN 1279-3 vorgegebenen Grenzwert für die Gasverlustrate geringfügig überschritten. Der von der EN 1279-2 vorgegebene Grenzwert für die Feuchtigkeitsaufnahme wurde erheblich überschritten; diese Überschreitung hätte jedoch durch eine Feuchtigkeitsabgabe aus den Kunststoffplatten (s. voriger Spiegelpunkt) verursacht sein können. Eine abschließen-



Asymmetrischer Aufbau des Mehrscheiben-Isolierglases, Spannung der Einzelscheiben aufgrund Windlast



Probe mit Folie im Scheibenzwischenraum nach Auszugversuch, beidseitige Haftung der Folie zum Sekundärdichtstoff

de Beurteilung des untersuchten Systems hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen aus EN 1279-2 und -3 ist daher nicht möglich.

Bauphysikalische Kennwerte

Energetische Kenndaten:

- Der Wärmedurchgangskoeffizient, der Gesamtenergiedurchlassgrad sowie der Lichttransmissionsgrad von den im Vorhaben untersuchten flächengewichtreduzierten Aufbauten sind vergleichbar mit denen von konventionellem Dreifach-Isolierglas.

Luftschalldämmung:

- Dünne Glasscheiben in symmetrischen Aufbauten reduzieren grundsätzlich die Luftschalldämmung, bedingt durch ihre geringere Masse, im Speziellen zum Standardaufbau 4/12/4/12/4. Dieser Nachteil kann jedoch durch einen asymmetrischen Aufbau (4/12/2/12/3) des MIG ausgeglichen werden.
- Die Ausbildung der mittleren Scheibe, ob dünnes Glas, Folie oder Kunststoffplatte, hat keinen signifikanten Effekt auf die Luftschalldämmung. ■

Flächengewicht Mehrscheiben-Isolierglas

Forschungsstelle	ift Rosenheim
Projektleiter	Norbert Sack
Projektpartner	Bundesverband Flachglas e.V., im Projekt vertreten durch Isophon Glas GmbH, Southwall Europe GmbH sowie Winterglas GmbH.
Gesamtkosten	158 520 €
Anteil Bundeszuschuss	90 075 €
Laufzeit	bis Dezember 2012



Selbstverdichtender
Architekturleichtbeton,
Setzfließmaß 680 bis 700 mm

Hochwärmedämmende monolithische Sichtbetonaußen- teile aus Architekturleichtbeton

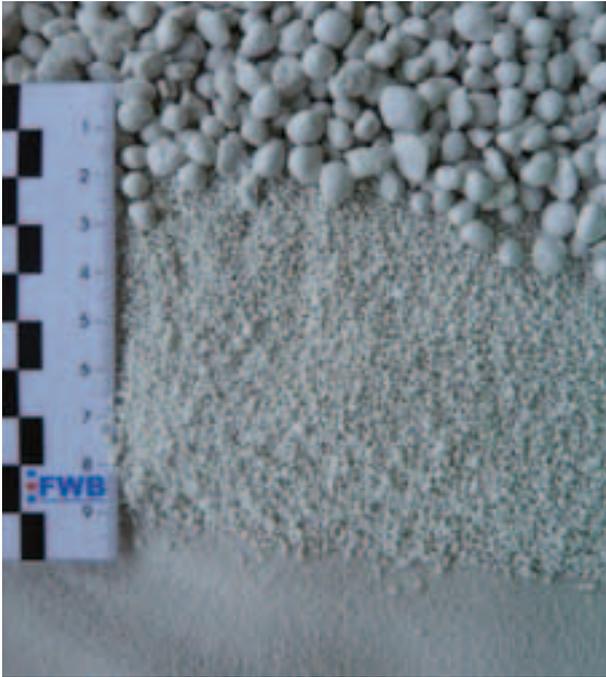
Wolfgang Breit, Uni Kaiserslautern

Die Kombination eines hochwärmedämmenden Leichtbetons mit den optischen Eigenschaften eines Architekturbetons ermöglicht Bauwerke, bei denen die Optik des Betons mit den energetischen Anforderungen an Außenbauteile vereint werden kann. An der TU Kaiserslautern wurde ein Gebäude aus einem neu entwickelten Architekturleichtbeton verwirklicht, bei dem die im Labor gewonnen Erkenntnisse hinsichtlich der Übertragbarkeit auf Bauwerksverhältnisse überprüft wurden.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Entwicklung von hochwärmedämmenden monolithischen Leichtbetonaußenbauteilen aus Sichtbeton, die vor dem Hintergrund des nachhaltigen Bauens aus recycelbaren Baustoffen sowie einem Zement mit optimierter Ökobilanz hergestellt werden sollten.

Monolithische Außenbauteile aus wärmedämmendem Leichtbeton sind aufgrund ihrer geringen Dichte und porigen Struktur empfindlich gegen eindringende korrosionsfördernde Medien und Feuchtigkeit. Des Weiteren mussten

die gestellten Forderungen hinsichtlich Frischbetoneigenschaften und mechanischen Anforderungen zielsicher erreicht sowie gleichzeitig eine hohe Sichtbetonqualität ermöglicht werden. Das monolithische Bauteil sollte ohne zusätzliche Dämmung die Anforderungen der EnEV 2009 erfüllen und mit Mineralschaum-Kerndämmung einen U-Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ erreichen. Hierzu sollten geeignete Kerndämmmaterialien eingesetzt werden, die insbesondere die Aspekte des nachhaltigen Bauens berücksichtigen und die Recyclingfähigkeit der Gesamtkonstruktion möglich machen.



Rezyklierte, leichte Blähglaskörnungen für Architekturleichtbeton



Bigbag-Befüllung der Blähglaskörnungen in den Fahrmischer



Wand des Experimentalgebäudes mit Mineralschaum-Kerndämmung

Ein Architekturleichtbeton mit folgendem Anforderungsprofil sollte realisiert werden:

- hohe Sichtbetonqualität, gefügedichte Oberfläche
- Wandkonstruktion erfüllt Anforderungen der EnEV 2009
- Ausgangsstoffe erfüllen Nachhaltigkeitsanforderungen
- Frischbeton: leichte Verdichtbarkeit, Mischungsstabilität
- Festbeton: Druckfestigkeit LC 8/9, Rohdichte < 750 kg/m³
- ausreichender Widerstand gegen eindringende Gase und Wasser

Zusammensetzung des hochwärmedämmenden Architekturleichtbetons

Die Betonzusammensetzung musste widersprüchliche Anforderungen, wie z. B. ausreichende Druckfestigkeit bei geringer Rohdichte sowie geringe Wasseraufnahme trotz aufgeschäumter Zementmatrix, erfüllen.

Als Bindemittel kam aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit des Architekturleichtbetons ein Hochofenzement CEM III/B 32,5 N mit langsamer Hydratationswärmeentwicklung zum Einsatz. Die geforderte Wasseraufnahme



Architekturleichtbetongebäude nach Abschluss der Betonierarbeiten



Betoniervorgang des Architekturleichtbetons

und Wärmeleitfähigkeit konnten mit Leichtzuschlag aus aufgeblähtem Recyclingglas realisiert werden, wobei drei unterschiedliche Blähglasfraktionen mit den Korngrößen 0,25/0,5 mm, 1/2 mm und 4/8 mm verwendet wurden. Die selbstverdichtenden Fließeigenschaften ohne Entmischung wurden durch den Einsatz eines PCE-Fließmittels in Kombination mit einem Stabilisator erreicht. Die angestrebte geringe Trockenrohddichte ($< 750 \text{ kg/m}^3$) erforderte die Anwendung eines Schaumbildners zum Aufschäumen der Zementmatrix. Zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit wurden des Weiteren schwindreduzierende und hydrophobierende Zusatzmittel zugegeben.

Kennwerte des Architekturleichtbetons

Die beim Experimentalgebäude verwendete selbstverdichtende Betonzusammensetzung wies ein Setzfließmaß von 680–700 mm und eine Frischbetonrohddichte von $720\text{--}740 \text{ kg/m}^3$ auf. Bei Trockenrohddichten deutlich unter 700 kg/m^3 wurde eine 28-Tage-Druckfestigkeit von 6,3 MPa (56 d: 8,7 MPa; 90 d: 9,2 MPa) und ein Elastizitätsmodul von ca. 3,5 GPa nach 28 Tagen ermittelt. Die Gaspermeabilität lag trotz der geschäumten Zementmatrix in der Größenordnung eines Normalbetons, wohingegen die kapillare Wasseraufnahme aufgrund des hydrophobierenden Zusatzmittels unterhalb eines durchschnittlichen Normalbetons lag.

Die wichtigste Anforderung an den zu entwickelnden Leichtbeton waren seine Eigenschaften hinsichtlich Wärmedämmung, wobei aktuell ein Wärmeleitfähigkeitswert des Architekturleichtbetons von etwa $\lambda = 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ erreicht werden konnte. Mit einer Mineralschaum-Kerndämmung, die in einer Wand des Experimentalgebäudes eingebaut wurde, wurde ein U-Wert von $0,2 \text{ W/(K}\cdot\text{m}^2)$ erreicht.

Bau eines Experimentalgebäudes aus Architekturleichtbeton

Die Herstellung des Architekturleichtbetons für das $7 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ große Experimentalgebäude erfolgte im Transportbetonwerk, wobei die verschiedenen Blähglasfraktionen direkt in die Mischfahrzeuge dosiert wurden. Nach Zugabe des Zementleims wurde im Mischfahrzeug intensiv gemischt und der selbstverdichtende Architekturleichtbeton ohne weitere Verdichtung eingebaut. Zurzeit werden Messungen zur Beurteilung der Temperatur- und Feuchtigkeitsverläufe aufgezeichnet und ausgewertet, um eine Aussage über die tatsächlichen Wärmedämmeigenschaften und die Dauerhaftigkeit des Architekturleichtbetons bei natürlicher Bewitterung treffen zu können.

Der unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten entwickelte Architekturleichtbeton aus Blähglas und Hochofenzement erfüllte die hohen Anforderungen hinsichtlich Frisch- und Festbetoneigenschaften.

Bei einer Trockenrohddichte von unter 700 kg/m^3 wurde ein Wärmeleitfähigkeitswert von $\lambda = 0,15 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ erreicht. Die Übertragbarkeit der Laborerkenntnisse auf Bauwerkverhältnisse wurde durch den Bau eines Leichtbetongebäudes nachgewiesen. Kontinuierliche Messungen der Temperatur- und Feuchtigkeitsverläufe mit im Gebäude eingebauten Multiringsensorelektroden (MRSE) ermöglichen die Beurteilung der tatsächlichen Wärmedämmeigenschaften und der Dauerhaftigkeit des Architekturleichtbetons. ■

Sichtbetonaußenteile aus Architekturleichtbeton

Forscher/Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit Technische Universität Kaiserslautern, Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen Gottlieb-Daimler-Straße 60 67663 Kaiserslautern
Projektleiter	Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Breit
Gesamtkosten	148 500 €
Anteil Bundeszuschuss	68 400 €
Laufzeit	bis Dezember 2013

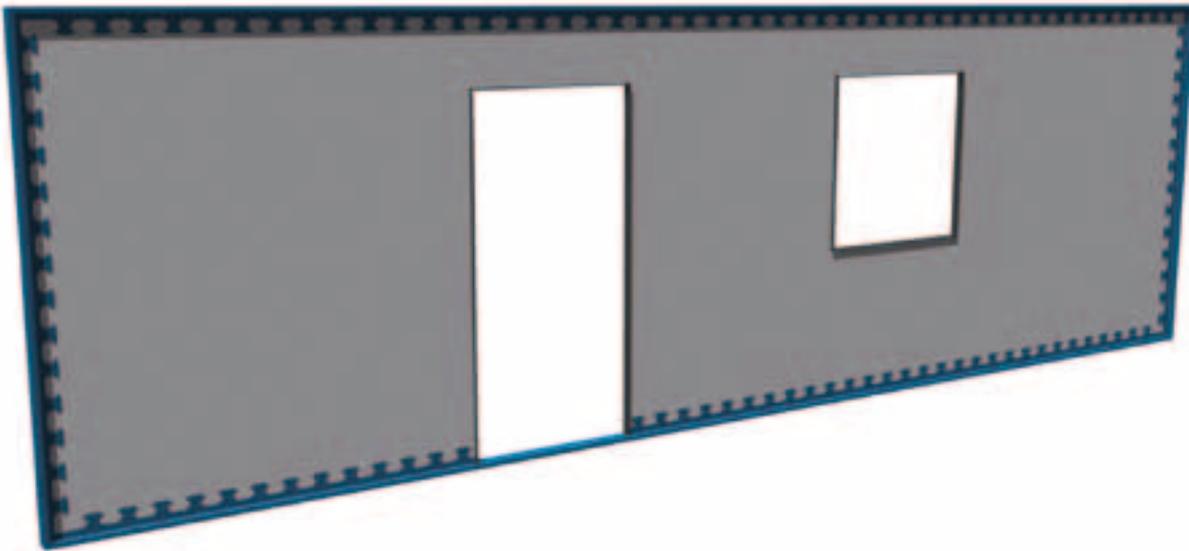


Abbildung 1: Wandelement aus UHPC mit Verbunddübelleisten als Verbindungselement

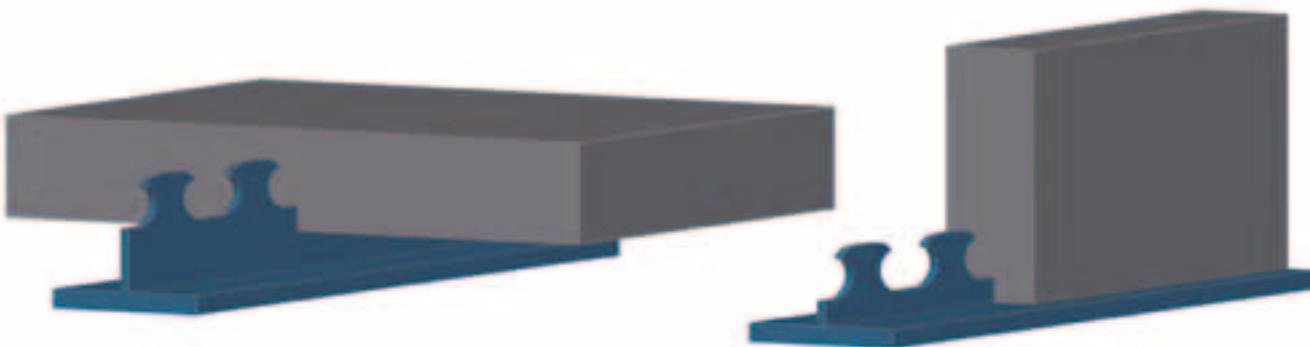


Abbildung 2: „Stehende“ Anwendung von Verbunddübelleisten in Platten (links) und „liegend“ in Wandelementen (rechts)

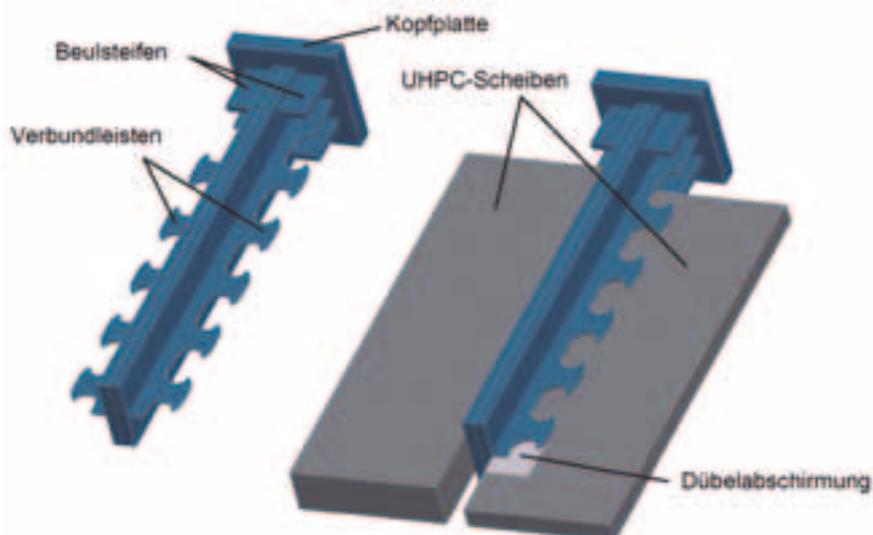


Abbildung 3: Vorgefertigtes Stahlelement und halbseitig geschnittener Push-out-Körper zur Überprüfung des Last-Verformungsverhaltens

Entwicklung dünnwandiger Konstruktionselemente aus UHPC und geeigneter Verbindungstechniken

Thomas Lechner, TU München

Die Entwicklung des Ultrahochleistungsbetons (UHPC) birgt in wirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht große Potenziale für die Anwendung in schlanken Wandelementen mit Wanddicken von etwa 4 bis 6 cm. Bevor eine Anwendung erfolgen kann, muss jedoch untersucht werden, wie die im Fertigteilwerk hergestellten Wandscheiben mit anderen Bauteilen verbunden werden können, und es muss geklärt werden, wie die Stabilität solch filigraner Elemente zu beurteilen ist.

Die Verwendung von UHPC mit Druckfestigkeiten über 150 N/mm^2 ermöglicht filigranere Querschnittsabmessungen, als dies bislang mit Normalbeton möglich war. Solch dünnwandige Konstruktionsbauteile können verwendet werden, um eine deutliche Reduktion der Querschnittsabmessungen und eine erhöhte Dauerhaftigkeit bei gleicher Tragfähigkeit zu erreichen. Im vorliegenden Fall der filigranen UHPC-Wandelemente (vgl. Abb. 1) führt dies dazu, dass auch die Bauteilverbindungen zwischen den in der Regel im Fertigteilwerk hergestellten Elementen und anderen Bauteilen (Stützen, Decken etc.) auf der Baustelle entsprechend filigran ausgeführt werden müssen. Weiterhin ist die Untersuchung des Stabilitätsverhaltens (Plattenbeulen bzw. Knicken) von derartig schlanken Wandelementen ein zentraler Aspekt, um eine sichere und wirtschaftliche Anwendung dieser Fertigteilbauweise in Zukunft zu ermöglichen.

Um filigrane Wandelemente inklusive einer passenden Möglichkeit zur Verbindung mit anderen Bauteilen entwickeln zu können, wurden zunächst unterschiedliche Verbindungstechniken wie z. B. Klebeverbindungen oder mechanische Verbindungen untersucht. Für detailliertere Untersuchungen zur Tragfähigkeit in dünnen UHPC-Elementen wurde die Verbunddübelleiste mit Klothoidenform ausgewählt. Diese wird bereits im Fertigteilwerk in die UHPC-Wandelemente einbetoniert und eine Verbindung zu anderen Bauelementen erfolgt dann mittels Verschweißen, Verschrauben oder mit einem Stecksystem. Frühere Untersuchungen von Verbunddübelleisten in UHPC-Platten („stehende“ Anwendung) zeigten, dass Verbunddübelleisten in Ultrahochleistungsbeton neben hohen Tragfähigkeiten auch ein ausgezeichnetes Verformungsvermögen aufweisen. Untersuchungen zur Tragfähigkeit von Verbunddübelleisten in dünnen UHPC-Wandelementen mit nur wenigen Zentimetern seitlicher Betondeckung („liegende“ Anwendung) wurden bisher jedoch noch nicht durchgeführt (vgl. Abb. 2).

Zur Prüfung des Trag- und Verformungsverhalten von „liegenden“ Verbunddübelleisten mit Klothoidenform in dünnen Betonelementen aus Ultrahochleistungsbeton wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Im Rahmen von Push-out-Versuchen (vgl. Abb. 3 und 4) wurden Verbunddübelleisten mit Dicken bis maximal 10 mm in Betonscheiben geprüft, die eine Höchstdicke von 60 mm aufwiesen. Es wurde unter anderem der Einfluss der Betondicke sowie der Stahldicke und -güte auf das Tragverhalten untersucht. Die maximale seitliche Betondeckung betrug bei allen Versuchskörpern weniger als 30 mm.

Die Ergebnisse der Versuche zeigen, dass liegende Verbunddübelleisten in dünnen Betonelementen aus Hochleistungs-beton Schubtragfähigkeiten von bis zu $1\,250 \text{ kN/m}$ erzielen können, wenn die Stahlgüte und -dicke entsprechend groß gewählt werden. Das Versagen erfolgt in solchen Fällen zumeist recht spröde durch das Aufspalten des Betons. Werden die Stahleigenschaften hingegen angepasst, so lassen sich bei einem duktilen Versagen des Stahls immer noch Schubkräfte bis 800 kN/m übertragen. Die Bemessung kann für diesen Fall wie für Verbunddübelleisten in Normalbeton erfolgen. Ein sprödes Versagen des UHPCs infolge Aufspalten sollte hingegen vermieden werden.

Das Stabilitätsverhalten der Wandelemente wurde mithilfe von in der Literatur vorhandenen Ergebnissen zum Beulen von dünnen UHPC-Scheiben mit dem Plattenbeulen im Stahlbau verglichen. Daraufhin wurde ein Bemessungsvorschlag auf Basis von DIN EN 1993-1-5:2010 erarbeitet. Die UHPC-Beulversuche wurden anschließend mithilfe von materiell und geometrisch nichtlinearen FE-Simulationen nachgerechnet. Zusätzlich erfolgten experimentelle Untersuchungen zur Einspannung von UHPC-Wandscheiben. Hierbei wurden die Scheiben am oberen Rand senkrecht zu ihrer Ebene belastet und die Verbunddübelleiste war fest eingespannt (vgl. Abb. 5). Nachdem auch diese Versuche

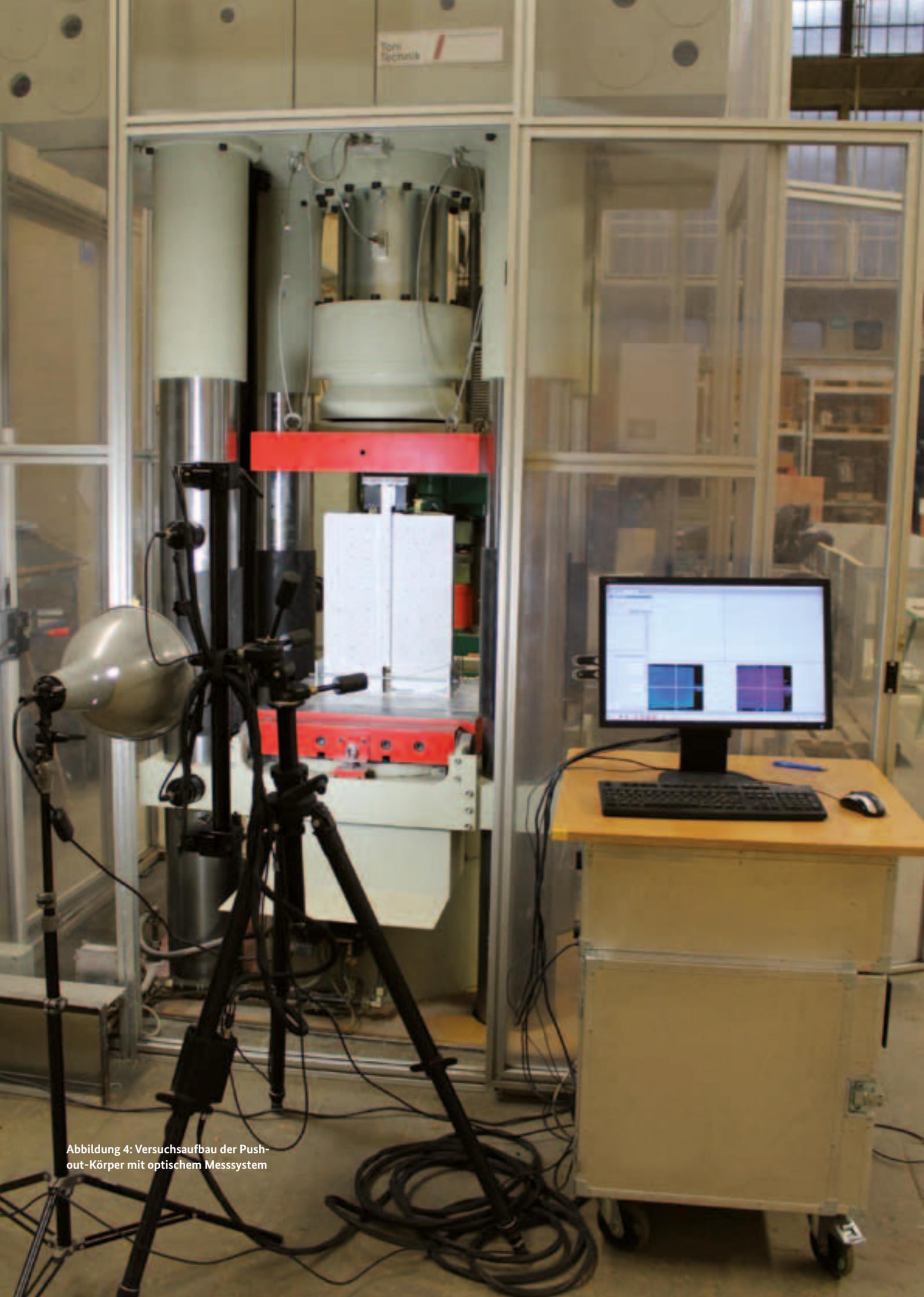


Abbildung 4: Versuchsaufbau der Push-out-Körper mit optischem Messsystem



Abbildung 5: Versuchskörper zur Ermittlung der Einspannung (mit geschnittener UHPC-Scheibe dargestellt.)

erfolgreich numerisch simuliert werden konnten, wurde mithilfe eines entsprechenden FE-Modells der Einfluss von Öffnungen auf das Beultragverhalten von Wandelementen abgeschätzt.

Neben den statisch-konstruktiven Untersuchungen wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens auch die bauphysikalischen und die Anforderungen aus der Gebäudetechnik zusammengestellt, die sich an die Wandelemente bei den angedachten Anwendungen für den Hochbau bzw. das Bauen im Bestand ergeben. Weiterhin wurden Vorschläge für die Detailausbildung der Wandelemente und Lösungsvorschläge für die Berücksichtigung der bauphysikalischen Aspekte sowie der TGA erarbeitet.

Verbunddübelleisten können in filigranen UHPC-Wandelementen als Verbindungselemente verwendet werden. Die Bemessung der Verbunddübelleiste kann analog zum Vorgehen in Normalbeton erfolgen, wobei ein Spalten der dünnen Scheiben aus UHPC jedoch zu vermeiden ist.

Die Stabilitätsbemessung der filigranen Wandelemente kann gemäß den Vorgaben der Stahlbaunorm DIN EN 1993-1-5:2010 unter Vernachlässigung der Einspannungswirkung des Betons in die Verbunddübelleisten erfolgen.

Für eine zukünftig optimale Anwendung der filigranen Wandelemente sollten weitere modulare Bauteile aus UHPC entwickelt werden, um mit den vorgestellten Wandelementen eine Art Baukastensystem bilden zu können. ■

Wandelemente aus Hochleistungsbeton

Projektleitung/Forscher	Lehrstuhl für Massivbau, TU München Lehrstuhl für Metallbau, TU München SSF Ingenieure AG/Lehrstuhl für Massivbau
Projektleiter	Prof. Oliver Fischer
Gesamtkosten	322 800 €
Anteil Bundeszuschuss	232 300 €
Laufzeit	bis Februar 2014

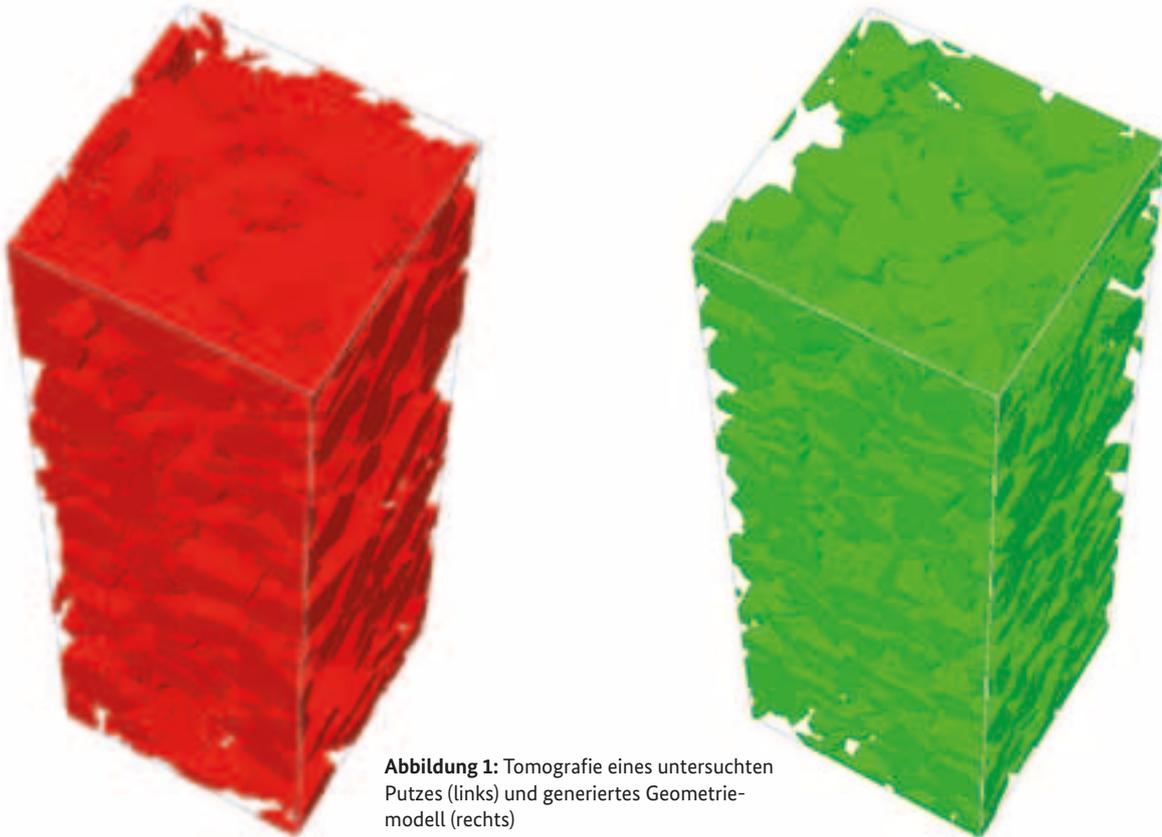


Abbildung 1: Tomografie eines untersuchten Putzes (links) und generiertes Geometrie-modell (rechts)

Marktgerechte Akustikputzsysteme mit hoher thermischer Effizienz

Horst-Albert Drotleff, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

Deckenkonstruktionen im Büro- und Verwaltungsbau werden zunehmend multifunktional ausgestattet. Gestalterisch werden jedoch einheitliche Oberflächen bevorzugt, welche die Vielzahl technischer Einbauten möglichst nicht erkennen lassen. Fugenlos verarbeitete Putze erscheinen dazu ideal geeignet. Die bauphysikalischen Anforderungen an diese sind allerdings sehr gegensätzlich, wenn die Decke sowohl akustische als auch wärmetechnische Funktionen vereinen soll.

Für die Schallabsorption muss der Putz unbedingt porös sein, was durch die verminderte Wärmeleitfähigkeit die Heiz- und Kühlleistung beeinträchtigt. Durch Analyse der Mikrostruktur sollten akustisch geeignete Porenmorphologien identifiziert werden, mit denen sich zugleich möglichst dünne Putzschichten mit ausreichender Wärmeleitung aufbauen lassen.

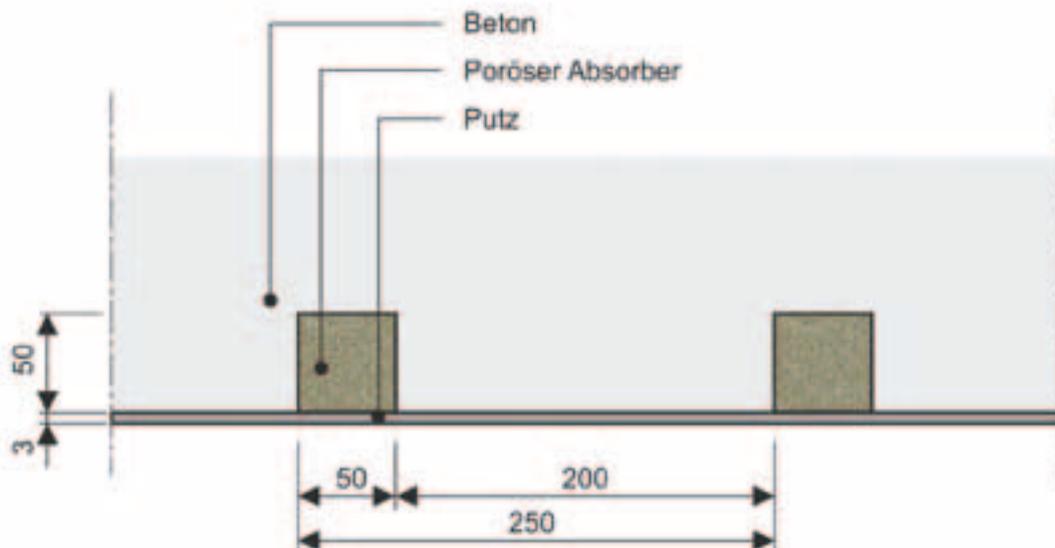


Abbildung 2: Aufbau einer bauteilaktivierten Decke mit Absorberstreifen

Betrachtet wurden zwei Kühldeckensysteme: bauteilaktivierte Betondecken mit bündig eingelassenen, periodisch angeordneten Schallabsorberstreifen (s. Abb. 2) und abgehängte Akustikkühldecken. Da sich deren akustischen Eigenschaften deutlich unterscheiden, mussten die Putzsysteme separat abgestimmt werden. Rechnerische Parameterstudien zum Absorptionsvermögen der verputzten Aufbauten lieferten optimale Bereiche für die akustisch entscheidenden Materialkenngrößen. Die Unterdecken wurden dabei mit gängigen Verfahren für Schichtungen poröser Absorber berechnet, für die Streifendecken wurde ein vorhandenes Rechenmodell um zusätzliche vollflächige Putzschichten erweitert und neu implementiert.

Voraussetzung für dieses Vorgehen war eine theoretische Modellierung der Schallausbreitung in der Putzschicht. Vorbereitend wurden dazu Schallabsorptionsgrade an einem breiten Probenfeld gemessen. Vom Projektpartner Sto AG wurden Proben aus drei unterschiedlichen Putzsys-

temen zur Verfügung gestellt, bei denen auch die Verarbeitung und die Schichtdicken variiert wurden. Außerdem wurde auf unterschiedliche Trägerplatten und auf Folien appliziert. Die wertvollsten Ergebnisse wurden an Putzschichten gewonnen, die vom Putzträger getrennt wurden. Vor unterschiedlich dicken rückseitigen Luftschichten angeordnet, konnte das Absorptionsvermögen an mehreren Spektren über einen weiten Frequenzbereich untersucht werden. Zur Modellierung haben sich dabei klassische Modelle für poröse Schallabsorber als geeignet erwiesen. Die erforderlichen Eingangsdaten wurden indirekt so bestimmt, dass sich die bestmögliche Übereinstimmung mit den gemessenen Absorptionsspektren ergab.

Daneben kam eine neue Methode zur Analyse und parametrischen Synthese der Porenmorphologie zum Einsatz. Das Ziel war einerseits, die Eingangsdaten für das Absorbermodell direkt aus der Mikrostruktur zu berechnen. Andererseits sollten durch Variation der Geometrie-

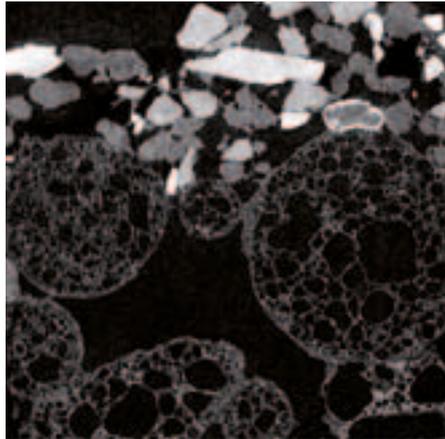


Abbildung3: Tomografie eines einlagigen Akustikputzes auf Trägerplatte aus Blähglasgranulat

modelle akustisch günstige Porenstrukturen abgeleitet werden. Hierzu wurden Mikrotomografien der akustisch vermessenen Putzproben erstellt und integralgeometrisch ausgewertet (s. Abb. 3). Die Analyse lieferte auch charakteristische Abmessungen, wie z. B. Korngrößenverteilungen von rekonstruierten Granulaten, die sich direkt mit den Herstellungsparametern korrelieren lassen. Mit diesen Parametern wurde ein Geometriemodell für einen Putz mit nicht porosiertem Korn generiert, das einfach variiert werden kann (s. Abb. 1). Im resultierenden Porenvolumen wurden abschließend Strömungs- und Diffusionsfelder simuliert, aus denen sich alle erforderlichen Daten für die Absorptionsgradberechnung berechnen lassen.

Der wärmetechnische Teil stützte sich auf Berechnungen mittels Finite-Elemente-Methode. Dabei wurden bauteilbezogenen Wirkungsgrade berechnet, indem mittlere Oberflächentemperaturen der verputzten und unverputzten Konstruktionen ins Verhältnis gesetzt wurden. Damit konnten akustisch und wärmetechnisch geeignete Kombinationen von Schichtdicke und Wärmeleitfähigkeit der Putze identifiziert und Hinweise auf geeignete Putzzuschläge abgeleitet werden (s. Abb. 4).

Für schallabsorbierende Kühldecken sollten Putzsysteme entwickelt werden, die nutzungsgerechte Schallabsorptionsspektren erzielen, ohne den thermischen Wirkungs-

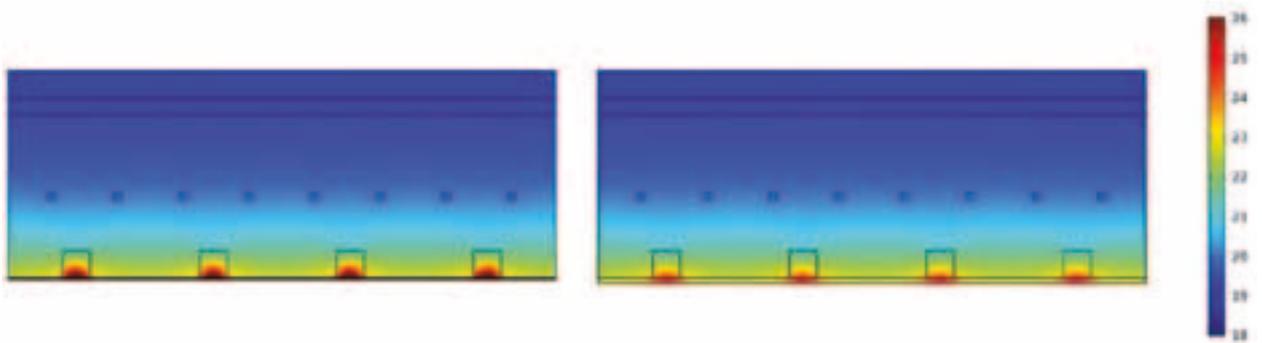


Abbildung 4: Simulation von Bauteiltemperaturen in Grad Celsius in einer Absorberstreifendecke mit Putzen unterschiedlicher Dicke und Wärmeleitfähigkeit

grad gravierend zu verschlechtern. Für die beiden Systemtypen wurden folgende Empfehlungen erarbeitet: Aufgrund der vergleichsweise geringen Schichtdicken werden die akustischen Eigenschaften des Putzes im Wesentlichen von der offenen Volumenporosität und vom Strömungswiderstand bestimmt. Bei allen Putzen sollte eine Porosität von ca. 40 Prozent eingestellt werden. Höhere Werte haben akustisch keinen Vorteil, verringern jedoch die Wärmeleitfähigkeit. Der längenbezogene Strömungswiderstand kann in erster Näherung über die Korngrößen der Zuschläge abgeschätzt werden, indem von einer Kugelschüttung ausgegangen wird. Aufgrund der deutlich besseren thermischen Leistungsfähigkeit sollten

ausschließlich massive Zuschläge verwendet werden. Ein akustischer Vorteil porosierter Zuschläge war für die untersuchten Deckentypen nicht erkennbar.

Bei Absorberstreifendecken sollte die Putzdicke auf das bautechnische Minimum begrenzt und die Korngrößen nur soweit erhöht werden, wie es Verarbeitung, Festigkeiten u. Ä. erlauben. Bei abgehängten Unterdecken liegen optimale Strömungswiderstände deutlich höher als bei Streifendecken. Sie können daher mit massiven Zuschlägen allein erzielt werden, deren Durchmesser deutlich unter einem Millimeter liegen. ■

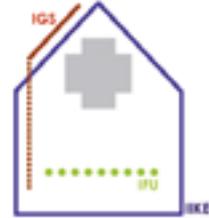
Marktgerechte Akustikputzsysteme mit hoher thermischer Effizienz

Forscher/Projektleitung	Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
Projektleiter	Dipl.-Ing. (FH) Horst Drotleff M.Sc.
Gesamtkosten	150 000 €
Anteil Bundeszuschuss	95 000 €
Laufzeit	September 2011 bis Mai 2013

Praxis: Krankenhausbau

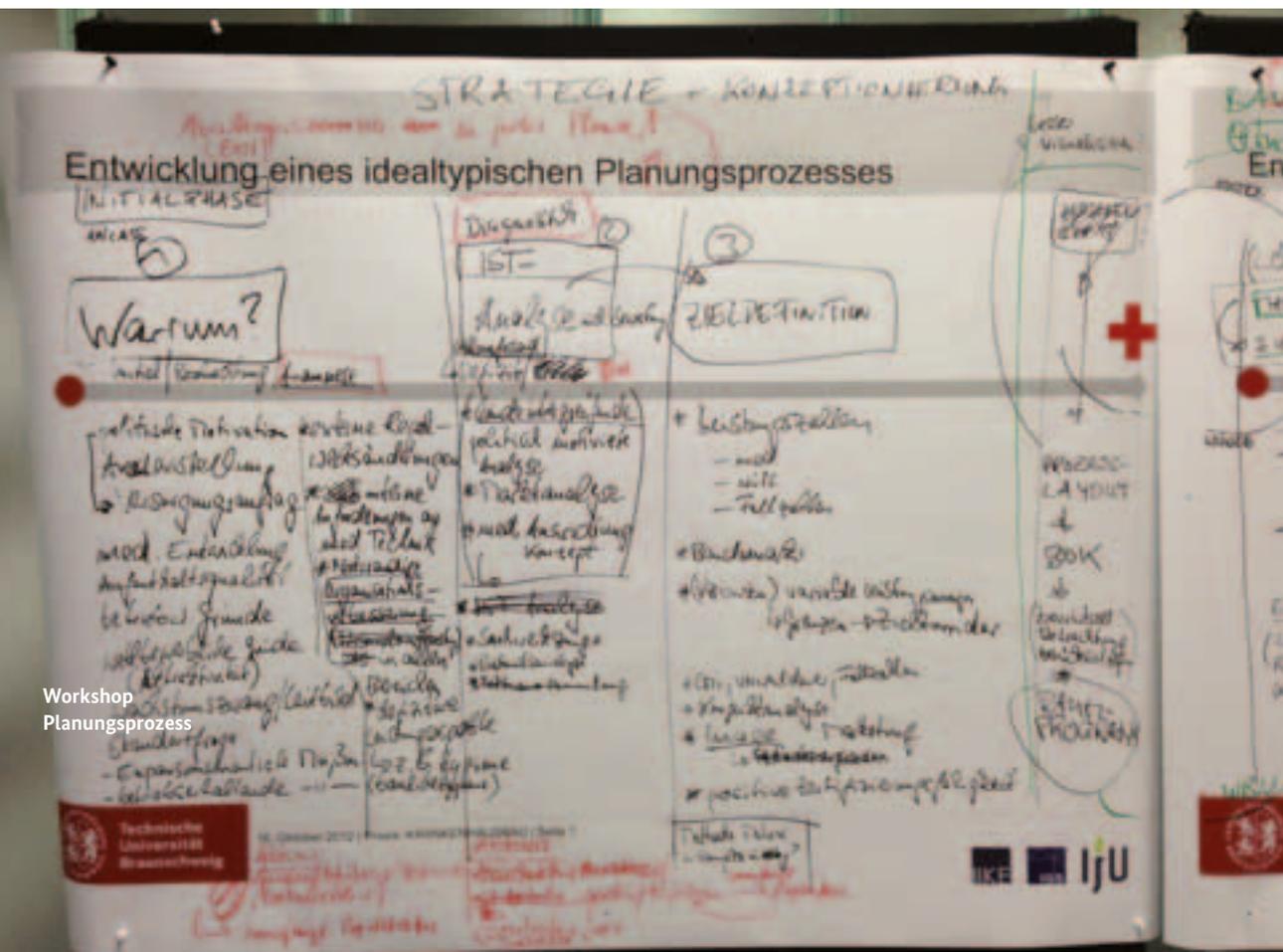
Ein interdisziplinäres Forschungsprojekt der TU Braunschweig entwickelt Lösungen zur zukunftsfähigen Planungsorganisation und Gebäudestruktur von Krankenhäusern und bietet Lösungsansätze bei zukünftigen Planungen und Abwicklungen sonstiger komplexer Großprojekte.

Wolfgang Sunder, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig



Die deutsche Krankenhauslandschaft ist für seine medizinische Spitzenleistung und sein internationales Renommee bekannt. Viel öfter prägen allerdings chronischer Geldmangel, politische Engstirnigkeit, harter Konkurrenzkampf und veraltete Strukturen das Bild der Kliniken. Damit Krankenhäuser in Zukunft effizienter planen, betreiben und arbeiten, sprich eine qualitätsvolle Gesundheitsversorgung gewährleisten können, müssen sie sich diesen Herausforderungen stellen.

Dem Krankenhausbau kommt hierbei eine Schlüsselfunktion zu. Viele Krankenhausbetreiber arbeiten deshalb mit Hochdruck an der Effizienzsteigerung der Betriebsmittel und organisatorischen Abläufe. Bieten die vorhandenen Krankenhausbauten kaum Möglichkeit mehr, die notwendige Effizienzsteigerung zu erreichen, ist es in vielen Fällen notwendig, die baulichen Strukturen anzupassen. Unter Leitung des Instituts für Industriebau und Konstruktives Entwerfen (IIKE), Prof. Carsten Roth, hat ein interdisziplinäres Forschungsteam mit Experten aus den Bereichen Bauwesen, Prozessplanung und Energiedesign der TU Braunschweig dieses Thema aufgegriffen und untersucht seit Mai 2012 in dem Forschungsprojekt „Praxis: Krankenhausbau“, wie Planungsprozesse optimiert und dadurch neue Gebäudestrukturen effizient und nachhaltig gestaltet werden können.



Defizite im Krankenhausbau und im Planungsprozess

In Vorbereitung zum Projektstart Mitte 2012 wurde von dem Forschungsteam in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern in Workshops (siehe Abb. S. 86) der Frage nachgegangen, welche zukünftigen Themen bei Krankenhausbetreibern und -planern von Bedeutung sind. Dabei konnten folgende Defizite im Bereich des Krankenhausbaus und des Planungsprozesses identifiziert werden:

- Innovationen in der Medizintechnik und neue Behandlungsformen üben einen enormen Veränderungsdruck aus und erfordern anpassungsfähige, effiziente Gebäudestrukturen und Prozessabläufe.
- Die Auswirkungen einer mangelnden Gebäudequalität oder die Chancen, die flexible und langfristig effizient nutzbare Gebäude bieten, werden häufig von Krankenhausbetreibern zu spät erkannt.
- Krankenhäuser werden häufig mit einer kurzen Gebäudelebenszeit (Abriss statt Umbau) geplant und betrieben. Durch diesen stark wirtschaftlich geprägten Aspekt verlieren Krankenhäuser oft den Blick auf ihre Funktion als Ort der Heilung und Arbeitsstätte.
- Der hohe Kosten- und Zeitdruck führt häufig zu fehlerhaften Entscheidungen der Krankenhausträger. Im

Planungsprozess wird außerdem zu spät das Fachwissen von interdisziplinären Teams (wie Architekten, Prozess- und Energieplaner) integriert.

- Krankenhäuser verwenden in den meisten Fällen starre Gebäudetechnik, die zu mangelnder Energieeffizienz führt und nicht auf Anforderungsänderungen reagieren kann. Aufgrund steigender Energiekosten erhöht sich der Druck bei Krankenhausbetreibern, Einsparungen in diesem Bereich voranzutreiben.

Künftige Anforderungen

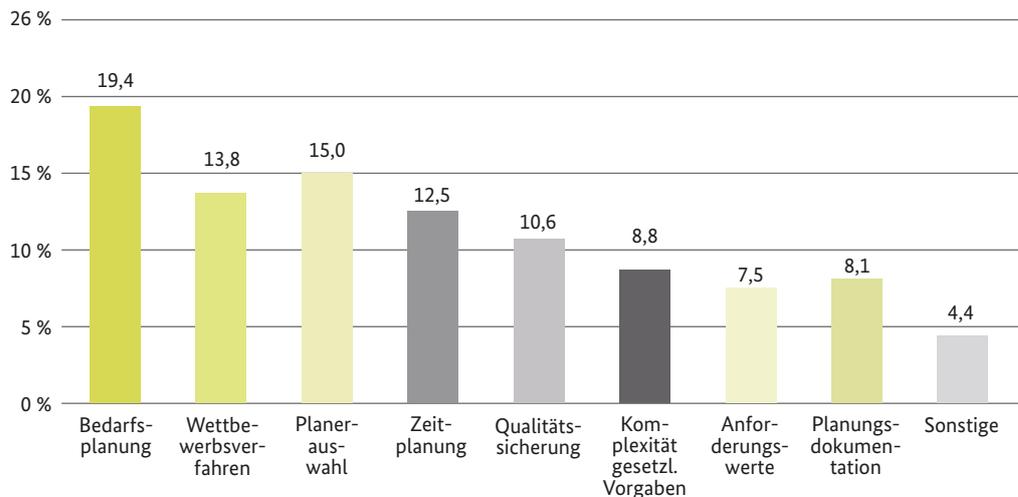
Die oben aufgeführten Defizite im Krankenhausbau wurden im Rahmen einer deutschlandweiten Onlineumfrage näher untersucht. Ziel der Umfrage war es, praxisnah die Anforderungen an den Krankenhausbau zu erfassen. Während des Erhebungszeitraums von August 2012 bis Oktober 2012 wurden über 800 Personen zu den Bereichen Prozess, Gebäude und Energie im Krankenhaus befragt. Die Umfrage richtete sich zum einen an die Nutzer der Krankenhäuser (Ärzte oder Pflegepersonal) und zum anderen an Planungsexperten im Gesundheitssektor.

So konnten in den Bereichen Planungsprozess und Gebäudeplanung wesentliche Zukunftsthemen für den Krankenhausbau abgeleitet werden. Im Bereich Planungsprozess sahen die Befragten die Bedarfsplanung als wichtigsten Aspekt an, bei dem die Planung weiter optimiert werden sollte. Unter Bedarfsplanung wird in diesem Zusammenhang die methodische Ermittlung der Anforderungen seitens des Kunden verstanden. Ebenfalls wurde die Auswahl eines den Anforderungen gerechten Planungsteams als defizitär bewertet.

Dies lässt den Schluss zu, dass sich sowohl durch die Weiterentwicklung von Methoden und Werkzeugen bei der



Herausforderungen im Krankenhausbau



Onlineumfrage: Welchen Aspekt der Planung würden Sie gerne verbessern?

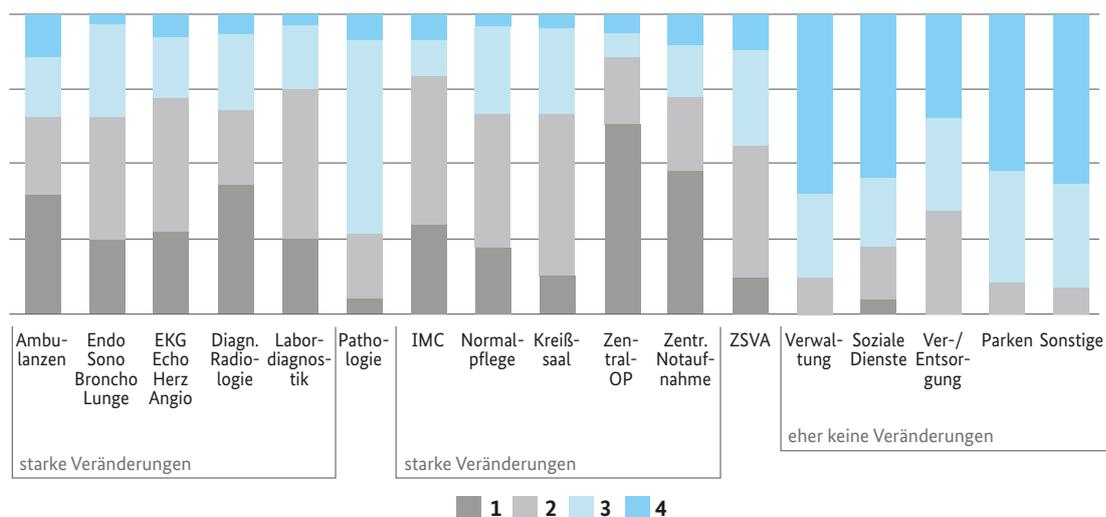
Bedarfsplanung als auch bei den Querschnittsfunktionen der Planung, wie beispielsweise dem Projektmanagement, Potenziale heben lassen.

Im Bereich Gebäude wurden Planer bezüglich der zukünftigen Entwicklungen, der Restriktionen und Potenziale aus baulicher Sicht befragt. Hierbei konnten vier Bereiche identifiziert werden, die gemäß der Befragten künftig ein hohes Maß an Wandlungsfähigkeit aufweisen müssen. Unter Wandlungsfähigkeit wird in diesem Zusammenhang das Potenzial verstanden, eine schnelle und kostenoptimale Anpassung der Gebäudestruktur durchzuführen.

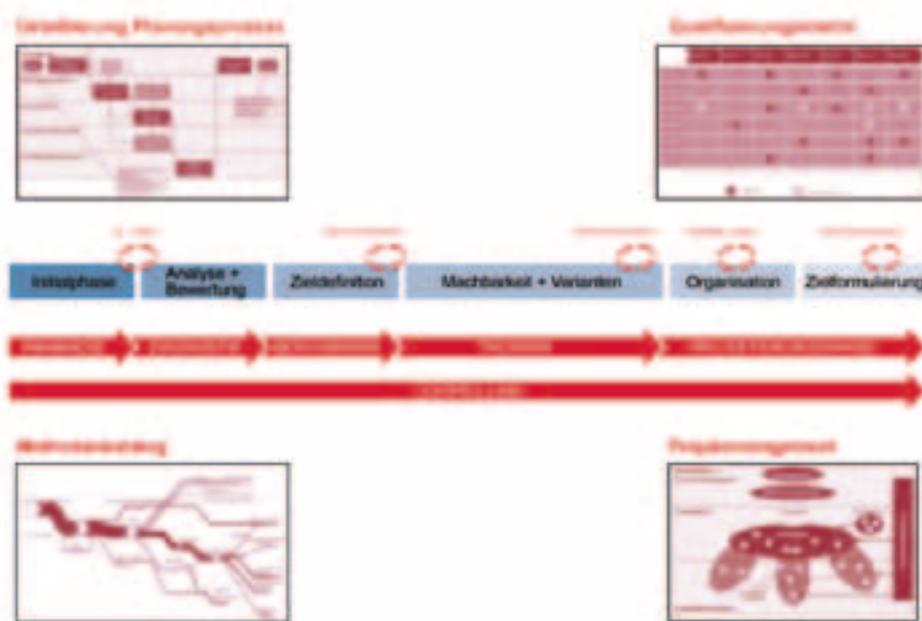
Zu diesen Bereichen zählen beispielsweise der Zentral-OP oder die zentrale Notaufnahme des Krankenhauses.

Die Lösung: Optimierung und Qualitätssicherung in der strategischen Planung

Das Forscherteam hat im nächsten Schritt gemeinsam mit den Forschungspartnern einen strategischen Planungsprozess entwickelt, der vor der Leistungsphase 1 der HOAI zum Einsatz kommt. Die zur strategischen Planung notwendigen Phasen wurden von der Initialphase bis zur Zielformulierung in Detailierungsstufen anhand einer Matrix entwickelt und mit den notwendigen Informationen ergänzt.



Onlineumfrage: Welche Bereiche des Baus werden in Zukunft die meisten Veränderungen durchlaufen?



Planungsprozess für zukunftsfähige Krankenhausbauten

Aufbauend galt es zu definieren, wie Methoden und Werkzeuge der drei Disziplinen Prozess, Energie und Bau den Planungsprozess zur Informationsfindung optimal unterstützen können. Dazu wurde ein umfangreicher Katalog von Methoden und Werkzeugen erstellt, der die Anwendbarkeit in der Praxis beschreibt sowie Vor- und Nachteile aufführt. Um zukunftsfähige Ziele, wie Wandlungsfähigkeit oder Nachhaltigkeit im Krankenhausbau erreichen zu können, ist der effiziente und richtige Einsatz von Kompetenzen zwingend notwendig. Dazu hat das Forscherteam Qualitätsanforderungen der beteiligten Akteure des Planungsprozesses entwickelt, die zur Erfüllung von bestimmten Tätigkeiten notwendig sind. Das Profil des Planungsbeteiligten setzt sich aus Fach-, Methoden- und Sozialkompetenz zusammen.

Stuttgart 21, Flughafen BER, Elbphilharmonie Hamburg

Die in den vorangegangenen Arbeitsphasen erarbeiteten Inhalte wurden an verschiedenen Krankenhausprojekten überprüft. Die chronologische Einordnung der Unterlagen und Ihr Übertrag in die entwickelte Planungssystematik (Soll-Ist-Vergleich) stellten sich als durchaus praktikabel heraus. Gerade die vereinfachte Visualisierung von Fehlstellen in der entwickelten Matrix überzeugte alle Beteiligten des Forschungsprojektes.

Die Erkenntnisse des Forschungsprojektes haben innovative Ergebnisse generiert, die bereits Einzug in die Planungsaktivitäten der Forschungspartner gehalten hat. Zugleich ergeben sich aber auch viele Ideen für eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf öffentliche und private Bauprojekte, die in der Vergangenheit den guten Ruf der deutschen Bauwirtschaft durch erhebliche Kosten- und Terminüberschreitungen bei Großprojekten auf Spiel gesetzt haben. ■

Praxis: Krankenhausbau

Forscher/Projektleitung	Forschungsteam Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, IIKE – Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen (Projektleitung), Prof. Mag. Arch. Carsten Roth M.Arch., Dipl.-Ing. Wolfgang Sunder, Dipl.-Ing. Jan Holzhausen IGS – Institut für Gebäude- und Solartechnik Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch, Dipl.-Ing. Philipp Knöfler IFU – Institut für Fabrikbetriebslehre und Unternehmensforschung Prof. Dr.-Ing. Uwe Dombrowski, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Riechel
Projektpartner	Bauunternehmen Wolff & Müller Holding GmbH & Co. KG, Dräger Medical Deutschland GmbH, Katholischer Hospitalverbund Hellweg, Miele & Cie. KG, Architektengruppe Schweitzer & Partner, Rhön-Klinikum AG, Schön Kliniken Verwaltung GmbH, Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH, Unity AG
Gesamtkosten	439 768 €
Anteil Bundeszuschuss	197 568 €
Laufzeit	bis Mai 2014

Die Autoren arbeiten an der TU Braunschweig im Forschungsteam Praxis: Krankenhausbau. Im Folgenden berichten sie über ihre Erfahrungen von der Entwicklung der Forschungsidee bis zur Vorbereitung des Fördermittelanspruchs.

Von der Idee zum Forschungsprojekt – erfolgreiche Antragsvorbereitung

Jan Holzhausen, Wolfgang Sunder, TU Braunschweig

Der Weg bis zur Bewilligung eines Forschungsprojektes hängt von sehr vielen individuellen Faktoren ab. Dies sollte man aber als Chance und nicht als zu bewältigendes Chaos betrachten. Das Herauskristallisieren des Kernthemas, die Zusammensetzung des Forschungsteams und die Akquise von Industriepartnern machen die Antragsphase erst interessant. Diese Themen bestimmen über die Schlagkraft des Forschungsvorhabens und damit über seine Förderungsfähigkeit.

Am Anfang jedes Forschungsprojektes stehen in unserem Institut sehr unterschiedliche Ansätze im Vordergrund. Welches Thema zur Antragsstellung gebracht wird, hat dabei auch sehr persönliche Gründe: Welches Thema interessiert mich zur Zeit? Passt dieses in unser Institutsprofil? Kann ich auf bereits im Institut erarbeiteten Wissen aufbauen? Wollen wir neue Themenfelder erschließen? Und nicht zuletzt: Ist die angestrebte Thematik zzt. überhaupt förderungsfähig?

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung bedient sich eines cleveren Instrumentes namens Eigen- bzw. Drittmittelanteil. Somit hat es einen Indikator für die Praxisnotwendigkeit des angestrebten Themas entwickelt, in dem man anhand der Drittmittelquote deutlich die Dringlichkeit des Forschungsthemas und den Willen der beteiligten Industriepartner ablesen kann.

Aus diesem Grund hat es sich bei uns bewährt, sehr früh Kontakt mit möglichen Forschungspartnern aufzunehmen. Der erste Blick geht dabei natürlich durch die eigenen Fachbereiche der Universität und befreundeter Institutionen anderer Einrichtungen. Hat man den wissenschaftlichen Part des Forschungsteams zusammen, geht es an die Industriepartner. Hier dürfen wir vermeintlich edlen Architekten ruhig mal zum Telefonhörer greifen und auf Akquisetour gehen. In diesen telefonischen Erstgesprächen

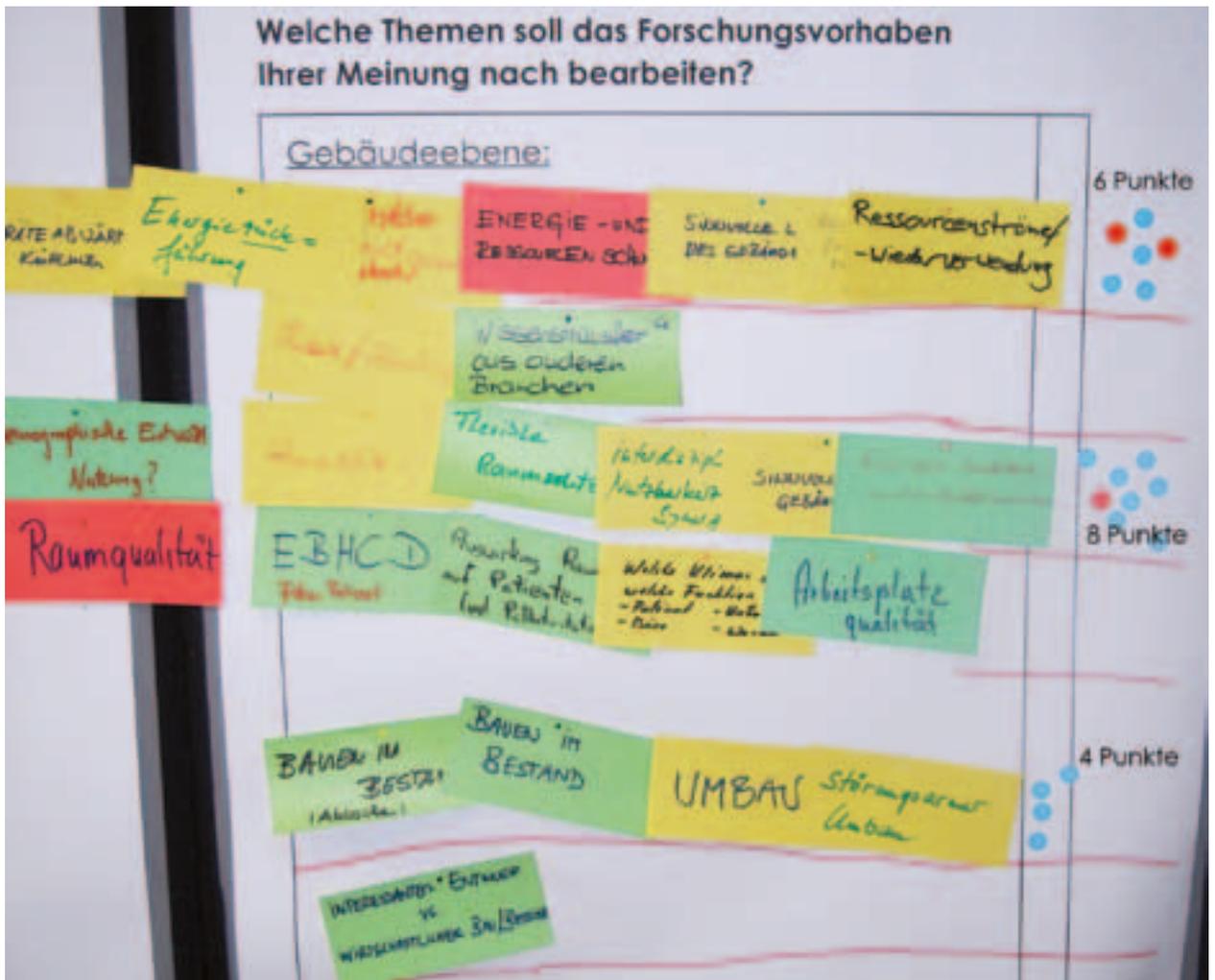
bekommt man sehr schnell ein Gefühl für die Notwendigkeit des Themas in der Wirklichkeit des Bauens und nicht nur im gläsernen Turm der Universität.

Als überaus sinnvoll haben wir noch weit vor der Antragsstellung ein erstes Kick-off-Arbeitstreffen entwickelt. Hier bringen wir alle am Thema Interessierten zusammen. Dieses Treffen dient dem Kennenlernen und einer ersten Eingrenzung des Forschungsthemas.

Dabei wird über ein moderiertes Verfahren eine Defizitanalyse des Betrachtungsgegenstandes durchgeführt. Anschließend werden Themen geclustert und hierarchisiert. Die Ergebnisse dieses Workshops präzisieren die Antragsstellung und spiegeln gleichzeitig die Optimierungspotenziale in der Industrie wider.

Die Teilnehmer des Arbeitstreffens können hierbei auch weiter abschätzen, ob eine Beteiligung an dem Forschungsvorhaben als Partner sinnvoll ist. Meist entwickelt sich auf diesen ersten Treffen bereits eine gewisse Dynamik bestimmter Personengruppen, die auch im folgenden Forschungsprojekt entscheidende Treiber sind.

Bei der Analyse der Förderlandschaft ist es ebenfalls ratsam, früh mit den Projektkoordinatoren des BBSR Kontakt aufzunehmen, um eine erfolgreiche Antragsstellung abzustimmen.



Workshop Themeneingrenzung mit Forschungspartnern aus der Industrie in der Antragsphase

Vor Antragsstellung platzieren wir das angestrebte Thema auch in der Lehre. So können Grundlagen mit Studenten erarbeitet und auch unorthodoxe, wenn nicht sogar manchmal naive, aber daher unvoreingenommene Sichtweisen auf das Thema generiert werden.

Wir haben die Erfahrung gemacht, dass dieses unkonventionelle Denken der Studenten, das nicht mit einem Rucksack voller Konventionen und einschränkendem Erfahrungswissen belastet ist, bei den Industriepartnern tatsächlich gerne gesehen und im weiteren Verlauf immer wieder eingefordert wird.

All die geschilderten Maßnahmen brauchen Zeit. Allein die Akquisephase der Industriepartner und deren Einbindung in die Antragsstellung kann schnell ein Jahr und mehr in Anspruch nehmen. Für uns heißt dies auch immer: Ist ein

Antrag bewilligt, so muss der nächste bereits wieder auf die Schiene gebracht werden.

Am schönsten ist es natürlich auch, wenn sich aus abgeschlossenen Themen neue entwickeln und Forschungspartnerschaften weitergeführt werden können.

Der erste Gedanke zum Forschungsprojekt braucht wenig Zeit, auch das Verfassen des eigentlichen Zuwendungsantrages kann der geübte Wissenschaftler in Tagen bewerkstelligen. Das richtige Aufsetzen der kompletten Struktur, des Gerüsts des Forschungsvorhabens macht die Einzigartigkeit und damit seine Förderfähigkeit erst aus. Zeit-, Arbeits- und Finanzpläne können gewissenhaft aufgestellt werden, aber erst die Findung des Forschungsteams und seine gemeinsame Schärfung des Themas entscheiden über Sieg oder Niederlage in der Antragsphase. ■

Leitfaden Barrierefreies Bauen

Rachel Barthel, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Der notwendige gesellschaftliche Wandel führt hin zu einer inklusiven Gesellschaft. In Zukunft wird der Anteil älterer Menschen mit Einschränkungen steigen. Wir alle wollen auch im Alter Gebäude möglichst ohne fremde Hilfe nutzen. Gebäude müssen also zugänglich und nutzbar für alle sein. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) werden wichtige Forschungsprojekte zur Umsetzung von Barrierefreiheit bei Bauten durchgeführt. Ein neuer Leitfaden bietet jetzt Hilfe bei der Umsetzung von Barrierefreiheit in öffentlichen Gebäuden und Arbeitsstätten.

Barrierefreies Bauen ist ein wichtiges Forschungsgebiet: Bereits seit 2005 werden im BBSR unterschiedliche Forschungsprojekte im Rahmen der Auftragsforschung zum barrierefreien Bauen durchgeführt. Im Mittelpunkt der aktuellen Forschungsprojekte steht seit einigen Jahren die Entwicklung eines Leitfadens Barrierefreies Bauen. Dieser Leitfaden soll die im Behindertengleichstellungsgesetz des Bundes (BGG) geforderte Umsetzung von Barrierefreiheit bei öffentlichen Gebäuden erleichtern. Die obersten Bauverwaltungen des Bundes erhalten eine Handlungsanleitung, wie die Selbstverpflichtung des Bundes zur Herstellung von Barrierefreiheit gemäß § 8 Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) umgesetzt werden kann. Demnach ist Barrierefreiheit in allen zivilen Neubauten und allen großen Um- und Erweiterungsbauten nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik umzusetzen. Das BGG gilt nicht für kleine Baumaßnahmen bei Bestandsbauten mit unter 2 Mio. € Baukosten. Bei Bestandsbauten ist die DIN 18040-1 sinngemäß anzuwenden. Der Leitfaden Barrierefreies Bauen empfiehlt auch bei kleinen Um- und Erweiterungsbaumaßnahmen zu prüfen, welche baulichen Einzelmaßnahmen sinnvoll sein können.

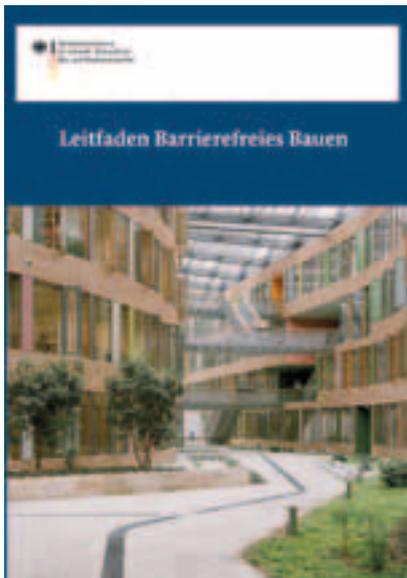
In der DIN 18040 Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude von Oktober 2010, wurden erstmals Anforderungen an öffentlich zugängliche Gebäude formuliert, die die Belange von Menschen mit sensorischen Einschränkungen einschließen. Allerdings gilt die DIN 18040-1 nicht für Arbeitsstätten. Für Arbeitsstätten wurden die Technischen Regeln unter anderem mit der ASR V 3a.2 Gestaltung barrierefreier Arbeitsplätze konkretisiert. Öffentliche und nichtöffentliche Bereiche in Arbeitsstätten sollten daher von Beginn an festgelegt werden, da hier unterschiedliche öffentlich-rechtliche Anforderungen gelten. Die Vielschichtigkeit des barrierefreien Planens und Bauens aufgrund der bestehen-

den rechtlichen Grundlagen und verschiedenen technischen Vorgaben an Gebäude sowie Gebäudeteile erfordern eine Anleitung für die Bauverwaltungen des Bundes. Im Rahmen von Baumaßnahmen sind zudem Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten im Planungsprozess und im Verfahrensablauf gemäß der Richtlinien für die Durchführung von Bauaufgaben des Bundes (RBBau) zu berücksichtigen.

Die Umsetzung von Barrierefreiheit bei Gebäuden erfordert eine ganzheitliche Planung. Mit dem Leitfaden Barrierefreies Bauen des BMUB soll das barrierefreie Bauen in den Planungsprozess öffentlicher Bauprojekte integriert werden. Ziel ist es, dass öffentliche Gebäude und öffentliche Bereiche in Arbeitsstätten möglichst von allen genutzt werden können. Öffentliche Bauten und Arbeitsstätten erfordern also bauliche Voraussetzungen bei Neubauten und den Abbau von Barrieren bei bestehenden Gebäuden. Der Leitfaden Barrierefreies Bauen richtet sich an Planer, Bauherrn, Betreiber und Nutzer von öffentlichen Gebäuden und Arbeitsstätten.

Inhaltlich ist der Leitfaden in vier Teile gegliedert.

In Teil A werden die wichtigen allgemein anerkannten Regeln der Technik in Bezug auf das barrierefreie Bauen sowie entsprechende Verweise dargestellt. Anschaulich wird erläutert, wann welche wichtigen Gesetze, Richtlinien, Verordnungen und Vereinbarungen gelten. Kurze Abschnitte behandeln Bezüge des barrierefreien Bauens zu Baukultur und Denkmalschutz, zum nachhaltigen Bauen sowie zur Wirtschaftlichkeit. Für Baumaßnahmen im Gebäudebestand sind Maßnahmen und die Suche nach individuellen Lösungen unter Wirtschaftlichkeitsaspekten beschrieben.



Titelblatt Leitfaden Barrierefreies Bauen

Teil B des Leitfadens leitet durch den Planungsprozess im Verfahrensablauf der RBBau.

Die in der DIN 18040-1 formulierten sensorischen Anforderungen an öffentlich zugängliche Gebäude berücksichtigen die Bedürfnisse von Menschen mit Sehbehinderung, Blindheit, Hörbehinderung (Gehörlose, Ertaubte und Schwerhörige). Auch für Personen mit kognitiven Einschränkungen und ältere Menschen führen einige Anforderungen zu einer Nutzungserleichterung. In Teil C werden die Anforderungen und Bedürfnisse von Menschen mit Einschränkungen untersucht. An die Struktur der DIN 18040-1 angelehnt werden die Anforderungen entsprechend ihren Erfordernissen an die gebaute Umwelt in 22 Handlungsfelder gegliedert. Die Handlungsfelder bilden die vier Gruppen: Gesamtkonzept (städtebauliche Integration und Orientierungs- und Leitsysteme), Erschließung (unter anderem Alarmierung und Evakuierung), Ausstattung sowie Räume.

In Teil D wird anhand eines idealisierten, fiktiven Projektes veranschaulicht, wie eine Dokumentation von Entscheidungen zum barrierefreien Bauen vorgenommen werden kann. Die Umsetzung der Anforderungen an die Entscheidungsvorlage Bau und die Entwurfsunterlage Bau werden in Form eines „Konzeptes Barrierefreiheit“ und eines „Nachweises Barrierefreiheit“ beispielhaft vorgestellt.



Zukünftig wird der Leitfaden Barrierefreies Bauen durch einen zurzeit vorbereiteten Erlass des BMUB verbindlich eingeführt.

Für die Vorplanung von Projekten wären Abschätzungen zu den Kosten für die Umsetzung von Barrierefreiheit wichtig. Bereits bei der Bedarfsplanung sollten Kosten für die Umsetzung von Barrierefreiheit bei großen Neu-, Um- und Erweiterungsbauten abgeschätzt werden können und einfließen. Bisher fehlen Erfahrungen, um diese Kosten angemessen bei der Kostenplanung von Baumaßnahmen des Bundes zu berücksichtigen. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Wirtschaftliche Aspekte Barrierefreien Bauens“ wurde eine methodische Grundlage entwickelt, um künftig die Mehrkosten des barrierefreien Bauens von Beginn an zu ermitteln. Anhand der Methodik ergeben sich die Mehrkosten als Summe der erforderlichen Einzelmaßnahmen. Die Mehrkosten je Einzelmaßnahme ermitteln sich durch Kennwerte für definierte Bezugsgrößen. Für die Ermittlung des Mehraufwandes wird je Projekt die Anzahl und Art der erforderlichen Maßnahmen zur Herstellung der Barriere-

Verfahrensschritte nach RBBau	Einbeziehen Barrierefreiheit	Zuständigkeit
ES-Bau (Entscheidungsunterlage-Bau) → vgl. HOAI LP 1 und teilweise LP 2		
Bedarfsplanung nach Ziffer 2.21 Abschnitt E RBBau	Prüfung der Anforderungen an die Barrierefreiheit in der Bedarfsplanung	Nutzer (Beteiligung Maßnahmeträger, Bauverwaltung)
Varianteuntersuchung zur Bedarfsdeckung nach Ziffer 2.22 Abschnitt E RBBau	Prüfung der Anforderungen an die Barrierefreiheit in der Varianteuntersuchung	Maßnahmeträger (Beteiligung Bauverwaltung)
Qualifizierung zur ES-Bau nach Ziffer 2.23 Abschnitt E RBBau	Erstellung: NACHWEIS BARRIEREFREIHEIT	Bauverwaltung
EW-Bau (Entwurfunterlage-Bau) → vgl. HOAI LP 2.3 und 4 und teilweise LP 5		
nach Ziffer 3 Abschnitt E RBBau Vorentwurf-, Entwurfs-, Genehmigungsplanung	Erstellung: NACHWEIS BARRIEREFREIHEIT	Bauverwaltung
Ausführungsplanung → vgl. HOAI LP 5 und 6		
nach Ziffer 4 Abschnitt E RBBau Ausführungsplanung Leistungsverzeichnisse	Festschreibung: NACHWEIS BARRIEREFREIHEIT	Bauverwaltung
Bausauführung → vgl. HOAI LP 7 und 8		
nach Abschnitt G RBBau Vergabe Baüberwachung	Kontrolle Einhaltung: NACHWEIS BARRIEREFREIHEIT Dokumentation schwerwiegender Abweichungen im Rahmen der Ausführung	Bauverwaltung
Bauübergabe und Dokumentation → vgl. HOAI LP 9		
nach Abschnitt H RBBau Dokumentation	Erstellung: Baueingabe und Dokumentation Barrierefreiheit	Bauverwaltung



Barrierefreiheit für Bundesbauten
Verfahrensablauf nach RBBau

Integration einer Hubplattform in historischem Treppenlauf in der Albrechtsburg zu Meißen. Um den Klemmschutz zu sichern, wurde die Hubplattform mit einer umlaufenden Sensorleiste ausgestattet, welche bei Berührung die Mechanik abschaltet.

erfreiheit festgestellt. Untersucht wurden neun der 22 Handlungsfelder des Leitfadens Barrierefreies Bauen, die den Großteil des barrierefreien Mehraufwandes verursachen. Es wurde ermittelt, dass die Annahme, dass der Anteil der Mehrkosten für Barrierefreiheit mit der Projektgröße sinkt, nicht auf alle Handlungsfelder zutrifft. Lediglich bei den Handlungsfeldern Rampen (außen), Aufzugsanlagen und Foyer/Eingang konnte ein linearer Zusammenhang mit der Gebäudegröße bestätigt werden. Die Ergebnisse beziehen sich auf globale Größen, wie Bauwerkskosten je Nutzfläche, und ermöglichen es daher, die Kosten für Barri-

erfreiheit von Anfang an zu berücksichtigen. Im Rahmen eines Folgeprojektes sollen projektspezifische Mehrkosten für das barrierefreie Bauen ermittelt werden.

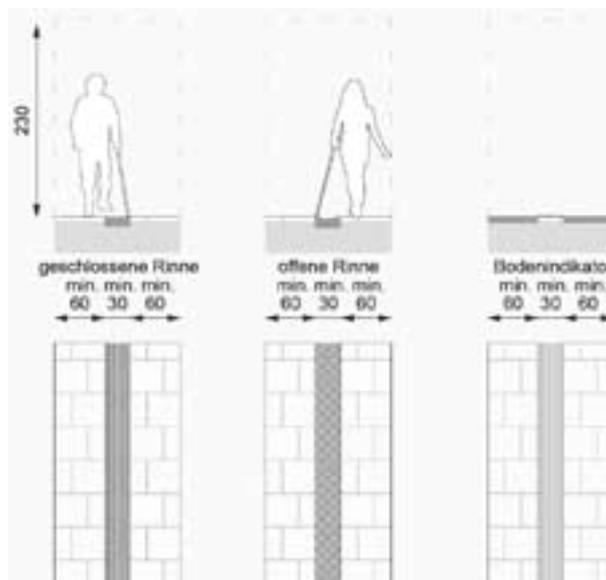
In dem laufenden Zukunft Bau Forschungsprojekt „Digitalisierung Leitfadens Barrierefreies Bauen“ wird eine Internetpräsentation für die Inhalte des Leitfadens Barrierefreies Bauen konzipiert. Es wird unter anderem ein anwender-

freundliches EDV-Werkzeug entwickelt, das es ermöglicht, online projektspezifische Konzepte und Nachweise zur Barrierefreiheit zu generieren, die der Struktur des Leitfadens Barrierefreies Bauen folgen.

Das Menschen- und Grundrecht auf Teilhabe soll baulich bei öffentlichen Neubauten für alle Nutzer gelten. Für öffentliche Baumaßnahmen stellt der Leitfaden Barrierefreies Bauen einen entscheidenden Meilenstein für die Umsetzung der UN-Behindertenrechtskonvention, des Behindertengleichstellungsgesetzes (BGG) sowie der DIN 1804-1 dar.

Der Leitfaden bietet Planenden ein Werkzeug – über die Mindestanforderungen hinaus-, um im Sinne von „Design for all“ zu denken und zu planen.

Die Anforderungen an die Barrierefreiheit können mithilfe des Leitfadens Barrierefreies Bauen durchgängig in den Bauablauf eingebunden werden. Entscheidungs- und Planungsprozesse werden strukturiert und dokumentiert. Der Leitfaden ist Nachschlagewerk und Ideengeber. ■



Anwendungsbeispiel Bodenindikatoren und Alternativlösungen mit sonstigen Leitelementen

Leitfaden Barrierefreies Bauen

Projektleitung/Forscher	Technische Universität Dresden Prof. Dr.-Ing. P. Schmieg und Prof. Dipl.-Ing. I. Lohaus, Ing. arch. Sárka Vorísková
Projektleiter	Dipl.-Ing. Architektur Rachel Barthel Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung Bestellung: publikationen@bundesregierung.de/Download: www.nachhaltigesbauen.de
Gesamtkosten	95 288 €
Laufzeit	Oktober 2011 bis April 2014

Digitaler Leitfaden Barrierefreies Bauen

Projektleitung/Forscher	Technische Universität Dresden Prof. Dr.-Ing. P. Schmieg und Prof. Dipl.-Ing. I. Lohaus, Ing. arch. Sárka Vorísková und OnlineNow! Gesellschaft für elektronisches Marketing mbH, Dr. Hoyer
Projektleiter	Dipl.-Ing. Architektur Rachel Barthel Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
Gesamtkosten	99 960 €
Laufzeit	Dezember 2013 bis März 2015

Wirtschaftliche Aspekte Barrierefreien Bauens

Projektleitung/Forscher	Technische Universität Dresden Prof. Dr.-Ing. P. Schmieg und Prof. Dipl.-Ing. I. Lohaus, Prof. i. V. Dipl.-Ing. Mickhan, Ing. arch. Sárka Vorísková
Projektleiter	Dipl.-Ing. Architektur Rachel Barthel Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung Bestellung: publikationen@bundesregierung.de/Download: www.nachhaltigesbauen.de
Gesamtkosten	49 980 €
Laufzeit	Oktober 2012 bis August 2014

Die zunehmende Überalterung und der damit verbundene Mobilitätsverlust der Bevölkerung in ländlichen Regionen wird von einer wachsenden Zentralisierung von Dienstleistungen begleitet. Mit einem multiplen Haus, in dem die Nutzung auch im Tagesrhythmus wechseln kann, soll wieder ein ökonomisch vertretbarer und attraktiver Stützpunkt für Dienstleistung und Nachbarschaft im Dorf entstehen: Nach dem Prinzip des Carsharings teilen sich Dienstleister und andere Nutzer über Grundmiete und Nutzungsgebühren das Haus.

Installieren multipler Häuser in der Modellregion Stettiner Haff – Begleitforschung

Jana Reichenbach-Behnisch, Leipzig

Die Idee des multiplen Hauses, welche von den Verfassern bereits 2008 für den ländlichen Raum formuliert und im Rahmen einer ersten Forschungsarbeit bis zur Anwendungsreife entwickelt wurde, ist nun in fünf Dörfern Am Stettiner Haff in Mecklenburg-Vorpommern erstmalig in die Praxis umgesetzt worden. Die ab April 2014 vorliegende zweite Publikation dokumentiert eine aktive Moderation vom ersten multiplen Haus über den Zusammenschluss eines Netzwerks in fünf Nachbardörfern mit Netzwerk-

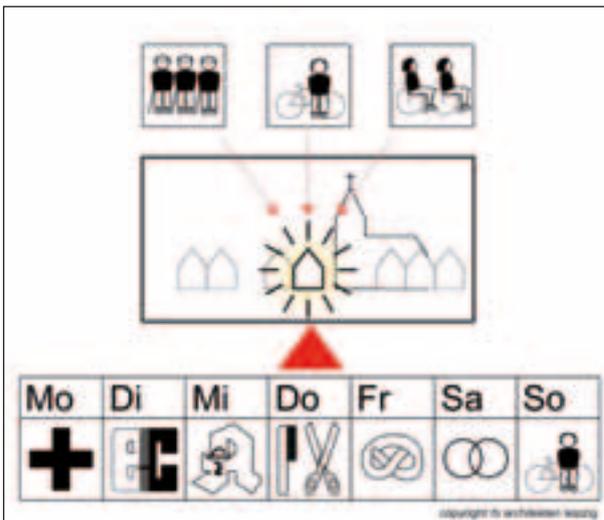
treffen und Nutzerworkshop bis hin zum Ausbaustart. Von diesem Praxistest profitieren nun nächste multiple Häuser: zur Auswertung und Dokumentation von Problemerkatalog und Lösungsansätzen gehören neben Rechtsgutachten und Wirtschaftlichkeitsprüfung auch die Entwicklung des Logos und die Installation der Marke zur Qualitätssicherung, aktualisierte Bedarfs- und Kriterienkataloge sowie Handlungsempfehlungen für Kommunen und andere Entscheidungsträger.



Cover Forschungsberichte



Cover Forschungsberichte



Nutzungswechsel im Tagesrhythmus



Logo multiples Haus



Schon aufgeräumt, aber noch (Aus-)Baustelle: „Alter Dorfladen m.H.“ in Hintersee, „Alte Schule m.H.“ in Altwarp, „Alte Mühle m.H.“ in Ahlbeck, „Alte Schule m.H.“ in Vogelsang-Warsin und „SeeSalon m.H.“ in Rieth (v.l.o.n.r.u.)/ Stand April 2014 – gemeinsame Eröffnung Herbst 2014

Für das Nutzungspaket multipler Häuser wurde das modulare Möbelsystem „Schrank-Bank-Theke“ ausführungsfähig geplant und eine interaktive Website mit Kalenderfunktion als Arbeitsmittel für die Bewirtschaftung entwickelt. Die zentrale Website wird nun die anstehende überregionale Netzwerkbildung unterstützen: den Austausch von Lösungsansätzen, die Kommunikation zwischen den Häusern, aber vor allem auch Öffentlichkeitsarbeit und Werbung. Nicht nur für Sponsoren aus der Wirtschaft wie RWE, welche die ersten multiplen Häuser und deren Betriebskostenabrechnung durch ihr Smart Home Power Control System unterstützen werden, ist neben der Anwendung für Raum-

Sharing-Modelle besonders der (bundes)länderübergreifende Ansatz interessant. Ziel eines zukünftigen Bildungs- und Begleitungsangebots soll es grundsätzlich sein, engagierte Akteure und Entscheidungsträger vor Ort darin zu befähigen, ein multiples Haus zu installieren und zu managen.

Nachdem die Begleitforschung in nur einem Dorf gestartet ist, kann es als besonderer Erfolg gewertet werden, dass nun mit fünf Nachbardörfern ein erstes Netzwerk multipler Häuser installiert werden konnte. ■

www.multiples-haus.de/www.multiples-haus-stettiner-haff.de (online ab Mai 2014)

„Alte Dorfschule m. H.“ – Installieren multipler Häuser

Forscher/Projektleitung	Dipl.-Ing. Architektin Jana Reichenbach-Behnisch
Projektleiter	Dipl.-Ing. Architektin Jana Reichenbach-Behnisch
Gesamtkosten	139 100 €
Anteil Bundeszuschuss	106 000 €
Laufzeit	Juli 2011 bis April 2014

Mazeration historischer Dachkonstruktionen

Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Schadensminderung und -bekämpfung (MATEKUR)

Insa Christiane Hennen, Bauforschung – Denkmalpflege, Wittenberg

Fast alle Dachwerke der großen mittelalterlichen Kirchen und anderer Baudenkmäler im ehemaligen Deutschen Reich wurden zwischen 1942 und 1945 mit Flammschutzmitteln behandelt. Dadurch sind viele historische Holzkonstruktionen in Deutschland, Tschechien, Österreich, der Slowakei, Luxemburg, Belgien und Polen von Mazerationsschäden betroffen. Im Projekt werden bestehende Sanierungsansätze bewertet und neue Verfahren entwickelt und erprobt.

Auslöser der Mazeration, der wolligen Auffaserung von Holz, sind Feuerschutzsalze, die bis in eine Tiefe von etwa 10 mm in das Holz eingedrungen sind. Häufig wurden später die Feuerschutzbehandlungen in kurzen Abständen fortgesetzt und zudem Biozide wie DDT und Lindan aufgebracht, sodass sich durch die Mazeration kontaminierte Stäube bilden. Der Schadensprozess verläuft über Jahrzehnte und in Abhängigkeit von klimatischen Einflüssen.

Bisher wird angenommen, dass die im Holz befindlichen Salze Wasser aus der Luft aufnehmen, was zur Bildung von Säure und/oder zur Zunahme des Volumens führt. In trockenen Perioden kristallisieren die Salze wieder aus, was die Holzstruktur ebenfalls beansprucht. Das Ausmaß der Mazeration variiert, je nachdem, ob Fluorid-, Phosphat- oder Sulfatverbindungen angewandt wurden.



Halle, Moritzkirche, Blick in den Dachraum

Seit etwa 1990 werden unterschiedliche Sanierungsansätze teilweise experimentell eingesetzt, deren Wirksamkeit zu überprüfen ist, Aufwand und Nutzen sind zu bewerten. An 17 sanierten Objekten wurden verfügbare Ausgangswerte mit den aktuellen Salzgehalten verglichen, die Optik der Holzoberflächen beschrieben und flankierende bauliche Änderungen wie Verbesserungen an der Belüftung des Dachraumes dokumentiert.

Allein eine Reinigung der Hölzer reicht im Allgemeinen nicht aus, da mittelfristig Salze aus tieferen Bereichen an die Oberfläche wandern und neue Schäden auslösen. Die Abnahme der gesamten belasteten Holzanteile verbietet sich, da dies mit erheblichen Querschnittsminderungen einherginge und den Totalverlust historischer Arbeitsspuren bedeutete. Allerdings ist dies oft auch die Folge einer gründlichen Reinigung.



Naumburg, Dom, mazerierte Holzoberfläche

Die verhältnismäßig häufig angewandte „Maskierung“, der mehr oder weniger vollständige Abschluss der Holzoberflächen gegenüber der Umgebungsluft durch eine Beschichtung, unterbindet die Wasseraufnahme aus der Luft durch die Salze im Holz und scheint den Korrosionsprozess zumindest über längere Zeit zu stoppen. Allerdings wurden unerwünschte optische Effekte beobachtet, und die Salze verbleiben im Holz.



Meisenheim, Schlosskirche, Reinigungsversuch mit rotierender Bürste



Meisenheim, Schlosskirche, Oberfläche der Eichenkonstruktion nach der Reinigung mit rotierender Kunststoffbürste

Chemische Puffer, die die Holzfeuchte im oberflächennahen Bereich stabilisieren sollten, haben sich nach zehn bis 15 Jahren erschöpft, sodass es erneut zu Mazerationserscheinungen kommt.

Im Frühjahr 2013 wurden am Dachwerk des Naumburger Domes Probestellen angelegt, die zunächst über ein Jahr beobachtet werden. Alle Flächen wurden unter Einsatz verschiedener rotierender Bürsten mechanisch gereinigt. Außerdem wurden Waschverfahren erprobt. Eine Fläche wurde mit einem neu entwickelten Mittel maskiert, das die Holzoberfläche weder vollständig gegenüber der Luft abschließt noch zu optischen Veränderungen führt. Erprobt werden außerdem Substanzen, die die im Holz befindlichen Salze in stabile chemische Verbindungen überführen sollen, sowie Kompressen, wie sie in der Natursteinsanierung zur Entsalzung Verwendung finden.

Die Probestellen werden regelmäßig kontrolliert, das Erscheinungsbild wird beschrieben, die Holzfeuchte gemessen und mit unbehandeltem Holz verglichen. Die Wirksamkeit der kurativen Verfahren wird überprüft, indem die Sulfat- und Phosphatgehalte nach der Behandlung den Ausgangswerten gegenübergestellt werden.

Seit Mai 2012 läuft ein Laborversuch zur Modellierung des Schadensprozesses. Unbehandelte und mit Feuerschutzsalzen behandelte Probestellen werden in einem Exsikkatorschrank einer hygrischen Wechsellagerung unterzogen und jeweils zwölf Tage bei 92 % bzw. 35 % rel. Luftfeuchte gelagert.

Weitere Laborversuche dienen der Verifizierung der neu entwickelten Sanierungsverfahren. Die Inaktivierung von Sulfat- und Phosphationen ist in mazerationsgefährdeten



Zur Reinigung eingesetzte rotierende Kunststoffbürste



Naumburg, Dom, Reinigungsversuch mit Waschsauger

Hölzern stöchiometrisch schwer dokumentierbar, da die Inhomogenität des Substrates Holz und der ungleichmäßige Auftrag von Feuerschutzmitteln der exakten mathematischen Erfassung entgegenstehen. Neben dem experimentellen und empirischen Vorgehen vor Ort werden deshalb die reaktionskinetischen Abläufe an definiert dotierten Probekörpern ermittelt. Obgleich es sich bei der angestrebten Überführung in inerte, wasserunlösliche Erdalkali-Verbindungen um elementare, nicht umkehrbare Reaktionsmechanismen handelt, ist die praktische Umsetzung mit zahlreichen Unwägbarkeiten und Problemen behaftet, sodass eine schrittweise Optimierung der Methoden unerlässlich ist.

Die Simulation des Mazerationsprozesses könnte erstmals gelingen. Nach 88 Wechsell/44 Zyklen zeigen sich erste Lockerungen des Holzgefüges.

Die Wirksamkeit der Kompressenentsalzung konnte im Labor und in der Praxis nachgewiesen werden. Dieses Verfahren könnte z.B. für wertvolle Holzverbindungen oder Oberflächen mit Abbundzeichen etc. eingesetzt werden. Auch die bisher erreichten Ergebnisse beim Versuch der Umwandlung der Salze in inerte Verbindungen stimmen hoffnungsfroh.

Zum Projektabschluss Ende 2014 soll ein Manual vorgelegt werden, das die Einsatzmöglichkeiten und Kombinationen verschiedener Verfahren vorstellt und auch die wirtschaftlichen Aspekte bei der Mazerationsbekämpfung berücksichtigt. ■

Entwicklung und Erprobung von Verfahren zur Schadensminderung und -bekämpfung (MATEKUR)

Projektleitung/Forscher	Dr. Insa Christiane Hennen (Bauforschung – Denkmalpflege, Wittenberg) Dipl. Ing. Uwe Kalisch (IDK Halle) Hans-Norbert Marx (SVB Marx, Bühl-Vimbuch) Dipl. Ing. Holger Niewisch (Büro Niewisch, Berlin) Udo Tostmann M.A. (Büro für Bauwerkterhaltung, Berlin)
Projektleiter	Dr. Insa Christiane Hennen
Gesamtkosten	237 582€
Anteil Bundeszuschuss	97 582 €
Laufzeit	bis November 2014

3-D-Kartierung von Verformungen und Schäden an Bauwerken

Christiane Maierhofer, BAM Braunschweig

Zur Gewährleistung der Sicherheit und Zuverlässigkeit von Bauwerken ist die 3-D-Kartierung zur dreidimensionalen und zeitaufgelösten Darstellung von Bauwerksschäden eine wichtige Voraussetzung. Ziel des Projektes war daher die Entwicklung von optischen und thermografischen Verfahren zur 3-D-Erfassung von Rissen und Ablösungen. Mit diesem neuen Ansatz können die Kartierungen direkt in virtuelle 1:1-Modelle übernommen werden.

Die digitale 3-D-Erfassung von Bauteiloberflächen und Schäden ermöglicht die virtuelle Darstellung von Gebäuden. Werden diese Untersuchungen in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt, so können auch zeitliche Veränderungen am Bauwerk wie z. B. Verformungen, Verwindungen, Risswachstum und Vorwölbungen von Putzoberflächen virtuell dargestellt werden. Da größere Gebäudeabschnitte aktuell schon effektiv mit 3-D-Laserscannern und fotogrammetrischen Methoden aufgezeichnet werden können, war die Detektion von oberflächennahen Schäden und insbesondere von Rissen mit hoher räumlicher Auflösung Schwerpunkt des Projektes.

Für die 3-D-Risskartierung wurde ein einfach zu bedienendes Tastwerkzeug entwickelt, das manuell entlang des Risses geführt wird und dessen Position und Orientierung im Raum über ein Trackingsystem erfasst wird (s. Abb. 1).

Das übliche Einsatzgebiet dieses Systems ist die Aufnahme von menschlichen Bewegungen für Motion-Capturing-Anwendungen. Eine Weiterentwicklung des Systems für die 3-D-Risskartierung ermöglichte auch die hier erforderliche wesentlich höhere Messgenauigkeit im Submillimeterbereich. Bereits während der Datenerfassung können Risse, Putzkanten und Materialübergänge entsprechend klassifiziert werden (s. Abb. 2).

Für die Erfassung und Darstellung der mittelalterlichen Putzritzungen am Magdeburger Dom wurde ein Stereofotogrammetrieverfahren optimiert, bei dem auf der Basis von zwei Digitalfotos Oberflächentopologien mit hoher Ortsauflösung extrahiert werden können. Um 3-D-Daten von großflächigen Messobjekten mit entsprechender Auflösung zu erhalten, müssen mehrere Messaufnahmen zueinander registriert werden. Dieses Verfahren ermög-



Abbildung 1a und 1b: Riss-Trackingsystem mit Tastsensor (a) und Kamerasystem (b)



Abbildung 2a und 2b: Foto (a) und 3-D-Risskartierung mit dem Trackingsystem (b) einer Hohlstelle der Putzritzungen am Magdeburger Dom



Abbildung 3: 3-D-Darstellung der Putzritzungen als Ergebnis der Stereofotogrammetrie.

lichte erstmals eine anschauliche Darstellung der Putzritzungen, die mit Fotos bisher nie erreicht werden konnte (s. Abb. 3). Für die Darstellung einer Höhenkartierung des Messbereiches wurde in den 3-D-Datensatz zunächst eine gemittelte Referenzebene eingefügt. Zu dieser wurde dann die Differenz zum Originaldatensatz berechnet. Das Ergebnis zeigt Abbildung 5a. Sowohl Ausbeulungen aus der Ebene heraus als auch Eindellungen oder Vertiefungen in die Ebene hinein werden sichtbar.

Weiterhin wurde die aktive Thermografie eingesetzt, bei der entweder durch Sonneneinstrahlung, Abschattung oder durch künstliche Wärmequellen instationäre Wärmetransportvorgänge durch Messung der Temperaturverteilung auf der Oberfläche sichtbar gemacht werden können. Als künstliche Wärmequellen können z. B. Heizlüfter oder Infrarotstrahler verwendet werden. Nach der Erwärmung wird die Abkühlung der Bauteiloberfläche mit einer Infrarotkamera zeitlich und räumlich aufgelöst erfasst



Abbildung 4a: Erfassung von Thermografiesequenzen der Putzoberfläche am Magdeburger Dom nach künstlicher Erwärmung

(s. Abb. 4a). Die Auswertung der zeitlichen Temperaturänderung ermöglicht beispielsweise eine gute Visualisierung der Putzritzungen und von Putzablösungen im Bereich größerer Risse (s. Abb. 4b). Hohlstellen und Putzablösungen lassen sich aber auch im Thermogramm als wärmere Bereiche gut erkennen (s. Abb. 5b). Zusammen mit der Höhenkartierung können z. B. Ausbeulungen entweder Putzablösungen oder Bereichen mit dickerem Putz zugeordnet werden. Auch senkrechte und schräg zur Oberfläche verlaufende Risse können mit der aktiven Thermografie visualisiert werden. Bei schrägen Rissen sind Informationen zum Risswinkel und eventuell auch zur Risstiefe möglich.

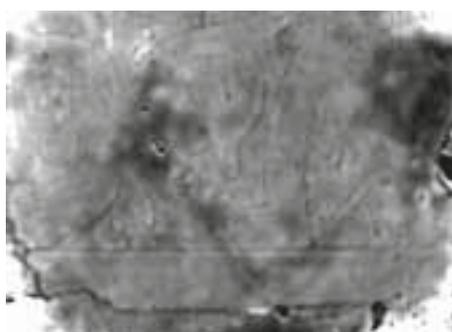


Abbildung 4b: Thermografie-Phasenbild kürzlich freigelegter Putzritzungen; Ritzungen, Riss und Ablösungen im Rissbereich sind gut zu erkennen

Um die neuen Verfahren zur hochaufgelösten 3-D-Kartierung zu erproben, wurden diese zusammen und in Kombination mit weiteren Verfahren (u. a. Ultraschall zur Risstiefenbestimmung, manuelle Risskartierung, Rissensoren) an zwei Fallstudien eingesetzt: zur Riss- und Schadenkartierung an der Giebichensteinbrücke in Halle

mit zwei Tierskulpturen als Eisbrecher aus Stampfbeton und zur Visualisierung der Putzritzungen sowie ebenfalls zur Schadenkartierung an der entsprechenden Fassade der Putzritzungen im Magdeburger Dom. Die Entwicklung der Messverfahren und die Messungen im Rahmen der Fallstudien erfolgten in enger Zusammenarbeit mit den

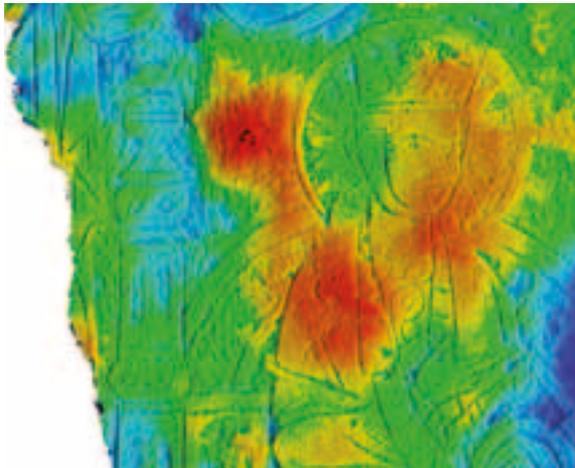


Abbildung 5a: Höhenkartierung eines Messbereichs der Putzritzen – als Abweichung von einer Referenzebene, Vorwölbungen sind rot, Eindrückungen blau dargestellt, Zahlenangaben in mm

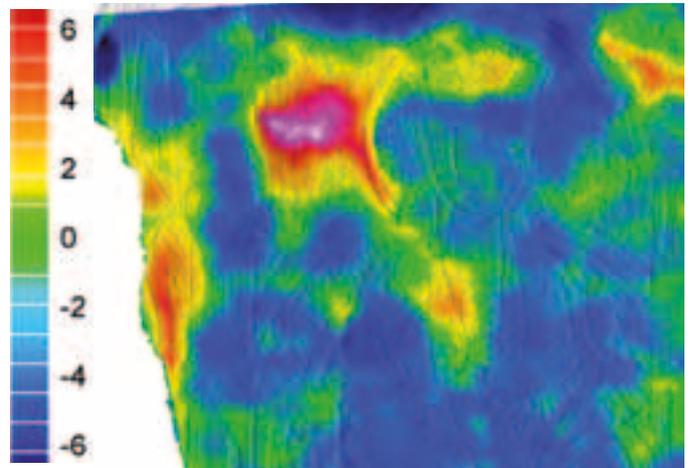


Abbildung 5b: Überlagerung der visualisierten Putzritzen mit dem Thermogramm, wärmere Bereiche sind rot, kühlerer Bereiche blau dargestellt

Restauratoren und Denkmalpflegern und lassen sich mit vergleichsweise geringem Aufwand in die Praxis umsetzen. Im Projekt wurden vier Merkblätter zu den weiterentwickelten Verfahren sowie zur Risstiefenbestimmung mit Ultraschall erarbeitet. Eine Übersicht und Klassifizierung verschiedener Methoden zur Vermessung von Rissen wurde in einem Katalog zusammengefasst.

Ziele des Projektes waren:

- Entwicklung von 3-D-Verfahren zur Risscharakterisierung
- Weiterentwicklung der aktiven Thermografie zur Risscharakterisierung
- Untersuchung großer Bauteilstrukturen zur Schadensklassifizierung

- 3-D-Kartierungssystem mit Mess-, Visualisierungs- und Monitoringtool

Es wurden die folgenden Innovationen erreicht:

- neues Rissmessverfahren basierend auf 3-D-Tracking
- optimale Visualisierung der Putzritzen mit 3-D-fotogrammetrie
- Weiterentwicklung der aktiven Thermografie zur effektiven Risskartierung
- Fehlstellenkartierung großer Fassadenflächen mittels Thermografiesequenzen
- effizientes 3-D-Kartierungssystem zur Ergebnisdarstellung der Einzelverfahren ■

3-D-Kartierung

Forschungsinstitute/Forscher	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, FB 8.4, Dr. Christiane Maierhofer Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Dr. Rüdiger Mecke Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt IDK e.V., Uwe Kalisch Dipl.-Restaurator Thomas Groll
Projektleiter	Dr. Christiane Maierhofer
Gesamtkosten	283 330 €
Anteil Bundeszuschuss	189 740 €
Laufzeit	Januar 2011 bis Juni 2013

Abbildungsverzeichnis

1	Fassade mit opaken Brüstungspaneelen	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
3	Bundesministerin Dr. Barabara Hendricks	Bundesregierung, Sandra Steins
6	Titelbild Leitfaden Nachhaltiges Bauen	BBSR
7	oben li. Systemvarianten BNB	BBSR
7	oben re. Bewertungsskala BNB	BBSR
7	unten Bundesministerin Dr. Barabara Hendricks	BBSR, Deckbar Photographie
8	oben Grundschule Hohen-Neuendorf	sol·id·ar planungswerkstatt Berlin
8	mitte Foyer Grundschule Hohen-Neuendorf	IBUS Architekten
9	oben Erweiterungsbau UBA Dessau	BBR
9	unten Erweiterungsbau UBA Dessau, Modell	BBR
11	„Bundesministerin Dr. Barabara Hendricks am Stand der Forschungsinitiative Zukunft Bau des BMUB“	BBSR, Deckbar Photographie
12–13	Hintergrundbild Beton	BBSR
13	oben Screenshot eLCA	BBSR
13	unten Screenshot eLCA	BBSR
14–15	Hintergrundbild Steinwolle	BBSR
15	Screenshot eLCA	BBSR
16	BHV Homme, Paris	Nicole Pfoser
17	Synergien und Konkurrenzen in der Gebäudebegrünung	
18	oben Wirkpotenziale Gebäudebegrünung	Nicole Pfoser
18	mitte Bedarfsdeckung Heizwärme	Nicole Pfoser
18	unten Bedarfsdeckung Kühlung	Nicole Pfoser
19	Synergien im Gebäudeumfeld	Nicole Pfoser
20	Harald Herrmann, Direktor und Professor des BBSR	BBSR, Stephan Roehl
22–23	Bildfolge Harald Herrmann	BBSR, Christian Schlag
25	oben Verteilung Haushaltsmittel	BBSR, Helga Kühnenrich
25	unten li. Forschungszweige	BBSR, Helga Kühnenrich
25	unten re. Anteile Forschungsthemen	BBSR, Helga Kühnenrich
26	Endenergieverbrauch Gebäude	FIW, München
27	oben Absatz der wichtigsten Dämmstoffe	FIW, München
27	unten Entwicklung der Wärmeleitfähigkeit der Mineralwolle seit 1975	FIW, München
28	Heizwärmeverluste je Bauteil	FIW, München
29	Gegenüberstellung Gebäudedämmung-Endenergiebereitstellung	FIW, München
30	oben li. Fassadenausschnitt als Thermografie	Hild und K
30	oben mitte Fassadenausschnitt mit Isothermenverlauf	Hild und K
30	oben re. Fassadenausschnitt als 3D-Modellierung	Hild und K
31	oben Fertigungsvariante Schichtmodell	Hild und K
31	unten Vorversuch mit Dreiachsfräse	Hild und K
32	oben li. Modellvariante 30°	Hild und K
32	oben mitte Modellvariante Vertikal	Hild und K
32	oben re. Modellvariante Triangulation	Hild und K
33	links Putzversuche	Hild und K
33	rechts Putzversuche	Hild und K
35	Prof. Andreas Hild	Wilfried Dechau
38	Betrachtungsebenen Energienutzungspläne	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
39	oben Ebenen Energienutzungsplan	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
39	unten Referenzgebäudeverfahren nach GemEB	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
40	Historisch-Energetische Gebäudetypologie	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
42	Energieflussschema Aktiv-Stadthaus	Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, TU Darmstadt
43	oben Aktiv-Stadthaus	HHS, Kassel
43	unten Aktiv-Stadthaus	HHS, Kassel
44	oben End- und Primärenergiebilanz	Steinbeis-Transferzentrum
44	unten Entwicklung Treibhauspotenzial (GWP)	Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, TU Darmstadt
45	Beispielseiten Nutzerinterface	Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, TU Darmstadt
46	Effizienzhaus Plus in Berlin	Kurt Spelmanns
47	Stationärer Second-Life-Batteriespeicher	LION Smart GmbH
48	Schema für ein Haussystem	General Electric Global Research
49	Batteriespeicher	Huf Haus GmbH u. Co KG
50	Screenshot Batteriekapazitätstool	General Electric Global Research
51	Ergebnisgrafik Batteriedurchsatz	General Electric Global Research
53	oben Dach mit PV-Anlage	Rainer Geyer, Siegburg
53	unten li. Gebäudetypen und Anlagetechnik	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
53	unten mitte Simulation zur maximalen Abschaltdauer	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
53	unten re. Simulation zur maximalen Zuschaltdauer	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
54	links Verlauf der operativen Raumtemperatur	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
54	rechts Abschaltdauer und abschaltbare Leistung	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München
55	kurzzeitiges Lastmanagementpotenzial	Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München

56		Effizienzhaus Plus Bien-Zenker Concept M	Bien-Zenker AG
58		Energiefluss im Effizienzhaus Plus	TSB Bingen
60	groß	Schichtaufbau DysCrete	BAU KUNST ERFINDEN, Universität Kassel
60	klein	Prototyp DysCrete Solarzelle	BAU KUNST ERFINDEN, Universität Kassel
61	oben li.	DysCrete Prototyp Versuchsreihe	BAU KUNST ERFINDEN, Universität Kassel
61	oben re.	DysCrete Prototyp Versuchsreihe	BAU KUNST ERFINDEN, Universität Kassel
61	unten li.	leitfähiger Beton	BAU KUNST ERFINDEN, Universität Kassel
61	unten re.	leitfähiger Beton, Rückkontakt	BAU KUNST ERFINDEN, Universität Kassel
62		Institutsgebäude	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
63	oben li.	Fassade mit opaken Brüstungspaneelen	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
63	oben re.	Prototypserie 1	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
63	unten	Detail Brüstungspaneel	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
64	links	Vierseitige linienförmige Befestigung	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
64	rechts	Befestigung der lastabtragenden Klebung	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
65	links	Probekörper	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
65	rechts	Versuchsaufbau Bestrahlungsprüfung	Institut für Baukonstruktion, TU Dresden
67		Kurt Spelmanns, Leiter Referat II3 im BBSR	BBSR, Sebastian Goitowski
69		Darstellung Fehlfunktion	Kurt Spelmanns
70		Hafencity Hamburg	Glas Trösch GmbH
71		Möglichkeiten zur Reduzierung des Flächengewichts	IFT Rosenheim
72		Probekörper	IFT Rosenheim
73	oben	Spannungskurven unter Windlast	IFT Rosenheim
73	unten	Probe mit Folie im Scheibenzwischenraum	IFT Rosenheim
74		Selbstverdichtender Architektur Leichtbeton	Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Kaiserslautern
75	oben li.	Rezyklierte, liechte Blähglaskörnung	Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Kaiserslautern
75	oben re.	Bigbag-Befüllung der Blähglaskörnung	Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Kaiserslautern
75	unten	Wand Experimentalgebäude	Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Kaiserslautern
76	oben	Architekturleichtbetongebäude	Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Kaiserslautern
76	unten	Betoniervorgang	Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Kaiserslautern
78	oben	Wandelement aus UHPC	Lehrstuhl für Massivbau, TU München
78	mitte	Verbunddübelleisten	Lehrstuhl für Massivbau, TU München
78	unten	Push-Out Körper	Lehrstuhl für Massivbau, TU München
80		Versuchsaufbau	Lehrstuhl für Massivbau, TU München
81		Versuchskörper	Lehrstuhl für Massivbau, TU München
82		Tomographie	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
83		Aufbau bauteilaktivierte Decke	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
84		Tomographie Akustikputz	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
85		Simulation Bauteiltemperaturen	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
86		Workshop Planungsprozess	Wolfgang Sunder
87		Herausforderungen im Krankenhausbau	Wolfgang Sunder
88	oben	Wichtige Aspekte der Planung	Wolfgang Sunder
88	unten	Zukünftige veränderungen eines Baus	Wolfgang Sunder
89		Planungsprozess	Wolfgang Sunder
91		Workshop Themeneingrenzung	Jan Holzhausen
93		Titelbild Leitfaden Barrierefreies Bauen	Marcus Bredt
93		Schema rechtliche Grundlagen	BBSR
94		Verfahrensablauf nach RBBau	BBSR
94		Integration eine Hubplattform	Alexander Krippstädt
95		Anwendungsbeispiel Bodenindikatoren	BBSR
96	links	Cover Forschungsbericht	rb architekten/Kirsten Nijhof
96	rechts	Cover Forschungsbericht	rb architekten/Kirsten Nijhof
97		Nutzungswechsel im Tagesrhythmus	rb architekten
97		Logo Multiples Haus	rb architekten
97		Projektgebäude	rb architekten/Kirsten Nijhof
98		Zapfenschloss	Projektgruppe MATEKUR
99		Dachraum Moritzkirche	Projektgruppe MATEKUR
99		mazerierte Holzoberfläche	Projektgruppe MATEKUR
100	links	Schlosskirche, Reinigungsversuch	Projektgruppe MATEKUR
100	rechts	Schlosskirche, Oberfläche nach Reinigung	Projektgruppe MATEKUR
101	links	Kunststoffbürste	Projektgruppe MATEKUR
101	rechts	Waschsauger	Projektgruppe MATEKUR
102		Riss-Trackingsystem	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
103	oben	Risskartierung	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
103	unten	Putzritzungen	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
104	oben	Erfassung von Thermografiesequenzen	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
104	unten	Thermografie-Phasenbild	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
105	links	Höhenkartierung eines Messbereichs	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
105	rechts	Überlagerung visualisierter Putzritzungen	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

