

Themen 2008



Energieeffizientes und solares Bauen

Titelbild:
Experimentierfassade des ZAE Bayern mit transparenten Wärmedämmungen, schaltbaren und evakuierten Wärmedämmungen sowie Sonnenschutzeinrichtungen

Energieeffizientes und solares Bauen

Jahrestagung des
Forschungsverbunds Erneuerbare Energien

29. – 30. September 2008 Berlin



FVEE Themen 2008

Diese Publikation wurde durch das BMWi gefördert

Inhalt

Themen 2008



■ **Grußwort des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)**

5 MinR. Dr. Knut Kübler • BMWi

■ **Energieeffizientes und solares Bauen – ein Paradigmenwechsel**

8 Energieeffizientes Bauen –
Umsetzungsstrategien und Perspektiven
Prof. Dr. Gerd Hauser • Fraunhofer IBP

20 Solares Bauen – Energieversorgung im Haus
mit erneuerbaren Energien
Dr. Hans-Martin Henning • Fraunhofer ISE
Sebastian Herkel • Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Volker Wittwer • Fraunhofer ISE
Prof. Dr. Eicke Weber • Fraunhofer ISE

28 Der Schlüssel für mehr Energieeffizienz in
Deutschland: neue Technologien für
energieoptimierte Gebäude
MinR. Dr. Knut Kübler • BMWi

36 Europäische Politik – Ziele, Programme
und Förderungen
Gerhard Rabensteiner • KIOTO Clear Energy AG
Dr. Harald Drück • ITW

■ **Revolution in der Bautechnik**

40 Wärmedämmung
Dr. Helmut Weinläder • ZAE Bayern
Hans Erhorn • Fraunhofer IBP
Dr. Dietrich Schmidt • Fraunhofer IBP
Werner Platzer • Fraunhofer ISE
Dr. Peter Nitz • Fraunhofer ISE

45 Neue Verglasungstechniken für Tageslicht
und Wärmeschutz
Dr. Peter Nitz • Fraunhofer ISE
Federico Giovannetti • ISFH
Dr. Helmut Weinläder • ZAE Bayern
Jan Wienold • Fraunhofer ISE

49 Wärmespeicher als integrierte und nicht
integrierte Bauteile
Dr. Jochen Manara • ZAE Bayern
Peter Schossig • Fraunhofer ISE
Dr. Harald Drück • ITW
Henner Kerskes • ITW
Josef Jenni • Jenni Energietechnik AG

■ **Energetische Sanierung von Altbauten**

54 Energetische Potenziale im Gebäudebestand
Hans Erhorn • Fraunhofer IBP
Prof. Dr. Gerd Hauser • Fraunhofer IBP
Peter Michael Nast • DLR
Dr. Dietrich Schmidt • Fraunhofer IBP

59 Altbausanierung, technische Umsetzung
in der Praxis
I. Sanierung des Gemeindezentrums
Johann Reiß • Fraunhofer IBP

63 II. Das Renewable Energy House (REH) in Brüssel
Elke Streicher • ITW

65 Hygrothermische Lüftungskonzepte
Prof. Dr. Klaus Sedlbauer • Fraunhofer IBP
Prof. Dr. Anton Maas • Universität Kassel
Dr. Hartwig M. Künzel • Fraunhofer IBP

■ **Podiumsdiskussion**

71 Energetische Gebäudesanierung – Hindernisse,
Forschungsbedarf und Lösungswege

Diskussionsteilnehmer:

MinR. Dr. Knut Kübler • BMWi
Roland Neuner • Schott Solar GmbH
Hinrich Reyelts • Fachausschuss Solares Bauen
der DGS
Dr. Dietrich Schmidt • Fraunhofer IBP
Ingrid Vogler • Bundesverband Deutscher
Wohnungsunternehmen

Moderation: Dagmar Dehmer • Der Tagesspiegel

■ Innovative Energieversorgungstechniken

80 Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)
Tilman Kuhn • Fraunhofer ISE
Ilona Eisenschmid • Scheuten Solar Germany GmbH
Silke-Kirsten Bosse • Sulfurcell Solartechnik GmbH
Andreas Hinsch • Fraunhofer ISE

85 Solares Heizen – Wärmeversorgung für Alt- und Neubauten
Dr. Jörn Scheuren • ISFH
Matthias Rommel • Fraunhofer ISE
Wolfgang Schölkopf • ZAE Bayern
Elke Streicher • ITW
Dr. Harald Drück • ITW
Dr. Andreas Hauer • ZAE Bayern

91 Solare Klimatisierung – Techniken und Energie-Management
Wolfgang Schölkopf • ZAE
Thomas Brendel • ITW
Edo Wiemken • Fraunhofer ISE
Dr. Michael Krause • Fraunhofer IBP
Tomas Nunez • Fraunhofer ISE

■ Integrierte Gebäudesystemtechnik

100 Dezentrales Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – was kann die Gebäudeautomation beitragen?
Dr. David Nestle • ISET
Dr. Christian Bendel • ISET
Jan Ringelstein • ISET
Philipp Strauß • ISET
Dr. Christof Wittwer • Fraunhofer ISE

105 Inbetriebnahme von Gebäuden, Betriebsführung, Überwachung
Dirk Jacob • Fraunhofer ISE
Jan Kaiser • Fraunhofer IBP
Christian Neumann • Fraunhofer ISE

■ Podiumsdiskussion

109 Wie groß ist die Bereitschaft, die Techniken des solaren Bauens einzusetzen – Wie kann die Akzeptanz verbessert werden?

Diskussionsteilnehmer:

Silke-Kirsten Bosse • Sulfurcell Solartechnik GmbH
Ullrich Bruchmann • BMU
Rolf Disch • Architekturbüro
Wolfgang Schölkopf • ZAE Bayern

Moderation: Prof. Dr. Jürgen Schmid • ISET

■ Demonstration und Praxis neuer Techniken

116 Wohngebäude – neue Techniken in der Praxis, Energieertrag und Effizienz
Isabell Schäfer • TU-Darmstadt

119 Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse von Monitoringprogrammen
Sebastian Herkel • Fraunhofer ISE
Henk Kaan • ECN
Hans Erhorn • Fraunhofer IBP
Jan Kaiser • Fraunhofer IBP

■ Markt, Politik und Nachhaltigkeit

126 Maßnahmen und Instrumente für Einsparpotenziale im Gebäudebestand – Politikszenerarien bis 2030
Patrick Hansen • Forschungszentrum Jülich
Jürgen-Friedrich Hake • Forschungszentrum Jülich

131 Die energieeffiziente Stadt – Ziele der BMBF-Initiative
Gudrun Maaß • BMBF

■ **Podiumsdiskussion**

- 134 Plusenergiestädte und -gemeinden –
Energieüberschüsse für Verkehr und
Produktion

Moderation: Klaus Oberzig • Journalist

Diskussionsteilnehmer:

Olaf Achilles • Systaic AG

Monika Ganseforth • Verkehrsclub

Deutschland

Prof. Dr. Gerd Hauser • Fraunhofer IBP

Gudrun Maaß • BMBF

Prof. Dr. Volker Wittwer • Fraunhofer ISE

■ **Danksagung**

- 140 Zuwendungsgeber und Sponsoren

■ **Verzeichnisse**

- 142 Standorte der FVEE-Mitgliedsinstitute
143 Anschriften der FVEE-Mitgliedsinstitute
144 Impressum

Grußwort des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

Meine Damen und Herren,

ich begrüße Sie recht herzlich zu der Jahrestagung des Forschungsverbands. Das Thema der Jahrestagung 2008 ist gut gewählt: Energieeffizientes und solares Bauen. Der ForschungsVerbund wendet sich damit einem Thema zu, das auch in der Öffentlichkeit großes Interesse findet. Die Bauherren von heute wollen energieeffiziente Gebäude und viele setzen dabei auch auf eine stärkere Nutzung der Sonnenenergie.

Wir werden auf dieser Tagung viel über die Baupraxis reden, das heißt, über die Verhältnisse von heute. Unser Interesse gilt aber vor allem den Gebäuden der Zukunft, den architektonisch anspruchsvollen Bauwerken mit hohem Nutzerkomfort, minimalem Primärenergieverbrauch, optimierter Technikausstattung und sinnvoller Integration in größere Energieversorgungssysteme. Schließlich darf man nicht übersehen, dass Bauen und Sanieren für Investoren bezahlbar bleiben muss. Um diese Ziele zu erreichen, brauchen wir weiteren Fortschritt. Und um diesen Fortschritt zu ermöglichen, brauchen wir Forschung, Entwicklung und Demonstration.

Das BMWi engagiert sich seit langem auf dem Gebiet des energieoptimierten Bauens und hat seine Aktivitäten in den letzten Jahren deutlich verstärkt. Das Fachprogramm EnOB – energieoptimiertes Bauen – ist ein Schwerpunkt der Energieforschung des BMWi.

Ich freue mich daher, dass so viele Fachleute zu dieser Veranstaltung nach Berlin gekommen sind, um über ihre Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu berichten. Wir sind auf die Ergebnisse gespannt und das BMWi wird sorgfältig zuhören, um Anregungen für die Weiterentwicklung seiner verschiedenen Förderaktivitäten auf dem Gebiet des energieoptimierten Bauens mitzunehmen.

Bevor wir uns dem eigentlichen Tagungsprogramm zuwenden, möchte ich einige wenige Worte zur aktuellen energiepolitischen Debatte in Deutschland sagen.

Im Jahr 1992 veröffentlichte der in Chicago geborene und an der Johns-Hopkins-Universität lehrende Politikwissenschaftler Francis Fukuyama ein Buch, das durch seinen provozierenden Titel „Das Ende der Geschichte“ berühmt geworden ist. Fukuyama vertrat in diesem Buch die These, dass sich Demokratie und Marktwirtschaft nach dem Zusammenbruch der UdSSR und dem offensichtlichen Scheitern des Kommunismus auf der ganzen Linie durchsetzen werden. Damit sei man an das Ende der Geschichte gekommen.

Nach der Verabschiedung des Integrierten Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung am 5. Dezember 2007 glaubten manche, jetzt sei man in Deutschland an „das Ende der Energiepolitik“ gekommen. Jetzt sei mehr oder weniger alles entschieden, was die Politik entscheiden könne.

Soweit man den Blick auf die Energieeinsparpolitik und die Förderpolitik zugunsten der erneuerbaren Energien begrenzt, ist dem schwer zu widersprechen. Denn vergegenwärtigt man sich noch einmal die Diskussionen über die richtige Energiepolitik zum Schutz der Erdatmosphäre in den 90er-Jahren des vorigen Jahrhunderts, so wird man feststellen, dass mittlerweile nahezu alle der dort gemachten Vorschläge zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Förderung der erneuerbaren Energien umgesetzt worden sind. Jenseits dessen findet man wenig grundsätzlich Neues. Und so offenbart vieles, was der eine oder andere heute als originell empfindet, in Wirklichkeit Unbelesenheit.

Die These Fukuyamas vom „Ende der Geschichte“ hatte einige Jahre Bestand. Die Vorstellung vom „Ende der Energiepolitik“ hielt nur wenige Wochen. Heute ist die energiepolitische Debatte



Dr. Knut Kübler
Referatsleiter für
Energieforschung des
BMW*i*
knut.kuebler@bmwi.bund.de

in Deutschland wieder in vollem Gange.
Das belegt ein Blick auf die Titelseiten der
Zeitungen.

Warum erzähle ich diese Geschichte? Nicht um
Ihnen zu zeigen, wie Recht Wilhelm Busch
hatte, als er sagte: „Ach, dass der Mensch so
häufig irrt und nie recht weiß, was kommen
wird“. Auch nicht um zu zeigen, dass die
Energiepolitik das ist, was Politik immer ist:
Ein komplizierter und ewig andauernder Such-,
Lern- und Anpassungsprozess. Es gibt kein Ende.

Ich habe diesen Einstieg gewählt, um in
Erinnerung zu rufen, dass die Notwendigkeit
einer Verbesserung der Energieeffizienz im
Gebäudebereich eines der wenigen Gebiete ist,
die in Deutschland außerhalb der politischen
Kontroversen stehen. Auch über die Notwen-
digkeit weiterer und verstärkter Anstrengungen
bei Forschung und Entwicklung besteht große
Einigkeit. Kurzum: Das Thema, das sich der
ForschungsVerbund für seine Jahrestagung 2008
gewählt hat, genießt eine breite Unterstützung
aller politischer Kräfte.

Diese Unterstützung kommt nicht von ungefähr.
Jeder in der Politik hat das Recht auf eine eigene
Meinung, aber keiner auf eigene Fakten. Und
hier sind die Daten und Fakten eindeutig. Sie
belegen, dass auf diesem Feld die entscheidenden
Fortschritte erzielt werden müssen, um
Deutschland in eine sichere, wirtschaftliche und
umweltfreundliche Energiezukunft zu führen.

Nutzen Sie die breite politische Unterstützung.
Engagieren Sie sich bei Forschung und Entwick-
lung und greifen Sie vor allem neue Forschungs-
themen auf. Das BMWi wird Ihnen dabei helfen
und seinen Beitrag dazu leisten, dem energie-
effizienten und solaren Bauen in Deutschland
zum Durchbruch zu verhelfen.



■ Energieeffizientes und solares Bauen – ein Paradigmenwechsel

- Energieeffizientes Bauen – Umsetzungsstrategien und Perspektiven
- Solares Bauen – Energieversorgung im Haus mit erneuerbaren Energien
- Der Schlüssel für mehr Energieeffizienz in Deutschland: neue Technologien für energieoptimierte Gebäude
- Europäische Politik – Ziele, Programme und Förderungen

Energieeffizientes Bauen – Umsetzungsstrategien und Perspektiven

Prof. Dr. Gerd Hauser
Fraunhofer IBP
gerd.hauser@
ibp-fraunhofer.de

Die Politik hat sich der Energieeffizienz angenommen

Die Begriffe „Klimawandel“ und „Energie“ beherrschen derzeit Nachrichten und Unterhaltungssendungen im Fernsehen ebenso wie Magazine und Tageszeitungen. Die Dringlichkeit für Maßnahmen zur Minderung der Emissionen von Treibhausgasen und die unangenehme Abhängigkeit von Erdgas- und Öllieferanten werden zu prioritären Themen. Der diesbezügliche Kenntnisstand und damit das Bewusstsein in der Bevölkerung hat sich unterstützt durch die Medien, erfreulich verbessert.

Maßgeblich zum Umdenken beigetragen hat der so genannte „Stern-Report“ [1]. Die Politik hat reagiert: Vom 20. bis 21. April 2007 fand in Berlin eine internationale EU/G8-Konferenz statt mit dem Titel „Energieeffizienz: Die Welt von morgen gestalten“. An der Veranstaltung nahmen teil:

- Bundesminister für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
- Bundesminister für Wirtschaft und Technologie (BMWi)
- Bundesminister Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- EU-Kommissar für Energie Andris Piebalgs
- Minister aus Japan, Russland, der Schweiz, Südafrika und China
- Botschafter aus den USA und Indien
- hochrangige Wissenschaftler aus dem In- und Ausland.

Die in den einzelnen Staaten vorgesehenen Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung wurden vorgestellt und diskutiert, um für das anstehende G8-Treffen Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten.

In der Folge wurden am 23./24.8.2007 in Meseberg in einer Kabinettsklausur Eckpunkte für ein Integriertes Energie- und Klimaprogramm beschlossen, die unter anderem zu folgenden Plänen führten:

- Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (EEAP) der Bundesrepublik Deutschland gemäß EU-Richtlinie über „Energieeffizienz und Energiedienstleistungen“ (2006/32/EG) vom 27.7.2007, vorgelegt durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
- Nationaler Energieeffizienzplan
- Strategie des Bundesumweltministeriums vom 16.10.2008

Die mittlerweile anerkannte Notwendigkeit der Minderung des Verbrauchs von Kohle, Erdöl, Erdgas und Uran, kann prinzipiell durch folgende drei Maßnahmen erreicht werden:

1. Senkung des Bedarfs
2. Erhöhung der Effizienz bei der Bereitstellung und Umwandlung
3. Verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien.

In Handlungsempfehlungen zur künftigen Energieversorgung [2] werden diese drei Bereiche auch kurz E³ genannt. Die Wirkung und Attraktivität dieser Maßnahmen sind allerdings sehr unterschiedlich und werden im weiteren diskutiert.

Bedeutung des Sektors „Gebäude“

Knapp 40 % des gesamten Endenergieverbrauchs werden in Deutschland für die Konditionierung von Gebäuden – Heizen, Kühlen, Warmwasserbereiten, Kunstlicht, Lüftung – verbraucht, wie *Abbildung 1* veranschaulicht. Mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauchs

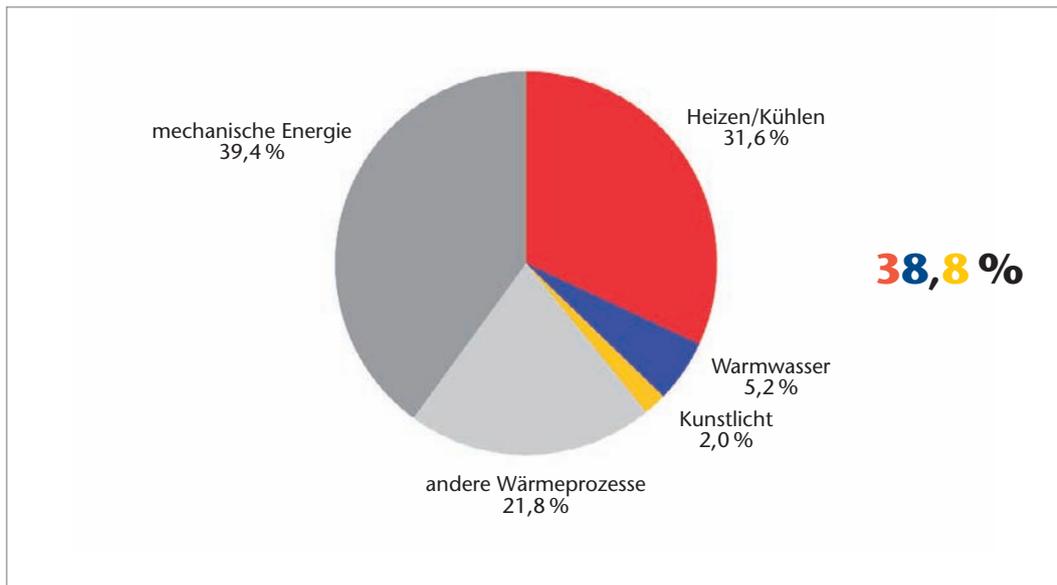


Abbildung 1
Endenergieverbrauch
nach Anwendungsbereichen in
Deutschland im Jahre
2005 (insgesamt
2583 TWh)

Quelle: BMWi 24.4.2007

entfällt auf Raumwärme und Warmwasserbereitung. Davon wird der überwiegende Anteil in privaten Haushalten verwendet: Dies ist ein Viertel der gesamten Endenergie in Deutschland!

Beim Endenergieverbrauch in privaten Haushalten lassen sich zwei Entwicklungen beobachten. Zum einen ist der gesamte Endenergieverbrauch für Heizwärme, Beleuchtung und die Energieverwendung elektrischer Geräte in privaten Haushalten zwischen 1990 und 2006 um 13% angestiegen. Der Endenergieverbrauch für die Erzeugung von Wärme aber stellt sich anders dar. So ist von 1990 bis 1996 ein kontinuierlicher Verbrauchsanstieg zu beobachten und seit 1997 ein sinkender Energieverbrauch in Wohngebäuden [3].

Im Gegensatz zu anderen Energieverbrauchssektoren werden durch bauliche Heizenergieeinsparmaßnahmen zusätzlich weitere positive Effekte erzielt. Dabei sind insbesondere die Steigerung der thermischen Behaglichkeit in Gebäuden im Winter aber auch im Sommer zu nennen. Darüber hinaus sind in zahlreichen Fällen Modernisierungsmaßnahmen die Voraussetzung für eine weitere Bausubstanzerhaltung und damit Werterhaltung.

Definition von „Energieeffizienzsteigerung“

Die ersten beiden Maßnahmen der E³, die Senkung des Bedarfs und die Erhöhung der Effizienz bei der Bereitstellung und Umwandlung werden seit einiger Zeit auch unter dem Begriff „Energieeffizienzsteigerung“ zusammengefasst. Dies soll der falschen Ausdrucksweise von „Energieeinsparung“ (die streng physikalisch nicht möglich ist) entgegen wirken und auch das Image dieser Maßnahmen verbessern (sparen ist eher negativ belegt, steigern eher positiv). In vielen Fällen ist auch eine eindeutige Zuordnung nicht möglich, so dass die Zusammenfassung unter dem Begriff „Energieeffizienzsteigerung“ wie z. B. im Grünbuch und im Aktionsplan für Energieeffizienz der EU [4,5] sinnvoll und weiterführend ist. Somit heißt „energieeffizient“ geringer Verbrauch und hohe Wirksamkeit bei der Verbrauchsdeckung. Es geht um die Energiemenge, die notwendig ist, eine gewünschte Nutzung sicherzustellen.

Es bedarf dieser Klärung, da diese Definition der bisherigen Sprachweise nicht entspricht und auch in dem Präsidenschaftsprogramm der Bundesregierung (1.1.–30.6.2007) „Europa gelingt gemeinsam“ Unschärfen erkennbar sind.

Abbildung 2
Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland im Jahre 2006: Stromerzeugung (gelbe Säulen) und Wärmeerzeugung (grüne Säulen) im Vergleich zur Nutzung passiver Solarenergie durch Wohngebäude (rote Säule) [6]

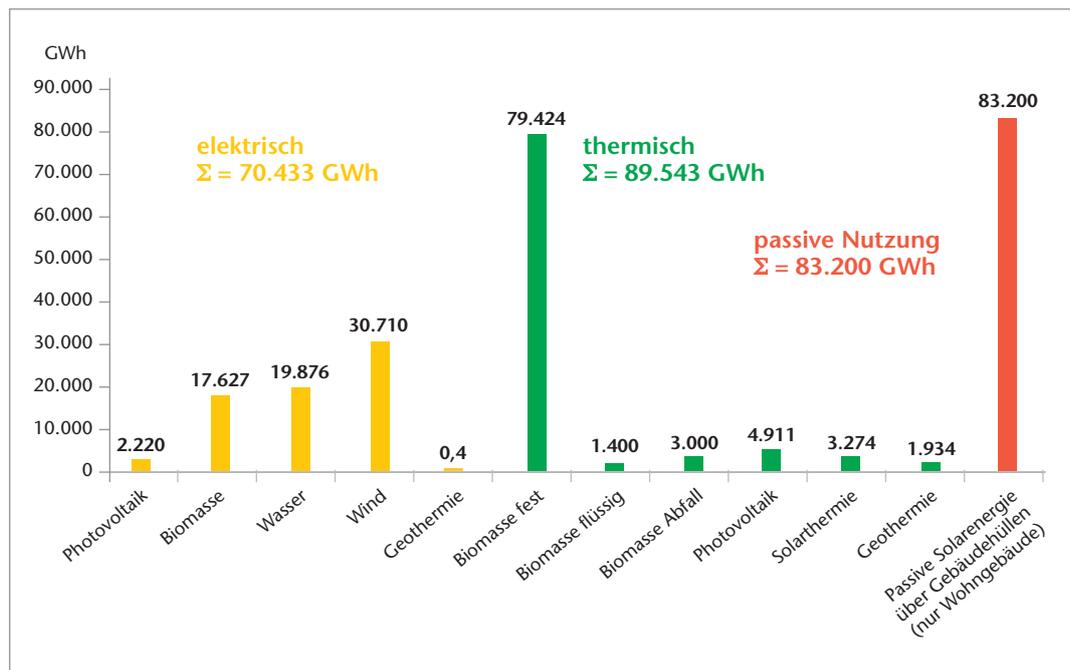
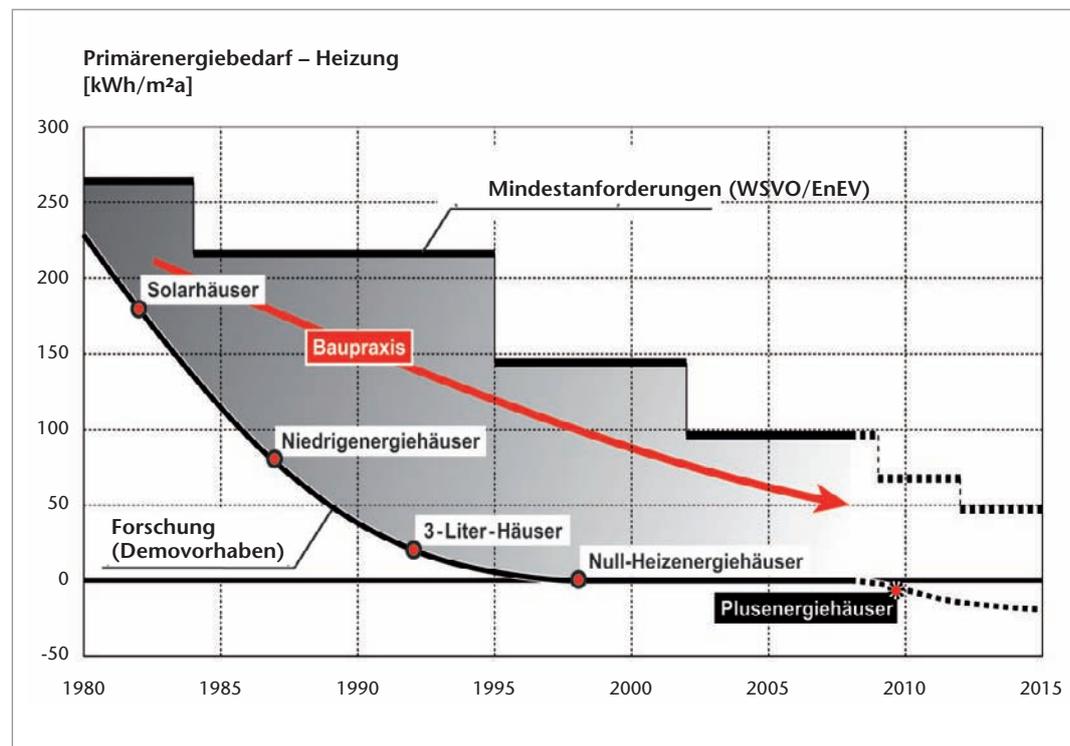


Abbildung 3
Entwicklung des energieeffizienten Bauens in Deutschland

Quelle: Fraunhofer IBP



Energieeffizienz beherbergt größtes Potenzial

Die oft von Medien und Politik in den Vordergrund gestellte Maßnahme, die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien sollte immer in Verbindung mit Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung gesehen werden. Zunächst haben Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung eine wesentlich höhere praktische Bedeutung als die ebenfalls notwendige verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien.

So lieferten in Deutschland erneuerbare Energien im Jahre 2005 zur Stromerzeugung 62 TWh und zur Wärmeerzeugung 81 TWh (69 TWh entfallen hierbei auf das Holz).

1. Passive Solarenergienutzung

Abbildung 2 zeigt die Anteile der durch die verschiedenen erneuerbaren Energien erzeugten Mengen. Vergleicht man diese Mengen mit den durch passive Solarenergienutzung unserer Wohngebäude jährlich geernteten Mengen, so ergibt sich ungefähr die gleiche Größenordnung

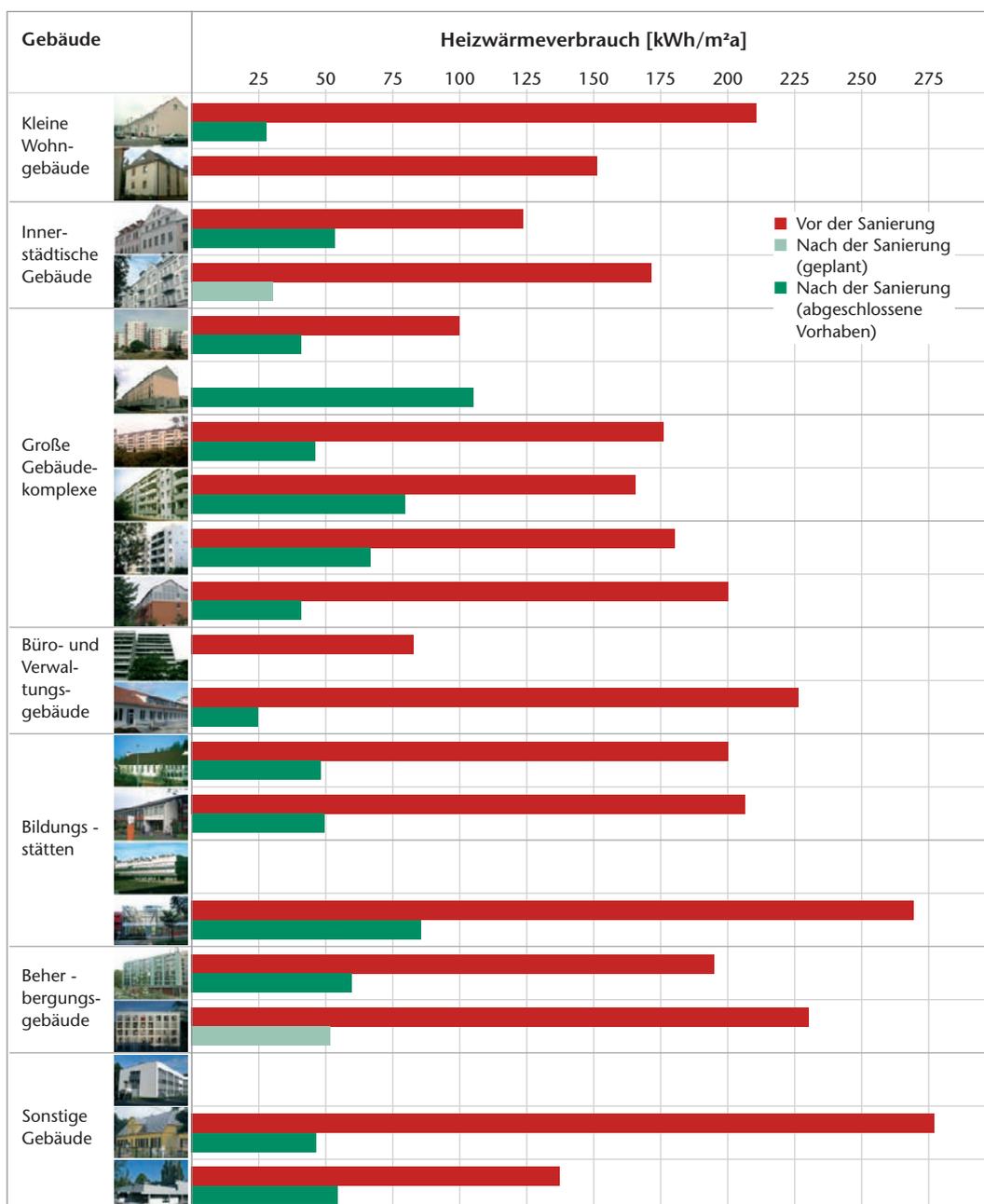
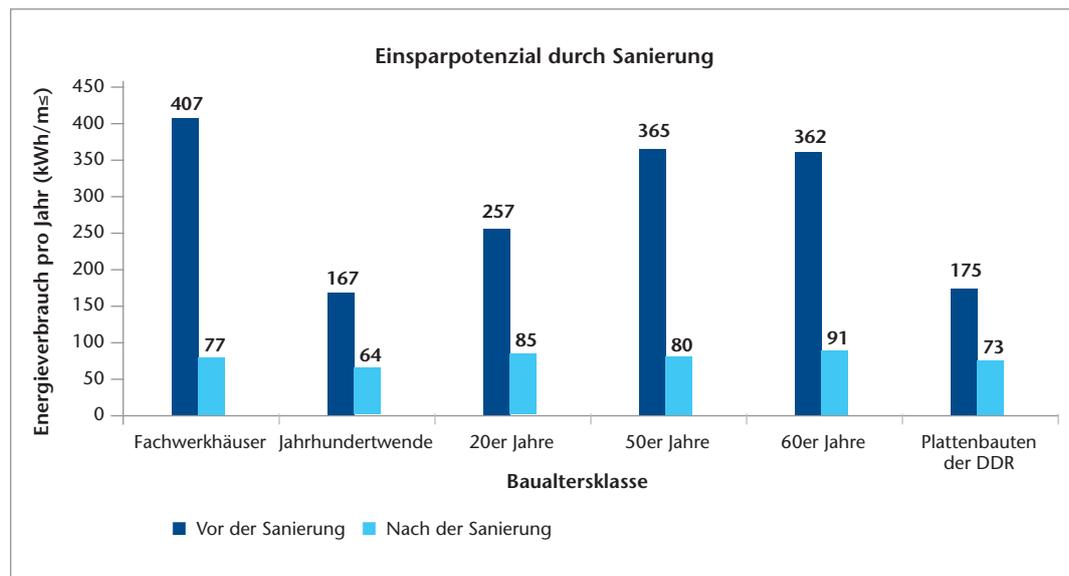


Abbildung 4 Zusammenstellung realisierter Heizenergieeinsparungen im Rahmen des EnSan-Projekts [10]

Quelle: Fraunhofer IBP

Abbildung 5
Energieverbrauch
verschiedener
Wohngebäude vor und
nach Sanierung in
Abhängigkeit von der
Baualtersklasse [11]

Quelle: Energiegerechtes
Bauen und Sanieren.
Wuppertal Institut
Klima, Umwelt, Energie
Birkhäuser 1996



(im Durchschnitt ein Betrag von 83 TWh). Dabei wird ausschließlich die für Heizzwecke nutzbare Solarenergie in Ansatz gebracht, Überheizungseffekte und nicht genutzte Solarenergie durch geöffnete Fenster bzw. geschlossene Sonnenschutzvorrichtungen sind bereits abgezogen. Über diese passive Nutzung erneuerbarer Energien wird leider nicht gesprochen, sie wird als selbstverständlich hingenommen, obwohl hier enorme Verbesserungspotenziale vorhanden sind, beispielsweise durch Fenstersysteme mit guten wärmedämmtechnischen Eigenschaften und der Möglichkeit zur intensiven Aufnahme von Solarenergie.

2. Effizienzpotenziale

Der deutsche Gebäudebestand beinhaltet ein sehr großes Potenzial zur Senkung des Energieverbrauchs, da die Bausubstanz keinesfalls energetisch optimiert ist [6-9]. Für Neubauten wurden in den letzten Jahren die Anforderungen über die Wärmeschutz- und später die Energieeinsparverordnung erhöht, wodurch die in [Abbildung 3](#) wiedergegebenen Energiebedarfsminderungen eintraten.

Über Demonstrationsvorhaben wurden sinnvolle untere Bedarfsgrenzwerte aufgezeigt, so dass der grau hinterlegte Bereich die Baupraxis für Neubauten widerspiegelt. Im Bestand führen zahlreiche in den letzten Jahren durchgeführte Erneuerungsmaßnahmen zu erheblichen Verbrauchsminderungen. Die im Rahmen des

vom BMWi geförderten Projekts „Energetische Verbesserung der Bausubstanz (EnSan)“ modernisierten Wohngebäude erbrachten die in [Abbildung 4](#) wiedergegebenen Heizenergieeinsparungen, deren Mittelwert bei 50 % [8] liegt.

Andere Sanierungen führten sogar zu noch höheren Einsparungen, wie die Absolutwerte in [Abbildung 5](#) und die Relativwerte in [Abbildung 6](#) mit Werten zwischen 58 und 81% belegen. Hier könnten Einsparungen realisiert werden.

Unter Berücksichtigung fortgeschrittener Sanierungstechniken und insbesondere gesteigerter Energiekosten ist eine Verbrauchsminderung um durchschnittlich zwei Drittel realistisch. Dabei ergibt sich allein im Wohngebäudebestand ein Einsparpotenzial von 640 TWh. [Abbildung 7](#) veranschaulicht dieses Einsparpotenzial im Vergleich zu den Erträgen aus erneuerbarer Energie.

Somit beinhalten die Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung Potenziale, die um eine Zehnerpotenz höher sind, als die erneuerbaren Energien zur Erzeugung derzeit beitragen. Die Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich ist der Hauptschlüssel zur Lösung unserer Energieprobleme. Fragen der Akzeptanz stellen sich bei Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung in weit geringerem Maße als bei erneuerbaren Energien wie Wasserkraft, Wind und Geothermie. Daneben bewirken zahlreiche

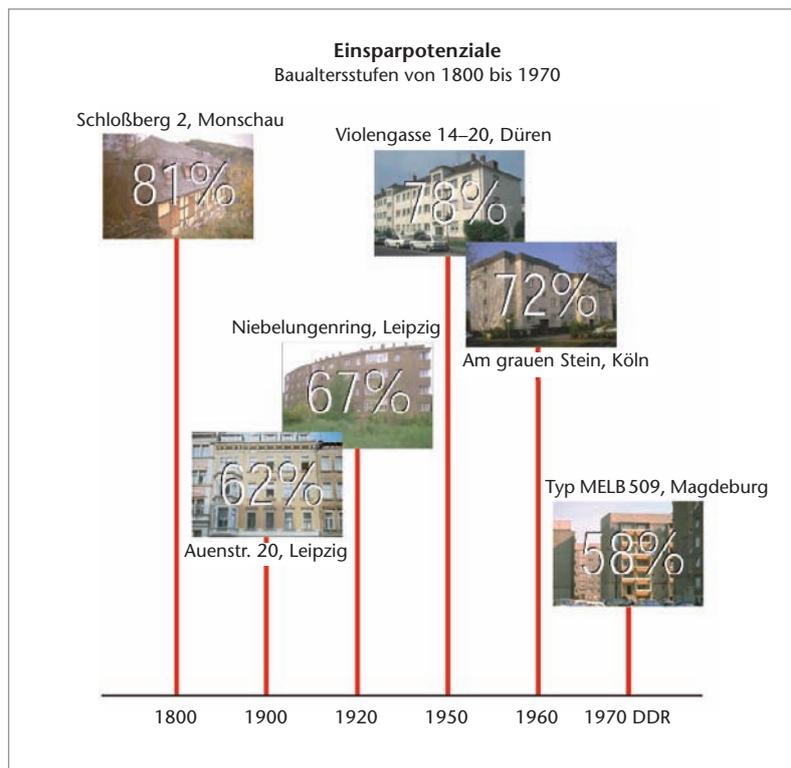


Abbildung 6
Übersicht über die prozentualen Einsparungen verschiedener Gebäude unterteilt in Baualterstufen [11]

Energieeffizienzsteigerungsmaßnahmen positive Zusatzeffekte wie Komfortsteigerung, Wertesteigerung und Bausubstanzerhaltung.

Hier soll jedoch kein Gegeneinander gesehen werden, sondern es soll klar gemacht werden, dass die Energieeffizienzsteigerung die Basis und Grundlage jeglicher sinnvollen Maßnahme sein muss, auf die dann mit erneuerbaren Energien

aufzusetzen ist. So können die vermutlich ab dem Jahr 2020 zum Standard gewordenen Plusenergiehäuser, die wie „Minikraftwerke“ mehr Energie gewinnen als sie verbrauchen, ausschließlich unter Ausnutzung aller zur Verfügung stehenden Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung und intensiver Nutzung erneuerbarer Energien, insbesondere der Solarenergie, realisiert werden.

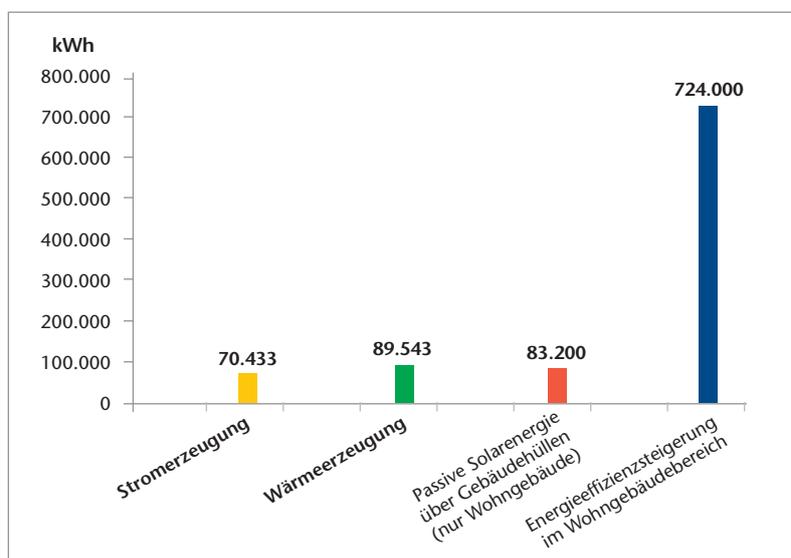


Abbildung 7
Nutzung erneuerbarer Energien im Vergleich zur Energieeffizienzsteigerung im Wohngebäudebereich in Deutschland bei Zugrundelegung einer Verbrauchsminderung im Wohngebäudebereich um 2/3 [6]

Politische Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung

Zur Energieeffizienzsteigerung stehen verschiedene Maßnahmen zur Verfügung. Die kostengünstigste und theoretisch am schnellsten umzusetzende ist die Änderung des Bewusstseins der Nutzer. Die in zahlreichen südlichen Ländern anzutreffenden „Kühlboxen“ an jedem Fenster haben vielleicht eine hohe technische Effizienz, sie könnten aber häufig durch Verwendung von Sonnenschutzvorrichtungen einfach überflüssig gemacht werden. Das Bewusstsein für die Zusammenhänge ist häufig nicht vorhanden.

Der neue Energiepass

Der bereits 1989 vorgestellte [12] und gemäß Energieeinsparverordnung 2007 [13] ab 2008 auch in weiten Teilen des Gebäudebestandes eingeführte Energiepass wird zu einer erheblichen Bewusstseins-schaffung beitragen.

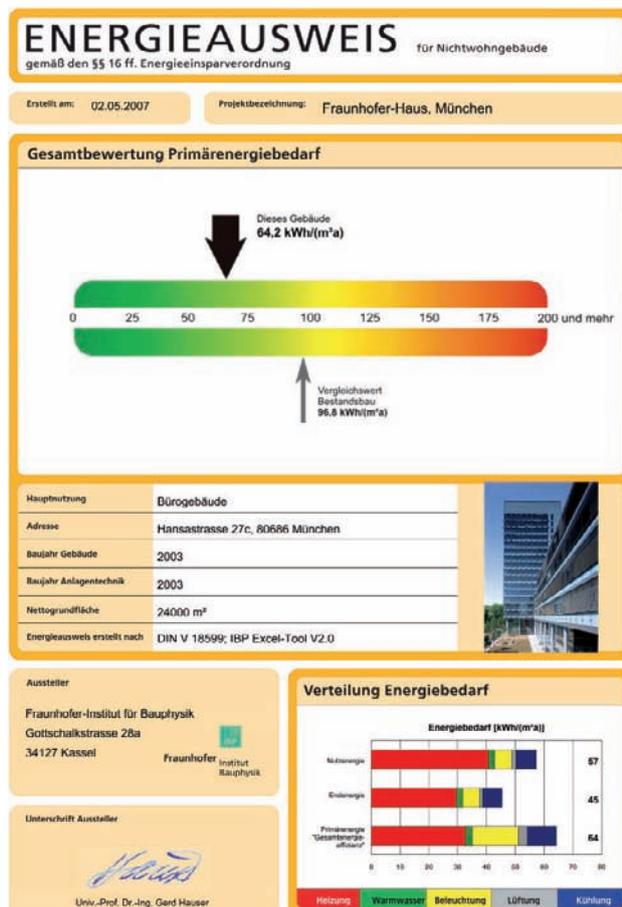
Als Beispiel enthält *Abbildung 8* den Energiepass der Zentralverwaltung der Fraunhofer-Gesellschaft in München (ein Nicht-Wohnungsbau) der den Besuchern Informationen über das energetische Verhalten des jeweiligen Gebäudes gibt und zum Nachdenken anregt. Inzwischen wird er in allen Bundesministerien im Eingangsbereich ausgehängt. Der Energieverbrauch wird zum allgemeinen Thema.

Wesentlicher Zweck der Einführung eines Energieausweises sind die Information über das energetische Verhalten eines Gebäudes und die daraus resultierende verstärkte Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen im Bestand.

Leider lässt der von der Bundesregierung eingesetzte Energieausweis durch die vorgenommene Wahlfreiheit zwischen bedarfs- und verbrauchsorientiertem Ausweis befürchten, dass er oft wirkungslos bleibt.

Durch einen **bedarfsbasierten** Energieausweis können von qualifizierten Ausstellern die

Abbildung 8
Zertifikat des Energieausweises (Energiepasses) der Zentralverwaltung der Fraunhofer-Gesellschaft in München



Ursachen für hohe Verbrauchswerte aufgezeigt und die Auswirkungen einzelner Modernisierungsmaßnahmen dargelegt werden. Unter Berücksichtigung zusätzlicher Aspekte wie z. B. Kosten, Substanzerhaltung, Lebensdauer, Feuchteschutz und Schallschutz kann mit dem Investor ein individuelles energetisches Modernisierungskonzept erstellt werden.

Die Angabe von Verbrauchswerten ist zwar für die Einordnung des eigenen Verbrauchs im Vergleich zu Durchschnittswerten nützlich, kann jedoch nicht die Funktion einer energetischen Kennzeichnung erfüllen. **Verbrauchswerte** stellen für potentielle Käufer oder Mieter keinen objektiven Bewertungsmaßstab dar, weil sie in hohem Maße vom jeweiligen Nutzerverhalten abhängen – Abweichungen aufgrund unterschiedlicher Nutzungen von weit über 100% sind anzutreffen. Darüber hinaus sind auch wechselnde meteorologische Randbedingungen mögliche Ursache einer falschen Einstufung, die auch nicht durch eine Gradtagszahlbereinigung behoben werden kann, da unter anderem unterschiedliche Solarenergieangebote während der Heizperiode unberücksichtigt bleiben. Zusätzliche Heizquellen wie z. B. Kachelöfen oder offene Kamine werden über die Heizkostenabrechnung nicht erfasst. Auch die Zuordnung fester oder flüssiger Brennstoffe auf den Bilanzzeitraum ist problematisch und eröffnet große Manipulationsspielräume. Objektspezifische Modernisierungsempfehlungen sind auf der Basis eines **verbrauchsorientierten Energieausweises** daher nicht möglich, weil nur der Zustand unter undefinierten Randbedingungen erfasst wird und selbst dessen Zustandekommen – welchen Anteil haben welche anlagen- oder bautechnischen Komponenten? – unklar ist. Die Therapie bleibt aus, bzw. entbehrt einer objektiven Grundlage.

Die relativ geringen Kosten für die Ausstellung eines **bedarfsorientierten Energieausweises** sind angesichts der umfangreichen Erkenntnisse über ein Gebäude und der mangelnden gleichwertigen Alternative vertretbar. Energieverbrauchswerte stellen eine sinnvolle Informationsgröße dar; ein Energiepass auf Verbrauchsbasis ist hingegen wertlos und vereitelt die sich durch die energetische Gebäudesanierung eröffnenden Chancen für

Immobilieigentümer, Planer, Handwerker, Industrie, Volkswirtschaft und Umwelt.

Es sollten daher umfangreiche Marketing-Maßnahmen zugunsten eines **bedarfsbasierten Energiepasses** gestartet werden, um der Energieeffizienz im Gebäudebereich zu einem raschen Erfolg zu verhelfen.

Bewusstseinsänderung fördern

Wir müssen die Energieeffizienz zu unserer Maxime erheben: „Energy efficiency – made in Germany“ kann bereits heute wirkungsvoll als Exportunterstützung eingesetzt werden, vgl.

Abbildung 9.



Abbildung 9

Darstellung des Labels des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, vorgestellt im Rahmen der Konferenz „Canada & Germany – A Path to Energy Efficiency“ am 12.11.2007

Die Aktivitäten des Bundeswirtschaftsministeriums belegen den hohen Stellenwert deutscher Energieeffizienz-Produkte im Ausland. Nur auf der Basis entsprechender Umsetzungen als im Inland kann „the German way of Life“ ein Marktvorteil aufrecht und der Exportstrom am Laufen gehalten werden.

Technische Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung

Zur Energieeffizienzsteigerung bei Gebäuden stehen zahlreiche technische Maßnahmen zur Verfügung:

- **Minderung der Transmissionswärmeverluste**
 - Zusätzliche Wärmedämmung
 - Einsatz hoch wärmedämmender Fenster
 - Minderung von Wärmebrücken
 - Oberflächenbeschichtung
 - Verkleinerung des Verhältnisses der Bauteilhüllflächen zu Nutzflächen (A/A_N)

- **Minderung der Lüftungswärmeverluste**
 - Abdichtung von Undichtheiten
 - Maßnahmen zur Erlangung einer Bedarfslüftung
 - Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen
 - Zuluftfassaden, Erdkanäle
- **Erhöhung der Wärmegewinne**
 - Verglasungen mit hohen g-Werten
 - Glasanbauten
 - TWD, HTWD
 - Sonnenkollektoren, Photovoltaik
- **Nutzungsgradsteigerung des Wärmeerzeugers**
 - Heizung
 - Warmwasser
 - Regelungstechnik
- **Erhöhung des Tageslichtangebots und des Leuchtenwirkungsgrads**
 - Transparente oder transluzente Hüllflächen mit hohen T-Werten
 - Systeme zur Lichtlenkung
 - Regelungssysteme
- **Massnahmen zur Vermeidung von Kältetechnik**
 - Sonnenschutz
 - System für Nachtlüftung
 - Thermisch aktivierte Bauteile
 - Wärmespeicherfähigkeit/PCM-Einsatz

Ein Großteil dieser Maßnahmen wird bereits in großem Umfang realisiert und ist praktisch erprobt. In Details, aber auch bei komplett neuen Lösungen besteht jedoch noch erheblicher Entwicklungs- und Forschungsbedarf um zu deutlich effizienteren Systemen mit geringerem Kostenaufwand zu kommen. Dabei muss immer die ganzheitliche Betrachtung aller bauphysikalischen Vorgänge im Blick bleiben, damit keine Bauschäden entstehen und der Komfort der Gebäude nicht sinkt. Zu diesen Innovationen gehören auch Systeme zur Abwicklung von Sanierungsmaßnahmen, die den üblichen Ärger der Nutzer mit den Ausführenden minimieren. Als Vision sei hier der „Modernisierungsurlaub“ genannt, der eine komplette energetische Modernisierung während des dreiwöchigen Urlaubs der Nutzer ohne Ärger beinhaltet.

Gebäude müssen „eingefahren“ werden

Neben dem energieeffizienten Planen und Bauen eines Gebäudes ist auch der energieeffiziente Betrieb von Gebäuden erforderlich. Insbesondere Gebäuden mit umfangreicher Anlagentechnik ist diesbezüglich großes Augenmerk zu schenken, da häufig wenig energieeffiziente Betriebsweisen zu beobachten sind, die sich mit relativ geringem Aufwand optimieren lassen und hohe Verbrauchsminderungen ermöglichen.

Ein umfangreiches Monitoring, in dessen Rahmen die wesentlichen Größen erfasst und ausgewertet werden, deckt die Schwachstellen im Betriebsablauf auf. Die heute zur Verfügung stehenden und in naher Zukunft zu erwartenden Techniken wie z. B. RFID² lassen einen breiten Einsatz erwarten.

Vorgaben des Energie- und Klimaprogramms der Bundesregierung

Im Jahr 2005 betragen die CO₂-Emissionen aus Wohnungen in Deutschland 191 Mio. t. Nach dem CO₂-Gebäudereport [3], der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Städtebau von co2online und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik erstellt wurde, werden durch Gebäudemodernisierungen in bisherigem Umfang bis 2020 jährlich 34 Mio. t CO₂ eingespart. Würde die Sanierungsrate von derzeit 2,2 % auf 3,0 % „Vollsanierung“ erhöht, (d. h. alle Bauteile und die Anlagentechnik), ergäben sich Einsparungen von 46 Mio. t CO₂.

Bei erhöhter Sanierungsgeschwindigkeit von 3 % (Vollsanierung) und einer Verschärfung der Anforderungen gemäß EnEV (Alt- und Neubau)

¹ Radio Frequency Identification (RFID) bedeutet Identifizierung mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen. RFID ermöglicht die automatische Identifizierung und Lokalisierung von Gegenständen und erleichtert damit erheblich die Erfassung und Speicherung von Daten. (Wikipedia)

um 30 % in 2008 sowie ab 2012 um 50 % (nur Neubau) kämen 77 Mio. t CO₂ bis 2020 zum Abzug.

Zum Vergleich: Durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien nach der Klimaagenda der Bundesregierung im Strombereich sollen bis zum Jahr 2020 jährlich 54 Mio. t CO₂ vermieden werden während über Gebäudesanierungen und Heizanlagen nur 31 Mio. t CO₂ angesetzt werden. Hier wäre also weit mehr möglich.

Die Ziele von Energie- und Klimapolitik müssen klar und transparent sein

Da die geplanten Gesetzesvorhaben mehrere – teilweise konkurrierende – Zielgrößen vorsehen, besteht eine Überbestimmtheit. Aus diesem Grunde wird empfohlen, in allen gesetzlichen Regelungen lediglich eine alleinige Ziel- und Steuerungsgröße vorzugeben [14]. Hierfür bietet sich der Primärenergiebedarf an.

Die Reduktion des Primärenergiebedarfs ist als Ziel- und Steuerungsgröße bereits in der Energieeinsparverordnung und im Rahmen von KfW-Fördermaßnahmen etabliert. Eine Primärenergieeinsparung führt bei fossilen Energieträgern zu einer CO₂-Reduktion im gleichen Verhältnis. Die Primärenergieeinsparung korrespondiert auch mit sektorübergreifenden CO₂-Minderungszielen (Gebäude, Verkehr, öffentlicher und privater Konsum, etc.) und mit anderen z. B. außenwirtschaftlichen Zielsetzungen wie der Verringerung der Importabhängigkeit und Stärkung der Exportfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Auch diese Faktoren rechtfertigen eine stringente Ausrichtung der den Gebäudebereich betreffenden Gesetzesinitiativen an dieser Steuerungsgröße.

Daraus leiten sich die folgenden Handlungsempfehlungen für den Gesetzgeber ab:

1. EEWärmeG und EnEV sollten zu einem konsistenten Regelwerk zusammengeführt werden. Die Zusammenfassung der Regelwerke mit einer Steuerungsgröße ermöglicht es in der Praxis, aus verschiedensten Maßnahmen (Effizienztechnologie und

Einsatz erneuerbarer Energien) die jeweils wirtschaftlichste und effizienteste zu wählen und Zusatzeffekte wie z. B. die Steigerung der thermischen Behaglichkeit durch Wärmeschutzmaßnahmen zu dokumentieren. Die bestehenden Normen und Regelwerke liefern dazu die erforderlichen Grundlagen.

2. Förderprogramme sollten ebenfalls auf eine zentrale Steuerungsgröße ausgerichtet werden. Dies erhöht die Transparenz und ermöglicht die Auswahl der effektivsten und wirtschaftlichsten Maßnahmen. Jede kWh eingesparter fossiler, nicht nachhaltig erwirtschaftbarer Primärenergie wird mit x € gefördert. Förderprogramme sind möglichst einfach und übersichtlich zu gestalten und sollten nicht nur günstige Darlehensbedingungen beinhalten sondern auch Zuschüsse oder Steuerlast senkende Elemente.

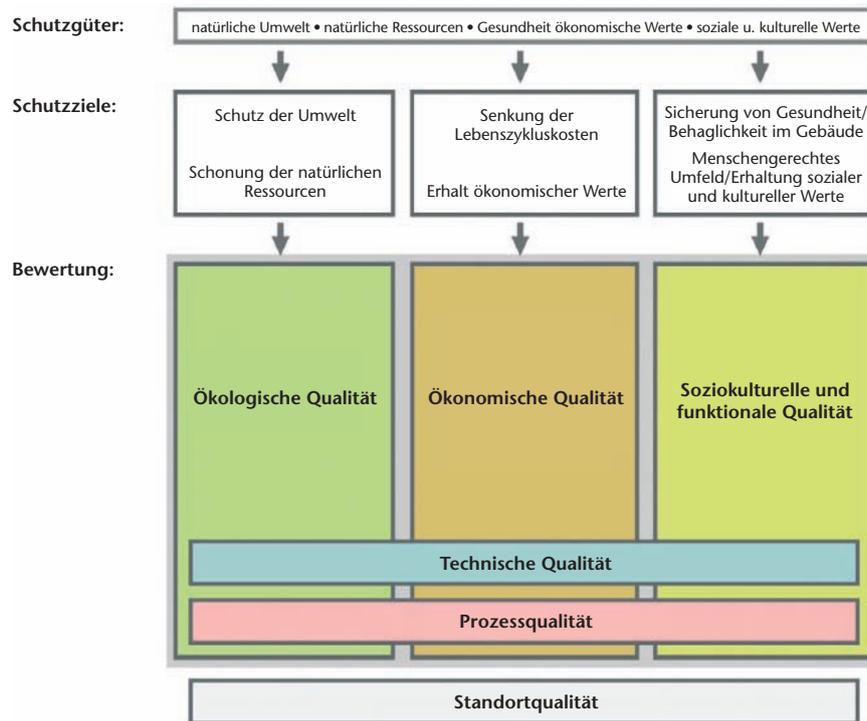
Entwicklungs- und Forschungsbedarf

Erheblicher Entwicklungs- und Forschungsbedarf, um zu deutlich effizienteren Systemen mit geringerem Kostenaufwand zu kommen, besteht sowohl bei Details, als auch bei neuen Komplettlösungen. Gute energetische Modernisierungsmaßnahmen beinhalten immer auch eine Verbesserung des Komforts, energieeffiziente Gebäude sind der Grundstein eines hohen Immobilienwertes.

Zertifikat der Nachhaltigkeit

Um die Nachhaltigkeit von Gebäuden bewerten zu können, haben das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und die Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) ein Gütesiegel entwickelt. Dieses Gütesiegel soll Anfang 2009 in den Markt eingeführt werden. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik war maßgeblich am Entstehungsprozess beteiligt. Vor allem die Entwicklung der Kriterien und der Themenfelder des Bewertungssystems sind wissenschaftlich erarbeitet worden.

Abbildung 10
Darstellung der
Struktur des deutschen
Systems zur
Kennzeichnung der
Nachhaltigkeit



Das „Deutsche Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ dokumentiert und weist folgende Aspekte aus:

- Ressourcenschutz
- Erhaltung der natürlichen Umwelt
- Sicherung und Erhalt von Werten
- Verbesserung des Umfeldes und Schutz der öffentlichen Güter
- Gesundheit und Behaglichkeit von Gebäudenutzern

Abbildung 11
Label des Deutschen
Gütesiegels für
Nachhaltiges Bauen
(DGNB)

Hauptkriterien der Nachhaltigkeit sind folgende:

- ökologische Qualität
- ökonomische Qualität
- soziokulturelle und funktionale Qualität

Weiterhin gehen folgende Kriterien in das Zertifikat ein:

- Qualität der technischen Ausführung
- Prozessqualität
- Standortqualität

Abbildung 10 visualisiert die Zusammenhänge.

Das System ist so aufgebaut, dass es jederzeit an andere klimatische oder kulturelle Randbedingungen angepasst werden kann, auch um die

Vorteile deutscher Produkte im Ausland darstellen zu können. Das in *Abbildung 11* wiedergegebene Siegel wird in Gold, Silber und Bronze verliehen.



Die Themenfelder umfassen die Bereiche Ökologie, Ökonomie, soziokulturelle und funktionale Aspekte, Technik, Prozesse und Standortqualitäten eines Bauwerkes. Die Bewertung drückt sich in einer Gesamtnote aus und die Gebäude erhalten als Nachweis Plaketten in den Qualitäten Gold, Silber oder Bronze.

Literatur

- [1] Der Stern-Report wurde am 30. Oktober 2006 veröffentlicht. Autor ist der ehemalige Weltbank-Chefökonom und jetzige Leiter des volkswirtschaftlichen Dienstes der britischen Regierung Nicholas Stern. Der im Auftrag der britischen Regierung erstellte 650 Seiten umfassende Bericht untersucht die wirtschaftlichen Folgen der globalen Erwärmung. Nicholas Stern: Review on the Economics of Climate Change. www.hm_treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm
- [2] Luther, J., Pfaffenberger, W., Wagner, U. und Brinker, W.: 10 Bullensee-Thesen und abgeleitete Handlungsempfehlungen zur künftigen Energieversorgung. EWE AG Oldenburg, 2. Auflage, November 2006.
- [3] Friedrich, M., Becker, D., Grondey, A., Laskowski, F., Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H., Hauser, G., Sager, Ch. und Weber, H.: CO₂ Gebäudereport 2007. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin (2007).
- [4] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Grünbuch. Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie. Brüssel 8. März 2006
- [5] Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Mitteilung der Kommission. Aktionsplan für Energieeffizienz: Das Potential ausschöpfen. Brüssel 19. Oktober 2006
- [6] Hauser, G.: Energieeffizienz – der wesentliche Lösungsansatz! wksb (2007), H. 58, S. 31 –35.
- [7] Born, R., Ebel, W., Eicke-Henning, W., Feist, W., Jäckel, M., Logar, T., Schmidt, H., Storch, Hildebrandt, O. und Siepel, B.: Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern (ABL und NBL). Institut für Wohnen und Umwelt IWU, Darmstadt 1995.
- [8] Hoffman, H.-J.; Katscher, W.; Stein, G.: Forschungszentrum Jülich, Programmgruppe Technologiefolgenforschung: Energiestrategien für den Klimaschutz in Deutschland – Das IKARUS-Projekt des BMBF. Zusammenfassender Endbericht, Jülich 1997.
- [9] Hauser, G., Höttges, K., Lüking, R.-M., Maas, A., Otto, F. und Stiegel, H.: Energieeinsparung im Gebäudebestand. Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung, Berlin, 5. Auflage (2006).
- [10] Reiß, J., Erhorn, H. und Reiber, M.: Energetisch sanierte Wohngebäude. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2002.
- [11] Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Planungsbüro Schmitz Aachen: Energiegerechtes Bauen und Modernisieren, Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Bundesarchitektenkammer Basel/Berlin/Boston 1996.
- [12] Hauser, G. und Hausladen, G.: Energiekennzahl zur Beschreibung des Heizenergieverbrauchs von Gebäuden. Hrsg.: Gesellschaft für Rationelle Energieverwendung e.V. Baucom Verlag, Böhl-Iggelheim 1990.
- [13] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007.
- [14] Erhorn, H. und Hauser, G.: Energieversorgungsstrukturen im Gebäudesektor in Deutschland. Teilbericht der Studie „Rahmenbedingungen für energieeffizienten Klimaschutz im Gebäudebereich“ der Industrie-Initiative für effizienten Klimaschutz in Deutschland, Juni 2008.

Solares Bauen – Energieversorgung im Haus aus erneuerbaren Energien

Dr. Hans-Martin Henning
Fraunhofer ISE
hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Sebastian Herkel
Fraunhofer ISE
sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de

Prof. Dr. Volker Wittwer
Fraunhofer ISE
volker.wittwer@ise.fraunhofer.de

Prof. Dr. Eicke R. Weber
Fraunhofer ISE
eicke.weber@ise.fraunhofer.de

Einleitung

Auf den Betrieb von Gebäuden entfallen rund 40 % des Endenergieverbrauchs, das macht sie zu einem der wesentlichen Sektoren, die zum Energieverbrauch Deutschlands beitragen. Um das Ziel einer nachhaltigen Energieversorgung und die notwendigen klimapolitischen Ziele zu erreichen, besteht deshalb die Notwendigkeit einer zunehmenden Deckung des Energiebedarfs von Gebäuden auf Basis erneuerbarer Energien mit dem Ziel eines weitgehend durch erneuerbare Energien versorgten Gebäudesektors.

Energieeffizientes Design und Bauausführung können den Energiebedarf eines Gebäudes beträchtlich senken. Es bleibt aber stets ein restlicher Energiebedarf, der aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden kann:

- Solarwärme kann wesentlich zur Bereitung von Warmwasser und anteilig zur Gebäudebeheizung beitragen.
- In Gebäuden mit einem Bedarf an aktiver Klimatisierung können die gleichen solarthermischen Anlagen auch für die sommerliche Klimatisierung genutzt werden.
- Bereitstellung von Strom aus einer in die Gebäudehülle integrierten Photovoltaik-Anlage
- Betrieb eines Blockheizkraftwerkes, das durch Holz-Pellets oder Biogas aus organischen Reststoffen nachhaltig gespeist wird und sowohl Wärme als auch Strom liefert.

So kann aus einem Niedrigenergiegebäude ein Nullenergiegebäude oder auch ein Plus-Energiegebäude werden, das netto Energie ins Netz einspeist (siehe *Abbildung 1*).

Randbedingungen

Die Entwicklung von ökologischen und zugleich wirtschaftlichen Szenarien für die Energieversorgung des Gebäudesektors ist eine komplexe Aufgabe. Sie ist gekennzeichnet durch eine große Vielfalt im Bereich der Verbrauchsstruktur als auch im Bereich der korrespondierenden Versorgungsstrukturen. Folgende Elemente sind bei der Entwicklung entsprechender Szenarien zu berücksichtigen:

- **Nutzung:** Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude weisen sowohl hinsichtlich der Laststruktur als auch hinsichtlich der Eigentümer- und Betreiberstruktur wesentliche Unterschiede auf, die unterschiedliche technische Lösungen erfordern. Der Flächenbedarf nimmt zu und Komfortanforderungen werden höher.
- **Altbau versus Neubau:** während bei Altbauten energetische Sanierungsmaßnahmen und die Installation neuer Versorgungstechniken in eine bestehende Struktur eingebracht werden muss, kann bei Neubauten von Beginn an eine integrale Planung erfolgen, in der alle Elemente bezüglich Energiebedarf und -versorgung gemeinsam konzipiert und implementiert werden.
- **Verdichtung:** die Machbarkeit und Sinnhaftigkeit technischer Lösungen hängt stark vom Verdichtungsgrad des Baugebiets ab. Zum Beispiel ergeben sich in innerstädtischen Räumen ganz andere Bedingungen für Versorgungslösungen als in wenig verdichteten Baugebieten oder gar bei einzelstehenden Gebäuden außerhalb von Siedlungsgebieten. Auch die Vermeidung von Verkehr ist eine wesentliche städtebauliche Aufgabe.
- **Technologien:** im Bereich der Energieversorgungstechniken für Gebäude gibt es eine große Bandbreite an Techniken zur Wärme-

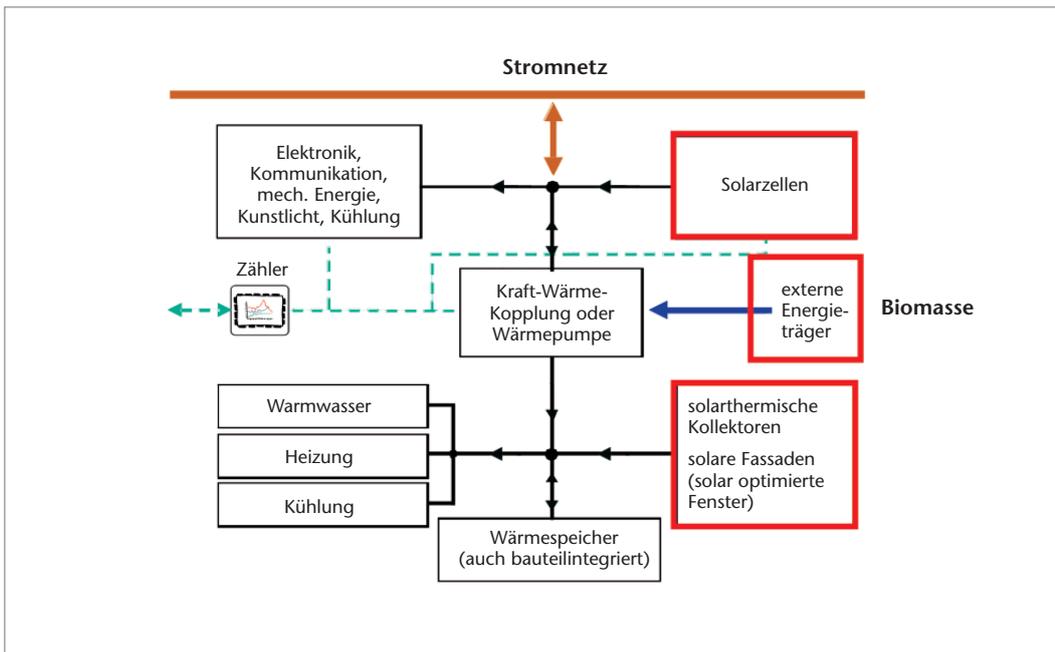


Abbildung 1
Durch den lokalen Einsatz erneuerbarer Energien wird der Energieverbrauch des Gebäudes anteilig oder vollständig gedeckt. Stromüberschüsse werden in das öffentliche Netz gespeist.

bereitstellung und zur Strombereitstellung sowie zur gekoppelten Erzeugung von Wärme und Strom. Die Techniken unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Energieeffizienz, und der nutzbaren Energieträger aus fossilen oder erneuerbaren Energiere Ressourcen. Selbstverständlich spielt der technische Entwicklungsstand derartiger Baukomponenten eine entscheidende Rolle für den Zeithorizont des Einsatzes.

- **Lebenszyklusanalyse:** Grundsätzlich reicht es nicht aus, ein energieoptimiertes Versorgungskonzept zu entwerfen ohne den kumulativen Energieaufwand zu berücksichtigen. Gerade technisch aufwändige Lösungen können zwar im Betrieb eine hohe Energieeffizienz aufweisen, verursachen aber in der Herstellung einen hohen Energieaufwand. Letztlich müssen deshalb zur Bewertung unterschiedlicher Versorgungskonzepte Gesamtbetrachtungen entwickelt werden, die den gesamten Lebenszyklus implizieren.

Neben diesen Faktoren spielen spezifische Faktoren wie Standort, klimatische Bedingungen und wirtschaftliche Randbedingungen eine Rolle, um jeweils angepasste, bestmögliche Lösungen zu entwickeln.

Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudesektor

Aus der großen Vielfalt der Randbedingungen und der technischen Lösungsansätze lassen sich einige grundlegende Trends und Anforderungen für den Einsatz erneuerbarer Energien im Gebäudesektor erkennen.

Energetische Zielsetzung

Eine sinnvolle Zielsetzung ist eine Orientierung am Nullenergie-Konzept, bei dem Gebäude oder Siedlungen im Betrieb im Jahresmittel eine Netto-Nullenergiebilanz aufweisen. Dabei sollte als Bewertungsgröße der Verbrauch an „Primärenergie der zeitlich endlichen Energieträger“ verwendet werden, also Energieträger fossiler oder nuklearer Ressourcen. Derartige Nullenergie- oder Nullemissions-Konzepte für Gebäude sind derzeit Gegenstand der energiepolitischen Zielsetzungen vieler Länder und werden im derzeitigen 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung als Fernziel benannt. Im Einzelfall kann ein jährlicher Überschuss an erzeugter Energie sogar zu Plus-Energie-Konzepten führen – Gebäude oder Siedlungen werden dann zu Netto-Energie-Lieferanten.

Das Konzept der jährlichen Bilanzierung ist in *Abbildung 2* dargestellt. In *Abbildung 3* werden

Abbildung 2
Nullenergie-Konzept:
je geringer der Verbrauch, desto realistischer ist eine Netto-Deckung durch lokal erzeugte und dem Versorgungsnetz zugeführte Energie

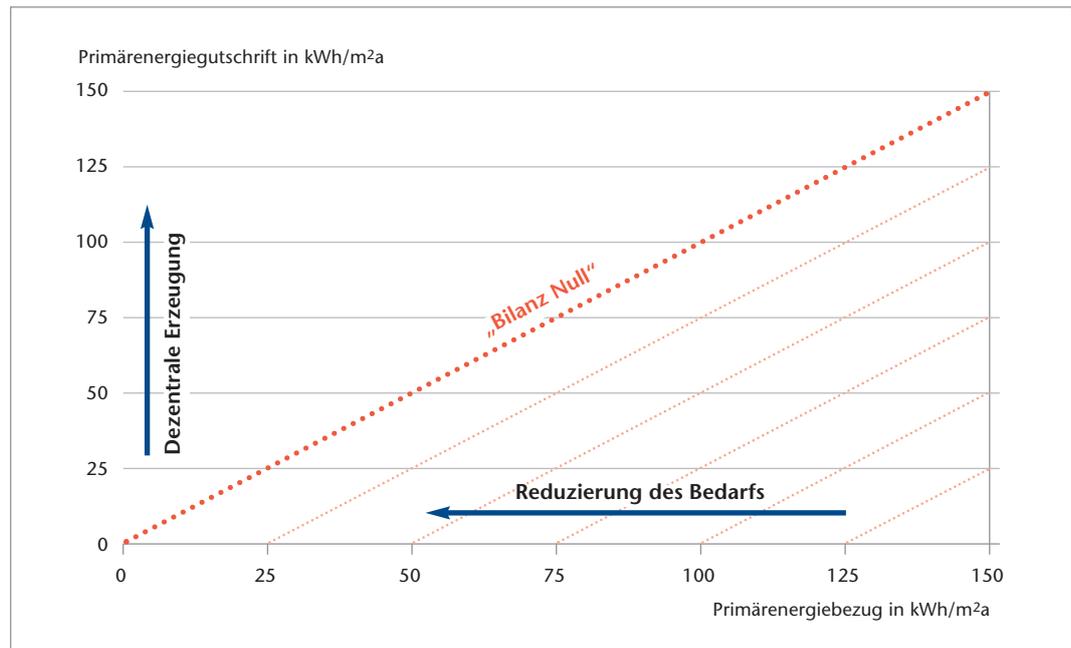
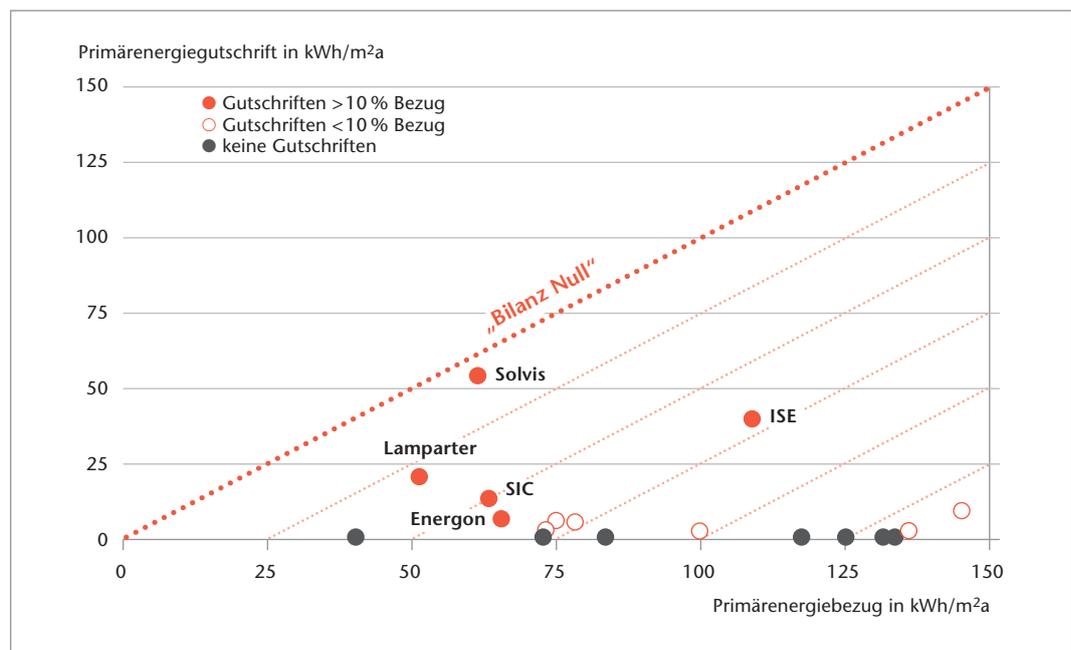


Abbildung 3
Beispiele der Jahresprimärenergiebilanz von Gebäuden, im Rahmen des Solarbau-Monitor-Programms des Bundeswirtschaftsministeriums



Ergebnisse für realisierte Gebäude zeigt, die im Rahmen des Solarbau-Monitor-Programms des Bundeswirtschaftsministeriums messtechnisch erfasst und ausgewertet wurden. Ziel des Programms war es, einen jährlichen Primärenergiebedarf von maximal 100 kWh pro m² zu erreichen [1].

Effiziente Gebäude sind Voraussetzung

Grundsätzlich ist eine Reduktion des Energieverbrauchs für Heizung, Kühlung bzw. Klimatisierung und Lüftung sowie für Beleuchtung und

Geräte, die in Gebäuden betrieben werden, auf das technisch Mögliche Voraussetzung, um das Ziel einer Null-Energie-Bilanz zu erreichen. Für neue Wohngebäude kann und wird ein Energiestandard entsprechend einem Passivhaus¹ zur Regel werden. Auch für die energetische Sanierung ist – wie in Beispielprojekten gezeigt wurde – eine drastische Reduktion des Energieverbrauchs möglich. Hier ist ein Standard

¹ Ein Passivhaus ist eine Weiterentwicklung des 3-Liter-Hauses, bei dem eine Belüftungsanlage zum Beheizen ausreicht.

entsprechend KfW-40² erreichbar und muss mittelfristig als Zielstellung festgeschrieben werden. Für Nichtwohngebäude sind analog nutzungsspezifische Zielgrößen zu definieren. Erst die Erreichung derartiger Verbrauchsstandards eröffnet die Perspektive einer weitgehenden, bilanziellen Deckung des verbleibenden Energiebedarfs mit Hilfe erneuerbarer Energien.

Die Verbrauchsstruktur des Gebäudesektors verschiebt sich damit insgesamt vom Wärme- zum Strombedarf. Im Bereich des Wärmebedarfs weicht daher – zumindest bei den Wohngebäuden – die Dominanz des Bedarfs an Heizwärme einem nahezu gleich großen Bedarf an Wärme für die Warmwasserbereitung. Außerdem ist ein Anstieg des Bedarfs an sommerlicher Klimatisierung zu erwarten. Diese neuen Energiebedarfsstrukturen sind beim Entwurf entsprechender Versorgungskonzepte zu berücksichtigen.

Für die Wärmeversorgung und Kühlung von Gebäuden reichen oft niedrige Temperaturdifferenzen zwischen Raum und Verteilsystem, da die Heiz- bzw. Kühlleistungen gering sind. Dies eröffnet Spielräume für hocheffiziente Lösungen unter Nutzung natürlicher Wärmequellen (zum Heizen) bzw. Wärmesenken (zum Kühlen) mit Außenluft oder Erdreich – sogenannte LowEx-Konzepte.

Erneuerbare Energien

Das Gebäude selbst kann mit seinen Außenflächen – in erster Linie Dach und in zweiter Linie Fassaden – Solarenergie sammeln und in Nutzenergie umwandeln, wobei neben der Umwandlung von Solarstrahlung in Wärme oder Strom die direkte Versorgung mit Tageslicht eine wesentliche Rolle spielt.

Die Sonne als Energiequelle ist dabei in dem Sinne unbegrenzt, als eine Nutzung in einem Gebäude die Nutzung in anderen Gebäuden nicht begrenzt. Der begrenzende Faktor ist in erster Linie die verfügbaren, der Sonne ausreichend zugewandten Flächen. Hier sind zukünftig technische Lösungsansätze gefragt,

² Nach den Förderrichtlinien der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ist der Standard eines KfW-Energiesparhauses 40 erreicht, wenn der Primärenergiebedarf nachweislich nicht mehr als 40 kWh pro m² Nutzfläche und Jahr beträgt.



Abbildung 4
Dachintegrierte Solarthermie-Anlage. Eine Anlage dieser Größe deckt typischerweise mehr als 50 % des Warmwasserbedarfs und rund 20–30 % des Heizbedarfs eines Einfamilienhauses mit hohem Energiestandard

Bild: ESTIF



Abbildung 5
Solarthermische Anlage für ein Mehrfamilienhaus in Graz. Der Markt für die Nutzung der Solarthermie in Mehrfamilienhäusern ist noch wenig entwickelt.

die neben der baukonstruktiven und bauphysikalischen Funktion der Gebäudehülle eine bessere energetische Nutzung erlauben. Ein breiter, flächendeckender Einsatz von Solaranlagen in Gebäuden erfordert sowohl hinsichtlich der baulichen und architektonischen Integration als auch der Einbindung in die Haustechnik einerseits flexible und andererseits standardisierte Lösungen.

Die Hauptnutzung der Solarenergie in solarthermischen Anlagen wird im Bereich der Brauchwassererwärmung liegen und anteilig zur Deckung des Heizbedarfs beitragen. Die Solarenergie wird zum Standard bei Neubauten und der energetischen Sanierung. Insbesondere die anteilige Deckung des Heizbedarfs erscheint dann aussichtsreich, wenn die gleiche Solaranlage im Sommer zur Klimatisierung genutzt

Abbildung 6
Photovoltaik-Anlage
mit Dachfunktion:
Solarsiedlung in
Freiburg
(Architekt Rolf Disch)



Abbildung 7
Fassadenintegrierte
Photovoltaik-Anlage in
Freiburg



Teil der Gebäudehülle, aber nicht Teil eines integrierten Energieversorgungssystems des Gebäudes. Dies wird sich ändern, sobald „grid-parity“ erreicht ist, d. h., wenn es für den Betreiber des Gebäudes lukrativer ist, den selbst erzeugten Strom im Gebäude zu nutzen und damit Strombezug zu vermeiden, als ihn ins Netz einzuspeisen. Insofern sind mittelfristig neue systemtechnische Ansätze zu erwarten, wie beispielsweise die Kopplung von Photovoltaik mit Wärmepumpen zum Heizen und Kühlen. *Abbildung 6* bis *Abbildung 8* zeigen unterschiedliche Beispiele für gebäudeintegrierte Photovoltaik-Anlagen.

Neben der Solarenergie ist auch Biomasse als Energieträger im Gebäude möglich. Hierbei handelt es sich um einen zwar zeitlich uneingeschränkten, aber mengenmäßig begrenzten Energieträger – die energetische Biomasse-nutzung innerhalb eines Gebäudes mindert allerdings die Verfügbarkeit für andere Anwendungen. Insofern ist eine hohe Effizienz in der Nutzung wichtig und bedingt, dass ihre Nutzung zur Bereitstellung von Wärme immer gekoppelt mit anderen Energien (Strom) erfolgen sollte: Anlagen, die Wärme-Kraft-Kopplungsprozesse auf der Basis von Biomasse-Energieträgern erlauben.

werden kann. Hierfür stehen thermisch angetriebene Kühlverfahren zur Verfügung, die sich in der Phase der technischen Demonstration und eines ersten Markteintritts befinden (*Abbildung 4* und *5*).

Photovoltaik-Strom wird heute auf Grund der höheren wirtschaftlichen Attraktivität praktisch immer ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Insofern ist die Photovoltaik-Anlage aktuell zwar

Zentrale versus dezentrale Lösungen

Inwieweit zentrale Versorgungslösungen eingesetzt werden, hängt stark von der städtischen Verdichtung einerseits und vom Energiestandard der Gebäude andererseits ab. Die Errichtung

neuer Wärmenetze erfordert eine Mindestgröße des flächenbezogenen Wärmebedarfs (oder Kältebedarfs im Fall von Kältenetzen) und eine Mindestmenge an Abnehmern. In verdichteten Räumen eröffnet der Betrieb von Wärmenetzen die Möglichkeit, den Betrieb von gekoppelter Erzeugung von Strom und Wärme im mittleren Leistungsbereich mit hoher Effizienz auf der Basis von Biomasse zu betreiben.

Wärmenetze ermöglichen den Einsatz von zentralen, solarthermischen Anlagen mit oder ohne saisonale Speicher. Die heute weltweit

größte solarthermische Anlage mit saisonalem Wärmespeicher befindet sich auf der dänischen Insel Ærø. Die Anlage, die die Gemeinde Marstal mittels Wärmenetz mit Wärme versorgt, umfasst eine Solaranlage mit einer Nennwärmeleistung von knapp 20 MW (28.000 m² Kollektorfläche) und einem Heißwasserspeicher mit einem Volumen von 10.000 m³ (siehe *Abbildung 9*).

Generell spielt bei Gebäuden, die temporär als Stromlieferant dienen, die Wechselwirkung mit dem elektrischen Versorgungsnetz eine Schlüsselrolle. Hier werden Betriebsstrategien und



Abbildung 8
Glasintegrierte Photovoltaik-Zellen, die zugleich eine erwünschte Verschattung bewirken am Fraunhofer-ISE in Freiburg



Abbildung 9
Luftbild der weltweit größten solarthermischen Anlage mit saisonalem Wärmespeicher in der Gemeinde Marstal auf der dänischen Insel Ærø

deren technische Umsetzung benötigt, die zugleich eine hohe Ausnutzung der technischen Anlagen, eine hohe Gesamteffizienz und eine Plan- und Regelbarkeit durch den übergeordneten Energieversorger ermöglichen.

Energiespeicher

Energiespeichern kommt bei allen oben genannten Lösungen eine zentrale Rolle zu, da durch sie eine Entkopplung von Erzeugung und Bedarfsdeckung ermöglicht wird. Dies spielt für erneuerbare Energien ebenso eine Rolle wie für Anlagen der gekoppelten Erzeugung und auch für das Management von Versorgungsnetzen.

Stromspeicher werden insbesondere zum Ausgleich von Schwankungen im Stundenbereich (z. B. Tag – Nacht) betrieben. Eine interessante Option beim Einsatz von Stromspeichern liegt in der Kopplung von Gebäuden mit dem Verkehrssektor. Dabei ist der Stromspeicher im Kraftfahrzeug installiert und kann über das Hausnetz geladen und gegebenenfalls auch entladen werden. Derartige Versorgungslösungen werden in Zukunft zunehmend entwickelt und untersucht werden.

Wärmespeicher im Stundenbereich spielen eine wichtige Rolle für das Management von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, um einen stromgeführten Betrieb bei zugleich hoher Nutzung der Abwärme zu erreichen.

In Solarthermieanlagen sind auch größere Speicher sinnvoll, die einen zeitlichen Ausgleich im Bereich einiger Tage ermöglichen.

Saisonale Speicherkonzepte sind heute allenfalls im Bereich von Großspeichern in solaren Nahwärmenetzen sichtbar; technische Lösungsansätze für ausreichend kostengünstige Langzeitspeicher für Einzelgebäude sind aus heutiger Perspektive nicht erkennbar.

Forschungsfelder

Aus den oben genannten Anforderungen ergeben sich unterschiedliche Forschungsfelder, die von der Materialentwicklung bis zur Qualitätssicherung im Betrieb von Gebäuden reichen. Elemente, die aus heutiger Sicht eine zentrale

Rolle spielen, sind – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – die Folgenden:

Baumaterialien, Baustoffe, Bausysteme

Zukünftige Baumaterialien und Bausysteme gehen in Richtung Multifunktionalität, übernehmen also neben den grundsätzlichen Funktionen wie Wetterschutz und Wärmeschutz weitere Funktionen:

- Adaptive Fassaden zur gezielten Steuerung der Energieflüsse (Tageslicht, Sonnenschutz)
- Gebäudeintegrierte Wärmespeicher auf Basis von Latentwärmespeichermaterialien oder anderer Systeme mit hoher Energiedichte
- Neue, hochaktive und schaltbare Dämmsysteme, z. B. auf Basis von Vakuumdämntechnik
- Konzepte zur Sanierung ohne wesentlichen Eingriff in die Gebäudestruktur („minimal invasive Sanierung“)

Haustechnik-Komponenten

Die nächste Generation haustechnischer Geräte löst heute gängige Verfahren der Wärme- und Kältebereitstellung ab und zeichnet sich durch eine insgesamt hohe Umwandlungseffizienz und/oder die wachsende Nutzung von Biomasse aus. Eine zentrale Rolle spielen Energiespeicher.

- Neue Wärmepumpensysteme unter Einbeziehung unterschiedlicher Niedertemperaturquellen, insbesondere Abluft, Solarenergie und Erdwärme
- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen auf Basis von Biomasse in unterschiedlichen Leistungsgrößen
- Thermisch angetriebene Wärmepumpen und Kälteverfahren
- Angepasste Lüftungstechnik für die energetische Sanierung
- Wärmespeichertechniken
- Stromspeichertechniken
- Angepasste und optimierte Hydraulik als Voraussetzung für Low-Ex-Systeme

Solartechnik

Generell wird es eine Diversifizierung im Bereich der Solartechnik geben, sowohl hinsichtlich der baulichen Integration als auch der Nutzungsanforderungen (Wärmequelle für Wärmepumpe, Heizen, Brauchwasser, Kühlung, Prozesswärme usw.):

- Baulich und architektonisch integrierte Lösungen für Solarkomponenten (Solar-dächer und Solarfassaden mit Solarthermie oder Photovoltaik).
- Schlüssige Kombinationslösungen von Solarthermie mit Wärmepumpen
- Systeme zur solaren Bereitstellung von Strom und Wärme in einem System (sogenannte PV-T-Kollektoren)

Planung und Gebäudebetrieb

Das Energie-Einsparpotenzial im Bereich der Betriebsführung von Gebäuden liegt bei bis zu 30 % bezogen auf den heutigen Verbrauch. Die Implementierung adäquater Betriebsführungskonzepte sind gering investive Maßnahmen. Sie müssen bereits in der Planung berücksichtigt werden und erfordern ein Zusammenspiel von Technik, Nutzung und Gebäudeleittechnik:

- Standardisierte und automatisierte Systeme zur Analyse des Betriebes und Identifikation von Fehlern
- Kostengünstige Messwerterfassungssysteme

Urbane Infrastruktur

Da Gebäude in aller Regel nicht autark betrieben werden, sondern zumindest über das Stromnetz in eine übergeordnete Netzstruktur eingebunden sind, spielen Infrastruktur und Kommunikationstechnik eine zentrale Rolle. Strategien und Konzepte für die Systemsteuerung in dezentral organisierten Netzen, zum Beispiel die Anbindung der Gebäudeautomation an Netzsteuerungsmechanismen wie dem Emissionshandel bieten in Zukunft mehr Freiheitsgrade für die Energieerzeugung. Mit neuen Informations- und Kommunikationstechnologien wie z. B. dem Smart Metering wird Demand Side Management bis auf die Ebene des Gebäudes möglich. Technologisch spielt hier vor allem die Nutzung des Gebäudes als sensibler Energiespeicher eine wichtige Rolle. Daneben spielen auch technische Entwicklungen auf der Seite der Netze eine Rolle.

Bei den Gasnetzen ist eine zunehmende Einspeisung von Biogas erforderlich, im Bereich der Wärme- und Kältenetze können neuartige Wärmeträger, die Phasenwechselmaterialien enthalten, die Kapazität der Netze und die Möglichkeit der Speicherung entscheidend verbessern.

Fazit

So wie unser Energiesystem insgesamt vor einer massiven technischen Transformation steht, wird sich auch der Gebäudesektor fundamental verändern. Dabei steht neben einer drastischen Reduktion des Energieverbrauchs insbesondere im Gebäudebestand von Beginn an die Erzielung eines möglichst hohen Anteils vor Ort nutzbarer erneuerbarer Energien zur Deckung des verbleibenden Energiebedarfs im Fokus. Nur so kann perspektivisch der Bedarf an zeitlich begrenzt zur Verfügung stehenden Energieträgern zum Betrieb von Gebäuden ausreichend reduziert werden. Für Deutschland führt dies neben den umweltbezogenen Effekten zu einer signifikanten Reduktion der Abhängigkeit von internationalen Energiemärkten und bietet erhebliche Chancen zur Erschließung von Exportmärkten für die neu entwickelten Techniken und Konzepte.

Literatur

- [1] Energy efficient office buildings with passive cooling – Results and experiences from a research and demonstration programme, Karsten Voss, Sebastian Herkel, Jens Pfafferott, Günter Löhnert, Andreas Wagner; Solar Energy Volume 81, Issue 3, March 2007, Pages 424-434

Der Schlüssel für mehr Energieeffizienz in Deutschland: neue Technologien für energieoptimierte Gebäude

Dr. Knut Kübler
 BMWi
 Referatsleiter Energie -
 forschung des BMWi
 knut.kuebler@
 bmwi.bund.de

Energiepolitische Vorgaben

Im Koalitionsvertrag vom 11.11.2005 hat die Bundesregierung für die laufende Legislaturperiode die Vorlage eines energiepolitischen Gesamtkonzepts angekündigt. Das Ziel der großen Koalition war und ist, zu einem Kompromiss der verschiedenen Vorstellungen über die Energieerzeugung zu kommen und damit zu einer Art „Energiefrieden“ wie es die Schweizer nennen. Ein Kompromiss, der den Weg zu einer nachhaltigen Energieversorgung in Deutschland öffnet. Wie zu einem Frieden auch ein Friedensvertrag gehört, so gehört zum Befrieden unterschiedlicher politischer Vorstellungen ein Energieprogramm, das Wirtschaft und Verbraucher als verlässliche Grundlage für ihre Planungs- und Investitionsentscheidungen akzeptieren.

Die großen politischen Erwartungen auf einen Energiefrieden sind die Folge der Energiepolitik der letzten 34 Jahre. In dieser Zeit sind drei Phasen zu unterscheiden (*Abbildung 1*):

Phase I: Sie begann mit der Vorlage des Energieprogramms der Bundesregierung vom

September 1973 das in drei verschiedenen Fortschreibungen bis 1981 gültig war. Die erste Fortschreibung aus Anlass der ersten Ölpreiskrise, mit der zweiten Fortschreibung wollte man mehr Klarheit schaffen über den Ausbau der Kernenergie in Deutschland und die dritte Fortschreibung war ein Reflex auf den Sturz des Schahs, der zur zweiten Ölpreiskrise führte. Diese erste Phase war eine Programmphase.

Phase II: Dann begann eine lange Zeit programmloser Politik. Die Bundesregierung konnte sich in dieser Zeit nicht auf ein Energieprogramm verständigen, d. h. aber nicht, dass es in dieser Zeit keine Energiepolitik stattgefunden hat. Im Gegenteil, in diese Phase fiel Tschernobyl und die erste und zweite Enquete-Kommission zum Klimaschutz.¹ Allerdings waren die politischen Konstellationen in allen diesen Jahren stets so, dass es nicht möglich war, ein geschlossenes Energieprogramm vorzulegen. Die Bundesregierung wählte daher andere Formen der Präsentation ihrer Energiepolitik: Berichte (1988), Konzepte (1991) und Broschüren (2001).

Phase III: Seit dem 5. Dezember 2007 gibt es das integrierte Energie- und Klimaprogramm (IEKP) und damit die Rückkehr zur Programmpolitik. Allerdings in einer etwas anderen Form, was Auswirkungen auf die Forschungs- und Entwicklungspolitik hat: Die Energieprogramme der 70er und 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts waren Rahmenprogramme, die sich mit Aussagen zum zukünftigen Energiemix zurückhielten und ansonsten auch viel Flexibilität zuließen. Die staatlichen Interventionen waren begrenzt und konzentrierten sich vor allem auf

Abbildung 1
 Die drei Phasen der programmatischen Energiepolitik

Quelle: BMWi

Meilensteine der Energiepolitik der Bundesregierung	
Phase I	Sept. 1973 Energieprogramm
	Nov. 1974 Erste Fortschreibung
	Dez. 1977 Zweite Fortschreibung
	Nov. 1981 Dritte Fortschreibung
Phase II	Sept. 1986 Energiebericht
	Dez. 1991 Energiepolitisches Gesamtkonzept
	Okt. 2001 Nachhaltige Energiepolitik
Phase III	Dez. 2007 Integriertes Energie- und Klimaprogramm

¹ 1990 wurde auf Anregung von Bundespräsident Weizsäcker der Forschungsverbund Sonnenenergie (FVS) gegründet, der nun in FVEE umbenannt wurde.

Auswahl energiepolitischer Ziele der Bundesregierung für 2020		
Beitrag der Erneuerbaren zum Endenergieverbrauch:	18%	(2007: 8,6%)
Beitrag der Erneuerbaren zur Stromerzeugung:	25–30%	(2007: 14,7%)
Beitrag der Erneuerbaren zur Wärmeerzeugung:	14%	(2007: 6,6%)
Beitrag der KWK zur Stromerzeugung:	25%	(2007: 12,0%)
Energieeffizienz:	Verdoppelung Energieproduktivität gegenüber 1990	

Abbildung 2
Auswahl energiepolitischer Ziele der Bundesregierung bis 2020

Quelle: BMWi

die Unterstützung der heimischen Steinkohle und später auf die politische Flankierung der Kernenergie.

Das Energieprogramm der Koalition im Jahr 2007 zeichnet sich demgegenüber durch eine Vielzahl von quantitativen Zielsetzungen aus, die den Energiemix im Jahr 2020 mehr oder weniger festlegen. Konsequenterweise enthielt dieses Energieprogramm eine Vielzahl von Maßnahmen, wie man diese verschiedenen Ziele erreichen will. Wenn man diese beiden Programmarten miteinander vergleicht, zeigt sich, dass die Rahmenprogramme einem Aktionsprogramm gegenüberstehen. Diese Veränderungen des „Politikstils“ haben vielfältige Implikationen. Hier möchte ich nur auf die Anpassungen in der Energieforschungspolitik hinweisen. Sie steht heute sehr viel stärker als früher im Dienst der Energiepolitik und muss einen konkreten Beitrag zur Erfüllung vieler politischer Vorgaben leisten. Konsequenterweise verändert sich damit die Energieforschungspolitik. Der Trend geht hin zu einem gezielten Ausbau der Projektförderung, einer stärkeren Unterstützung von marktnaher Forschung und Entwicklung, einer wachsenden Bedeutung von Demonstrationsvorhaben sowie einer immer enger werdenden Kopplung von Forschungsförderung und Markteinführungsprogrammen.

Energieeffizienz und Energieeinsparung

Die Energieforschungspolitik ist aufgefordert, einen ganz konkreten Beitrag zu leisten, damit die Vielzahl der energiepolitischen Ziele bis 2020 erreicht werden (*Abbildung 2*) und weil Forschung bestimmte Weichen stellt, die über 2020 hinaus wirken. Als Beispiel soll ein Ziel herausgegriffen werden, das für die Gesamtkonstruktion der Politik von großer Bedeutung ist: Es ist das Ziel der Verbesserung der Energieeffizienz.

Die Bundesregierung strebt an, den **spezifischen Primärenergieverbrauch**, das ist der Primärenergieverbrauch, der nötig ist, um eine Einheit Sozialprodukt zu erzeugen, bis 2020 gegenüber dem Niveau von 1990 zu halbieren. Betrachtet man die bisher erzielten Fortschritte von 1990 bis 2006, so ergibt sich daraus, dass der spezifische Primärenergieverbrauch in der jetzt noch verbleibenden Zeit von 2006 bis 2020 jährlich um 3 % abgesenkt werden müsste (*Abbildung 3*). Andernfalls wird das Energieeinsparziel der Bundesregierung verfehlt.

Gleichzeitig strebt die Bundesregierung einen Zuwachs des realen BIP von heute bis zum Jahr 2020 von etwa 1,7 % pro Jahr an. Das ist ein

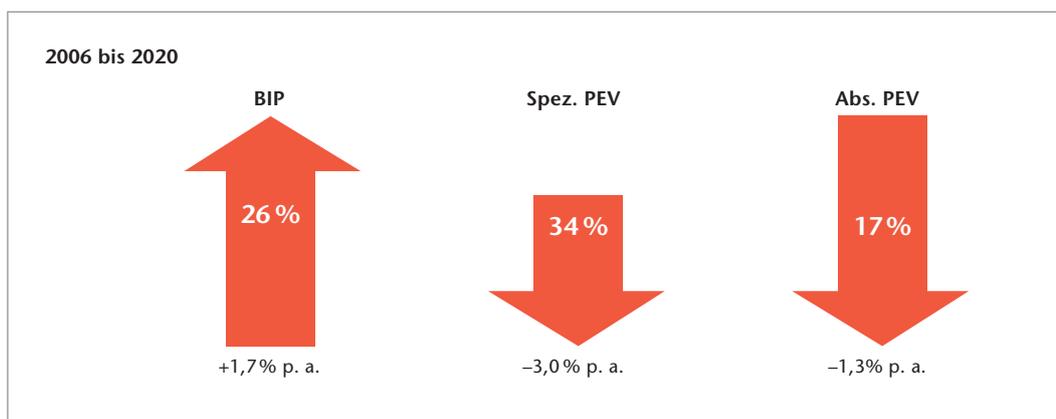
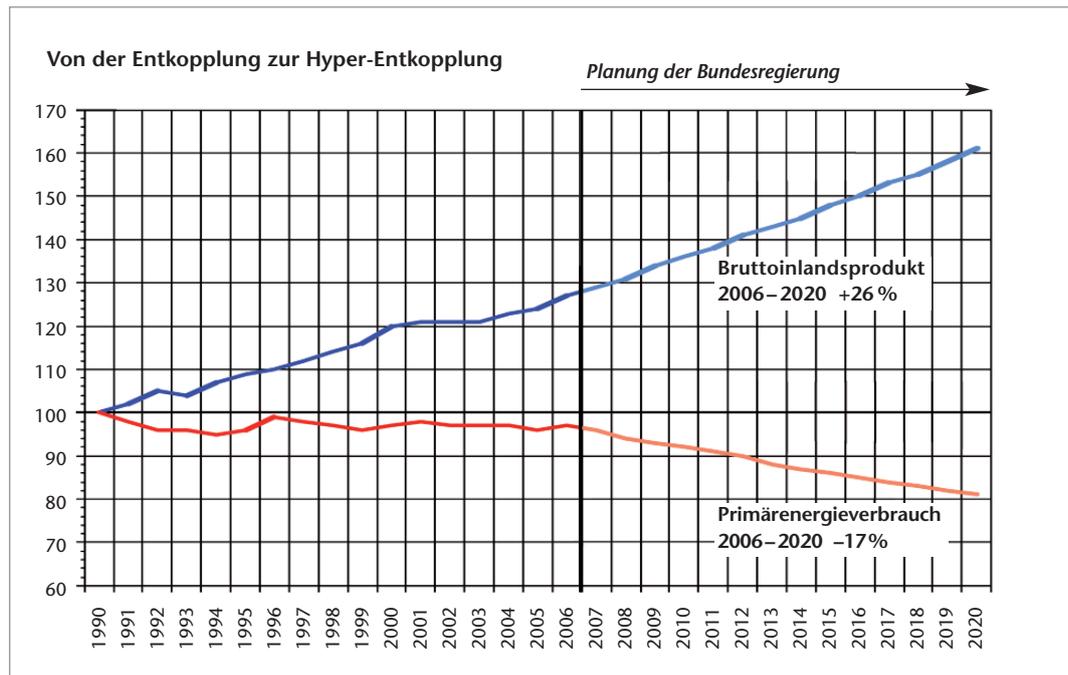


Abbildung 3
Ziele für das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und den Primärenergieverbrauch (PEV) 2006–2020

Quelle: BMWi

Abbildung 4
Von der Entkopplung
zur Hyper-Entkopplung
des Energieverbrauchs
vom BIP



politisches Ziel, das für die Entwicklung des Arbeitsmarktes in Deutschland von größter Bedeutung ist, denn dieser Zuwachs bietet die rechnerische Voraussetzung, damit der Abbau der Arbeitslosigkeit weitergehen kann. Denn die automatisch eingebaute Verbesserung der Energieproduktivität muss das Wachstum übertreffen, wenn es gelingen soll, die Arbeitslosigkeit dauerhaft zu begrenzen oder abzubauen.

Für das weitere Verständnis ist nun entscheidend, dass es für die Vorgabe des BIP und die Vorgabe des spezifischen Primärenergieverbrauchs rechnerisch eine Obergrenze für den zukünftigen Primärenergieverbrauch gibt. Der Primärenergieverbrauch in Deutschland soll bis 2020 einen Wert von rund 12.000 Petajoule nicht überschreiten. Politisch bemerkenswert ist, dass diese Aussage unter keinen Vorbehalt gestellt wurde. Das heißt, das Verbrauchslimit von 12.000 Petajoule im Jahr 2020 gilt unabhängig davon, ob der Ölpreis hoch oder niedrig ist, ob der Strukturwandel beschleunigt oder verlangsamt wird, ob die internationale Staatengemeinde bei dieser Energieeinsparpolitik mitmacht oder sie sich anderen Zielen zuwendet.

Die Bundesregierung strebt also von 2006 bis 2020 einen Zuwachs des Bruttosozialprodukts um absolut 26 % an und eine Verminderung des

Primärenergieverbrauches um absolut 17 %.

Wie ist diese Vorgabe zu bewerten? Dazu eine Antwort aus historischer Perspektive:

In *Abbildung 4* ist die Entwicklung des BIP gegen die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs aufgetragen. Noch in den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts herrschte die Meinung vor, dass es zwischen BIP und dem Energieverbrauch eine enge Kopplung gäbe. Jeder Zuwachs des BIP müsste mit einem gleichgroßen Zuwachs des Energieverbrauchs erkauft werden.

Nach den beiden Ölpreiskrisen sprach man dann von Entkopplung und bezeichnete damit einen Entwicklungsprozess, in dem der Zuwachs des BIP stets höher ausfällt als der Zuwachs des Energieverbrauchs.

Was die Politik bis 2020 plant und was man früher kaum für möglich hielt, ist eine so genannte Hyperentkopplung. Man möchte, dass das BIP kräftig steigt und gleichzeitig der Energieverbrauch kräftig sinkt. Die zentrale Frage dabei ist: Wie kann man diese Absenkung des spezifischen Primärenergieverbrauchs in Deutschland um 17 % in den noch verbleibenden 12 Jahren schaffen?

Einsparpotenziale – wie sie verteilt sind und wie sie erschlossen werden können

Zum Thema Energieeffizienz gibt es viele Studien. Um die Ergebnisse dieser Studien zu verdeutlichen, wurde das „Klimaschach“ entwickelt, das die energiewirtschaftlichen Konsequenzen der Klimaschutzpolitik aufzeigt: Grundlage ist ein Tableau, das die sechs Primärenergieträger Braunkohle, Steinkohle, Mineralöle, Erdgas, Kernenergie und erneuerbare Energien unterscheidet. In *Abbildung 5* ist dies für das Jahr 2006 dargestellt.

Die Abbildung zeigt, dass zwischen diesen Feldern interaktive Beziehungen bestehen. In dem Tableau befinden sich die spezifischen CO₂-Emissionsfaktoren, die naturgesetzmäßig mehr oder minder gegeben sind – hier grob gerundet. Wenn der spezifische Primärenergieverbrauch für Braunkohle festgelegt ist, ergeben sich über den CO₂-Faktor automatisch die CO₂-Emission. Wie auch umgekehrt, wenn eine bestimmte CO₂-Emissionsmenge festgelegt ist, wie z. B. für Öl, dann ergibt sich automatisch

der dahinter liegende Einsatz des Energieträgers Öl. Als Einheit werden Steinkohleeinheiten (SKE) gewählt, weil sie anschaulicher sind.

Die Regeln beim Klimaschach sehen vor, dass man die politischen Vorgaben für das Jahr 2020 Schritt für Schritt auf ein, zunächst bis auf die Emissionsfaktoren, leeres Tableau überträgt und die verbleibenden Felder mit plausiblen Schätzungen belegt. Ist das Tableau dann vollständig ausgefüllt, kann man die energiewirtschaftlichen Konsequenzen ablesen und sich über die richtigen Ansatzpunkte und Dimensionierung der notwendigen politischen Maßnahmen klar werden.

Für die „Mesebergpartie“ als aktueller Form des Klimaschachs nach den Beschlüssen der Kabinettsklausur, die dort am 24.08.2007 gefasst wurden, werden die Werte für das Jahr 2020 eingetragen (*Abbildung 6*): Der absolute Primärenergieverbrauch soll 17 % weniger als heute betragen. Daher tragen wir als Summe 412 Mio. Tonnen SKE ein. Als plausible Setzung für den nichtenergetischen Verbrauch für 2020 verwenden wir den Wert von 2006, also 35 Mio. Tonnen SKE.

Klimaschach – Ausgangslage 2006			
	jährliche Verbrauchsmenge Mio. t SKE	gesetzter CO ₂ -Faktor t CO ₂ /t SKE	CO ₂ -Emission Mio. t CO ₂
Braunkohle	54	3,2	172
Steinkohle	66	2,5	164
Öl	142	2,0	284
Erdgas	112	1,6	179
Kernenergie	62	0	0
Erneuerbare	27	0	0
NEV	35	0	0
Summe	497		799

Abbildung 5
Klimaschach – Ausgangslage 2006
NEV: nichtenergetischer Verbrauch

Quelle: BMWi

Klimaschach – Mesebergpartie 2020			
	Mio t SKE	t CO ₂ /t SKE	Mio t CO ₂
Braunkohle	54	3,2	172
Steinkohle	66	2,5	164
Öl	?	2,0	?
Erdgas	?	1,6	?
Kernenergie	0	0	0
Erneuerbare	82	0	0
NEV	35	0	0
Summe	412		662

Ergebnis: Verbrauchssenkung von Öl und Erdgas 2006/2020: -20%

Abbildung 6
Klimaschach – Mesebergpartie 2020: Ergebnisse und Ziele für 2020 entsprechend der Mesebergbeschlüsse

Quelle: BMWi

Die erneuerbaren Energien sollen nach den Zielen der Bundesregierung 20 % des Primärenergieverbrauchs ausmachen, also 82 von insgesamt 412 Mio. Tonnen SKE. Bei der Kernenergie steht nach den offiziellen Vorgaben eine Null.

Die Summe der CO₂-Emissionen soll um 30 % vermindert werden. Schließlich gibt es noch aus systematischen Gründen eine Position „nicht-energetischer Verbrauch“ (NEV), die ausgewiesen werden muss, um in der Spaltensumme den Primärenergieverbrauch anzugeben.

Stein- und Braunkohle sind mit den Werten von 2006 besetzt, weil sich die Bundesregierung wiederholt für Kohle ausgesprochen hat. Dafür kommen 54 Mio. Tonnen Braunkohle und 66 Mio. Tonnen Steinkohle in Frage.

Nun sind alle Felder besetzt mit Ausnahme von Öl und Gas. Jetzt wird der mathematisch Kundige die Lösung schnell erraten, denn wir haben ein System mit zwei Gleichungen und zwei Unbekannten, das man lösen kann. Die Lösung ist: Der Verbrauch von Öl und Gas muss von 2006 bis 2020 um 30 % vermindert werden. Wobei die Aufteilung, welchen Beitrag Öl und welchen Beitrag Gas leisten muss, von der Emissionsrestriktion vorgegeben wird.

Aus dem Klimaschachspiel kann man also viel lernen. Man lernt zum Beispiel, dass man bei der gegenwärtigen Politik mit den fossilen Energieträgern „Energietango“ tanzen muss. Wenn ein Energieträger einen Schritt vor macht, muss der andere automatisch einen Schritt zurück machen. Wenn wir mehr Stein- und Braunkohle einsetzen, müssen wir zwangsläufig beim Öl- und Gasverbrauch einen Schritt zurück machen. Und wenn wir mehr Öl und Gas einsetzen wollen, dann müssen wir zwangsläufig beim Steinkohleeinsatz zurück. Das ist logisch. Wer Klimaschach spielt, lernt, dass man es bei einer Vielzahl von unterschiedlichen Zielen mit einem mächtigen Gegner zu tun bekommt: der Mathematik.

Gewinn der Mesebergpartie im Gebäudebereich

Aus der Mesebergpartie ergibt sich die Frage: Wie kommt man zu einer Reduktion von 30 % Ölverbrauch und Gas? Zur Beantwortung der Frage muss man Schwerpunkte setzen: Öl wird

im Wärmemarkt und im Verkehr eingesetzt. Die Einsparungen im Verkehrsbereich sind kurzfristig wohl nur begrenzt möglich und politisch nur schwer zu realisieren, sodass der Blick auf den Gebäudebereich fällt. Man muss vor allem Öl im Gebäudebereich einsparen.

Gas wird im Wärmemarkt und bei der Stromerzeugung eingesetzt. Die Einsparung von Gas bei der Verstromung ist kompliziert, weil die Ziele zum Wirtschaftswachstum in der Regel mehr Strom implizieren. Außerdem steigt die Bundesrepublik aus der Kernenergie aus. Dann muss man also Gas im Wärmemarkt oder im Gebäudebereich einsparen. Die Grafik in *Abbildung 7* zeigt, wo Wärme verbraucht wird – das ist der Gebäudebereich mit ca. 64 %.

Insgesamt wird eins deutlich: **Die Meseberg-Ziele zur Energieeffizienz werden im Gebäudebereich oder im Raumwärmebereich erreicht oder verloren.** Diese Quintessenz ergibt sich eindeutig aus dem Klimaschach. Sie ist ein zentraler Orientierungspunkt für die Politik zur Förderung des energieoptimierten Bauens. Die Forschungs- und Entwicklungsförderung muss einen wesentlichen Beitrag leisten, diese Ziele rasch zu erreichen.

Forschung und Entwicklung – Förderung des BMWi des energieoptimierten Bauens

Das Forschungsprogramm des Bundeswirtschaftsministeriums (BMWi) wurde nach den Beschlüssen in Meseberg neu strukturiert und zum Technologieprogramm „Klimaschutz und Energieeffizienz“ mit verschiedenen Schwerpunkten zusammengefasst. Die Schwerpunkte sind in *Abbildung 8* dargestellt, wobei das energieoptimierte Bauen im Mittelpunkt steht. Drum herum gruppieren sich diese Forschungs- und Entwicklungsprogramme:

- **Kraftwerkstechnologien**, um die Industrie mit modernsten und effizientesten Kraftwerkstechnologien auszustatten, einschließlich der Option CO₂-Abtrennung
- **Kraft-Wärme-Kopplung und Fernwärme**
- **Brennstoffzelle/Wasserstoff**, als eine höchsteffiziente Form der dezentralen Wärmeerzeugung

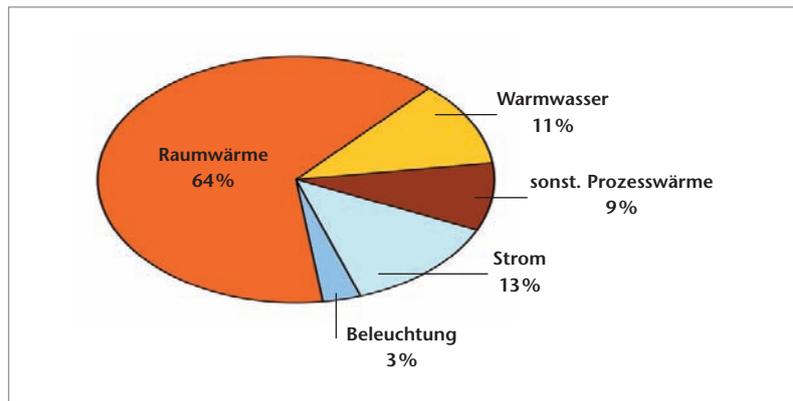


Abbildung 7
Endenergieverbrauch
im Gebäudesektor

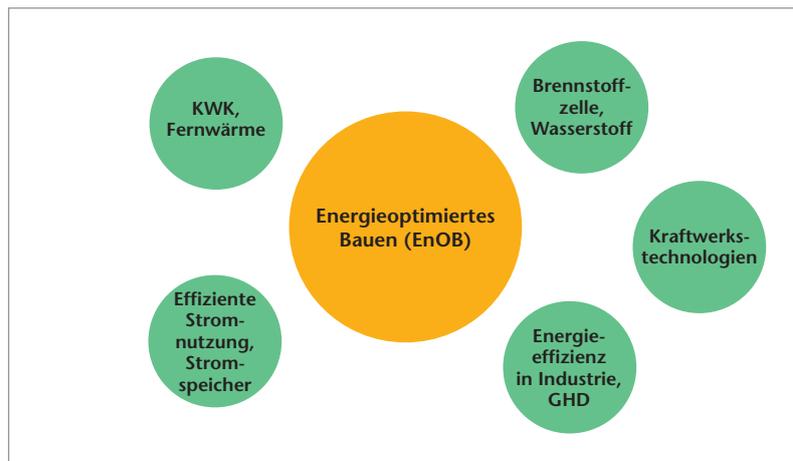


Abbildung 8
Technologieprogramm
„Klimaschutz und
Energieeffizienz“

Quelle: BMWi

- **effizienter Stromnutzung**
- **Stromspeicherung**
- für mehr **Energieeffizienz** in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
- **energieoptimiertes Bauen**

Der Bereich „**Energieoptimiertes Bauen**“ wurde in den Mittelpunkt gestellt, weil es nicht nur um die Verbesserung der Wärmestandards geht, sondern weil man versuchen muss, das Gesamtsystem zu optimieren. Wir können KWK und Fernwärme im Kontext zum energieoptimierten Bauen fördern oder auch das System Brennstoffzelle/Wasserstoff im Kontext zum energieoptimierten Bauen. Denn gerade die Synergieeffekte sollen verstärkt genutzt werden. Diese Vernetzung und Systemoptimierung ist nur möglich, wenn man die Förderpolitik für alle diese Technologien in einer Hand hat. Hier liegt auch eine tiefere Begründung, warum die Zuständigkeit für Forschung und Entwicklung im Bereich des energieeffizienten Bauens im BMWi gut aufgehoben ist.

Das Förderkonzept „Energieoptimiertes Bauen“ (EnOB) ist in zwei Abteilungen unterteilt, und zwar in Forschung und Entwicklung und in Demonstrationen. Der Bereich F&E ist nach thematischen Verbänden weiter untergliedert. Hier gibt es die Unterbereiche LowEx: Niedrig-Energie-Technologien, VIBau: Vakuumisolationstechnologien und EnBo: Energetische Betriebsoptimierung. Der Demonstrationsbereich ist themenbezogen auf Alt- und Neubauten untergliedert (Abbildung 9). Schließlich gibt es noch EnOB: Monitor, ein Programm, das die umfangreichen Arbeiten zur Begleitforschung fördert. Für das Technologieprogramm „Klimaschutz und Energieeffizienz“ des BMWi stehen 150 Mio. Euro im Jahr 2009 zur Verfügung.

Die jährlichen Fördermittel für energieoptimiertes Bauen im BMWi betragen rund 20 Millionen Euro (Abbildung 10). Damit ist dieses Programm das größte Förderprogramm der Bundesregierung für dieses Thema.

Abbildung 9
Förderkonzept:
Energieoptimiertes
Bauen (EnOB)

Quelle: BMWi

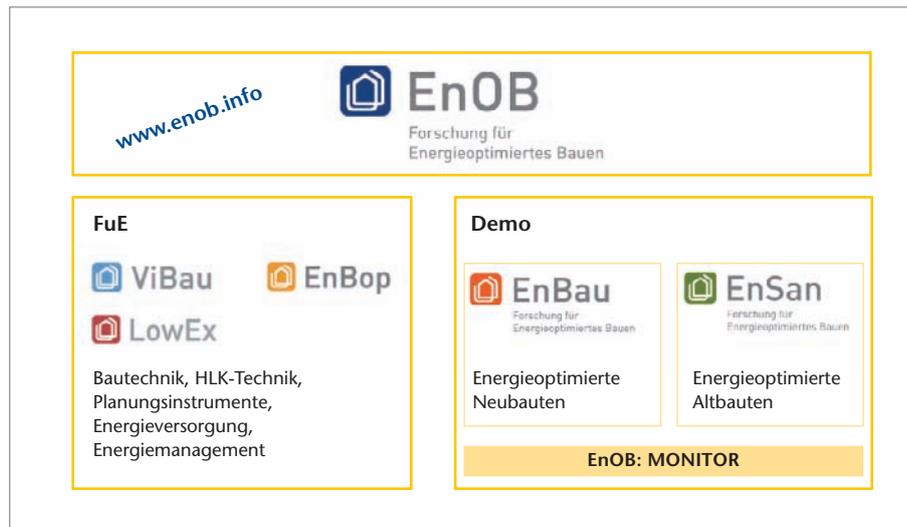
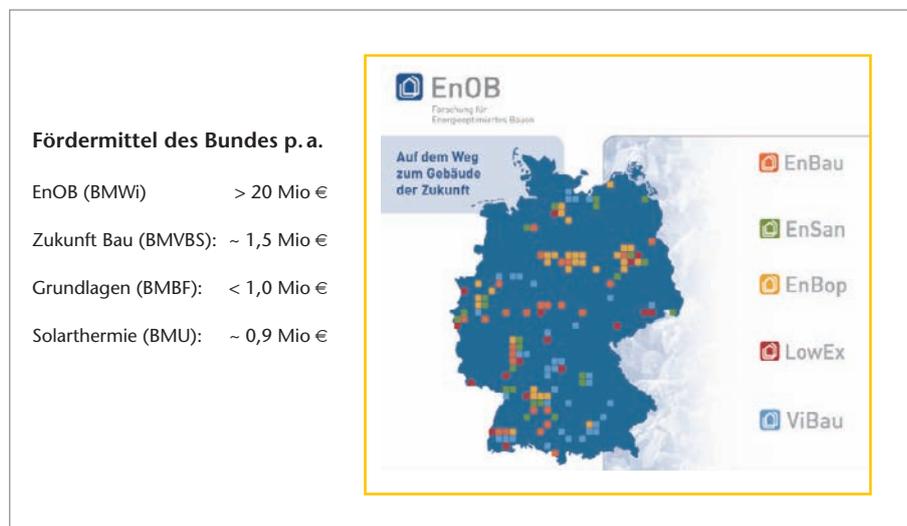


Abbildung 10
Projektförderung durch
das EnOB-Programm

Quelle: BMWi



Wir fördern Projekte im gesamten Bundesgebiet. Ein Blick auf die Landkarte belegt, dass wir mit unseren verschiedenen Förderbereichen EnBau, EnSan usw. in allen Regionen und Ländern gut vertreten sind.

Mit diesen speziellen Förderprogrammen entstehen sehr gute Synergieeffekte, wie zum Beispiel zwischen Umweltministerium und Wirtschaftsministerium.

Einzeltechnologien sind beispielsweise:

- Phase Change Materials (PCM)
- Vakuumisulationspanele (VIP) einschließlich Vakuumisulationsglas
- thermoaktive Bauteilsysteme

Besonders wichtig ist es, die Technologien in ihrem Systemzusammenhang zu sehen. Die

Einzeltechnologien müssen in einem vernünftigen Systemverbund zum Zuge kommen. Dies soll in besonderen „Leuchtturmprojekten“ demonstriert werden, wie z. B. bei einem energieeffizienten Museum oder einer energieeffizienten Schule (Abbildung 11). Hier arbeitet das BMWi sehr intensiv mit dem Fraunhofer IBP zusammen. Dabei wurden die so genannten „Stuttgarter Leitlinien für die energieeffiziente Schulsanierung“ verfasst (2005).

Ein weiterer Schritt ist ein energieeffizienter Stadtteil oder die energieeffiziente Stadt.

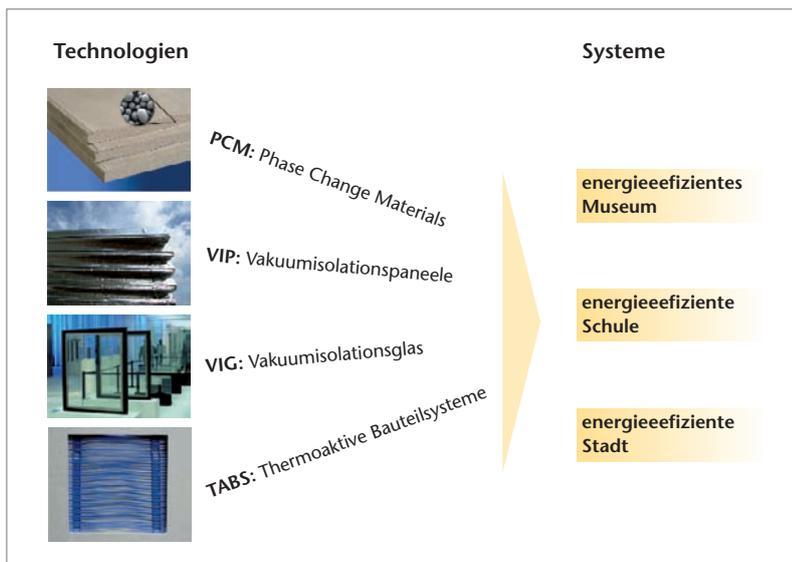


Abbildung 11
Das Förderkonzept des
EnOB-Programms

Quelle: BMWi

BMWi-Förderpolitik und Ausblick

Für die zukünftige BMWi-Förderpolitik sind vier Punkte hervorzuheben:

1. Das energieeffiziente und solare Bauen braucht weitere Fortschritte bei der Funktionsstabilität von Einzeltechnologien und eine deutliche Kostenreduktion. Die Techniken müssen bezahlbar sein und sie müssen in den Markt gebracht werden.
2. Der eingeschlagene Weg soll Schritt für Schritt weitergegangen werden – von der Betrachtung von Einzeltechnologien über Systemlösungen bis hin zu einer Gesamtoptimierung. Es wird eine Optimierung gebraucht, die das Gesamtsystem betrachtet. Das Gesamtsystem – von der Wärmebereitstellung, Lüftung, Kühlung und bis zur Beleuchtung – muss in einem Blickfeld sein und dabei die Nutzung der Möglichkeiten der Solarenergie von Anfang an mit einbeziehen.
3. Von immer größerer Bedeutung ist die Praxistauglichkeit der neuen Technologien. Deswegen sollen auch Bauvorhaben gefördert werden, die den Demonstrationscharakter und die Sichtbarkeit besonders hervorheben. Beispiele sind in *Abbildung 11* dargestellt. Für die Zukunft denken wir an Projekte wie das energieeffiziente Hotel oder die energieeffiziente Sportstätte.
4. Die heutige Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich des energieeffizienten Bauens ist vorwiegend national ausgerichtet. Das ist zwar die Vorgabe des 5. Energieforschungsprogramms und sie hat auch eine gewisse Berechtigung, aber hier plant das BMWi eine neue Ausrichtung: Bei der Fortschreibung des nächsten Energieforschungsprogramms soll die Technologieförderung geöffnet werden, um Architekten, Planern, Anlagen- und Komponentenherstellung in Deutschland besseren Zugang zu den Weltmärkten zu geben. Es sollen die Chancen genutzt werden, die sich daraus ergeben, dass sowohl Forschung und Entwicklung beim Bauen als auch die Energieeffizienz-Exportinitiative beim BMWi in einer Hand liegen.

Lassen Sie mich bitte mit einem Appell an die Energieforscher schließen: Nutzen Sie die Fördermöglichkeiten des BMWi, suchen Sie sich Partner in der Wirtschaft und greifen Sie vor allem neue Forschungsthemen auf. Dies ist gut für die Wissenschaft, gut für die Wirtschaft und gut für den Standort Deutschland. Oder um es mal in der bildlichen Sprache von Nietzsche zu sagen: „Im Gebirge der Forschung kletterst du nie umsonst. Entweder kommst du heute schon weiter hinauf, oder du übst deine Kräfte, um morgen noch höher zu steigen.“

Europäische Politik – Ziele, Programme und Förderungen

Gerhard Rabensteiner
Präsident der European
Solar Thermal Industry
Federation (ESTIF)
KIOTO Clear Energy AG
gerhard.rabensteiner@
kioto.at

Dr. Harald Drück
Universität Stuttgart
Institut für
Therodynamik und
Wärmetechnik (ITW)
drueck@itw.uni-stuttgart.de

Auch die europäische Bevölkerung wurde besonders in den letzten beiden Jahren von den Auswirkungen des enormen Ölpreisanstiegs getroffen. Der Preis eines Barrels erhöhte sich innerhalb kurzer Zeit von 60 USD auf mehr als 140 USD, wobei beinahe täglich (spekulative) Preisänderungen in bisher unbekanntem Ausmaß stattfanden. Gemildert wurde dies lediglich durch die gleichzeitig stattfindende Abwertung des Dollars. Einkommensschwache Bevölkerungsschichten wurden von diesem inflationstreibenden Anstieg besonders stark getroffen, weil der Anteil der Heizkosten überproportional anstiegen.

Zusätzlich droht Europa bei gleich bleibender Steigerung sowohl des Energieverbrauchs, als auch der Nutzung der diversen Primärenergiequellen eine weitere Erhöhung seiner Abhängigkeit von Energieimporten von derzeit 50 % auf 70 % im Jahr 2030. Angesichts dieser Entwicklungen haben die Europäer erkannt, dass sie aus dem „Würgegriff“ der fossilen Energien entkommen müssen, um langfristige wirtschaftliche Stabilität und politische Unabhängigkeit zu schaffen.

Die Devise heißt nun, statt Erdöl aus dem mittleren Osten und Erdgas aus Russland teuer einzukaufen, sollte Europa durch innovative, intelligente Heiz-, Kühl- und Elektrizitätstechnologie unabhängig werden und lokale Arbeitsplätze schaffen. Dies wurde durch den EU-Ratsbeschluss vom März 2007 unterstrichen, in dem nicht zuletzt durch das intensive Bemühen Deutschlands, wegweisende politische Vorgaben beschlossen wurden: 20 % Energieeinsparung, 20 % Anteil der erneuerbare Energien sowie 20 % Reduktion der CO₂-Emissionen und dies alles bis zum Jahr 2020.

Im Januar 2008 hat nun die europäische Kommission ein detailliertes, auf diesen Vorgaben beruhendes, Energie- und Klimapaket

präsentiert. Eine Schlüsselrolle in diesem Paket spielt die geplante Umsetzung einer verbindlichen EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Dabei wurden zum ersten Mal die gesamteuropäischen Ziele für jedes der 27 EU-Mitgliedsländer detailliert erarbeitet und dargestellt.

Dabei fällt zweierlei auf:

1. Es gibt große Unterschiede im bisherigen Ausbau und der Nutzung erneuerbarer Energien – so beträgt deren Anteil im windreichen England derzeit nur 1,3 % vom Endenergieverbrauch, beim Spitzenreiter Schweden immerhin bereits 39,8 %. Selbstverständlich hat der Ausbau der Wasserkraft, wovon Schweden, aber auch Österreich und andere Länder, in dieser Statistik profitieren, bereits früher begonnen, jedoch ist und bleibt es letztendlich eine politische Entscheidung, wie einzelne Länder ihren Energiemix gestalten. Topografische Besonderheiten, bzw. Unterschiede in der regionalen Verfügbarkeit der erneuerbaren Ressourcen Sonne, Wind, Wasser und Biomasse können diese Unterschiede nicht, bzw. nicht ausreichend erklären.
2. Es gibt nach wie vor starke Widerstände in einzelnen Ländern gegen diese verbindlichen Ziele. Noch immer wird nicht erkannt, dass ein nachhaltig stabiles Europa auch auf einer nachhaltig stabilen Energiepolitik beruhen muss. Kurzfristige Lobbyinteressen, insbesondere der energieintensiven Industrie in enger Kooperation mit der traditionell zentralistisch, bzw. oligopolistisch organisierten Energieversorgung, führen dazu, dass erneuerbare Energie mit „teurer Energie“ gleichgesetzt wird und somit reflexartig mit dem Abzug von Arbeitskräften aus Europa in „Billigenergie-länder“ gedroht wird. Vergessen wird dabei jedoch die langfristige Perspektive einer

vermehrt autarken Energieversorgung, welche bereits in absehbarer Zeit „billiger“ sein wird als Öl, Gas oder Atom. Diese Perspektive wird auf dem Altar kurzfristiger Gewinnmaximierung geopfert.

Und genau aus diesem Grund sind unsere vom Volk gewählten politischen Entscheidungsträger gefordert, sich nicht diesem kurzfristigen falschen Diktat zu beugen. Sollten nun auch die USA die Möglichkeiten erneuerbarer Energien stärker als bisher erkennen, dann wäre zum ersten Mal in der Geschichte ein historischer Schulterchluss zwischen Europa und Amerika im weiteren Ausbau regenerativer Energieträger und in der Reduktion der Treibhausgase möglich.

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie befindet sich nun im Co-Decision-Verfahren, in dem das EU-Parlament und auch der EU-Rat eine gemeinsame Version finden müssen. Dabei muss die Richtlinie auch durch die wesentlichen Ausschüsse des EU-Parlaments, wobei insbesondere der Industrie, Forschung und Energie-Ausschuss (ITRE) und auch der Umwelt-Ausschuss (ENVI) von großem Belang sind. Rund 1.700 Änderungsanträge sind allein an diese beiden Ausschüsse weitergeleitet worden. Dadurch verzögerte sich der Fahrplan für die Umsetzung der Richtlinie zwar ein wenig, aber dennoch herrscht Optimismus, dass eine Einigung noch vor den Europawahlen im Juni 2009 stattfinden kann. Die französische Ratspräsidentschaft hat das Klima- und Energiepaket mit hoher Priorität auf ihre Agenda gesetzt und möchte die wesentlichen Diskussionspunkte noch in ihrer Amtsperiode lösen.

Am 11. September hat der ITRE-Ausschuss über die Richtlinie beraten und dabei auch wesentliche Verbesserungen im Vergleich zum Entwurf der EU-Kommission beschlossen:

- Eine Priorität für Erneuerbare beim Zugang ins Stromnetz heißt für die Netzbetreiber, dass sie ihr Netz zur Einspeisung erneuerbaren Stroms zur Verfügung stellen müssen. Dies stellt heute in vielen Fällen noch eine wesentliche Hürde dar.
- Eine Verpflichtung zum Einsatz erneuerbarer Energien für Neu- aber auch Bestandsgebäude (im Zuge wesentlicher Renovierungen).

Dass dies ein ganz wesentlicher Baustein in diesem Klima- und Energiepaket ist, wird von der Tatsache, dass Gebäude für ca. 40 % des gesamten Energieverbrauchs in der EU verantwortlich sind, nachdrücklich unterstrichen (dieser Anteil ist höher als der des Verkehrs oder sogar der der Industrie).

- Die Mitgliedsländer können weiterhin über die für sie passenden Fördersysteme selbst entscheiden. Dies schützt die erprobten und erfolgreichen nationalen Fördersysteme, wie z. B. das EEG in Deutschland.
- Die Anerkennung von länderübergreifenden Zielerfüllungen wird nicht über Zertifikate, sondern nur durch physikalische Energielieferungen sichergestellt.
- Die Einführung von verbindlichen Zwischenzielen mit dementsprechenden Konsequenzen bei Nichterreichen dieser Ziele.

Wenn man sich den Gebäudebereich etwas näher ansieht, dann führen Kalkulationen zur Erkenntnis, dass mehr als die Hälfte des gesamten 20 %-Einsparziels des Energie- und Klimaschutzpakets allein in diesem Bereich erreicht werden kann. Insbesondere die Nutzung der aktiven Solarenergie durch heutige Technologie kann dazu einen enormen Beitrag leisten. Eine Problematik in der Marktdurchdringung der thermischen Solarenergie liegt jedoch in der enorm ungleichen Nutzung dieser Technologie in den verschiedenen Ländern Europas. Während z. B. in Österreich jährlich ca. 25 kW_{th} pro 1.000 Einwohner neu installiert werden, beträgt der vergleichbare Wert in den sonnenreichen Ländern Italien, Frankreich und Spanien jeweils weniger als 5 kW_{th}. Dies ist im Wesentlichen auf unterschiedliche politische Rahmenbedingungen und das damit zusammenhängende Umweltbewusstsein der Bevölkerung zurückzuführen. Die Technologie für ein Nachziehen der europäischen „solaren Entwicklungsländer“ sind längst vorhanden und die Firmen haben ausreichend Kapazitäten aufgebaut, um den europäischen Markt flächendeckend versorgen zu können.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der Förderung der Erreichung der Klima- und Energieziele ist die European Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), welche neben einem Mini-

mum an Energieeffizienzkriterien für neue Gebäude insbesondere auch dem Energieausweis für Gebäude europaweit den Weg ebnen soll. Diese Richtlinie sieht auch vor, dass bei der Berechnung der Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes der positive Beitrag von solarthermischen Anlagen mitberücksichtigt werden muss.

Transparenz und Information des Bürgers ist ein mächtiges Mittel, um Ziele letztendlich erreichen zu können. Ein gutes Beispiel in diesem Zusammenhang ist auch die prominente Auszeichnung des CO₂-Ausstoßes pro Kilometerleistung von Automobilen, welche zunehmend vom Konsumenten wahrgenommen wird und dadurch auch Änderungen im Kaufverhalten bewirkt. Ähnliches ist auch vom Energieausweis zu erwarten, wenn dieser eines Tages europaweit beim Mieter oder Käufer von Gebäuden als relevantes Entscheidungskriterium wahrgenommen wird.

Ein weiterer wesentlicher „Building Block“ europäischer erneuerbarer Energiepolitik ist auch die „Energy using Products Directive“, auch „Ecodesign Directive“ genannt. Sie ermächtigt die Europäische Kommission bestimmte Mindeststandards für energieverbrauchende Produkte zu setzen. So soll zum Beispiel der Standby-Verbrauch von Elektrogeräten massiv eingeschränkt werden. Darunter fallen aber auch geplante Vorschriften für Warmwassergeräte und deren Energy-Labeling. Auch diese Richtlinie könnte somit einen enormen Marktanschub für die Solarwärme und auch andere erneuerbare Energietechnologien bedeuten.

Im Technologiebereich fördert die EU insbesondere mit ihrem Rahmenprogrammen für Forschung und Entwicklung. Derzeit läuft bereits das 7. Forschungsrahmenprogramm der EU, welches den Zeitraum 2007 bis 2013 abdeckt und eine Gesamtdotierung von 50,5 Mrd. € aufweist. Davon wiederum entfallen im Bereich „Kooperation“ 2,4 Mrd. € auf den Teilbereich „Energie“. Solarthermische Aktivitäten beschränken sich 2008 auf das „Concerto“ Programm, welches größere kommunale erneuerbare Energie-, bzw. Energieeffizienz-Projekte umfasst. Im Jahr 2009 wird es wieder einen eigenen Aufruf im 7. Forschungsrahmenprogramm geben mit expliziten Solarthermie-Themen.

Im Nicht-Technologiebereich sticht insbesondere das Programm Intelligent Energy-Europe (IEE) hervor, in dem vor allem markt- und politiknahe Projekte gefördert werden können. Üblicherweise bedarf es bei solchen EU-Projekten mindestens drei voneinander unabhängiger Partner aus unterschiedlichen Mitgliedsländern. Die durchschnittliche Projektlaufzeit beträgt üblicherweise 2–3 Jahre. Als Förderung war bisher maximal 50 % der anerkehbaren Kosten vorgesehen, neuerdings wurde dieser Betrag auf bis zu 75 % erhöht – jeweils auf das gesamte Projekt bezogen.

Die EU muss für die Verwirklichung der 20 % Ziele alle Mitgliedsländer zu gleichen Teilen in die Aktivitäten einzubeziehen – insbesondere die Herausforderungen im Gebäudesektor auf europäischer, nationaler und regionaler Ebene verstärken und effektiv koordinieren. Die FVEE-Jahrestagung leistet dazu in Deutschland, und auch darüber hinaus, einen ganz wesentlichen Beitrag.

■ Revolution in der Bautechnik

- Wärmedämmung
- Neue Verglasungstechniken für Tageslicht und Wärmeschutz
- Wärmespeicher als integrierte und nicht integrierte Bauteile

Wärmedämmung

Dr. Helmut Weinläder
ZAE Bayern
weinlaeder@
zae.uni-wuerzburg.de

Hans Erhorn
Fraunhofer IBP
hans.erhorn@
ibp.fraunhofer.de

Dr. Dietrich Schmidt
Fraunhofer IBP
dietrich.schmidt@
ibp.fraunhofer.de

Werner Platzer
Fraunhofer ISE
werner.platzer@
ise.fraunhofer.de

Dr. Peter Nitz
Fraunhofer ISE
peter.nitz@ise.fraunhofer.de

Einführung

Energieeffizienzmaßnahmen speziell in Wohngebäuden dienen vor allem der Reduzierung der Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle. Neben dem verstärkten Einsatz konventioneller Dämmstoffe können neue Materialien und Komponenten wie evakuierte Dämmsysteme Lösungen anbieten, die insbesondere unter dem Gesichtspunkt des hierfür benötigten Raums effizienter sind und neue technische und gestalterische Möglichkeiten eröffnen. Energieeffiziente Fenster und Verglasungen sowie solare transparente Wärmedämmung¹ nutzen zusätzlich passive solare Gewinne zur Raumheizungsunterstützung.

Konventionelle Dämmstoffe

Der aktuelle Dämmstoffmarkt wird im Wesentlichen von zwei Produktgruppen dominiert:

1. Mineraldämmstoffe (55%)
2. organische Schäume (41%), untergliedert in:
 - EPS-Hartschaumdämmstoffe (30%)
 - Polystyrol-Extruderdämmstoffe XPS (6%)
 - PUR-Hartschaumdämmstoffe (5%) (Stand 2005, [1]).

Andere Dämmstoffe wie Perlite, Schaumglas oder solche aus nachwachsenden Rohstoffen sind mit insgesamt etwa 4% vertreten. Die Wärmeleitfähigkeit ist eine temperaturabhängige Materialkonstante und wird in $W/(m^2K)$ gemessen. Je kleiner dieser Wert ist, umso besser ist die Wärmedämmeigenschaft. Er liegt bei konventionellen Dämmstoffen typischerweise im Bereich 0,035 bis 0,040 $W/(m^2K)$, für PUR-Schäume bei etwa 0,030 $W/(m^2K)$. Ein neu am Markt angebotener Resol-Hartschaum wirbt mit Wärmeleitfähigkeiten von nur 0,022 $W/(m^2K)$.

¹ Transparente Wärmedämmungen werden heute meist als solare Umweltwände bezeichnet.

Wärmetransportmechanismen – Verbesserungs- und Optimierungsansätze

Ganz allgemein ist Wärmetransport die Gesamtheit des durch einen Temperaturgradienten hervorgerufenen Energietransports, welcher auf unterschiedlichen Transportmechanismen beruht. Er setzt sich zusammen aus:

- Wärmetransport durch Luftkonvektion
- Wärmeleitung
- Infrarotstrahlungstransport

Luftkonvektion zu unterdrücken, ist die primäre Aufgabe eines jeden Wärmedämmmaterials. Da ruhende Luft im Vergleich zu Festkörpern eine sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit aufweist, sind Dämmstoffe meist hochporös. Damit sinkt auch die Dichte dieser Dämmmaterialien. Je geringer die Dichte, umso weniger trägt Wärmeleitung über den Festkörperanteil zum Gesamtwärmetransport bei. Da aber mit geringerer Dichte der Wärmetransport über Strahlung zunimmt und generell die mechanische Stabilität abnimmt, sind für eine Gesamtoptimierung der Verringerung des Materialeinsatzes Grenzen gesetzt. Bei den im Bauwesen gegenwärtig eingesetzten konventionellen Dämmstoffen wird der Gesamtwärmetransport dementsprechend durch die Wärmeleitung des Gases in den Hohlräumen dominiert (der Wärmeleitungsanteil durch das Gas ist größer als 60%). Verbesserungen der Dämmeigenschaften setzen insbesondere an einer Verringerung dieser Gaswärmeleitfähigkeit an. Die bessere Dämmeigenschaft von PUR-Schäumen ist so auf andere Gase mit noch geringerer Wärmeleitfähigkeit in den geschlossenen Zellen zurückzuführen. Der für die Praxis anzusetzende Dämmwert berücksichtigt jedoch, dass die Zellen nicht absolut dicht sind und dass dadurch ein Austausch der Zellgase mit der umgebenden Luft stattfindet und zu einer Verschlechterung des Dämmwerts führt. Durch



Abbildung 1
 Sanierung eines
 Reihenmittelhaus in
 München, Architekt:
 F. Lichtblau (2001);
 VIP-Elemente,
 Gesamtdämmstärke
 9 cm, $U = 0,15 \text{ W}/$
 (m^2K)

Quelle: ZAE Bayern

diffusionshindernde Deckschichten kann diese Degradation erheblich verringert werden.

Verbesserungen bei den EPS-Schäumen setzen an dem Infrarotstrahlungstransport an. Aufgrund spezieller Infrarot-Trübungsmittel konnte so die Dämmwirkung verbessert oder bei gleicher Wärmeleitfähigkeit der Materialeinsatz auf die Hälfte reduziert werden.

Nanostrukturierte Materialien

Bei Porengrößen unter 1 Mikrometer wird der Wärmetransport durch Gasmoleküle weniger durch die Anwesenheit anderer Gasmoleküle gebremst, sondern in zunehmendem Maße durch kleinste Poren mit einer Vielzahl von Zellwänden oder anderen Strukturelementen. Bei ausreichend niedriger Gesamtdichte eines Dämmmaterials lässt sich so der „magische“ Schwellwert der Wärmeleitfähigkeit ruhender Luft von ca. $0,026 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für den Gesamtwärmetransport unterschreiten. Die Wärmeleitfähigkeit von Pulverpresslingen aus pyrogener Kieselsäure (Kieselsäure, die in einem Hochtemperaturverfahren hergestellt wurde) oder aus in nasschemischen Verfahren hergestellten Silica-Aerogelen ist mit etwa $0,018 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ nur etwa halb so groß wie die herkömmlicher, mit Luft gefüllter Dämmstoffe. Im Vergleich zu diesen SiO_2 -basierten Materialien würden auf Nanometerskala strukturierte organische Schäume weitere Verbesserungspotenziale bieten.

Vakuumisolationspaneele (VIP)

Vakuumisolationspaneele sind Dämmelemente, welche prinzipiell aus einer Vakuumschicht und einem Füllmaterial bestehen. Während zum Beispiel bei einer Thermoskanne (der bekannten vakuumbasierten hocheffizienten Wärmedämmung) zylindrische Gehäuse in der Lage sind, den äußeren atmosphärischen Belastungsdruck von 1 bar zu tragen (dieser entspricht einer Gewichtslast von $10 \text{ t}/\text{m}^2$), müssen bei flachen Vakuumisolationspaneelen druckstabile Füllmaterialien oder Strukturen die entsprechenden Druckkräfte aufnehmen. Besonders in der Kombination von nanostrukturierten Füllmaterialien auf der Basis von pyrogener Kieselsäure (SiO_2) mit den geringsten Anforderungen an die Qualität des Vakuums und den dichtesten heute verfügbaren Kunststoffhochbarrierelaminaten ergeben sich VIP-Produkte mit Funktionsdauern von mehreren Jahrzehnten, wie sie im Bauwesen gefordert sind. Gegenüber nicht-evakuierten Dämmungen bieten diese bei gleicher Dämmstärke eine um einen Faktor 5 bis 10 bessere Dämmwirkung im Kernbereich. Somit werden schlanke, raumsparende und hocheffiziente Dämmbauten für unterschiedliche Einsatzbereiche im Neubau, insbesondere aber auch für Maßnahmen im Bestand möglich. Probleme bereiten allerdings noch die Wärmebrücke des Panelrandes, die Verletzbarkeit der VIP und die fehlende Verarbeitbarkeit vor Ort. Mit einem auf VIP basierenden Wärmedämmverbundsystem Lockplate® (Maxit Deutschland GmbH, Merdingen) ist eine wärmebrückenminimierte,

Abbildung 2
Neubau eines
Einfamilienhaus in
Burgberg (2007);
Wärmedämmverbund-
system mit VIP,
Gesamtdämmstärke
9 cm, $U = 0,14 \text{ W}/$
 (m^2K)

Quelle: Fraunhofer ISE



baupraktische Entwicklung gelungen. Durch die Verwendung von nur wenigen Standardgrößen ist die Basis für eine kostengünstige, automatisierte Serienfertigung gelegt.

Fensterrahmen

Auch bei gut wärmedämmten Gebäuden liegen die thermischen Schwachstellen im Bereich der Fenster. Typische Passivhausfensterrahmen erreichen U_f -Werte² von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, allerdings bei Bautiefen von 120 mm und mehr. An einem neuen Fensterrahmen mit einem U_f -Wert von $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bei einer Bautiefe von nur 90 mm wird gerade geforscht.

Fenster

Durch Kombination thermisch hochwertiger Fensterrahmen und Dreifachverglasungen mit U_g -Werten³ von $0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ lassen sich Fenster mit einem U_w -Wert⁴ von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ realisieren. Die Dämmwirkung liegt damit zwar immer noch deutlich über der gut gedämmter opaker Wände von zum Beispiel $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; berücksichtigt man jedoch die solare Einstrahlung, so können Fenster auf der Südfassade ihre Wärmeverluste nicht nur kompensieren, sondern

effektiv Wärmegewinne aufweisen. Auf der sonnenabgewandten Nordfassade sind konventionelle Fenster nach wie vor opaken Wänden unterlegen.

Vakuumisolierglas (VIG)

Ähnlich wie bei den opaken VIP-Dämmelementen bietet auch bei Verglasungen die Evakuierung des Scheibenzwischenraums ein enormes Verbesserungspotenzial bezüglich der Dämmwirkung (Faktor 2). Die technische Herausforderung bestand in der Entwicklung von Stützen, die in der Lage sind, die externe Last des Luftdrucks aufzunehmen. Außerdem musste ein ausreichend dichter und doch thermisch stabiler Randverbund entwickelt werden. Beide Elemente sollen nicht nennenswert zum Gesamtwärmetransport beitragen. Bei einer Gesamtstärke von nur 9 mm und einem Gewicht entsprechend dem der Zweifachverglasung wird ein U_g -Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht. Aufgrund ihres Aufbaus mit nur einer low- ϵ -Schicht⁵ weist das VIG auch eine sehr gute Lichtdurchlässigkeit bei hohen Wärmegewinnen auf. Auch auf der Nordfassade hat das VIG eine ausgeglichene Energiebilanz, d. h., solare Wärmegewinne und Transmissionswärmeverluste halten sich während der Heizperiode die Waage.

² U ist der Wärmedämmwert, das tiefgestellte f steht für frame

³ U ist der Wärmedämmwert, das tiefgestellte g steht für Glas

⁴ U ist der Wärmedämmwert, das tiefgestellte w steht für windows

⁵ ϵ steht für Emissionsgrad

Transparente Wärmedämmungen

Die bei der transparenten Wärmedämmungen eingesetzten Dämmmaterialien zeichnen sich durch eine hohe Lichtdurchlässigkeit (Transparenz) aus. Je nach Anwendung steht der Gewinn blendfreien Lichtes bei niedrigem Gesamtenergiedurchlassgrad g^6 (solare Umweltwand als Tageslichtsystem) oder die thermische Nutzung solarer Einstrahlung bei hohem Gesamtenergiedurchlassgrad (solare Wandheizung) im Vordergrund. Die Wärmeleitfähigkeit solcher Materialien in Form von Kapillar- oder Wabenstrukturen ist im Vergleich zu konventionellen Dämmmaterialien um einen Faktor 2 bis 2,5 größer. Durch den Einsatz nanostrukturierter Silica-Aerogele in granularer Form lässt sich die Wärmeleitfähigkeit auf etwa $0,025 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ deutlich reduzieren. Die Solare Wandheizung weist in der Heizperiode deutlich mehr Energiegewinne als Wärmeverluste auf. In der praktischen Anwendung ist der sommerliche Überhitzungsschutz zu beachten.

Aktuelle Entwicklungen zielen auf hochwärmedämmende Verglasungen mit Konvektionsunterdrückung bei hohem g -Wert. (TIGI Ltd., Israel [2]), bei einem anderen Produkt in Kombination mit saisonalem Prismensonnenschutz und integriertem Latentwärmespeicher (GlassX AG, Zürich [3]). Dadurch werden U_g -Werte kleiner als $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreicht. Eine weitere Neuentwicklung kombiniert den saisonalen Sonnenschutz über eine Prismierung in eine speziell optimierte Stegplatte (Prokuwa GmbH, Dortmund [4]). Dabei wird ein äußerst preisgünstiges Einfachsystem angestrebt.

Schaltbare Wärmedämmung (SWD)

Einen alternativen Ansatz für den Überhitzungsschutz bietet die schaltbare Wärmedämmung. Sie basiert auf einem Vakuumisulationspaneel in der Ausführungsform mit Edelhüllhülle und relativ grobem Füllmaterial (Glasfasern). Zusätzlich ist in das VIP eine beheizbare Kapsel mit einem mit wasserstoffbeladenen Metallhydrid-getter (einer Art Wasserstoffspeicher) integriert. Durch Aufheizen des Getters wird eine geringe Menge des gut wärmeleitenden Wasserstoff-



Abbildung 3
Blick durch ein
Vakuumisoliertglas
(Prototyp VIG) mit
 $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Quelle: ZAE Bayern



Abbildung 4
Projekt Alterswohnen
in Domat/Ems mit
solarer Umweltwand
GlassXcrystal inkl.
20 mm

⁶ Der g -Wert gibt als Gesamtenergiedurchlassgrad an, wieviel Wärme durch ein Bauelement gelangt.

*Abbildung 5
Latentspeicher und
Prismen zum saisonalen
Sonnenschutz mit $U_g = 0,48 \text{ W}/$
 (m^2K) ,
Architekt D. Schwarz,
Domat/Ems, 2004*

Quelle: Fraunhofer ISE



gases freigesetzt und damit die Wärmeleitfähigkeit des Elementes um einen Faktor 100 erhöht. Aus einem hochwärmedämmenden wird ein gut wärmeleitendes Element. Der Prozess ist reversibel: lässt man die Getterkapsel abkühlen, so wird der Wasserstoff wieder vom Getter aufgenommen. Bei fehlender solarer Einstrahlung oder bei unerwünschtem Wärmeintrag im Sommer bleibt das Paneel passiv und im hochwärmedämmenden Zustand. Lediglich in der Heizperiode bei gleichzeitigem Wärmebedarf und solarem Angebot wird das Paneel wärmeleitend geschaltet und die Wärme in das Gebäude hereingelassen. Die hierfür benötigte elektrische Leistung beträgt lediglich $5 \text{ W}/\text{m}^2$.

Literatur

- [1] Gesamtverband Dämmstoffindustrie GDI, www.gdi-daemmstoffe.de, privat communication
- [2] Die Firma Tigi Ltd. In Israel besitzt noch keine Webseite, Startup bisher ohne Produkt
- [3] www.glassx.ch
- [4] www.prokulit.de

Neue Verglasungstechniken für Tageslicht und Wärmeschutz

Einleitung

Architekten bauen heute hochtransparente Fassaden und beziehen Tageslicht in die Planung mit ein. Die hohen Anforderungen an Energieeffizienz sowie thermischen und visuellen Komfort lassen sich nur durch den differenzierten Umgang mit solarer Einstrahlung erfüllen. Neuartige mikrostrukturierte, zum Beispiel prismatisch strukturierte Lichtlenkelemente können das einfallende Sonnenlicht je nach Sonnenstand gezielt umlenken oder reflektieren. In Verglasungen integriert können solche Strukturen als Lichtlenkelemente eingesetzt werden, wobei sie Sonnenlicht tief ins Gebäude lenken oder sie werden als statisch-saisonal wirksame Sonnenschutzelemente eingesetzt und verbessern saisonal variabel den sommerlichen Wärmeschutz. Es wird angestrebt, die Strukturen zu miniaturisieren, um Material, Gewicht und Kosten zu sparen, die Absorption zu vermindern, ein flächig-homogenes Erscheinungsbild zu erzielen und die Lichtlenkelemente einfacher in einen Glasverbund zu integrieren.

Am Fraunhofer ISE und dem ISFH werden die Anwendungsmöglichkeiten mikrostrukturierter Elemente in Verglasungen für einen saisonalen Sonnenschutz sowie zur Tageslichtlenkung untersucht und Strukturen für Lichtlenkelemente oder einen statisch-saisonalen Sonnenschutz entwickelt, hergestellt und optimiert. Gemeinsam mit Industriepartnern arbeiten wir an einer Umsetzung der Ideen in Produkte.

Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten

Mikrostrukturierte Lichtlenkelemente können das einfallende Sonnenlicht gezielt umlenken oder reflektieren. Die Lichtlenkung und -reflexion in mikrostrukturierten Elementen basieren

auf Brechung und interner Totalreflexion in den Strukturen. Im Jahresverlauf gibt es verschiedene Anforderungen an den Sonnenschutz, bzw. die Lichtausbeute. Saisonal variable Transmissions-eigenschaften von Strukturen mit statischem Sonnenschutz werden durch die winkelabhängige Transmission und den saisonal variierenden Sonnenstand erzielt: Die saisonale Regelung übernimmt der sich ändernde Sonnenstand: während flach einfallende Strahlung im Winter und helles Zenithimmelslicht transmittiert wird, wird die hoch stehende Sommersonne reflektiert.

Bei Strukturen zur verbesserten Tageslichtnutzung wird die Richtung von transmittiertem Licht so verändert, dass das Licht tiefer in den Raum eindringt und auch weit vom Fenster entfernte Bereiche ausreichend mit Tageslicht versorgt. Da gleichzeitig die Blendung von Personen im Raum vermieden werden muss, gelingt dies z. B. dadurch, dass das Licht unter flachem Winkel nach oben an eine hell reflektierende Decke gelenkt wird. Zusätzlich zu den hier vorgestellten Arbeiten im Bereich der Verglasungsentwicklung werden am Fraunhofer ISE Verfahren für die Bewertung des visuellen Komforts entwickelt. Dies umfasst u. a. die Vermeidung von Blendung durch Tageslicht, Kontrastminderung bei der Bildschirmarbeit, Sichtkontakt sowie die Farbwirkung von Fassadensystemen im Tagesverlauf. Für die Blendung durch Tageslicht wurde ein neues Verfahren etabliert und validiert [4]. Die „daylight glare probability (DGP)“ gibt dabei die Wahrscheinlichkeit einer Störung durch Blendung an.

Da in der Regel durch prismatisch (mikro-) strukturierte Elemente keine oder nur eingeschränkte Durchsicht möglich ist, eignen sich die Strukturen für den Einsatz in Bereichen, wo klare Durchsicht nicht zwingend erforderlich ist. Dazu zählen Oberlichter, Verglasungen von Nutz- und Verkehrsbereichen sowie Anwendungen, bei

Dr. Peter Nitz
Fraunhofer ISE
peter.nitz@ise.fraunhofer.de

Federico Giovannetti
ISFH
f.giovannetti@isfh.de

Dr. Helmut Weinläder
ZAE Bayern
weinlaeder@
zae.uni-wuerzburg.de

Jan Wienold
Fraunhofer ISE
j.wienold@ise.fraunhofer.de

denen die Strukturen nur teilflächig eingesetzt werden und so zwischen den strukturierten Bereichen auch Bereiche mit klarer Durchsicht vorliegen. Besonders vorteilhaft ist der Einsatz der Elemente in oder vor transluzenten oder opaken Fassadenteilen wie z. B. in Modulen mit transparenter Wärmedämmung (TWD) vor opaken Wänden, die im Winter zur Raumheizung beitragen und durch die saisonale Verschattungsfunktion vor unerwünschter sommerlicher Erwärmung geschützt werden.

Bei der Integration in moderne Wärmeschutzverglasungen werden verschiedene Ansätze verfolgt. Eine mikrostrukturierte Folie kann freitragend als „dritte Schicht“ in eine Zweischeiben-Isolierverglasung eingespannt werden (*Abbildung 1b*) [1]. Dies hat Vorteile bei den thermischen Eigenschaften, die mit U_g -Werten von bis zu $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ mit denen von Dreischeiben-Isolierverglasungen vergleichbar sind. Nachteilig ist die etwas geringere Transmission im Winter durch die zusätzlichen Grenzflächen. Alternativ kann die mikrostrukturierte Folie auch einseitig auf eine Glasscheibe auf laminiert sein (*Abbildung 1c*) [2]. Hier entsprechen die thermischen Eigenschaften denen einer Zweischeiben-Isolierverglasung mit einer (im Vergleich zur eingespannten Variante) etwas höheren Transmission im Winter.

Herstellung der Strukturen

Mikrostrukturen für Sonnenschutz, Lichtlenkung und andere Anwendungen werden am Fraunhofer ISE interferenzlithografisch generiert. Dabei wird ein lichtempfindlicher Lack (Fotoresist) mit einem Laser-Interferogramm belichtet. Von den entwickelten Fotoresists werden Prägewerkzeuge hergestellt, mit denen sich die Strukturen in Mikroreplikationsverfahren zu potenziell geringen Kosten in großen Flächen replizieren lassen.

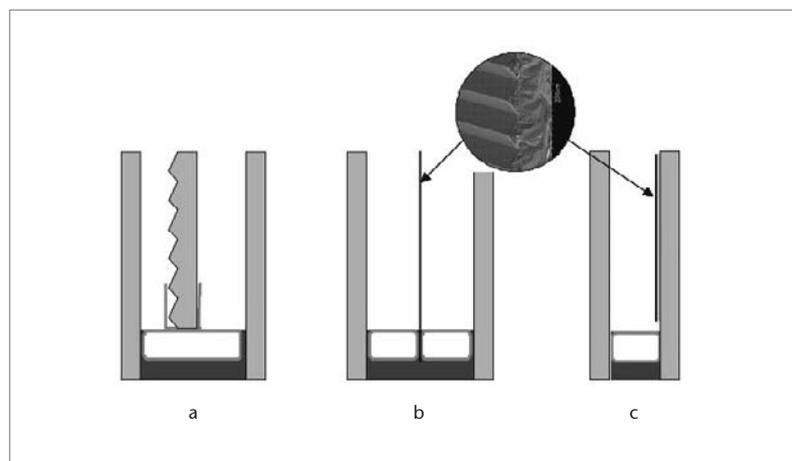
Alternativ zu interferenzlithografisch hergestellten Urformen werden Strukturen untersucht, die durch Ultrapräzisionsbearbeitung (z. B. Diamantfräsen oder -drehen) hergestellt wurden. Letztere lassen sich direkt auf eine Prägewalze schneiden, was bei der Replikation Vorteile bringt und die Abformung einer endlosen Folienrolle ohne Naht erlaubt.

Bei beiden Herstellverfahren können die Strukturen zudem moduliert werden, was zu einer zusätzlichen Lichtstreuung führt. Diese reduziert mögliche Farbeffekte (Zerlegung des weißen Lichtes in die Spektralfarben durch die Brechung an den Prismen) und verringert hohe Leuchtdichten, die Blendung verursachen können.

Am ISFH werden Varianten untersucht, bei denen eine unmodulierte Mikrostruktur mit Licht streuenden Gläsern kombiniert wird, um

Abbildung 1
Integration mikrostrukturerter Folien in Verglasungen:
a) in Verglasungen integrierte makroskopische Prismenplatte (Stand der Technik)
b) frei eingespannte Folie mit Licht lenker Mikrostruktur
c) auf Glas auf laminierte strukturierte Folie

Quelle: ISFH und Fraunhofer ISE



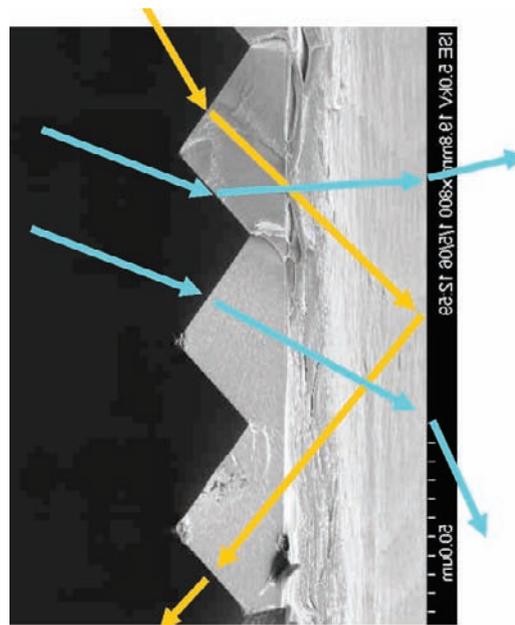
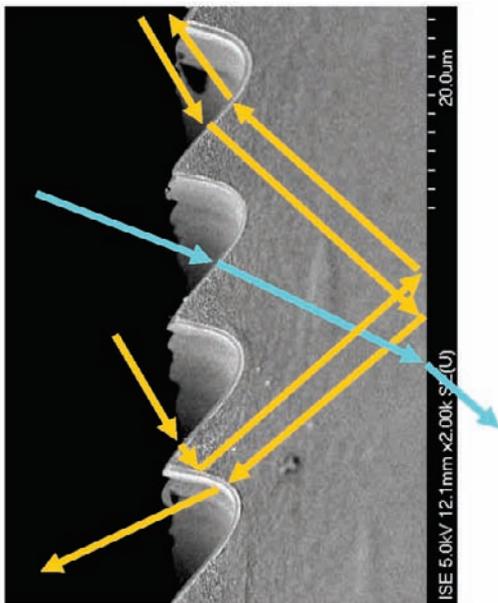


Abbildung 2
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Prismenstrukturen mit saisonaler Sonnenschutzfunktion. Links: interferenzlithographisch hergestellte Struktur mit übermodulierter Streuung, die als Höhenmodulation der Prismen sichtbar ist. Die Strahlengänge im Sommer (gelb) und im Winter (blau) sind schematisch dargestellt. Rechts: mikromechanisch hergestellte Struktur, die auf einer Größenskala moduliert ist, die wesentlich größer als die Strukturperiode ist. Daher ist die Modulation im Bild nicht sichtbar.

Quelle: Fraunhofer ISE

dieselben Effekte zu erzielen. Die verschiedenen Herstell-Technologien sowie Varianten zur Kombination mit Lichtstreuung stehen zur Verfügung, werden getestet und können je nach den speziellen Anforderungen eingesetzt werden.

Strukturbeispiele und Eigenschaften

Die nachfolgend gezeigten Strukturtypen stellen nur eine Auswahl der im Verglasungsbereich einsetzbaren Strukturen dar. Prinzipiell werden hier nur lineare, prismatische Strukturen betrachtet. *Abbildung 2* zeigt zwei Strukturtypen und schematisch ihre Funktion. Die Strukturen sind in unterschiedlichen Verfahren hergestellt, aber beide sind lichtstreuend moduliert.

Der an einem Verglasungs-Prototypen gemessene Transmissionsgrad für Licht und Solarstrahlung ist in *Abbildung 3* gezeigt. Je nach exakten Strukturparametern und Art der Integration in die Verglasung kann der Abfall der Transmission bzw. des g-Wertes mit dem Einfallswinkel und damit das saisonale „Schalten“ der Sonnenschutzfunktion noch steiler verlaufen als in *Abbildung 3* gezeigt [1]. Durch die integrierte low-ε-Schicht ist der Transmissionsgrad für Solarstrahlung deutlich geringer als der für sichtbares Licht.

Die in *Abbildung 2* gezeigten Strukturen werden in vertikalen Verglasungen eingesetzt. Als statisch-saisonaler Sonnenschutz in geneigten Verglasungen wie Dachverglasungen eignen sich Strukturen, die nahezu senkrecht auf die Struktur einfallendes Licht reflektieren. Für eine nähere Beschreibung dieser Systeme für geneigte Verglasungen sei auf die Literatur [2] verwiesen. Andere Strukturen für den Einsatz als Tageslichtlenksystem lenken das Licht nach oben und weisen im Idealfall für große Einfallswinkel eine höhere Transmission auf als eine Standardverglasung ohne Lichtlenkstruktur [3].

Bei der Miniaturisierung prismatischer Strukturen treten neben Reflexionen zwischen den Grenzflächen der Strukturen auch Beugungseffekte auf, die die erwünschte Funktion abschwächen oder aufheben können und zu Nebenbildern und Farbeffekten führen können. Diese Phänomene können in wellenoptischen Simulationen vorhergesagt und quantifiziert werden. Es zeigt sich, dass bei Größen (Strukturperioden) im Bereich von 50 – 100 μm die Beugungseffekte prismatischer Strukturen praktisch vernachlässigbar sind. In beiden *Abbildungen 1b und 1c* gezeigten Varianten wurden großformatige Verglasungs-Prototypen gefertigt und charakterisiert. Erste durchgeführte Stabilitätsuntersuchungen zeigen vielversprechende Ergebnisse. Derzeit sind aber noch weitere Tests

Abbildung 3

Transmissionsgrad für Solarstrahlung und sichtbares Licht einer Zweischeiben-Wärmeschutzverglasung mit integrierter Sonnenschutzstruktur (wie in Abb. 2 rechts), aufgetragen in Abhängigkeit vom Einfallswinkel der Sonne.

Quelle: Fraunhofer ISE

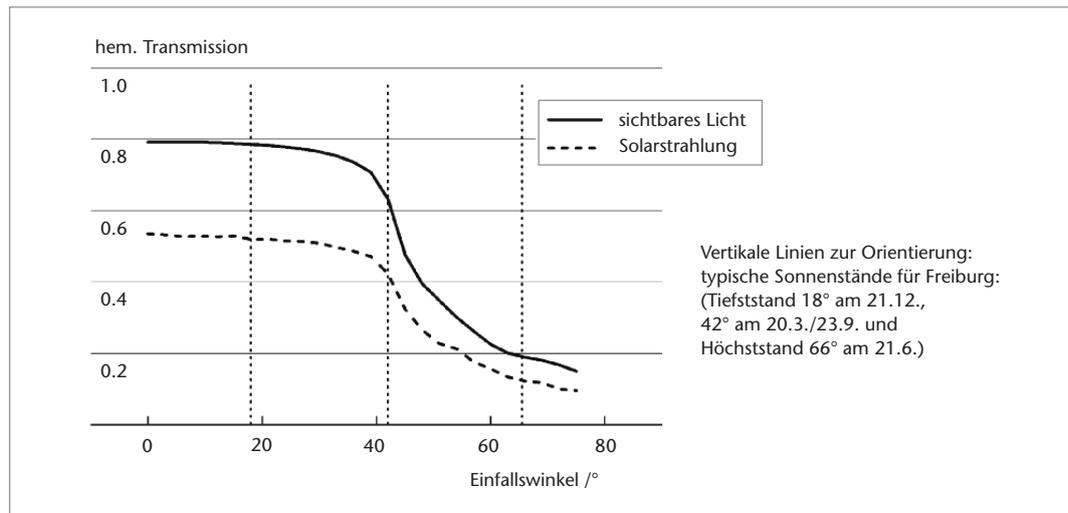


Abbildung 4

Prototypen großformatiger Isolierverglasungen mit mikrostrukturierten Folien mit saisonaler Sonnenschutzwirkung: links: Folie für Einsatz vor TWD-Modulen, Abmessungen 850x700 mm² (ISFH) rechts: laminierte Folie mit Lichtstreuung für den Einsatz im Oberlichtbereich, Abmessungen 1000x500 mm²

Quelle: Fraunhofer ISE



und Optimierungen notwendig, um die Arbeiten gemeinsam mit unseren Industriepartnern in verlässliche Produkte umzusetzen.

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden vom Bundeswirtschaftsministerium (BMW) unter dem Kennzeichen 0327312 und von der DBU unter dem Kennzeichen 24673 gefördert.

Literatur

- [1] F. Giovannetti, Karl H. C. Fischer, „Integration mikrostrukturierter Lichtlenkungssysteme in Verglasungen“, Tagungsband 2. Internationales Anwenderforum Energieeffizienz und Bestand, Staffelstein, 14./15.2.2008
- [2] P. Nitz, A. Gombert, B. Bläsi, A. Georg, J. Mick, Ch. Bühler, G. Walze, W. Hossfeld, „Sonnenschutz und Lichtlenkung durch mikrostrukturierte Oberflächen“, Tagungsband 9. Sympos. Innovative Lichttechnik in Gebäuden, Staffelstein, 23./24.1.2003, S. 103-108
- [3] P. Nitz, B. Bläsi, J. Mick, G. Walze, A. Gombert „Verglasungen mit mikrostrukturierten optisch-funktionalen Komponenten“, Tagungsband 13. Symposium Licht und Architektur, Staffelstein, 8./9.2.2007, S. 20-25
- [4] J. Wienold, J. Christoffersen, „Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras“, Energy and Buildings 38,7 (2006), 743-757

Wärmespeicher als integrierte und nicht integrierte Bauteile

Wärme- und Kältespeicherung

Raumklimatisierung ist ein bedeutender Faktor bei der Konzeption moderner Büro- und Wohngebäude, denn es besteht ein hohes Einsparpotenzial von Heiz- und Kühlenergie. Neben einer Optimierung der Wärmedämmung leistet der Einsatz von Wärme- und Kältespeichern einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich und zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes.

Wärme kann grundsätzlich in Form von sensibler oder latenter Wärme gespeichert werden:

- Man spricht von **sensibler Wärme**, wenn ein Material erwärmt wird, Wärme aufnimmt und seine Temperatur sich dadurch erhöht.
- Als **latente Wärme** wird die im Phasenübergang gespeicherte Wärmemenge bezeichnet: Gelangt man in den Bereich des Phasenübergangs fest-flüssig eines Materials, so erfolgt eine Wärmeaufnahme ohne Erhöhung der Temperatur. Um ein Material vollständig aufzuschmelzen wird eine Wärmemenge benötigt, die der so genannten Schmelzenthalpie entspricht. Unter Latentwärmespeicherung versteht man die Speicherung

von Wärme in einem Material, das einen Phasenübergang, z. B. fest – flüssig, erfährt (engl. Phase Change Material, PCM) (siehe linker Graph in *Abbildung 1*)

Die Speicherung von Energie in Form von latenter anstatt von sensibler Wärme hat einige Vorteile. Dadurch, dass die Wärmespeicherung nicht mit einer Temperaturerhöhung verbunden ist, sind auch die Stillstandsverluste geringer als bei einem sensiblen Speicher, der aufgrund seiner höheren Temperatur immer Wärme an die Umgebung verliert. Außerdem wird bei Latentwärmespeichermaterialien die in der Heizphase aufgenommene Energiemenge ohne Temperaturerhöhung gespeichert und kann zeitverzögert wieder an die Umgebung abgegeben werden. Dieses Prinzip kann zur Vermeidung von Temperaturspitzen in Gebäuden verwendet werden (siehe rechter Graph in *Abbildung 1*).

Für den Einsatz im Gebäudebereich eignen sich zwei Arten von PCMs, deren Schmelztemperatur im Raumtemperaturbereich liegt, nämlich Salzhydrate und Paraffine. Paraffine zeichnen sich vor allem durch ihre hohe Zyklenstabilität und ihre geringe Unterkühlung aus. Salzhydrate

Dr. Jochen Manara
ZAE Bayern
manara@
zae.uni-wuerzburg.de

Peter Schossig
Fraunhofer ISE
schossig@ise.fraunhofer.de

Dr. Harald Drück
Universität Stuttgart
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
drueck@itw.uni-stuttgart.de

Henner Kerskes
Universität Stuttgart
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
kerskes@itw.uni-stuttgart.de

Josef Jenni
Jenni Energietechnik AG
jennienergietechnik@
livenet.ch

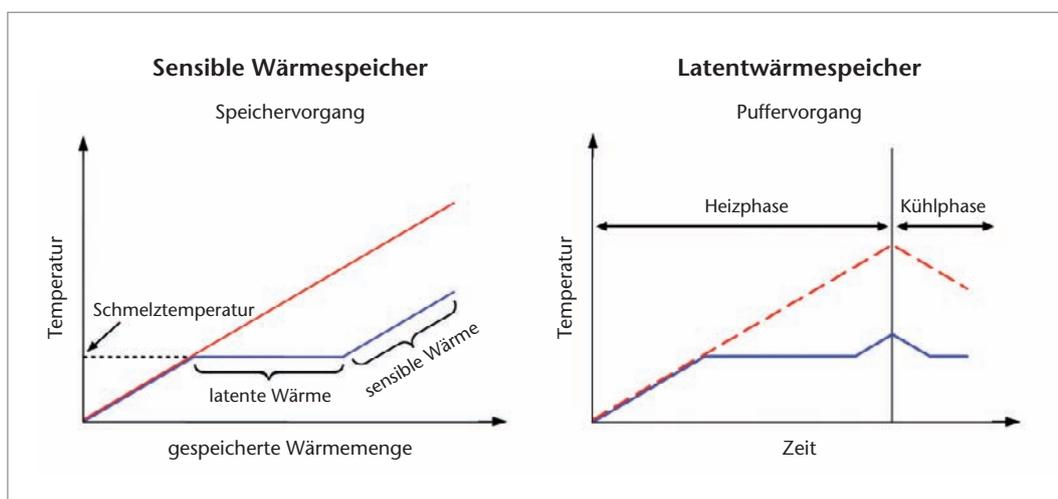


Abbildung 1 Funktionsweise von sensiblen Wärmespeichern (links) und von Latentwärmespeichermaterialien (rechts). Die Speicherung in Form von latenter Wärme ist im Gegensatz zur Speicherung in Form von sensibler Wärme nicht mit einer Temperaturerhöhung verbunden.

hingegen haben den Vorteil einer höheren Schmelzenthalpie und sind nicht brennbar. Darüber hinaus werden auch Wasserspeicher zur Wärmespeicherung sowie Eisspeicher in der Kälte- und Klimatechnik erfolgreich eingesetzt. Hier bietet beispielsweise die Kombination mit PCMs eine zusätzliche Optimierung. Alternativ kann eine Wärmespeicherung auch durch Adsorption erfolgen: Eine Möglichkeit ist hierbei die Nutzung von Zeolithen, die durch Wasseraufnahme bzw. -abgabe Wärme freisetzen bzw. speichern.

Einsatz im Gebäudebereich zur Steigerung der Energieeffizienz

Raumklimatisierung kann über Aktiv-Klimatisierung durch Heizen und Kühlen realisiert werden. Doch speziell der Einsatz von fossilen Energieträgern sollte dabei reduziert werden, um den Ausstoß von Kohlendioxid zu vermindern. Zur Steigerung der Energieeffizienz bieten sich grundsätzlich zwei Alternativen bei der Verwendung von Wärme- und Kältespeichern an:

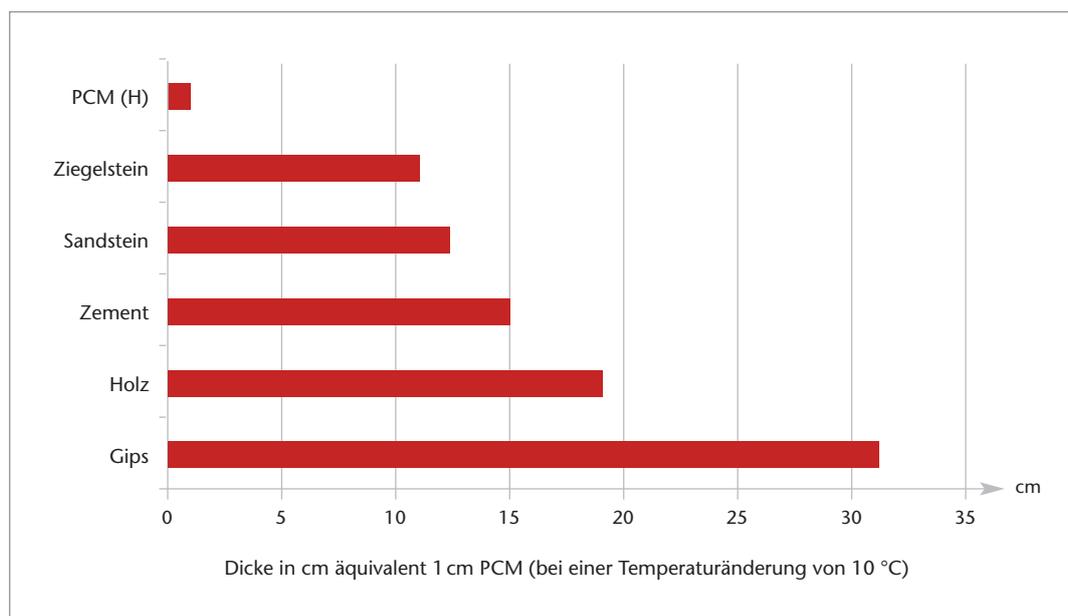
- a) Zum einen kann auf eine Passiv-Klimatisierung, wie in Gebäuden aus Stein oder Beton, zurückgegriffen werden, da die massiven Bauteilmassen beträchtliche Wärmemengen speichern bzw. puffern

können. Allerdings werden im modernen Trockenbau die Bauteilmassen ganz bewusst extrem verschlankt, so dass flexible wie kostengünstige Möglichkeiten zur Gebäudegestaltung gegeben sind. Um hier dennoch Passiv-Klimatisierung zu ermöglichen, sollen PCMs zum Einsatz kommen, die große Wärmemengen speichern und somit Temperaturspitzen abpuffern können (*Abbildung 2*).

- b) Zum anderen können Wärme- und Kältespeicher auch mit aktiven Systemen gekoppelt werden. Solche Systeme lassen beispielsweise die Nutzung von Energie niedrigen Exergiepotenzials zu, was auch einen effizienteren Einsatz regenerativer Energiequellen ermöglicht. Zusätzlich können durch die Speicher Lastspitzen verschoben werden, was eine kleinere Dimensionierung von Klimasystemen in Gebäuden oder alternativ eine Kappung der Lastspitzen im Versorgungsnetz ermöglicht.

Abbildung 2

PCM mit einer Dicke von 1 cm besitzt im Phasenübergang das gleiche Wärmespeichervermögen wie eine 11 cm dicke Ziegelsteinwand oder eine 19 cm dicke Holz wand bei einer Temperaturerhöhung von 10 °C.



1 Kompositmaterialien für Latentwärmespeicher

Zur Verwendung im Gebäudebereich stehen mehrere Materialien und Systeme für Latentwärmespeicher zur Verfügung. Dabei handelt es sich sowohl um Makroverkapselungen, die Abmessungen im Zentimeter- bis Dezimeterbereich aufweisen, als auch um Mikroverkapselungen mit Abmessungen im Mikrometerbereich. Speziell mikroverkapselte Paraffine können in Gipsputze, Gipskartonplatten oder andere Baumaterialien eingebracht werden. Durch eine Einbringung von PCM in Graphitplatten kann zusätzlich die Wärmeleitfähigkeit und damit die Be- und Entladezeit der Platten erhöht werden, was z. B. beim Einsatz in Klimasystemen interessant ist.

2 Wärme- und Kältespeicher mit Latentwärmespeichermaterialien

Gipsputze und Gipskartonplatten eignen sich als passive Speichermassen zur Erhöhung der thermischen Kapazität eines Leichtbaus auf das Niveau eines Massivbaus. Dies bewirkt eine Pufferung von Temperaturspitzen im Gebäude. Hierzu ist lediglich eine Nachtlüftung notwendig, um die tagsüber gespeicherte Wärme wieder abzuführen. Dieselbe Wirkungsweise wird mit passiven Kühldeckensystemen erzielt, die aus Gipskartonplatten mit Paraffinen bestehen oder aus PCM-Folienbeuteln mit Salzhydraten, die auf Metallkassettendecke aufgelegt werden. Solche Systeme erbringen Kühlleistungen von ca. 25 bis 40 W/m². Abhängig von den gewählten Materialien ist eine aktive Hinterlüftung notwendig. Die nächtliche Regeneration des Systems erfolgt wiederum mit kühler Außenluft.

Wasserdurchströmte Kühldecken in abgehängter Bauweise erreichen höhere Kühlleistungen von rund 100 W/m² bei relativ kurzen Ansprechzeiten, erfordern dadurch jedoch oft hohe Spitzenlasten bei der Kältebereitstellung. Durch die Integration von PCM lässt sich tagsüber zu Zeiten der Kühllastspitzen eine rein passive Grundkühlleistung von etwa 40 W/m² sicherstellen. Während der Nacht wird das PCM dann durch kühles Wasser regeneriert. Auf diese Weise lassen sich tagsüber Lastspitzen vermeiden und die Kühllast wird vergleichmäßigt. Vor allem bei der Kältebereitstellung über Geot-

thermie (Erdsonden) ergeben sich hier Vorteile, da die Erdsonden auf die Spitzenlasten ausgelegt werden sollten.

Auch die Kombination von PCM mit innen liegenden Sonnenschutzsystemen verfügt über Potenzial. Die innen liegenden Systeme bieten einige Vorteile gegenüber außen liegenden Systemen (keine Windlasten, kostengünstig) und werden daher großflächig eingesetzt. Sie weisen jedoch im Vergleich zu außen liegenden Systemen einen höheren Energieeintrag auf. Zusätzlich werden sie bei Sonneneinstrahlung stark erwärmt, so dass sich Raumnutzer in Fensternähe zusätzlich durch die Wärmeabstrahlung der Lamellen thermisch unbehaglich fühlen. Abhilfe schafft hier ein innen liegender Sonnenschutz mit PCM. Vorteile sind geringere Jalousietemperaturen und ein reduzierter Wärmeeintrag in den Raum. Die PCM-Menge ist so ausgelegt, dass man einen sonnigen Sommertag auf der Südfassade komplett abpuffern kann. Die Regeneration des PCM erfolgt, wie bei den anderen Systemen, über Nacht durch kühle Außenluft.

Auch zum Heizen von Gebäuden können Latentwärmespeichermaterialien vorteilhaft eingesetzt werden. Als Beispiele hierfür sind solare Fassadenelemente (solare Wandheizung) sowie Solar-Luft-Kollektoren zu nennen. In beiden Fällen wird die Sonnenenergie in Form von Wärmeenergie im PCM gespeichert und zeitverzögert wieder an den Innenraum abgegeben. Die Einspeicherung erfolgt in Zeiten hoher solarer Einstrahlung, d. h. wenn ein Überangebot vorhanden ist, während die Freisetzung der Energie in Zeiten geringer oder fehlender solarer Einstrahlung erfolgt, wenn Wärmeenergie benötigt wird. Ebenso können Klimageräte mit PCMs ausgerüstet werden, um deren Performance entsprechend zu steigern.

3 Wärmespeicher durch Adsorption

Neben der Wärmespeicherung in einem Phasenübergang ist auch die Wärmespeicherung durch einen Adsorptionsprozess möglich. Hier stehen mehrere Systeme zur Verfügung. Bei Zeolithen wird die Ad- und Desorption von Wasser genutzt. Darüber hinaus können Ad- bzw. Absorptionsprozesse in einem entsprechenden System auch zur solaren Kühlung verwendet

werden. Dies gewährleistet die Bereitstellung von Kühlenergie genau dann, wenn sie benötigt wird, nämlich in Zeiten hoher solarer Einstrahlung.

4 Wasserspeicher im Haus

Warmwasserspeicher in konventionellen Heizungssystemen tragen ebenfalls zur Steigerung der Energieeffizienz bei, indem sie z.B. eine optimale Nutzung von Solarthermieanlagen erlauben. PCMs können zur Optimierung solcher Warmwasserspeicher durch eine Reduktion der Stillstandsverluste und eine Verminderung des Speichervolumens beitragen.

Außerdem können Wasserspeicher auch zur Kühlung von Gebäuden genutzt werden. So kann beispielsweise Regenwasser auf dem Gebäudedach gesammelt und in eine Zisterne eingeleitet werden. Dieses Wasser kann zur Kühlung des Gebäudes verwendet werden und erwärmt sich dabei. Zur Rückkühlung wird das Regenwasser während der Nacht auf das Dach des Gebäudes gepumpt und dort nach flächiger Verteilung beim Abfließen durch Wärmeabgabe über Strahlungsaustausch mit der Atmosphäre, Konvektion und (teilweiser) Verdunstung idealerweise knapp unter Taupunkttemperatur abgekühlt. Über die Regenrinne wird das abgekühlte Wasser durch einen Filter wieder der Zisterne zugeführt, so dass es erneut zur Kühlung des Gebäudes zur Verfügung steht. Neben dem geschilderten offenen Kreislauf sind auch geschlossene Systeme mit einer Kollektorfläche geeignet, bei denen keine Verdunstung und damit kein Wasserverlust auftritt.

Forschungsbedarf

Forschungsbedarf besteht unter anderem hinsichtlich einer messtechnisch fundierten Erfassung der Eigenschaften von Systemen mit PCMs sowie einer Validierung von Simulationstools und der Erstellung fundierter Auslegungsrichtlinien. Dazu werden aktuell Demonstrationsprojekte durchgeführt. Die Rückkopplung der Gebäudenutzer gibt außerdem unmittelbare Hinweise zur Akzeptanz der Produkte. Anhand von gemessenen Lastverschiebungen können Energieversorger außerdem eine energie-wirtschaftliche Analyse durchführen, um die Auswirkungen eines breiten Einsatzes von PCM-Systemen auf die Kraftwerks- und Netzkapazitäten zu beurteilen.

Darüber hinaus ist eine Weiterentwicklung der Kompositmaterialien notwendig. Derzeit werden beispielsweise Techniken zur Ummantelung von Salzhydraten entwickelt, mit denen auslaufsichere und wasserdampfundurchlässige Kapseln im Millimeterbereich herstellbar sein sollen. Diese können dann als nicht brennbare Materialien in Baustoffe bzw. -platten eingebracht werden, sowie als Schüttung in luft- oder wasserdurchströmten Klimageräten Verwendung finden.

Auch an der Entwicklung und Optimierung von pumpbaren Systemen bzw. Slurries auf Paraffin- und Salzhydratbasis wird gearbeitet.

Zur Sicherstellung definierter Eigenschaften der kommerziell erhältlichen PCM-Produkte, wie Schmelztemperatur und -enthalpie sowie Wärmeleitfähigkeit, wurde die PCM-Gütegemeinschaft ins Leben gerufen, die wesentliche Gütekriterien festlegt.

■ Energetische Sanierung von Altbauten

- Energetische Potenziale im Gebäudebestand
- Altbausanierung – technische Umsetzung in der Praxis:
 - Sanierung des Gemeindezentrums
 - Das Renewable Energy House (REH) in Brüssel
- Hygrothermische Lüftungskonzepte

Energetische Potenziale im Gebäudebestand

Hans Erhorn
Fraunhofer IBP
hans.erhorn@
ibp.fraunhofer.de

Prof. Dr. Gerd Hauser
Fraunhofer IBP
gerd.hauser@
ibp.fraunhofer.de

Peter Michael Nast
DLR
michael.nast@dlr.de

Dr. Dietrich Schmidt
Fraunhofer IBP
dietrich.schmidt@
ibp.fraunhofer.de

Das größte Reduktionspotenzial des Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf das Heizen von Gebäuden und deren Warmwasserbereitung. Im Rahmen der Analysen zum CO₂-Gebäudereport 2007¹ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) wurden die erschließbaren Einsparpotenziale herausgearbeitet, und die derzeitigen Hemmnisse bei deren Umsetzung durchleuchtet. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zusammenfassend dargestellt.

Trendwende beim Heizenergieverbrauch durch mehr Energieeffizienz

Fast 40 Prozent der Endenergie in Deutschland entfallen auf das Heizen von Gebäuden und die Warmwasserbereitung. Deutlich mehr als die Hälfte davon wird für die Raumwärme in privaten Haushalten verwendet.

Erfreulicherweise ist der Energieverbrauch in diesem Bereich seit 1996 rückläufig und entsprach 2006 in etwa dem Stand von 1990, obwohl die Wohnfläche in der Zwischenzeit durch Neubaumaßnahmen um über zehn Prozent zunahm (*Abbildung 1*). Der Rückgang resultiert aus durchgeführten energetischen Modernisierungsmaßnahmen in der Gebäudehülle und der effizienteren Nutzung von Energie zur Erzeugung von Wärme. Dies hat, in Kombination mit einem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien, den CO₂-Ausstoß privater Haushalte im Wohnbereich von 1990 bis 2005 um 16 Prozent gesenkt.

Gestiegene Sanierungsquote

Die Quote des jährlich umfassend sanierten Gebäudebestands stieg von 1,6 Prozent (1994) auf 2,2 Prozent (2006). Saniert wird vor allem, um Energiekosten zu senken. Klimaschutz allein wirkt bislang kaum als Motiv für Bauherren. Es ist festzustellen, dass in den letzten Jahren weniger Energie für die Beheizung von Wohngebäuden verbraucht wurde. Dies liegt nicht vorrangig an den hohen Anforderungen an Neubauten (denn jedes neu errichtete Gebäude benötigt zusätzliche Energie), sondern hauptsächlich an der sich allmählich beschleunigenden Altbausanierung.

Noch hohes Potenzial für Energie- und Kosteneinsparung

Insgesamt liegt der Energieverbrauch in Wohngebäuden immer noch auf einem hohen Niveau. Besonders Altbauten weisen erhebliche Modernisierungspotenziale auf, denn über 70 % der möglichen energetischen Sanierungsmaßnahmen in Altbauten wurden im Zeitraum von 1989 bis 2006 noch nicht durchgeführt und warten noch auf eine Sanierung (*Abbildung 2*). Im nichtsanieren Altbaubestand könnten Dämmmaßnahmen und modernisierte Heizungsanlagen erhebliche Mengen an Energie sparen und damit CO₂-Emissionen senken. Der kontinuierliche Anstieg der Energiekosten belastet die privaten Haushalte erheblich. Durch deutlich gesteigerte Sanierungsaktivitäten und -qualitäten sowie Anforderungen an den Neubau können bis 2020, je nach unterstelltem Szenario, zusätzlich zwischen 19 und 51 Milliarden Euro Heizkosten eingespart werden.

¹ BMVBS (Hrsg.): CO₂-Gebäudereport 2007

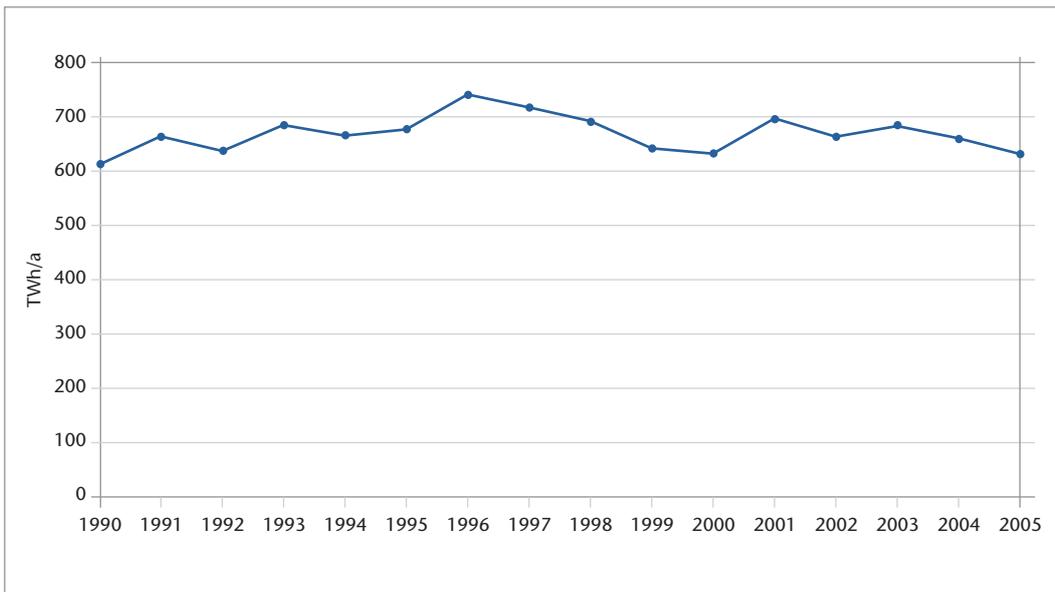


Abbildung 1
Endenergieverbrauch
in privaten Haushalten
für Heizwärme, inklusive
Strom zum Heizen
und Fernwärme

Quelle: Umweltbundesamt
2007

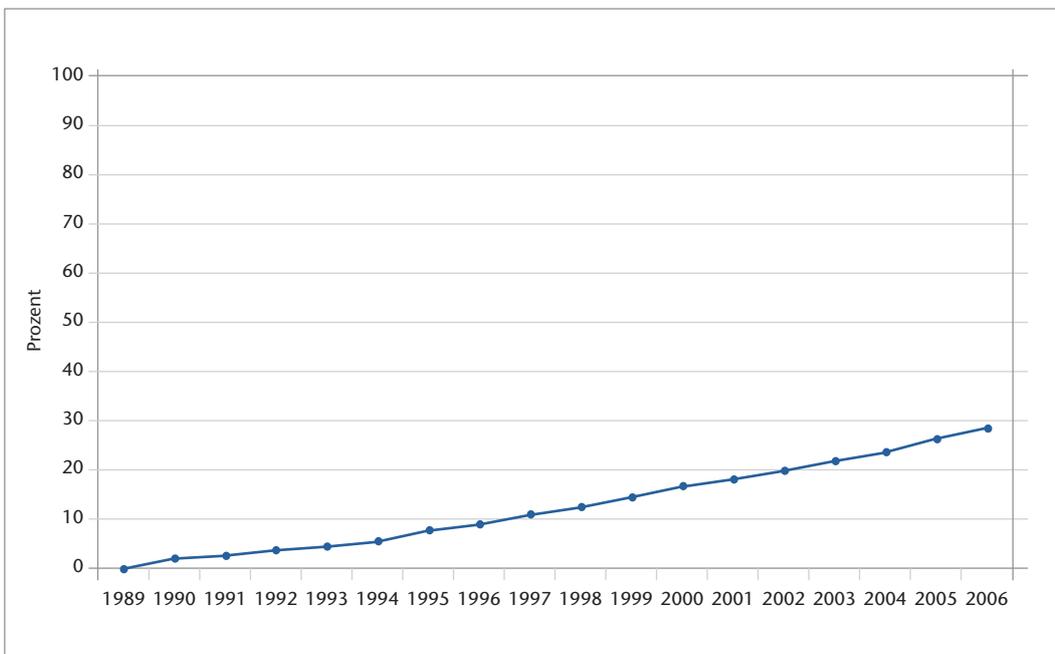


Abbildung 2
Kumulierte Quote der
vollsanisierten Altbauten
(Baujahr 1900 bis
1979), im Zeitraum
1989 bis 2006.

Quelle: Technomar
Eigentümerbefragung,
co2online

Dämmmaßnahmen gewinnen an Bedeutung

AltbauBesitzern ist oft nicht klar, wie sinnvoll und wirtschaftlich die energetische Modernisierung ihrer Gebäude meist ist. Denn sie sanieren vor allem, um Energiekosten zu sparen. Seit den 1990er wurden viele Ölheizungen und Kohleöfen durch Gasheizungen ersetzt. Bei den 2006 neu installierten Heizungsanlagen betrug der Anteil der Gasheizungen fast 60 Prozent².

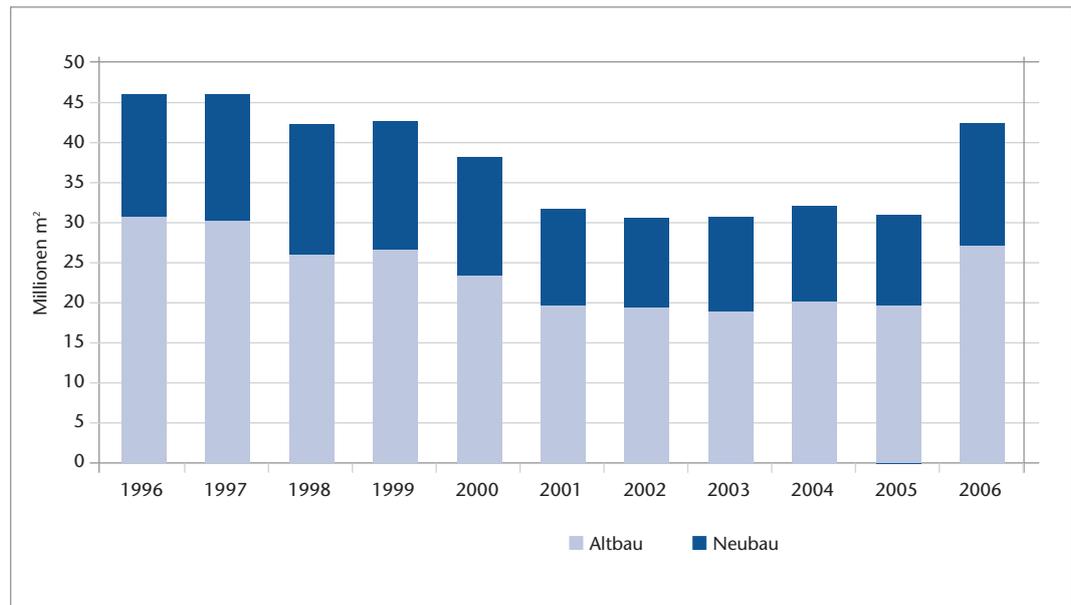
Auch die erneuerbaren Energien gewinnen an Bedeutung. Seit 2002 hat sich das Interesse für Heizungssysteme, die erneuerbare Energien nutzen, kontinuierlich erhöht. 2006 wurden in Deutschland so viele Wärmepumpen, Pelletheizungen und Solarthermieanlagen wie noch nie zuvor installiert.

Aktuell ist eine Verlagerung der Investitionen weg von der Erneuerung von Heizungen im

² Quelle: BDEW 2007

Abbildung 3
Verbaute Dämmfläche
von Wärmedämm-
Verbundsystemen in
Neu- und Altbauten

Quelle: FWDVS 2007



Altbaubestand hin zu Wärmeschutzmaßnahmen zu beobachten. Das Interesse an Gebäudedämmung ist sehr hoch, unter anderem weil viele Hauseigentümer nach Erneuerung ihrer Heizung nun auch die Dämmung angehen wollen (siehe *Abbildung 3*).

Förderungen bekannt machen

Insgesamt werden in allen Modernisierungsbereichen zwar verstärkt energieeffiziente Technologien gewählt. Dennoch werden die sich bietenden Möglichkeiten nicht vollständig genutzt. Hauptgrund dafür sind hohe Anfangsinvestitionen. Um das enorme Energiesparpotenzial besser auszuschöpfen, müssen Hauseigentümer wie Mieter weiter über ihren Nutzen informiert werden. Die hohen Anforderungen der Energieeinsparverordnung, die aufgestockten Fördermittel des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms sowie Forschungs- und Demonstrationsprogramme haben maßgeblich zu den bisherigen Erfolgen beigetragen. Die Maßnahmen, die allein 2006 und 2007 durch die KfW-Bank gefördert wurden, bewirken zukünftig eine jährliche Minderung von nahezu 3 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen.

Szenario für die Zukunft

Nachhaltige CO₂-Minderung durch steigende Anforderungen an den Neubau und intensivere Bemühungen im Gebäudebestand:

Die Bundesregierung hat weitreichende Beschlüsse im „Integrierten Klima- und Energieprogramm (IEKP)³ gefasst, die momentan umgesetzt werden. Aus wirtschaftlichen und ökologischen Überlegungen muss sowohl die Sanierungsquote als auch die Sanierungstiefe der energetischen Sanierungsmaßnahmen erhöht werden. Daneben empfehlen sich auch verschärfte Anforderungen an neu zu errichtende Gebäude, da sich energetisch effizientes Bauen für Mieter und Vermieter rechnet.

Wie die im CO₂-Gebäudereport 2007⁴ untersuchten Szenarien zeigen, ist durch eine Kombination von verschiedenen, wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen eine Reduktion des Endenergiebedarfs für Heizwärme und damit verbunden eine Minderung der CO₂-Emissionen zwischen 20 bis 40 Prozent möglich. Um die 40 Prozent zu erreichen, bedürfte es eines umfangreichen Maßnahmenpakets:

- Steigerung der energetischen Vollsanierungsrate von Gebäuden kurzfristig auf mindestens drei Prozent pro Jahr

³ BMU 2008

⁴ BMVBS (Hrsg.): CO₂-Gebäudereport 2007

- Anhebung der Anforderungen an die energetische Qualität der Sanierungsmaßnahmen um mindestens 30 Prozent
- Jährliche Steigerung des Anteils erneuerbarer Energiesysteme bei der Wärmeerzeugung
- Bei Neubauten müsste der Energiebedarf kurzfristig um 30 Prozent und mittelfristig um 50 Prozent (gegenüber der Energieeinsparverordnung von 2007) gesenkt werden.

Kontinuität in Forschungs- und Umsetzungsförderung zahlt sich aus

Die Bundesregierung betreibt seit Ende der 1970er Jahre ein intensives Forschungs- und Demonstrationsprogramm, um das energieeffiziente Bauen in Deutschland voran zu treiben. Die Erfolge dieser kontinuierlichen Förderprogramme sind heute in der zum Baustandard gewordenen Niedrigenergiebauweise sichtbar.

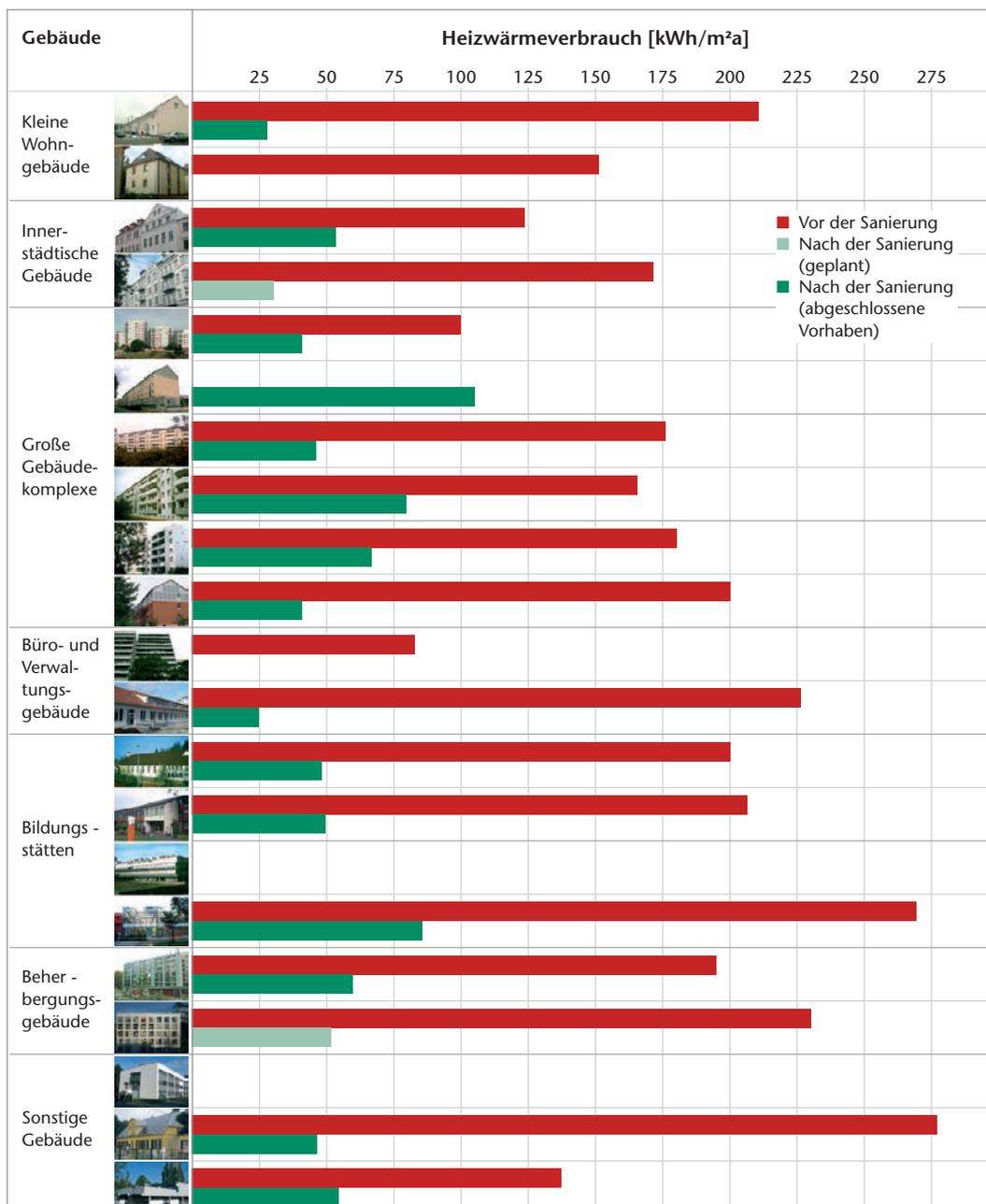


Abbildung 1 Heizwärmeverbrauchswerte vor und nach der energetischen Sanierung der Demonstrationsgebäude im Bundesförderprogramm EnSan. Bei gesplitteten grünen Balken sind die Ergebnisse von zwei Heizperioden eingetragen. Bei Häusern ohne grünen Balken erfolgte noch keine Messung des Heizwärmeverbrauchs nach der energetischen Sanierung.

Quelle: Fraunhofer IBP

Abbildung 5
Bundesbauminister
Wolfgang Tiefensee
(BMVBS) präsentiert
den Energieausweis,
der die Gesamtenergie-
effizienz von Gebäuden
aufzeigt

Quelle: BMVBS



Besonders wichtig waren dabei die großen Demonstrationsprojekte, in denen sich konkurrierende Unternehmen der Bau- und Heizungsindustrie im offenen Wettbewerb den neuen Herausforderungen stellten.

Forschung und Entwicklung konzentrierten sich bis Mitte der 1990er Jahre im Wesentlichen auf den Neubau, seit Ende der 1990er Jahre werden auch die bestehende Bausubstanz in die Forschungsprogramme eingebunden. Im Rahmen der Demonstrationsprojekte werden energieeffiziente Musterlösungen für verschiedene Gebäudetypen und Baualtersgruppen umgesetzt. Die dabei erzielten Energiverbrauchswerte lagen in aller Regel zwei Drittel unter den Werten vor der Sanierung und sie unterschreiten häufig sogar die Mindestanforderungen an vergleichbare Neubauten.

Die Ergebnisse aus den Forschungsprogrammen machen das erhebliche Einsparpotenzial deutlich, das mit dem energieeffizienten Bauen und der energetischen Sanierung in allen Gebäudetypen weiterhin erschließbar ist, fördern neue Technologien zur Marktreife und setzen Impulse für weitergehende, breitenwirksam angelegte Modellvorhaben der Deutschen Energie Agentur (dena) und Förderprogramme der KfW zum energieeffizienten Bauen und Sanieren.

Energieausweise zeigen Potenziale auf

Die Europäische Kommission verlangt in ihrer Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“, dass bei Neubau, Kauf oder Vermietung von Gebäuden künftig ein Energieausweis vorgelegt wird. Diese Richtlinie wurde in Deutschland mit Wirkung vom 1. Oktober 2007 durch eine Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) erlassen.

Feldversuche haben ergeben, dass Einfamilienhausbesitzer und Privatvermieter, die den Ausweis in Auftrag gaben, mit der Kompetenz, Neutralität und der Erläuterung des Energieausweises sowie dem Verfahren „zufrieden“ bis „sehr zufrieden“ waren. Die Wohnbaugesellschaften waren hinsichtlich der Zeitdauer, des eigenen Aufwands und der Erläuterungen etwas kritischer. Bei etwa der Hälfte der Befragten entsprach die Gesamtbewertung des Hauses den Erwartungen; knapp 30 Prozent hatten ein besseres und unter zehn Prozent ein schlechteres Ergebnis erwartet.

Der Energieausweis kann dazu beitragen, das Kostenbewusstsein von Mietern und Vermietern für Heizung und Warmwasserbereitstellung zu verändern.

Altbausanierung – technische Umsetzung in der Praxis

I. Sanierung des Gemeindezentrums „Zum Guten Hirten“ in Ulm-Böfingen

Einleitung

Die Diözese Rottenburg-Stuttgart möchte mit der Sanierung des Gemeindezentrums „Zum Guten Hirten“ in Ulm-Böfingen zeigen, welchen Beitrag die Kirche zum Klimaschutz und zur Ressourcenschonung leisten kann. Die Diözese besitzt ca. 5000 Gebäude und investiert jährlich ca. 40 Mio. €, wobei über 90% aller baulichen Maßnahmen derzeit im Bestand erfolgen. Das Vorhaben wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Förderkonzepts „Energetische Sanierung der Gebäudesubstanz“ durchgeführt [1].

Anlässlich einer anstehenden Dachsanierung am Gemeindehaus wurde der Vorschlag gemacht, das gesamte Gemeindezentrum energetisch zu sanieren und solare Energien zu nutzen. Die Idee fand im Kirchengemeinderat breite Zustimmung. Für diese komplexe Aufgabe wurde Ende 2000 ein Architektenwettbewerb durchgeführt. Bei der Entwurfsanforderung sollten bei der architektonischen Umsetzung der Modernisierungsmaßnahmen sowohl die Gesamtansicht des Gemeindezentrums als auch die unterschiedlichen Qualitäten der einzelnen Gebäude berücksichtigt werden. Das äußere Erscheinungsbild des Gesamtensembles sollte sich also durch die Sanierung nicht verändern. Durch die Sanierung sollte der Endenergieverbrauch für die Beheizung und Trinkwarmwassererwärmung einschließlich der Hilfsenergien für Pumpen und Ventilatoren um mindestens 50% gesenkt werden.

Ist-Zustand des Gebäudes

Das katholische Gemeindezentrum „Zum Guten Hirten“ wurde ab 1966 in zwei Bauabschnitten erstellt. 1966 entstanden Kirche und Gemeindehaus, 1974 kamen Pfarrhaus und Kindergarten hinzu. Die Sanierung umfasst nun das Gemeindehaus, den Kindergarten und das Pfarrhaus. Alle drei Gebäude sind mit einem Flachdach ausgeführt. Die Außenwände bestehen aus Sichtbeton. Sie sind beim Gemeindehaus mit einer nur 4 cm dicken Innendämmung versehen. Beim Kindergarten und beim Pfarrhaus liegt die Dämmung der Außenwände zwischen der Tragschale und der Vorsatzschale, die nicht hinterlüftet ist. Der im Erdgeschoss liegende Kindergarten ist nicht unterkellert. Mit einer 4 cm dicken Dämmung weist der Boden einen schlechten Wärmeschutz auf.

Die Dächer weisen mit einer 6 cm dicken Dämmung einen ebenfalls unzureichenden Wärmeschutz von ca. 0,6 W/m²K auf. Der U-Wert der Holz-Verbundfenster liegt bei 2,5 W/m²K. Die Gebäude des Gemeindezentrums werden mit Fernwärme versorgt. Die Übergabe erfolgt im Technikraum des Gemeindehauses. Alle Gebäude sind mit Heizkörpern ausgestattet. Die Erwärmung des Trinkwarmwassers erfolgt jeweils im Trinkwarmwasserspeicher, der im Technikraum des Kindergartens und des Pfarrhauses aufgestellt ist. Im Gemeindehaus ist nur die Küche mit Trinkwarmwasser versorgt, das elektrisch erwärmt wird. Vor der Sanierung wurde ein Jahr lang der Heizwärme- und Stromverbrauch gemessen.

Johann Reiß
Fraunhofer IBP
johann.reiss@
ibp.fraunhofer.de

Sanierungsmaßnahmen

Die Außenwände des Gemeindehauses erhielten eine insgesamt 10 cm dicke Innendämmung. Die vorhandene Dämmung aller Dächer wurde abgetragen und durch eine 22 cm dicke Hartschaumdämmung ersetzt. Der Boden im Untergeschoss des Gemeindehauses wurde bis auf den Rohboden ausgebaut, neu gegen aufsteigende Feuchtigkeit isoliert und mit 7 cm Hartschaum gedämmt. Die Fenster wurden gegen Zweifach-Wärmeschutzglas ausgetauscht. Die Innendämmung erforderte eine umfangreiche Flankendämmung an der Decke. Bei den Außenwänden des Kindergartens wurden die äußere Beton-Vorsatzschale abgetrennt und die vorhandene 6 cm dicke Dämmung ausgebaut und durch eine 14 cm dicke Mineralwolldämmung ersetzt und als Wetterschale eine 1 cm dicke Faserzementplatte angebracht.

Um einen höheren Wärmeschutz des Fußbodens im Kindergarten zu erhalten, ohne den Bodenaufbau zu erhöhen, wurde der neue Boden mit 2 cm dicken Vakuumdämmpaneelen ausgelegt. Auf diese Weise konnte ein U-Wert von $0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht werden. Bei den Außenwänden des Pfarrhauses wurden die äußere Betonvorsatzschale abgetrennt und die vorhandene Dämmung ausgebaut. Statt dessen wurde die Fassade mit 3 cm dicken Vakuumdämmpaneelen gedämmt. Ohne den Wandaufbau zu erhöhen, konnte auf diese Weise der U-Wert der Außenwand von $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ verbessert werden. Die Wetterschutzschale wurde mit 1 cm dicken Faserzementplatten ausgeführt. Durch diese Dämmmaßnahmen an den Außenwänden war es möglich, die Außenansicht der Fassaden zu erhalten. Die Fenster des Kindergartens und des Pfarrhauses wurden in Holz mit Dreifach-Wärmeschutzglas ausgeführt.

Die Wärmeversorgung mit Fernwärme wurde beibehalten. Ein Wärmetauscher zwischen Primär- und Sekundärkreis ermöglicht die Vorlauftemperaturanpassung entsprechend dem Wärmebedarf des Gebäudes. Alle Heizkreispumpen wurden durch differenzdruckgesteuerte Pumpen ausgetauscht. Die Räume aller drei Gebäude sind mit einer Einzelraumregelung ausgestattet worden. Bisher war im Gemeindehaus eine Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung

installiert gewesen, die nur selten in Betrieb war. Diese Anlage wurde außer Kraft gesetzt. Die Belüftung der Räume erfolgt jetzt über die Fenster. Kindergarten und Pfarrhaus erhielten eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung und eine Solaranlage zur Unterstützung der Trinkwarmwassererwärmung. Auf dem Dach des Gemeindehauses wurde eine PV-Anlage mit der Leistung von $19,0 \text{ kWp}$ installiert. Weitere PV-Paneele, die gleichzeitig als Sonnenschutz dienen ($1,95 \text{ kWp}$), sind vor den raumhohen Fenstern des Gemeindehauses angebracht. Auf drei runden Säulen sind insgesamt 8 m^2 PV-Elemente mit der Gesamtleistung von $1,0 \text{ kWp}$ montiert. Die vorhandene Beleuchtung wurde komplett durch eine energiesparende ausgetauscht.

Überprüfungsmessungen

Für die energetische und thermische Gebäudeanalyse unter realen Nutzungs- und Klimabedingungen sowie zur Absicherung des geplanten und umgesetzten Energiekonzeptes und zur Ermittlung des Nutzerverhaltens in einem Gemeindezentrum sind Langzeitmessungen über zwei Jahre durchgeführt worden. Diese sollen auch die Langzeitstabilität der Vakuumdämmpaneelle überprüfen.

Bei den umfangreichen Ergebnissen, die während der zweijährigen Messung gewonnen wurden, sind vor allem die Klimarandbedingungen sowie die Raumlufttemperaturen und Energieverbräuche von zentraler Bedeutung. Während der beiden Messjahre lagen die Heizgradtage $G_t 20/15$ mit 3.890 Kd^1 in 2006 und mit 3.607 Kd in 2007 unter dem langjährigen Mittelwert von 4.296 Kd , der für die Region Ulm repräsentativ ist. Im ersten Messjahr war die Einzelraumregelung noch nicht umfassend in Betrieb, da es Probleme und Verzögerungen bei der Einweisung in die Programmierung und Handhabung gab. Die mittlere Raumlufttemperatur während der Heizperiode lag im Gemeindehaus bei $18,2 \text{ }^\circ\text{C}$, im Kindergarten bei $20,9 \text{ }^\circ\text{C}$ und im Pfarrhaus bei $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Die klimabereinigten Heizwärmeverbräuche vor der

¹ Kd (Kelvindays) ist die Maßeinheit für Heizgradtage.

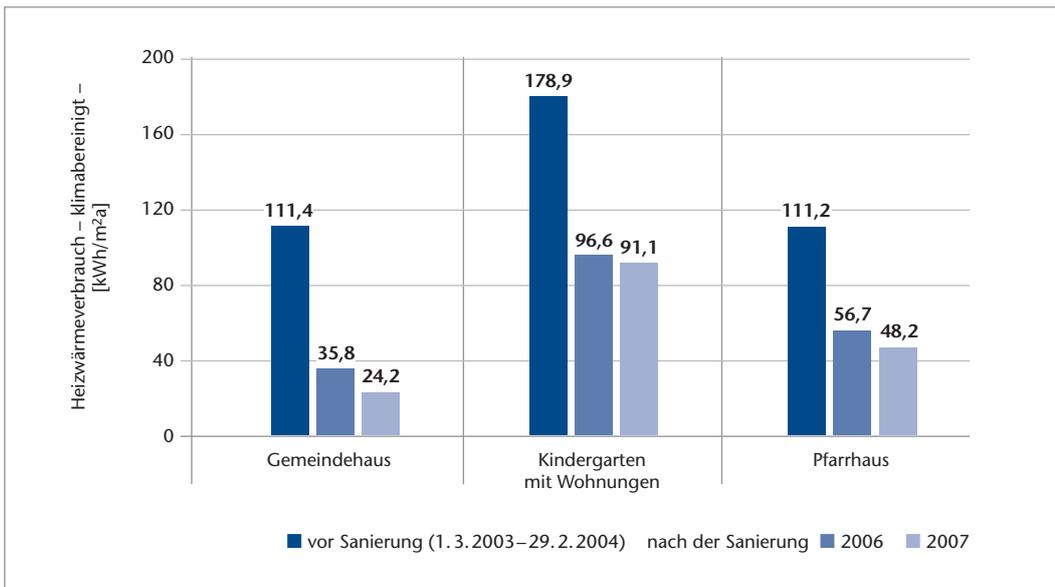


Abbildung 1
Die klimabereinigten Heizwärmeverbräuche vor Sanierung und nach der Sanierung

Zeitraum	Primärenergieverbrauch [kWh/m²a]		
	Brutto-Verbrauch	Gutschrift durch Einspeisung	Gesamt-Netto-Verbrauch
vor der Sanierung	150,5	0	150,5
nach der Sanierung:			
2006	89,4	36,7	52,6
2007	82,3	40,1	42,2

Tabelle 1
Mittlerer Primärenergieverbrauch der drei Gebäude und Primärenergiegutschriften aus der Stromgewinnung. Der flächenbezogene Wert bezieht sich auf die Gesamtnettogrundfläche der drei Gebäude von 1.579 m².

Sanierung sowie nach der Sanierung in den Jahren 2006 und 2007 sind in *Abbildung 1* dargestellt.

Der Mittelwert aus den in den Jahren 2006 und 2007 gemessenen Verbräuchen zeigt, dass die Reduzierung beim Gemeindehaus bei 73 %, beim Kindergarten bei 48 % und beim Pfarrhaus bei 53 % liegt. Obwohl das Beleuchtungssystem und die Heizkreispumpen ausgetauscht wurden, nahmen in allen drei Gebäuden die Stromverbräuche zu. Dies ist im Wesentlichen auf den Verbrauch der Lüftungsanlagen und die größere Anzahl von Bürogeräten zurückzuführen. In *Tabelle 1* ist der Primärenergieverbrauch der drei Gebäude vor und nach der Sanierung nettoflächenbezogen angegeben. Weiterhin enthält die Tabelle die nettoflächenbezogene Summe des eingespeisten Stromes. Er ist hierbei primär-energetisch angegeben.

Im Messjahr 2006 konnte somit der Primärenergieverbrauch von 89,4 kWh/m²a auf 52,6 kWh/m²a und im zweiten Messjahr von 82,3 kWh/m²a auf 42,2 kWh/m²a abgesenkt werden.

Schlussfolgerungen

Die Diözese Rottenburg-Stuttgart hat sich zum Ziel gesetzt, zur „Wahrung der Schöpfung“ künftig beispielhaft in die Steigerung der Energieeffizienz ihrer Gebäude zu investieren. Denn die Kirche hat auch für die Öffentlichkeit eine Vorbildfunktion. Die Kirchengemeinde „Zum Guten Hirten“ in Ulm-Böfingen entschied sich für die energieeffiziente Sanierung ihres Gemeindezentrums. Es erfolgte eine integrale Planung und nach Fertigstellung der Sanierung eine zweijährige Überprüfungsmessung. Es konnten u. a. die folgenden wichtigen Erkenntnisse gewonnen werden:

Eine integrale Planung ist die Voraussetzung für die Durchführung eines solchen Vorhabens, das von der Standardsanierung deutlich abweicht. Es verlangt von den Beteiligten ein Engagement, das über das Gewohnte hinausgeht. Mitarbeiter von Planungsbüros, die solche Projekte im gewohnten Zeitrahmen durchführen müssen, geraten dabei in einen erheblichen Zeitdruck. Die integrale Planung muss ausreichend honoriert werden, dann steht den Mitarbeitern auch die notwendige Zeit zur Verfügung. Der Einbau der Vakuumdämmplatten im Boden des Kindergartens verlief ohne Schwierigkeiten, da vorab eine exakte Vermessung der zu verlegenden Platten erfolgte. Schwieriger zeigte sich die Verlegung an den Außenwänden des Pfarrhauses. Die Unebenheiten der Wandoberfläche mussten zuerst mit einem Ausgleichsputz geglättet werden. Die anschließende Vermessung der Fläche erfolgte nicht exakt genug, so dass immer wieder Fugen von 1 bis 2 cm aufgetreten sind, die anschließend mit Polyurethan-Ortschaum² ausgefüllt wurden. Durch die Messung der Oberflächentemperaturen im Schichtaufbau des Fußbodens konnte nachgewiesen werden, dass die Paneele, die messtechnisch erfasst wurden, während des Messzeitraumes intakt waren. Dies erfolgte stichprobenartig, wobei ca. 6% der Paneele messtechnisch untersucht wurden. Um das Langzeitverhalten sicher zu erfassen, müssten die Messungen noch einige Jahre weitergeführt werden. Die an der Pfarrhausfassade verlegten und der Messung unterzogenen Vakuumdämmpaneele waren während des Messzeitraums intakt. Eine Aussage für die Zukunft lässt sich auch hier nicht ableiten.

Der Heizwärmeverbrauch aller drei Gebäude zusammen wurde gegenüber dem Zustand vor der Sanierung um 59% reduziert. Es konnte allerdings nur eine 50%ige Reduzierung des Endenergieverbrauchs erreicht werden, da der Stromverbrauch nach der Sanierung angestiegen ist.

Bei der integralen Planung wurde das Augenmerk stark auf die Hüllflächendämmung gelegt, bei der das Ziel vollkommen erreicht wurde. Die stromverbrauchenden Aggregate wurden jedoch zu wenig beachtet. Bei der Planung muss künftig eine gezielte Auswahl getroffen werden, denn der Primärenergiefaktor des Stroms ist um ein vielfaches größer als der der Fernwärme.

Die CO₂-Emission konnte nicht soweit gesenkt werden, wie dies zu Beginn geplant war, denn durch die Inbetriebnahme des Biomasse-Heizkraftwerks ist die CO₂-Emission nicht wie von der Fernwärme Ulm zuerst prognostiziert auf 0,072 kg/kWh, sondern lediglich auf 0,160 kg/kWh gesunken.

Die Dämmung des Bodens im Kindergarten und die Außendämmung des Pfarrhauses mit Vakuumdämmplatten waren Schwerpunkte des Vorhabens. Es zeigte sich, dass im Wandbereich noch Entwicklungs- und Forschungsbedarf besteht. Die hervorragende Dämmwirkung der Platte darf nicht durch metallische Anker, die der Befestigung der Abdeckschicht dienen, zunichte gemacht werden.

Literatur

- [1] Reiß, Johann: Energetische Verbesserung der Bausubstanz, Teilkonzept 3: Messtechnische Validierung der Sanierung eines Gemeindezentrums unter Einsatz von Vakuumdämmpaneelen. Abschlussbericht. IBP-Bericht WB 140/2008.
http://archiv.ensan.de/pub_index81.html

² PUR-Schaumstoffe können aus flüssigen Komponenten an Ort und Stelle hergestellt werden (Ortschaum).

Altbausanierung – technische Umsetzung in der Praxis

II. Das Renewable Energy House (REH) in Brüssel

Dass auch historische Gebäude zu 100 % mit erneuerbaren Energien versorgt werden können, zeigt das „Renewable Energy House“ in Brüssel. Es ist der Hauptsitz vieler europäischer Verbände, die im Bereich erneuerbarer Energien tätig sind, wie zum Beispiel der European Renewable Energy Council (EREC), der European Biomass Association (AEBIOM), der European Geothermal Energy Council (EGEC), der European Solar Thermal Industry Federation (ESTIF) und der EUREC Agency. Das 140 Jahre alte Gebäude wurde mit effizienter Energienutzung und dem Einsatz von erneuerbaren Energiequellen zum Vorzeigebau ausgebaut. Das Gebäude mit rund 2.800 m² Fläche wird als Bürogebäude genutzt und hat dabei gleichzeitig Demonstrationscharakter: Architekten und Planer können sich vor Ort über unterschiedliche Methoden zur Integration von erneuerbaren Energien unter Einhaltung der Anforderungen des Denkmalschutzes informieren.

Mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation wurde ein speziell auf das Gebäude und seine Umgebung ausgerichtetes Energiekonzept entworfen, das aus drei Kernstücken besteht:

- Verringerung des Wärmeaustausches mit der Umgebung
- Einsatz von Wärmerückgewinnung
- Nutzung von effizienten Energiesystemen mit erneuerbaren Energiequellen

Ziel war es, ein Energiekonzept zu realisieren, mit dem es möglich ist, den Energiebedarf für Heizung und Kühlung des Gebäudes zu 100 % aus erneuerbaren Energiequellen zu decken. Dazu wurden zunächst Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz getroffen, um den jährlichen Energieverbrauch für Heizung, Lüftung und Klimatisierung so weit wie möglich zu senken.

Durchführung der Maßnahmen

Oft sind aufgrund von Vorgaben des Denkmalschutzes im historischen Gebäudebestand nicht alle technisch möglichen Maßnahmen durchführbar und es sind oft Kompromisse und Speziallösungen nötig. Mit dem „Renewable Energy House“ in Brüssel wird aber demonstriert, dass sich Klima- und Denkmalschutz nicht ausschließen müssen.

Die durchgeführten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz umfassten neben dem Einbau einer Wärmedämmung in Dach und rückseitiger Fassade einen Austausch der Fenster, den Einbau einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Lüftungskontrollsystem und den Einsatz von besonders energiesparenden Neonröhren (T5 Fluoreszenz Lampen). Damit konnte der Energiebedarf verglichen mit einem Standard-Sanierungsprojekt um 50 % gesenkt werden.

Der restliche Energiebedarf wird durch den Einsatz erneuerbarer Energien gedeckt. Mit einer Kombination aus fester Biomasse (Holzpellets), Solarthermie und Geothermie erzeugt die eingesetzte Heizungs-, Kühlungs- und Klimatisierungstechnik des Gebäudes einen hohen Komfortstandard während des gesamten Jahres mit Raumtemperaturen von 21 °C im Winter und einem Maximum von 25 °C im Sommer. Im Winter wird die von den Pelletkesseln (85 kW + 15 kW) und den Solarkollektoren (30 m² Flachkollektoren + 30 m² Vakuumröhrenkollektoren) erzeugte Energie in zwei 2.000 Liter-Warmwassertanks gespeichert, die sowohl die Heizungskreise als auch das Gebäude-Lüftungssystem versorgen. Räume, in denen früher Kohle gelagert wurde, wurden in Speicherräume für Holzpellets umfunktioniert. Zweimal pro Jahr werden 13 Tonnen Pellets von

Elke Streicher
 Universität Stuttgart
 Institut für Thermo-
 dynamik und
 Wärmetechnik (ITW)
 streicher@
 itw.uni-stuttgart.de



Abbildung 1
REH in Brüssel
Gartenhaus mit
PV-Anlage

einem Lastwagen in zwei zusammenhängende Räume geblasen, die die Pelletkessel automatisch befüllen. Die kombinierte Lösung aus Solarenergie und Biomasse wird benutzt, um die drei vorderen Gebäude mit einer Nutzfläche von 2.600 m² zu beheizen. Eine Erdwärmepumpe beheizt das hintere Bürogebäude und die Konferenzräume (200 m²). Die 25 kW Wärmepumpe ist mit vier vertikalen Erdwärmesonden mit je 115 m Tiefe gekoppelt und wandelt Wärme mit einer Temperatur von 10-12 °C in Wärme mit einer Temperatur von 35-45 °C um, die in einem 400 Liter Warmwassertank gespeichert wird. Im Sommer wird eine thermisch betriebene Absorptionskältemaschine verwendet, um das gesamte Gebäude zu kühlen. In diesem Fall wird die Absorptionskältemaschine hauptsächlich durch die Solarkollektoren betrieben und die Holzpellets dienen als Backup. Das heiße Wasser (80-85 °C) beliefert den Absorptionskreis, um Kühlwasser (7-9 °C) zu erzeugen. Die Kühlenergie wird in einem 1.000 l Wasserspeicher gespeichert und versorgt die Lüftungsanlage. Die Abwärme (der Überschuss Niedertemperaturwärme der Absorptionskältemaschine) wird mit den vier Erdwärmesonden zurück in den Boden geleitet.

Das denkmalgeschützte Gebäude liefert die Möglichkeit zur Integration unterschiedlicher Technologien von Photovoltaikmodulen. Ziel war es, viele unterschiedliche Technologien zu installieren, um die Besucher mit den vielfältigen Integrationsmöglichkeiten der Stromerzeugung vertraut zu machen. Es wurden sowohl mono- und polykristalline Module als auch Dünnschichtmodule installiert. Architektonisch ansprechend sind die verschiedenen halbtransparenten Zellen, die teilweise in die Fenster integriert

wurden. Die gesamte installierte Kapazität beträgt 3 kWp und erzeugt jährlich ca. 2.550 kWh Strom. Der restliche Strombedarf wird durch Zukauf von „green electricity“ gedeckt, die von einem Mix aus der Energie von Wind, Bioenergie, KWK und kleinen Wasserkraftwerken besteht.

Erfolgreiches Demonstrationsprojekt

Das „Renewable Energy House“ dient sowohl als Bürogebäude zahlreicher europäischer Verbände quasi als Hauptsitz für erneuerbare Energien in Europa als auch als Demonstrationsobjekt für Architekten und Planer. Das Gebäude lockte innerhalb von zweieinhalb Jahren mehr als 15.000 Besucher in die belgische Hauptstadt. Mittlerweile wurde ein EU-Projekt im Rahmen des Förderprogramms „Intelligent Energy for Europe“ (IEE) initiiert. Die Koordination liegt bei dem European Renewable Energy Council (EREC) [1], der Organisation, die das „Renewable Energy House“ mit initiiert hat. Die Idee zur Renovierung des 140 Jahre alten Gebäudes hatte Prinz Laurent von Belgien mit seiner Stiftung GRECT, deren Ziel es ist, das architektonische Kulturgut Europas zu schützen und zu erhalten. Das Ziel des Projektes „New Energy for old Buildings (New4Old)“ [2], ist es, die Integration von erneuerbaren Energien und die Steigerung der Energieeffizienz im historischen Gebäudebestand zu erleichtern. Während der Projektlaufzeit sollen auf Basis der gewonnenen Erfahrungen weitere „Renewable Energy Houses“ in Europa etabliert werden.

Literatur

- [1] <http://www.erec.org/projects/ongoing-projects/new4old.html>
- [2] <http://www.itw.uni-stuttgart.de/~www/ITWHHomepage/News/new4old.pdf>

Hygrothermische Lüftungskonzepte

Einleitung

Insbesondere im Bestand ist die Anzahl von Gebäuden mit Schimmelpilzproblemen in den letzten Jahrzehnten gestiegen. Der Hauptgrund für dieses Phänomen liegt an der mit wärmeschutztechnischen Maßnahmen (Fenster austausch) gleichzeitig einhergehende Verbesserung der Luftdichtheit der Gebäudehülle, die ohne zusätzliche, bewusst eingesetzte Lüftungsmaßnahmen zu einer Erhöhung der Raumluftfeuchte führen kann. Die in diesem Zusammenhang häufig propagierte Stoßlüftung durch den Nutzer hat sich leider als wenig wirksam erwiesen, da sie das reale Feuchteverhalten in Gebäuden zu wenig berücksichtigt. Das Ziel der Stoßlüftung ist ein nahezu vollständiger Austausch der Raumluft bei gleichzeitig möglichst geringem Wärmeverlust, d. h., die Wärme in den Decken und Wänden soll durch die kurze Dauer der Außenluftzufuhr keine Gelegenheit haben, zu entweichen. Geht es um die Beseitigung von Gerüchen oder Kohlendioxid aus der Raumluft ist eine Stoßlüftung sicher sinnvoll. Soll allerdings auch die von den Bewohnern produzierte Feuchte abgeführt werden, ist ihre Wirksamkeit begrenzt. Da ein großer Teil der Feuchte – ähnlich wie bei Wärme – in der Gebäudehülle und im Mobiliar gespeichert ist, bleibt sie für die Stoßlüftung unerreichbar, denn die Feuchteaustauschprozesse sind noch deutlich langsamer als der Wärmeaustausch zwischen Raumluft und Gebäudehülle.

Wie wird also richtig gelüftet? Wie muss ein Lüftungskonzept aussehen, das die Raumluftfeuchte so steuert, dass eine Schimmelpilzbildung im Gebäude mit Sicherheit auszuschließen ist? Um diese Fragen beantworten zu können, benötigt man

1. so genannte instationäre – also zeitabhängige – Raumklimamodelle, die den Wärme- und Feuchteaustausch mit der Gebäudehülle praxisnah beschreiben

2. ein Modell, das eine Einschätzung des Schimmelpilzwachstumsrisikos auf den sensiblen Bauteiloberflächen (z. B. Wärmebrücken) erlaubt

Erst durch die Kombination solcher Modelle können Lüftungskonzepte entwickelt werden, die geeignet sind, unter Aufrechterhaltung eines hohen Hygienestandards und Nutzerkomforts die Lüftungswärmeverluste im Gebäude zu minimieren. Über den Hintergrund dieser Modelle und ihrer Einsatzmöglichkeiten soll hier berichtet werden.

Wärme- und Feuchtetransportvorgänge in der Gebäudehülle

Das Fraunhofer IBP hat ein PC-Programm zur instationären Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen – WUFI® (Wärme und Feuchte instationär [1]) – für den Praktiker entwickelt. Die steigende Anzahl von einschlägigen Fachveröffentlichungen zeigt, dass diese Verfahren zunehmend eingesetzt werden. Wegen der starken Einschränkungen der stationären Dampfdiffusionsbetrachtungen wird inzwischen auch in der Neufassung der DIN 4108-3 [2] auf diese instationären hygrothermischen Berechnungsmodelle verwiesen. Seit letztem Jahr wird dem Praktiker der Einsatz hygrothermischer Berechnungsverfahren für die feuchtetechnische Beurteilung von Bauteilen durch die EN 15026 [3] nahegelegt. Die Grundlagen und Voraussetzungen der hygrothermischen Simulation werden hier am Beispiel des Rechenverfahrens WUFI® beschrieben. Aus den in [1] beschriebenen physikalischen Grundlagen des Wärme- und Feuchtetransports lässt sich ein geschlossenes Differentialgleichungssystem entwickeln, mit dem man das Feuchteverhalten mehrschichtiger Bauteile unter natürlichen Klimarandbedingungen berechnen kann. Dabei sind folgende Transportmechanismen zu berücksichtigen:

Prof. Dr. Klaus Sedlbauer
Fraunhofer IBP
sedlbauer@hoki.ibp.fraunhofer.de

Dr. Hartwig M. Künzel
Fraunhofer IBP
kuenzel@hoki.ibp.fraunhofer.de

Prof. Dr. Anton Maas
Universität Kassel
Fachbereich Architektur,
Stadtplanung,
Landschaftsplanung;
Fachgebiet Bauphysik
maas@asl.uni-kassel.de

- **Dampfdiffusion:** thermische Eigenbewegungen der Moleküle im gasförmigen Zustand.
- **Oberflächendiffusion:** Flüssigtransport im Sorbatfilm hygroskopischer Stoffe.
- **Kapillarleitung:** Flüssigwassertransport in den Kapillaren poröser Baustoffe.

Für die Berechnung des nicht-isothermen Feuchtetransports in porösen Stoffen sind zwei unabhängige treibende Potenziale erforderlich sind. Einfache und physikalisch plausible Transportkoeffizienten ergeben sich bei der Wahl der echten Feuchtetriebkräfte „Dampfdruck“ und „Kapillardruck“. Der schwer messbare Kapillardruck lässt sich über die Kelvin-Beziehung¹ in die relative Feuchte umwandeln. Der Dampfdruck und die relative Feuchte stellen somit zwei physikalisch begründete Feuchtetransportpotenziale dar, die allgemein bekannt und einfach zu messen sind. Für die Berechnung des Wärme- und Feuchteverhaltens von Bauprodukten mit dem Programm WUFI® ist die Kenntnis folgender Informationen erforderlich:

- Der Aufbau des zu berechnenden Bauteils und das numerische Gitter², dessen Elementgrößen dem Schichtaufbau und der zu erwartenden lokalen Klimaeinwirkungen angepasst werden.
- Die thermischen und hygri-schen Stoffkennwerte und -funktionen der am Aufbau beteiligten Baustoffe; d. h. die Rohdichte, die Porosität, die spezifische Wärmekapazität, die feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit, der feuchteabhängige Wasserdampfdiffusionswiderstand sowie bei hygroskopischen, kapillaraktiven Stoffen auch die Feuchtespeicherfunktion und die Flüssigleitfunktionen für den Saugvorgang und die Weiterverteilung.
- Die inneren und äußeren klimatischen Randbedingungen sowie die Vorgabe der Zeitschritte, die von den Klimadaten und der geforderten Rechengenauigkeit abhängt. Als Klimaparameter dienen Stundenmittelwerte der Temperatur und der relativen

¹ Über die Kelvin-Beziehung besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Kapillardruck und relativer Luftfeuchte.

² Mit Hilfe eines numerischen Gitters können reale Bauteile simuliert und berechnet werden.

Luftfeuchte sowie der solaren Einstrahlung, des Niederschlags und der Windgeschwindigkeit.

Als Rechenergebnisse werden die stündlichen Veränderungen der Temperatur- und Feuchtefelder sowie der Wärme- und Feuchteströme über die Bauteilgrenzen erhalten. Aus diesen Ergebnissen können sowohl die langzeitlichen Verläufe der hygrothermischen Parameter (Temperatur, relative Feuchte, Wassergehalt) an verschiedenen Positionen im Bauteil als auch deren örtliche Verteilungen (Profile) zu bestimmten Zeitpunkten ermittelt werden. Eine zweckmäßige und sehr anschauliche Art der Ergebnisdarstellung ist die filmähnliche Abfolge der instationären Feuchte- und Temperaturprofile. *Abbildung 1* zeigt beispielhaft einen „Schnappschuss“ aus einem solchen Ergebnisfilm, der bei der Berechnung des hygrothermischen Verhaltens einer zweischaligen Wand entstanden ist.

Raumklimamodelle

Im Gegensatz zur weit verbreiteten energetischen Gebäudesimulation berücksichtigen Raumklimamodelle auch die komplexen instationären Feuchtetransport- und -austauschvorgänge in Gebäuden. Das heißt, solche Modelle basieren auf einer Verknüpfung von Gebäudesimulation und hygrothermischer Bauteilberechnung [4]. Durch diese Verknüpfung können auch die Wärme- und Feuchte-Wechselwirkungen zwischen der Raumluft und der Gebäudehülle berücksichtigt werden, wie beispielsweise die Feuchtepufferwirkung der Umschließungsflächen bei Änderungen der Feuchtelast im Raum oder die Feuchtesorption bzw. -desorption bei Temperaturänderungen an den Bauteiloberflächen (z. B. durch strahlungsbedingte Bauteilerwärmung oder nächtliche Abkühlung). Ein wesentlicher Zweck dieser Entwicklung ist die Schaffung von Planungswerkzeugen zur Sicherstellung eines hygienischen und behaglichen Raumklimas bei gleichzeitiger Reduzierung des Energieaufwandes für die Klimatisierung von Gebäuden. Durch gezielte Nutzung des Wärme- und Feuchtespeichervermögens der Gebäudemasse oder spezieller Einbauten sollen Raumklimaschwankungen

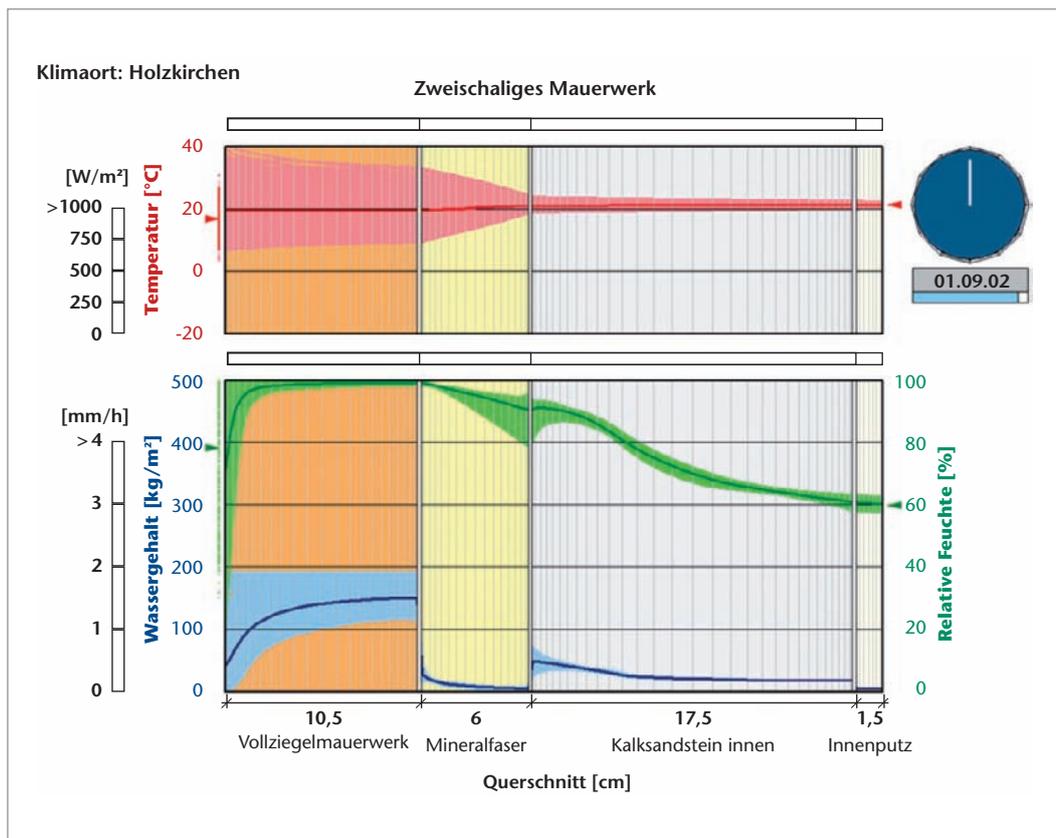


Abbildung 1
Momentaufnahme der
Filmdarstellung der
instationären
Temperatur- und
Feuchteverteilung
(Bereiche und
Mittelwerte) in einer
zweischaligen, nach
Westen orientierten
Außenwand mit
Kerndämmung im
Verlauf des Monats
August

Grafik: Fraunhofer IBP

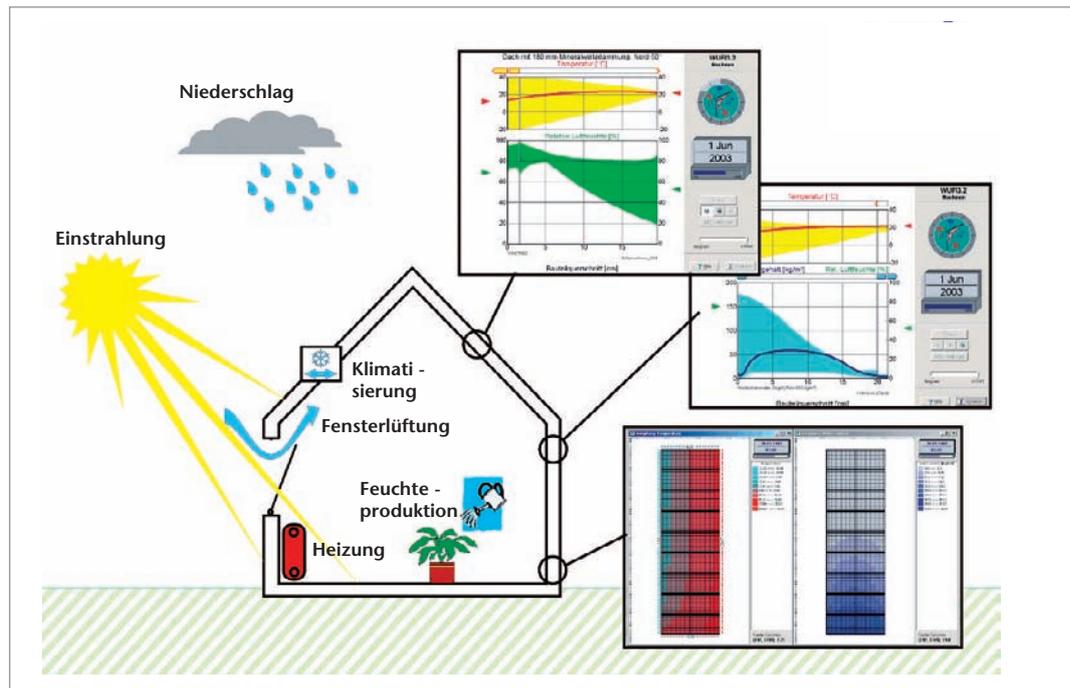
soweit wie möglich ohne den Einsatz einer aufwändigen Anlagentechnik begrenzt werden.

Dazu wurde das Raumklimamodell WUFI®-Plus entwickelt. WUFI®-Plus besteht aus einem Raumbilanzierungsmodul, an das beliebig viele eindimensionale WUFI®-Bauteilsimulationen gekoppelt werden können. Die Zahl richtet sich nach Anzahl der sowohl im Aufbau als auch in der Orientierung unterschiedlichen Raumschließungsflächen. Diese Ankopplung ist in [Abbildung 2](#) beispielhaft für eine Dach- und eine Außenwandfläche dargestellt. Eventuelle Wärmebrücken haben zwar im Vergleich zu den flächenmäßig wesentlich größeren ungestörten Bereichen (Bauteilregelquerschnitt) meist keinen großen Einfluss auf das Raumklima, umkehrt hat aber das Raumklima bedeutende Auswirkungen auf die Temperatur- und Feuchteverhältnisse und damit auch auf das Schimmelpilzrisiko an der Wärmebrücke. Ähnliches gilt für Wände, die noch anderen Feuchtebeanspruchungen ausgesetzt sind, wie z. B. lokal begrenzte Baufeuchte oder aufsteigende Grundfeuchte. In solchen

Fällen können die Ergebnisse des Raumklimamodells WUFI®-Plus als Eingabe für zweidimensionale Bauteilberechnungen (z. B. mit WUFI®-2D) dienen, wie ebenfalls in [Abbildung 2](#) rechts unten angedeutet ist. Dadurch lassen sich die instationären hygrothermischen Bedingungen an kritischen Punkten der Gebäudehülle recht genau bestimmen.

Abbildung 2
Beispielhafte
Darstellung der
Modellverknüpfungen
zur Berücksichtigung
der hygrothermischen
Wechselwirkung
zwischen Raumluft
und Gebäudehülle

Grafik: Fraunhofer IBP



Modelle zur Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos

Zur Vorhersage der Schimmelpilzbildung werden die biologischen Wachstumsvoraussetzungen (Soll-Werte) mit den hygrothermischen Bedingungen verglichen. Die Ermittlung der „Ist-Werte“ sollte alle Einflussnehmenden bauphysikalischen Vorgänge berücksichtigen. Die modernen hygrothermischen Berechnungsverfahren bieten dazu gute Voraussetzungen. Von besonderer Bedeutung für die Baupraxis ist die Beurteilung des Wachstumsrisikos von Schimmelpilzen auf Gebäudeoberflächen und im Inneren von Bauteilen. Da die Temperatur- und Feuchteverhältnisse wesentliche Einflussfaktoren für das Schimmelpilzwachstum darstellen, kann aus der genauen Kenntnis der hygrothermischen Bedingungen und deren zeitlicher Veränderung eine Wachstumswahrscheinlichkeit für Schimmelpilze abgeleitet werden. Um die Wirkungsweise der wesentlichen Einflussgröße auf die Auskeimung von Sporen bauphysikalisch beschreiben zu können, wurde ein biohygrothermisches Modell entwickelt (WUFI®-Bio) das in der Lage ist, den Feuchtehaushalt einer Spore in Abhängigkeit von instationären Randbedingungen rechnerisch zu ermitteln, also auch ein zwischenzeitliches Austrocknen der Pilzsporen zu berücksichtigen.

Dieses instationäre Verfahren beruht auf dem Grundgedanken, dass eine Pilzspore wegen der in ihr vorhandenen Stoffe ein gewisses osmotisches Potenzial besitzt, mit dessen Hilfe Wasser aus der Umgebung aufgenommen werden kann. Dieses Potenzial wird rechnerisch mit Hilfe einer Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Die Feuchtaufnahme der Spore durch die Sporenwand hindurch wird im Modell mittels eines Diffusionsansatzes erfasst. Ist ein bestimmter Wassergehalt im Sporennieren vorhanden, der den Beginn des Stoffwechsels zulässt, kann der Pilz unabhängig von äußeren Bedingungen seinen Stoffwechsel selbst regulieren. Der komplizierte Regelmechanismus ist weitgehend unbekannt und kann daher nicht modellhaft beschrieben werden. Dies ist aber auch nicht erforderlich, weil der kritische Wassergehalt (Grenzwassergehalt), ab dem die biologische Aktivität einsetzt, erst gar nicht überschritten werden darf. Dieser Grenzwassergehalt wird mithilfe der in *Abbildung 3* dargestellten substratabhängigen Minimalbedingungen (LIM) festgelegt, die die untere hygrothermische Grenze für eine mögliche Keimung von Schimmelpilzsporen bilden. Details zu diesem Modell, das bereits mehrfach erfolgreich zur Beurteilung von Schimmelpilzschäden angewandt wurde, sind in [5] enthalten.

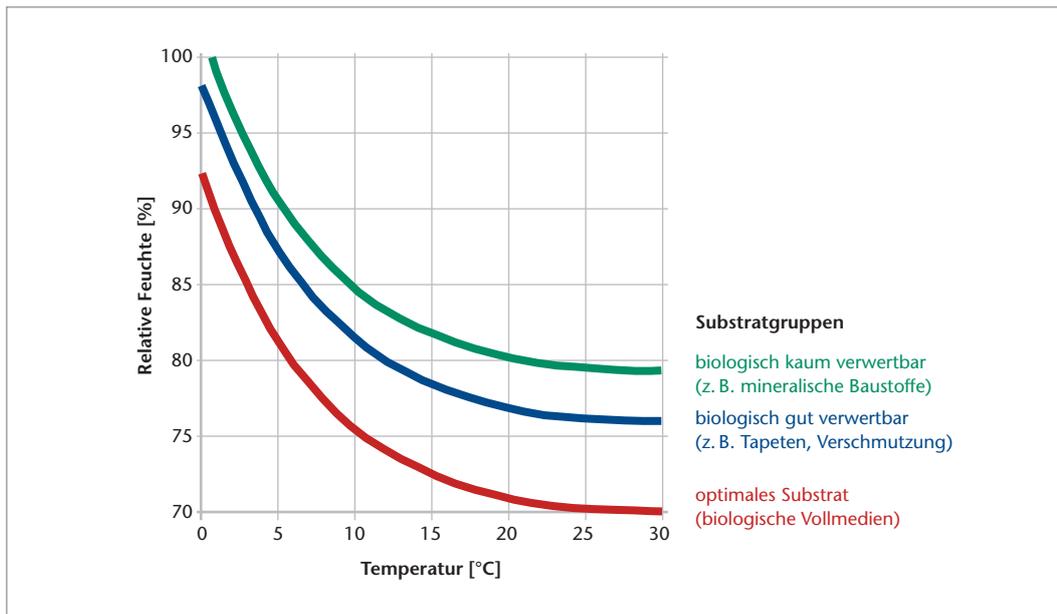


Abbildung 3
Substratabhängige
hygrothermische
Minimalbedingungen
(LIM) für das Auskei-
men von Schimmel-
pilzsporen nach [5]

Grafik: Fraunhofer IBP

Kombination von Raum- klimamodell und Schimmel- pilzprognosemodell

Die zunehmende Anzahl von einschlägigen Veröffentlichungen zeigt, dass Gesundheitsgefährdung durch Schimmelpilze trotz steigendem Dämmstandard immer noch ein wichtiges Thema ist. Ein Hauptgrund dafür ist ein falsch verstandenes Energiesparbewusstsein, das dazu führt, dass zu wenig und falsch gelüftet wird. Dies liegt auch daran, dass die für die Schimmelpilzvermeidung erforderliche Lüftung in komplexer Weise von den Klimarandbedingungen, der Baukonstruktion, den unterschiedlichen nutzungsabhängigen Feuchtelasten sowie den sorptiven Eigenschaften der Innenoberflächen und des Mobiliars abhängt. Bei unsachgemäßer manueller Fensterlüftung kann es besonders bei hohen internen Feuchtelasten zu einem Befall mit Schimmelpilzen kommen. Eine ausreichende Lüftung, auch bei Abwesenheit der Nutzer, ist vor allem zur Vermeidung von Feuchteschäden notwendig. Dabei ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Nutzung verbunden mit den jeweiligen Feuchtelasten für unterschiedliche Räume verschiedene Lüftungserfordernisse [6]. Mit Hilfe der Kombination eines Raumklimamodells (WUFI®-Plus) und eines Modells zur Prognose des Schimmelpilzwachstumsrisikos (WUFI®-Bio) können sinnvolle Lüftungsstrate-

gien ermittelt werden. Bei der Berechnung ist jedoch zu beachten, dass es besonders in den Raumecken aufgrund der Wirkung der geometrischen Wärmebrücke und der reduzierten Wärmeübergangskoeffizienten zu niedrigeren Oberflächentemperaturen und somit höheren Oberflächenfeuchten kommt.

Die Ermittlung der erforderlichen Luftwechselrate oder Fensteröffnungszeiten für Stoßlüftung oder Spaltlüftung erfolgt iterativ, indem bei vorgegebenem Lüftungsprofil die instationären Temperatur- und Feuchteverläufe in den Raumecken ermittelt werden. Anhand dieser erfolgt mit Hilfe von WUFI®-Bio die Beurteilung des Schimmelpilzwachstumsrisikos mit anschließender Anpassung des Lüftungsprofils bis zum Erreichen des gerade erforderlichen Luftwechsels.

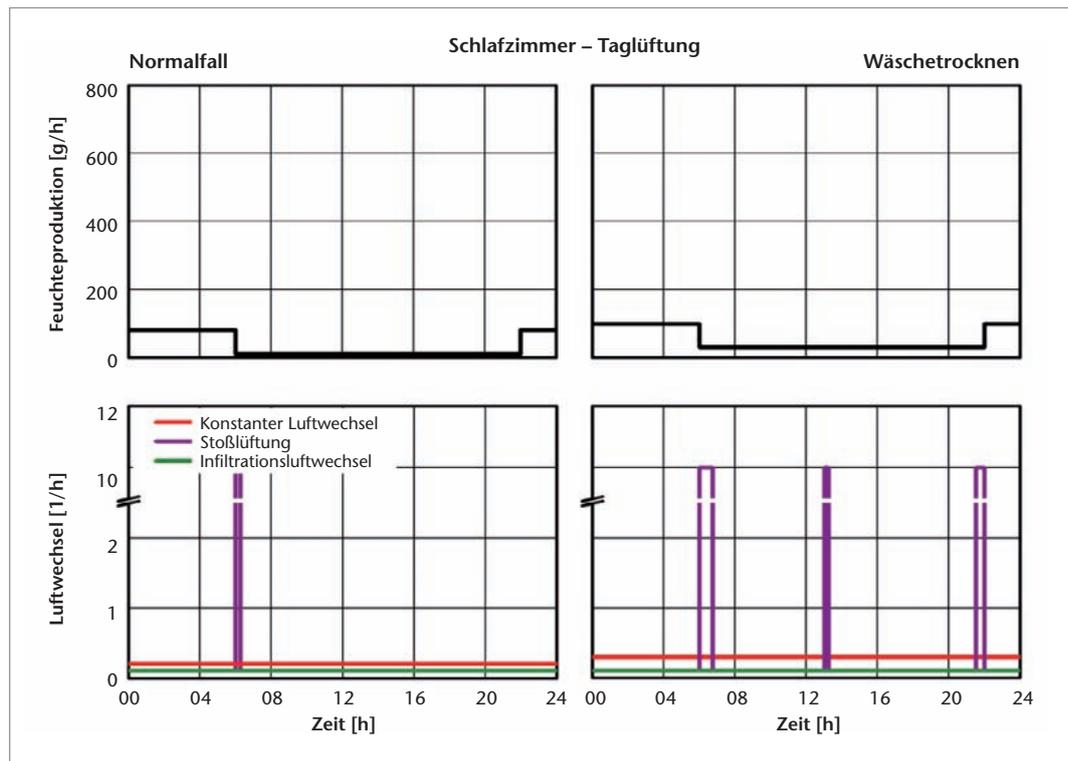
Als Beispiel zeigt *Abbildung 4* den zeitlichen Verlauf der Feuchteproduktion sowie die daraus zur Schimmelpilzvermeidung resultierenden Lüftungserfordernisse im Falle der Dauerlüftung bzw. der Stoßlüftung für ein Schlafzimmer einer mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmten Wohnung ohne und mit Wäschetrocknung. Bei dem dargestellten konstanten Mindestluftwechsel (rote Linie) bzw. dem Mindeststoßluftwechsel (lila Linie) ergeben sich in den Raumecken Oberflächenfeuchten, die gemäß den Berechnungen mit WUFI®-Bio gerade unterhalb der für Schimmelpilzbildung erforderlichen Wachstumsvoraussetzungen

Abbildung 4

Oben: Zeitverlauf der angenommenen Feuchteproduktion im Schlafzimmer einer gut gedämmten Wohnung ohne (links) und mit (rechts) Wäschetrocknung im Wohnraum.

Unten: Ermittelte zur Schimmelpilzvermeidung notwendige Dauerlüftung bzw. Stoßlüftung. Mit dargestellt ist der Infiltrationsluftwechsel.

Grafik: Fraunhofer IBP



liegen. Als grüne Linie ist der dabei angesetzte und im konstanten Mindestluftwechsel enthaltene Infiltrationsluftwechsel angegeben. Der Einfluss der erhöhten Feuchtebelastung durch Wäschetrocknen ist deutlich zu erkennen. Mit Wäschetrocknung reicht eine morgendliche Stoßlüftung nicht mehr aus, um Schimmelpilzbildung zu vermeiden; hier müssen dreimal täglich die Fenster geöffnet werden.

Fazit

Mit der vorgestellten Kombination von Raumklima- und Schimmelpilzprognosemodell besteht die Möglichkeit, erforderliche Luftwechsel zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung auf Bauteiloberflächen zu quantifizieren. Damit können Vorgaben für einzustellende Luftmengen in Lüftungstechnischen Anlagen bzw. Sollwerte der relativen Raumluftfeuchte bei bedarfsgeführten Systemen ermittelt werden. Für die freie Lüftung (Fensterlüftung) können Empfehlungen hinsichtlich der Lüftungsstrategie ausgesprochen werden; die sinnvolle Umsetzung durch den Nutzer muss dabei vorausgesetzt werden.

Literatur

- [1] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden – Klimabedingter Feuchteschutz. Juli 2001.
- [3] DIN EN 15026: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteübertragung durch numerische Simulation. Juli 2007.
- [4] Holm, A.; Radon, J.; Künzel, H. M.; Sedlbauer, K.: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Räumen. WTA-Schriftenreihe (2004), H. 24, S. 81–94. Hrsg.: WTA-Publications, München.
- [5] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [6] Richter, W.; Hartmann, Th.: Mindestluftwechsel zur Verhinderung der Schimmelpilzbildung in Wohnungen. VDI-Berichte Nr. 1603, (2001), S. 121–130.

Podiumsdiskussion: Energetische Gebäudesanierung – Hindernisse, Forschungsbedarf und Lösungswege

Leitfragen

Dehmer: Warum kommt die energetische Gebäudesanierung nur so langsam voran, obwohl milliarden schwere Förderprogramme aufgelegt werden?

Welche Hindernisse gibt es bei Bauherren, Wohnungsunternehmen, Industrie, Politik und Forschung?

Welche Maßnahmen können eine zügige Sanierung befördern und wo besteht Forschungsbedarf?

Imageschäden durch Anfangsfehler

Vogler: Die Solarenergie leidet noch ein wenig unter früheren Erfahrungen. Es wurden oft überdimensionierte Anlagen gebaut ohne zu wissen, wie hoch der tatsächliche Wasserbedarf in einem Haus ist. Manchmal kann man das auch nicht wissen. So wurde z. B. in Brandenburg ein Gebäude komplett saniert und dabei für Familien geplant. Eingezogen sind aber Singles und zwei Personen pro Wohnung. Die Anlage war einfach zu groß und damit auch nicht mehr wirtschaftlich. Wenn man die Abnahme nicht berücksichtigt, nützt die schönste Solaranlage nichts. Wir haben im Moment im Geschosswohnungsbau einen Rückgang des Wasserverbrauchs auf teilweise bis zu 12 Liter pro Person und Tag. Manche rechnen die Solaranlage auch noch mit 50 Liter, 20 Liter sind momentan üblich. Man muss da sehr genau hinsehen.

Bei der Sanierung mit dicht schließenden Fenstern gab es das Problem, dass diese in einer großen Aktionswelle in noch ungedämmte

Objekte eingebaut wurden. Wenn nur ein neues Fenster eingebaut wird, entsteht möglicherweise schnell ein Lüftungsproblem und Schimmel. Das gilt besonders bei steigenden Energiepreisen, wenn die Räume nur auf 16° C beheizt werden, um zu sparen.

Unsicherheit der Verbraucher

Schmidt: Aus Kundengesprächen, die wir am Fraunhofer IBP haben, wissen wir, dass es eine große Unsicherheit bei Bauherren und Nutzern gibt, was den ganzen Sanierungsprozess betrifft. Sie sollen sich auf einen Prozess einlassen, der erst mal nicht zwingend nötig ist, da das Haus ja nicht zusammenfällt, und den sie nicht überschauen können: „Wenn ich eine Fassaden-sanierung beauftrage, ist vielleicht danach auch noch das Dach dran und dann vielleicht noch die Anlagentechnik? Dann ist zunächst unser Wohnzimmer nicht bewohnbar, später die Küche und das Schlafzimmer und wir müssen alle ins Kinderzimmer ziehen?“ Ich denke, da sind noch viele vertrauensbildende Maßnahmen notwendig, die von verschiedenen Organisationen zu erbringen sind.

Dehmer: Herr Kübler, denken Sie, dass die Energieberatung, die das BMWi fördert, ein Wegweiser sein könnte, solche Unsicherheiten für die Bauherren von Ein-Familien-Häusern in den Griff zu kriegen?

Kübler: Wenn Sie sich die Bevölkerungsschichten anschauen, werden Sie feststellen, dass Sanierung für viele Leute einfach unattraktiv ist. Nehmen Sie doch bitte einmal die Leute, die über 70 sind. Ist das für den jetzt noch interessant, ein Engagement zu machen, was sich in 20 oder 30 Jahren rentiert? Wahrscheinlich nicht.

Moderation

Dagmar Dehmer
Der Tagesspiegel
Dagmar.Dehmer@
tagesspiegel.de

Teilnehmende

MinR Dr. Knut Kübler
Referatsleiter BMWi
knut.kuebler@bmwi.bund.de

Roland Neuner
Schott Solar GmbH
roland.neuner@schott.com

Hinrich Reyelts
Vorsitzender des
Fachausschusses Solares
Bauen der DGS
buero@reyelts.de

Dr. Dietrich Schmidt
Fraunhofer IBP
dietrich.schmidt@
ibp.fraunhofer.de

Ingrid Vogler
Bundesverband
Deutscher Wohnungs-
unternehmen
vogler@gdw.de

Reyelts: Doch! Erstaunlicherweise stelle ich immer wieder fest, dass Großeltern für ihre Enkel sanieren. Ich habe zwei 92-jährige, die installieren jetzt Kraft-Wärme-Kopplung. Gerade Ingenieure machen die tollsten Sachen auf ihre alten Tage.

Rolle der Berater

Schmidt: Es gibt schon viel Wissen über energetische Sanierung aber es ist noch eine offene Frage, wie man das vorhandene Wissen in die Fort- und Weiterbildung und letztlich auch in die Beratung hinein bringt. Oft schildern mir Bekannte ihre Erfahrungen so: „Jetzt habe ich einen Heizungsbauer, einen Fensterbauer und einen Energieberater gehabt und die haben mir alle drei etwas komplett anderes gesagt.“ Es gibt also große Unsicherheiten.

Kübler: Beratung ist für mich ein wichtiger Schlüssel, doch ich bin mir nicht sicher, ob die Energieberater immer sachkundige Ratschläge geben können. Ich hab das mal privat getestet und mir eine Energieberatung ins Haus kommen lassen. Sie glauben nicht, was mir der Herr alles erzählt hat. Ausbildung, Qualifikationen und Know-how sind absolut wichtig, denn die Techniken sind ja mittlerweile sehr kompliziert. Gehen Sie doch mal in Ihren Heizungskeller und versuchen Sie mal bitte Ihre Heizungsanlage einzustellen. Da reicht ein IQ von 100 nicht! Man muss aufpassen, dass man qualifizierte Berater finanziert. Fort- und Ausbildung sind also sehr wichtig und das BMWi engagiert sich hier.

Publikumsbeitrag (Donau-Universität Krems): In Österreich gibt es in den meisten Bundesländern Pilotprojekte, die die Tauglichkeit der Sanierungsberatungen wissenschaftlich überprüfen. Im Rahmen dieser Projekte wurden Sanierungsberater ausgebildet, und zwar nicht nur für Energieoptimierung, sondern auch für Barrierefreiheit, Erdbebensicherheit, Förderungsrecht, Mietrecht und Wohngemeinnützigkeitsrecht, so dass sie eine umfassende Beratung abgeben konnten. Das Interesse war groß und die Donau-Universität Krems hat überprüft, welche Mengen an CO₂ durch die Umsetzung dieser Maßnahmen eingespart werden können.

Es scheint sehr interessant, so ein Netz zu etablieren; nicht nur aus ethischen oder ökologischen Gründen, sondern auch aus ökonomischen Gründen.

Neuner: Die Verbindlichkeit der Beratung spielt eine wichtige Rolle, um wirklich Investitionen loszutreten zu können. Man könnte viele Einfamilienhausbesitzer für Sanierungsmaßnahmen aufschließen, wenn man ihnen ein verbindliches Angebot machen würde nach dem Motto „Wenn du das und das machst, kannst du irgendwann 30 %, 40 % oder 70 % deines Gas- oder Ölverbrauchs reduzieren. Du hast dann eine gewisse Refinanzierung der Investitionskosten über eine Laufzeit von 15 oder 20 Jahren.“

Außerdem muss beim Thema Beratung auch eine Qualität-Kosten-Diskussion stattfinden. Eine gute und verbindliche Beratung gibt es nicht mal eben für 50 €. Die muss mehr kosten, damit der Berater sich mehr Gedanken machen kann. Verbindlichkeit und eine angemessene Vergütung könnten Schlüssel zu einer guten und wirksamen Beratung sein.

Vogler: Ich denke bei den Energieberatern brauchen wir noch ein wenig Geduld. Denn gute Energieberater brauchen Erfahrung. Zur Zeit haben aber ungefähr 90 % der Energieberater, die am Markt gebraucht werden, unter einem Jahr Erfahrung. Wenn wir uns also noch 5 oder 6 Jahre gedulden, haben wir auch bestimmt erfahrenere Energieberater.

Förderberatung

Reyelts: Ich denke, dass der eigentliche Knackpunkt nicht die Energieberatung ist, sondern die Förderberatung. Das Bundesamt für Wirtschaft hat es in seiner Vor-Ort-Beratung zu Recht zur Pflicht gemacht, dass eine Förderberatung stattfinden soll. Ich versuche das mal an einem Beispiel darzustellen: Ich hatte einen Bauherrn, der eine Luftwärmepumpe für 25.000 € in ein Haus von 1960 einbauen wollte. Er hatte den Einbau schon zugesagt, fragte mich aber, ob ich wüsste, welche Förderung es dafür gibt. Der entscheidende Punkt war also die Förderberatung. Dann wurde schnell klar, dass diese Sanierung von der falschen Ecke her anfängt.

Ich habe ihm darstellen können, dass die behauptete Heizkostensparnis von 50 % nutzerabhängig und damit nicht verbindlich ist – und dass man zuerst konzeptuell überlegen muss, bevor man irgendwelche Einzelmaßnahmen in Angriff nimmt. Er lässt jetzt keine Luftwärmepumpe mehr einbauen, sondern Wärmedämmung und eine thermische Solaranlage, also etwas tatsächlich Nachhaltiges. Dank der KfW-Kredite kann er das doppelte Investitionsvolumen bewegen, erhält obendrein Zuschüsse – und hat eine Belastung, die erträglich ist und die sich vom ersten Tag an rechnet. Darauf wäre er aber nicht allein gekommen. Das heißt also, wir müssen viel stärker das Energiesparen mit Informationen über die Fördermöglichkeiten verbinden.

Staatliche Förderungen

Kübler: Ich möchte gern die Fördermöglichkeiten und die Unsicherheiten der Verbraucher in Zusammenhang bringen. Die Bundesregierung und die anderen Förderprogramminitiatoren haben mittlerweile verschiedene Förderprogramme. Es gibt eine Broschüre des BMU, die von einem „Förderdschungel“ spricht. Vielleicht ist für Leute, die sich mit dem Sanieren befassen, das Zeitbudget, um sich in den Förderbedingungen zu Recht zu finden, viel größer als für die konkreten Sanierungsfragen. Ich glaube nicht, dass der Staat alles regeln sollte. Ist es wirklich sinnvoll, jede denkmalgeschützte Behausung mit Panelen zu versehen? Und ist es sinnvoll überall Photovoltaik unterzubringen? Ich meine, Photovoltaik hat einen funktionierenden Markt und enorme Wachstums- und Steigerungsraten und man sollte nicht mit der Brechstange da drangehen, sondern es kommt darauf an, individuelle Lösungen für individuelle Fälle zu finden.

Dehmer: Aber der Sinn von Förderprogrammen ist doch, dass der Staat damit etwas erreichen möchte. Und wenn sich verschiedene Förderprogramme gegenseitig behindern, ist doch vielleicht der Moment gekommen, wo der Staat noch mal nachdenken muss, wie er sein Geld ausgeben möchte!?

Kübler: Ich würde auch sagen, dass der Staat unbedingt nachdenken sollte, aber wir sind ja auch Leute, die eine gewisse Erfahrung im politischen Geschäft haben. Förderprogramme, sind nicht nur dazu da, eine bestimmte Sache voranzubringen, sondern da spielen noch andere Effekte mit wie z. B. Klientelbindung oder regionale Aspekte.

Publikumsfrage (Astrid Schneider, Architektin): Ich möchte mal eine Zahl nennen. Die meisten Förderprogramme laufen über die KfW als Förderbank. Im Frühsommer 2008 wurden acht Milliarden Euro Steuergelder nur dazu verwandt, die 100%ige Tochtergesellschaft der KfW, die IKB Bank vor der Pleite zu bewahren. Das heißt, Deutschland hat acht Milliarden allein dafür ausgegeben, faule Immobilienkredite aus den USA zu finanzieren, anstatt diese Gelder in unsere Programme zu stecken. Zum Vergleich: Die gesamte zusätzliche Vergütung, die aufgewandt wurde, um den Anteil der Erneuerbaren am Stromverbrauch von 4 % auf 14 % zu bringen vom Jahr 2000 bis 2007 betrug sieben Milliarden Euro. Das waren keine Steuergelder, sondern Stromzahlungen im Rahmen des EEG. Doch da haben wir jahrelang diskutieren müssen, ob wir uns die erneuerbaren Energien leisten können! Die politische Frage ist, wie wir unsere Steuergelder sinnvoller einsetzen.

Energieausweis

Publikumsfrage: Der Energiepass wurde eingeführt, um Mieterinnen und Mietern eine Möglichkeit zu geben, sich auf dem Wohnungsmarkt zu orientieren. Ich frage mich, ob es nicht möglich ist, dieses Instrument noch stärker einzubringen und so zu etablieren, dass es wirklich genutzt wird und damit auch eine Garantie für die Wohnungsbaugesellschaften zu schaffen.

Reyelts: Ich denke, dass der Energiepass im Moment kaum Gutes tut. Das kann aber noch werden. Wir wissen ja, dass der bedarfsorientierte Energiepass ab 2009 für den Altbau verpflichtend wird und dann geht es los. Dann gibt er entscheidende Hinweise darauf, was das Haus bauphysikalisch und anlagentechnisch kann und wert ist. Ich denke, dass man dann eine positive Antwort auf Ihre Frage erhoffen kann.

Vogler: Der bedarfsbasierte Energieausweis allein ist als Grundlage für eine Investition ungeeignet. Wer investiert, braucht eine ausführliche Energieberatung. Der Energieausweis kann nur für eine grobe Information dienen. Deshalb sagen wir unseren Wohnungsunternehmen, dass sie aus dem Energieausweis allein noch nichts erfahren und dass sie eine Energieberatung brauchen. Wer Millionen investiert, sollte auch mehrere Tausend Euro in ein vernünftiges Energiekonzept stecken können, aber der Energieausweis wird dazu nichts beitragen. Ein wenig anders sehe ich das beim verbrauchsorientierten Energieausweis. Der trägt zwar nicht zur Sanierung bei, aber aus den Verbrauchsausweisen bekommen wir einen guten, breiten Überblick über den Verbrauch.

Modernisieren mit Konzept

Reyelts: „Modernisieren mit Konzept“ ist eigentlich das Entscheidende, was im Energiepass angelegt wurde. Das heißt eben nicht „an irgendeiner Stelle anfangen“. Deswegen brachte ich das Beispiel mit der Luftwärmepumpe. Mit einem Konzept bewege ich eben nicht 25.000 € für eine Wärmepumpe, ohne überhaupt die Voraussetzungen geschaffen zu haben, die Wärmepumpe effizient laufen zu lassen. Wenn dieser Bauherr mit Konzept saniert und 5.000 € mehr investiert, kann er eine Komplettanierung mit Wärmepumpe bekommen und eine Einsparung von 80 % erzielen.

Schmidt: Auch bei den Regelungssystemen geht es um den Systemzusammenhang. Das ist sehr wichtig. Was nützt mir es, wenn ich die Regelung meines Heizkessels verstehe, aber der Heizkessel nicht die Regelung der Solaranlage? Je mehr Komponenten integriert werden, desto komplizierter wird es. Wir brauchen Messen-Steuern-Regeln (MSR) also nicht nur die praktische Seite, sondern auch das Zusammenwirken von Bauphysik und technischer Gebäudeausrüstung.

Forschungsbedarf

Schmidt: Wo müssten wir denn hin in der Forschung? Wir haben die Möglichkeit noch mehr Energie einzusparen oder effizienter zu werden, wenn wir uns mehr Gedanken über größere Zusammenhänge machen. Also nicht nur die einzelne Komponente oder das Gebäude betrachten, sondern verschiedene Nutzerprofile für verschiedene Gebäudestrukturen schaffen.

Die Forschung kann vor allem in neuen Sanierungstechnologien etwas bewegen: „Muss man denn immer alles einzeln machen?“ Erst die Dämmung einzeln und dann muss man vielleicht die Anlagentechnik austauschen; kann man da nicht etwas machen – letztendlich mit modularer Bauweise? Ich würde also fragen, ob man eine Sanierung nicht mit großflächigen multifunktionalen Elementen machen sollte. Dann könnte man mit einem Sanierungsschritt mehrere Funktionen gleichzeitig umsetzen. Dann wären durch eine hoch industrialisierte Vorfertigung und entsprechende Maßnahmen auch wieder Garantien gegeben. Man hätte dann eine Technologie, eine Komponente, die von einer einzigen Firma angeschlossen wird, und dadurch würden sich auch Unsicherheiten reduzieren lassen.

Reyelts: Als Architekt muss ich leider sagen, dass es immer noch so ist, dass sich viele Kollegen nicht für die Fragen des Altbaus interessieren, obwohl bereits die Mehrzahl der Kollegen ihr Geld mit der Modernisierung des Altbaus verdient! Ziel ist das „Weiterbauen im Bestand“. Gebäude sind schon immer über ihre gesamte Betriebszeit weitergebaut worden. Und genauso müssen wir eigentlich denken: Dass wir mit unseren heutigen Ansprüchen an den bestehenden Häusern weiterbauen. Dabei gibt es allerdings ein großes Handicap. Wir kommen manchmal gar nicht mit der Komplexität der Gebäude klar, so wie sie gewachsen ist. Um das Defizit im Bewusstsein bei allen Beteiligten auszugleichen, müssen wir analytisch und konzeptionell an die komplizierten Altbaufälle herangehen. Wir brauchen also Hilfe in Fort- und Ausbildung für Architekten und ebenso für Ingenieure und Handwerker. Das kann also auch ein Ziel für die Forschung werden.

Wir brauchen z. B. auch mehr bestandsorientierte Innovationsforschung. Da sollte das Ministerium für Bauwesen etwas machen. Und wir müssten dort auch wiederum den Schwerpunkt auf den Einsatz innovativer Techniken und Materialien, Baukonstruktion und Gebäudetechnik legen.

Publikumsbeitrag: Die Frage ist, wo der größte Forschungsbedarf liegt. Wenn man sich die Statistiken anguckt, wo die großen Potenziale liegen, dann ist das im Wärme- und Heizungsbereich. Meines Erachtens nach steckt in den Hochschulen, Fachhochschulen und anderen technischen Ausbildungsstätten die Möglichkeit mehr zu machen. Dies müsste aktiviert werden.

Kübler: Ich finde es sehr nett, dass Sie unser Forschungsförderkonzept bestätigen. Wir leben ja von dem Instrument der Verbundforschung, wo Universitäten, Fachhochschulen, Fraunhofer Institute und die Wirtschaft kooperieren. Wir haben viele Einzeltechnologien erforscht und jetzt kommt es darauf an, diese Dinge zusammenzubauen und es im System zu betrachten. Das haben Sie zutreffend gesagt. Aus diesem Grunde wollen wir in den so genannten Demonstrationsvorhaben, flankiert durch Mess- und Begleitforschung, praktisch zeigen, ob das System wirklich funktioniert. Wir wollen aus entsprechenden Fehlern lernen und die Dinge dadurch verbessern und voranbringen.

Kostensenkung und Lernkurven

Neuner: Schott Solar ist ein Photovoltaikhersteller und baut auch Großkraftwerke im thermischen Bereich. Wir haben vor allem ein Ziel in der Photovoltaikindustrie und das ist Kostensenkung! Wir müssen die grid parity erreichen und zwar so schnell wie möglich. Das geht nur über den Ausbau der Kapazitäten und wir bündeln unsere Kapazitäten im Moment bei den Komponenten. Das heißt, wir liefern Komponenten, die unsere Partner in Systeme installieren, zu 90 % auf Gebäuden, das meiste auf Schrägdächern teilweise aber auch auf Flachdächern und der grünen Wiese. Das EEG ist für uns notwendige Voraussetzung, um die Kosten über den Kapazitätsausbau herunter -

zubringen. Und das schaffen wir, auch wenn das eine sehr große Herausforderung ist. Das Energieeinspeisegesetz ermöglicht dem PV-Investor, also dem Endkunden, eine Rendite des eingesetzten Kapitals in Höhe von 5–6 % über 20 Jahre. Der Vergütungssatz pro kWh wird laut EEG jedes Jahr deutlich reduziert. Unser Treiber ist, dass wir der Degression des EEGs folgen müssen.

Publikumsfrage (Herr Dr. Nestle, ISET): Beim Thema Photovoltaik sehen wir regelmäßig Lernkurven, wie die Kosten wirklich runter gehen und daher meine Frage, ob es so was auch im Bereich der Gebäudesanierung gibt? Also Lernkurven oder Zahlen über die tatsächliche Kostensenkung, die durch die Technologien erreicht werden. Und falls nicht, was ist das das Problem?

Reyelts: Die Erstellung von Lernkurven für Gebäudesanierung ist sehr schwierig. Da sind wir erst ganz am Anfang. Wir bilden ständig Energieberater aus und die Kurse sind nach wie vor ausgebucht. Jährlich kommen um die 1.200 bis 1.500 Energieberater dazu. Wir haben als Architekten die Erfahrung gemacht, dass mit Konzept modernisiert werden muss. Wenn wir das nicht tun und die so genannte Anstoßberatung den Handwerkern überlassen, gibt es keine Lernkurve, weil nur noch Teilmaßnahmen ergriffen werden. Baden-Württemberg hat diesen Fehler gemacht. Wir brauchen aber eine umfassende Beratung: dann können wir eines Tages eine Lernkurve aufzeichnen.

Optimierung, Evaluation und Smart Metering

Publikumsfrage: Nachdem gedämmt wurde, lässt sich der Energiebedarf von Gebäuden allein durch Messen, Steuern und Regeln (MSR) noch einmal um die Hälfte senken! Jeder PV-Anlagenbetreiber merkt spätestens am Monatsende, wenn seine Anlage nicht richtig funktioniert. Wer aber eine solarthermische Anlage betreibt, merkt es vielleicht nie. Deshalb sollten die Fördervorgaben darauf besonderen Wert legen, damit wir Messdaten bekommen und die Leute wissen, wo was funktioniert und wo nicht.

Schmidt: Ich denke, dass MSR wichtig ist. Das Fraunhofer IBP hat auch Bauvorhaben betreut und feststellen müssen, dass das was gebaut wurde, meist nicht das ist, was man haben wollte, beziehungsweise dass es anders funktioniert. Wenn man ein bisschen mehr nachdenken würde, könnte man noch vieles verbessern. Da sind wir sofort wieder beim Thema Ausbildung und Beratung. Die Firmen stehen unter Kostendruck, deshalb sind Monteure häufig so ausgebildet, dass bildlich gesprochen der weiße Kasten Nummer 3 einfach immer an dieses Kabel und an diese Stelle kommt. Deshalb ist Demonstration ein ganz großes Thema, also zu zeigen, was man noch machen kann und wo die Potenziale liegen. Das muss kombiniert werden mit einer Rückführung des Wissens in Aus- und Fortbildung und auch in das Beratertum.

Kübler: Ich habe vor 16 Jahren eine Brauchwassersolaranlage installiert und habe sie gleich mit einem Wärmemengenzähler versehen lassen. Dank des Wärmemengenzählers konnte ich dann feststellen, dass die Solaranlage über weite Perioden nicht richtig funktioniert hat. Anschließend bin ich zu meinen Kollegen im Ministerium gegangen, die damals die Förderrichtlinien gemacht haben, und sagte, dass sie reinschreiben sollen, dass nur derjenige eine Förderung bekommt, der einen Wärmemengenzähler installiert. Da gab es einen Aufschrei der Branche, dass das mit dem Wärmemengenzähler nicht ginge, weil der Wärmeertrag ganz stark vom Verbrauch abhängig ist. Deswegen haben sie sich auf etwas verständigt, dass sich Funktionskontrollgerät nennt. Das ist aber nicht das, was ich unter Messen verstehe.

Vogler: Mit MSR sollte man im Bereich der Heizungsanlage und Warmwasserbereitung 10 bis 15 % mehr Effizienz bei fast allen Häusern erreichen können. Wer eine Solaranlage baut, sollte unbedingt eine ständige Funktionskontrolle und auch einen Wärmemengenzähler zur Ertragskontrolle einbauen. Das erhöht zwar etwas die Kosten, schützt aber vor unbemerktem Ausfall der Anlage.

Ein anderes Diskussionsthema ist smart metering, also Einzelraumregelung. Hier gibt es viele unterschiedliche Erfahrungen. Es gibt Fälle, in

denen mit Einzelraumregelung keinerlei Einsparung eintritt, weil die Regelungen zu kompliziert sind und der Mieter sie nicht nutzt. Die hat dann am Ende immer noch die Solleinstellung. In den Objekten wo die Einzelraumregelungen angenommen werden, gibt es eine Einsparung. Das ist aber mit 1.000–1.500 € pro Wohnung für den Massengebrauch leider noch zu teuer. Die Industrie ist also aufgerufen, die Kosten zu senken. Bietet etwas für 500 € pro Wohnung an, das jeder bedienen kann, dann wird es auch nachgefragt.

Publikumsbeitrag (Herr Disch, Architekt): Ich würde behaupten, dass in den meisten Gebäuden die Regelungen nicht richtig eingestellt sind, weil sie niemand versteht. Ich muss gestehen, dass ich die Regelungen auch nicht verstehe und wenn ich einen Fachmann frage, versteht er sie auch nicht. Da ist riesiger Entwicklungsbedarf!

Unterschiedliche Bedingungen für Einfamilienhäuser und Geschossgebäude

Vogler: Warum kommt die energetische Sanierung nicht voran? Da muss man differenzieren zwischen Geschossgebäudebestand und Einfamilienhäusern und dann noch mal zwischen neuen und alten Ländern: Wir haben im Bereich des Geschosswohnungsbaus in den neuen Ländern 70 % energetisch sanierte Gebäude, 50 % davon umfassend energetisch saniert, d. h., jede zweite Wohnung im Geschosswohnungsbau ist gedämmt. Das hängt damit zusammen, dass die Wohnungsunternehmen den großen Bestand des industriellen Wohnungsbaus haben. Das sind Objekte, die sich bautechnisch gut sanieren und anpassen lassen und die in den 90er Jahren auch ihren Nachholbedarf befriedigt haben. Die Siedlungen sollten weiter gut am Markt platziert sein und sollten gut bewohnbar sein, auch Fördermittel haben dies unterstützt. Bundesweit sind über 50 % der GdW-Wohnungen energetisch modernisiert (30 % voll und 20 % teilweise). Dabei ist es in den alten Ländern nicht ganz so schnell vorwärts gegangen wie in den neuen Ländern.

Reyelts: Richtig, wir müssen zwischen Geschosswohnungsbau und Einfamilienhäusern unterscheiden. Wir haben in Deutschland 19 Millionen Wohngebäude, davon sind 15 Millionen Einfamilien- oder Zweifamilienhäuser, in denen wohnen aber nur 40 % der Menschen. 60 % der Menschen im Westen wohnen im Geschosswohnungsbau, im Osten 80 %. An die Ein- und Zweifamilienhäuser, die zum großen Teil eigen genutzt sind, kommen wir ganz gut heran. Mindestens genauso wichtig ist es aber, Lösungen für den privat finanzierten Geschosswohnungsbau zu finden.

Spezifische Bedingungen für Wohnungsunternehmen

1. Finanzierung

Vogler: Bei den Wohnungsunternehmen besteht ein Wirtschaftlichkeitsproblem. Sanierung wird in der Öffentlichkeit und auch in der Wissenschaft im Selbstnutzermodell gerechnet: Wer in Energieeinsparung investiert, bekommt Energiekosteneinsparung zurück. Das rechnet sich oft über 20 Jahre, wenn entsprechend steigende Energiepreise angesetzt werden. Wohnungsunternehmen können so aber nicht rechnen. Ein Wohnungsunternehmen investiert Geld in ein Wohnobjekt und dessen Energieeffizienz und bekommt dafür Mieterhöhungen zurück. Es ist aber so, dass eine rentierliche Mieterhöhung höher sein müsste, als das, was der Mieter an Energiekosten einsparen kann. Wir haben im Geschosswohnungsbau bundesweit durchschnittlich Betriebskosten von 1 € und Kaltmieten von 4,50 €. Wenn wir mit dem Standard von heute sanieren, könnten wir vielleicht 50 bis 80 Cent einsparen. Die Miete muss aber um über 1 € erhöht werden, d.h. brutto warm wird es für den Mieter teurer. Warmmietenneutralität ist ganz wichtig. Wenn wir das erreichen, wird die Modernisierung einen Schubs kriegen. Momentan schaffen wir das aber noch nicht. Dazu kommt, dass die Wohnungsunternehmen zum Beispiel von 200 €/m² für die Energieeffizienz nur 100 €/m² als Mieterhöhung wirksam machen können. Der Rest sind Instandsetzungskosten, die sie aus anderen Mitteln refinanzieren müssen. Bei Niedrigenergiehäusern im Bestand können es

schon 300 € bis 400 € und bei Passivhäusern 600 € Investition pro Quadratmeter werden. Die Refinanzierung ist eine der Hürden, die überwunden werden müssen.

Bei der Gebäudesanierung klafft die Lücke zwischen technisch und wirtschaftlich Machbarem auseinander. Dazu kommt, dass Gebäude die längsten Investitionszyklen haben. Ein Auto kann ich nach 6 Jahren austauschen, einen Kühlschrank nach 8 oder 10 Jahren, aber ein Gebäude muss nach einer Sanierung 20 Jahre halten, um diese Investition zu refinanzieren. Dies ist überproportional teuer im Vergleich zu anderen Branchen. Wir haben ausgerechnet, dass ein Wohnungsunternehmen 6000 € investieren muss, um eine Tonne CO₂ pro Jahr zu sparen. Wenn ich das über 20 Jahre rechne, sind es jährlich immer noch 300 €. Die Industrie handelt aber gerade mit 25 €/Tonne. Das sind also schon sehr hohe Kosten, die in die Gebäudesanierung investiert werden müssen.

Durch diese Lücke kommt der Gebäudeeigentümer auch in die Lage, dass derjenige, der ein Gebäude saniert aber dabei nicht das technisch maximal Machbare umsetzt, sich fragen muss, wie lange das am Markt hält. Und das erzeugt Unsicherheit über den einzubauenden Standard. Da hilft auch kein Gesetzgeber, der die Standards hochschraubt. Das erhöht die Kosten nur weiter. Energetische Modernisierung ist immer dann einfach, wenn sie finanziert werden kann und es einen Markt dafür gibt

2. PV für Wohnungsunternehmen

Vogler: Viele Wohnungsunternehmen würden gern Photovoltaik nutzen. Aber sie können nicht, weil es ein Steuerproblem gibt. Photovoltaik rechnet sich nur über Einspeisevergütung und diese Einspeisevergütung ist eine gewerbliche Einnahme. Wohnungsunternehmen, die steuerlich begünstigt sind und diese Gewerbe-einnahmen annehmen, würden ihre Steuerbegünstigung verlieren. Das heißt, sie bekämen vielleicht 10.000 Euro Einnahmen aus dem EEG und müssten andererseits zwei Millionen Euro Steuern zahlen. Unter diesen Bedingungen verknüpft man sich die Photovoltaik.

Publikumsfrage an Frau Vogler: Wenn Photovoltaikanlagen von gemeinnützigen Wohnungsgesellschaften nicht betrieben werden können, weil dies eine wirtschaftliche Tätigkeit wäre, ist meine Frage: Sehen Sie eine Möglichkeit für das Wirken im größeren Stil von PV-Betreibergesellschaften?

Vogler: Ja, einzelne Wohnungsunternehmen überlegen, ihre Dächer zu vermieten. Man muss aber sehr gutwillig sein, um für eine Quadratmetermiete von ca. 1 € pro Jahr alle Risiken auf sich zu nehmen, die es mit sich bringt, wenn ein Dritter eine Anlage auf dem Dach installiert. Das benötigt sehr komplexe Verträge, um die Risiken und Verantwortlichkeiten zu verteilen, aber das wird überlegt.

3. Denkmalschutz

Vogler: Die Denkmalbehörden legen sehr viel Wert auf den Erhalt der Substanz, d. h., es muss z. B. der Putz erhalten werden, dann kann eine äußere Wärmedämmung nicht erfolgen. Das ist in Berlin ein Problem. Es gibt viele denkmalgeschützte Gebäude der Nachkriegsmoderne und hier ist es eigentlich nicht einzusehen, wieso eine Außendämmung nicht erfolgen darf. Schwierig ist auch der Einbau von Kunststofffenstern im Denkmalschutzbereich. Einerseits versteht man die Denkmalschützer, andererseits ist Kunststoff heute in einer Rahmenbreite und Ansicht erhältlich, die den Holzfenstern nicht viel nachsteht. Die Rede ist nicht von Schlössern und herausragenden Gebäuden, sondern von der Masse, die wir modern nutzbar machen müssen.

Ausblick

Dehmer: Vielen Dank für Ihre Beiträge. Laut einer UNEP-Studie beträgt das weltweite Potenzial der CO₂-Einsparung im Gebäudebereich 1,8 Milliarden Tonnen CO₂. An dieser Stelle etwas zu tun, ist also unbedingt geboten.

■ Innovative Energieversorgungstechniken

- Gebäudeintegrierte Photovoltaik
- Solares Heizen – Wärmeversorgung für Alt- und Neubauten
- Solare Klimatisierung – Techniken und Energiemanagement

Gebäudeintegrierte Photovoltaik (GIPV)

Tilmann E. Kuhn
Fraunhofer ISE
tilmann.kuhn@ise.fraunhofer.de

Ilona Eisenschmid
Scheuten Solar Germany GmbH
Scheuten-Solar-Straße 2
45881 Gelsenkirchen
ilona.eisenschmid@scheutensolar.de

Silke-Kirsten Bosse
Sulfurcell Solartechnik GmbH
Barbara-McClintock-Str. 11, 12489 Berlin
bosse@sulfurcell.de

Andreas Hinsch
Fraunhofer ISE
andreas.hinsch@ise.fraunhofer.de

Einleitung

40 % des Endenergiebedarfs in Europa wird von Gebäuden verursacht [1]. 80 % dieses Energiebedarfs fallen beim Betrieb der Gebäude an, 20 % werden für die Errichtung und die Entsorgung der Gebäude benötigt [2].

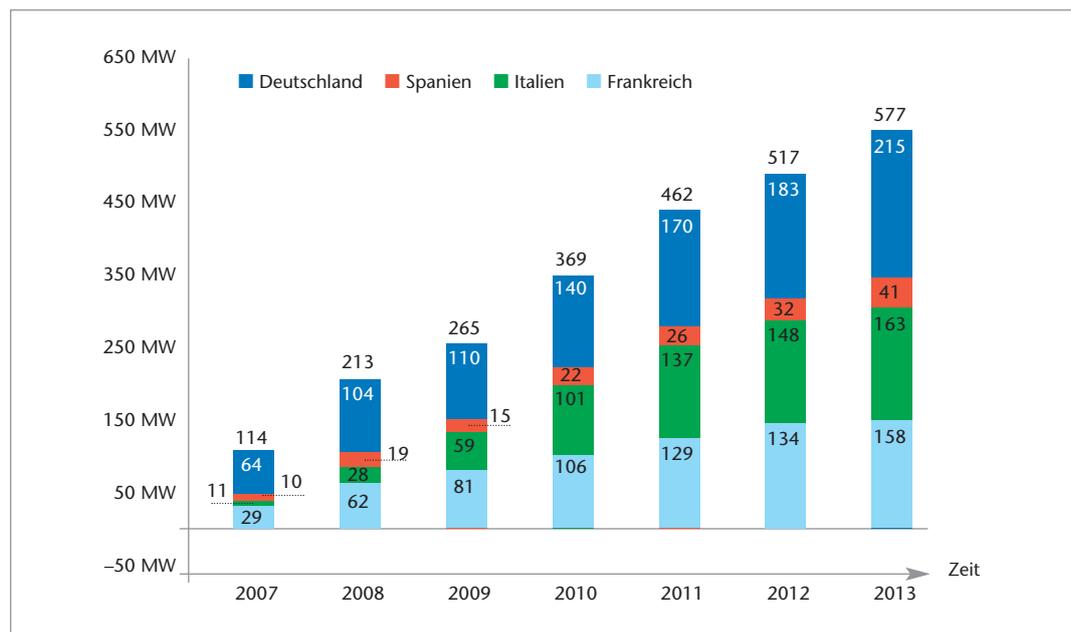
Das Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz und der Nutzung von regenerativen Energiequellen ist enorm. Hohe regenerative Deckungsraten lassen sich nur erzielen, wenn ein großer Teil der gesamten Gebäudehülle zur Energiegewinnung genutzt wird. Dies gilt sowohl für die photovoltaische, als auch für die thermische Solarenergienutzung. Insbesondere bei Verwaltungsgebäuden besteht ein großer Nachholbedarf, der sich bei ungünstiger Gebäudetopologie (kleines Dach, große Fassade) nur über fassadenintegrierte Komponenten abdecken lässt.

Die aktuelle Lage in der PV-Branche

Die PV-Branche befindet sich seit einigen Jahren in einer Boom-Phase wobei viele der PV-Hersteller jährliche Wachstumsraten von 30 % bis 40 % vorweisen können. Es werden momentan auf allen Ebenen der solaren Wertschöpfungskette große Anstrengungen unternommen, um die Kosten zu senken. Ziel ist, möglichst schnell Netzparität, also Preisgleichheit zwischen solaren Stromgestehungskosten und Strombezugskosten zu erreichen. Beispielsweise eröffnen sich bei der Herstellung von kristallinen Siliziumzellen ganz neue Perspektiven durch weniger hochreines, aber deutlich billigeres Silizium [3]. Auch bei den nur wenige Mikrometer dicken Dünnschichtsolarzellen (a-Si, CdTe, CIS, CIGS) werden größte Anstrengungen unternommen, um den Preis der Solarzellen zu senken und um die Lebensdauer zu erhöhen.

Abbildung 1
Prognose der installierten Leistung von GIPV-Projekten bis 2013 in den relevanten europäischen Märkten

Quelle: Sulfurcell GmbH



Funktionale und ästhetische Gebäudeintegration

Mit alternativen Solarzellenkonzepten wie Farbstoffsolarzellen oder organischen Solarzellen können die Herstellungskosten in fernerer Zukunft potenziell noch weiter gesenkt werden. Bei der übrigen Systemtechnik, die momentan rund ein Drittel der Kosten ausmacht, schlägt vor allem der Wechselrichter zu Buche, aber auch die verschiedenen Aufständers- und Befestigungssysteme. Hier konnten die Kosten seit 2002 um mehr als 50 % gesenkt werden [4]. Weitere Kostensenkungen durch länger haltbare, billigere und effizientere Wechselrichter werden für die nächsten Jahre erwartet. Bei sinkenden Kosten für Solarzellen und Wechselrichter steigt die Bedeutung der Kosten für die übrigen Komponenten der PV-Module – wie z. B. die Glasabdeckung. Hier können Kosten eingespart werden, wenn PV-Module die Funktionen der Gebäudehülle übernehmen, wodurch klassische Bauteile entfallen können. Deshalb, und weil die ästhetischen Anforderungen immer mehr steigen, wird die funktionale und ästhetische Gebäudeintegration in Zukunft eine immer größere Rolle spielen. Den speziellen Anforderungen bei Fassaden- und Dachintegration (Diffuslicht, Verschattung, hohe Temperaturen, hohe Anforderungen an Ästhetik, niedrige Kosten pro m² Solarmodul) wird besonders die Dünnschichttechnologie gerecht. In Bezug auf die Langzeitstabilität sind kristalline Solarzellen im Vorteil.

Die individuellen Anforderungen an den Einsatz von GIPV und deren Einbeziehung bereits in der frühen Planungsphase von Wohn- oder Gewerbeobjekten erfordern eine intensive Information, Koordination und Kooperation der beteiligten Architekten, Projektierer und Gewerke. Herausforderungen bestehen in der Konstruktion entsprechender Befestigungssysteme sowie in der Erfüllung verschiedener Funktionen wie beispielsweise optische Akzentuierung, indirekte Beleuchtung, Schallschutz, Wärmedämmung und Klimatisierung.

Markt-Prognose für Gebäudeintegration

Der Marktforschungsdienstleister EuPD Research hält eine installierte Leistung von ca. 600 MW an integrierten Photovoltaikanlagen in Deutschland, Spanien, Italien und Frankreich im Jahr 2013 für möglich. Der größte Anteil davon entfällt mit 215 MW auf den deutschen GIPV-Markt, gefolgt von Italien und Frankreich. Modifizierungen der bürokratischen und förderrechtlichen Bestimmungen in den einzelnen Ländern können dabei einen erheblichen Einfluss auf die Anzahl und Größe der GIPV-Projekte bewirken.

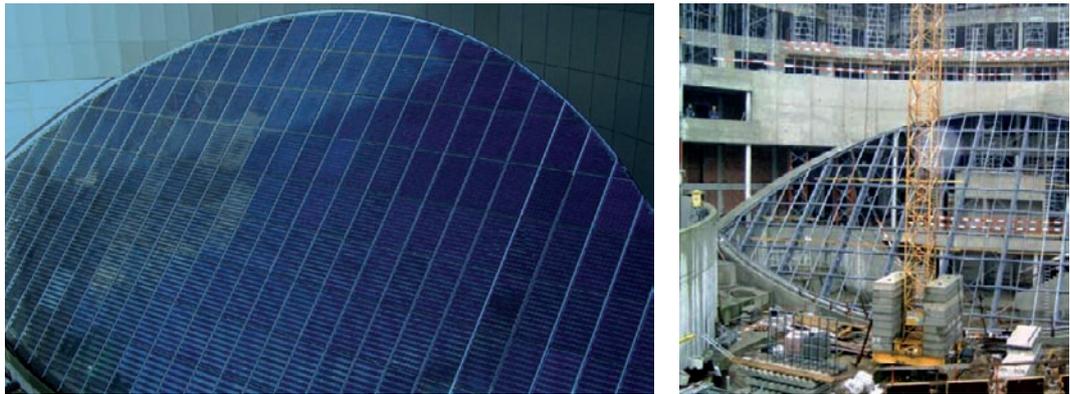


Abbildung 2
Solarmodule an einem
Lebensmittelmarkt in
Gelsenkirchen

Quelle: Scheuten Solar

Abbildung 3
Im Bau befindliche
PV-Fassade in Aalst

Quelle: Scheuten Solar



Beispiele

Bei den Beispielen werden neben den technischen Eigenschaften auch die auf andere Objekte übertragbaren Kosten pro kWp betrachtet.

Abbildung 4
Die Südwand der Juwi-
Unternehmenszentrale
mit 184 Modulen hat
eine Leistung von
10 KW

Quelle: Sulfurcell GmbH



Abbildung 5
Die 10-KW-Fassade
der Heuchemer
GmbH & Co. KG
besteht aus 189
Modulen

Quelle: Sulfurcell GmbH



1 Sonnen- und Witterungsschutz mit Glas/Glas PV-Modulen

Abbildung 2 zeigt das Vordach eines Lebensmittelmarkts in Gelsenkirchen, bei dem die Belegung der Solarzellen im zentralen Bereich reduziert wurde, um so eine gleichmäßigere Ausleuchtung unter dem Vordach zu erreichen. Um die Kosten niedrig zu halten, wurden nur zwei verschiedene Solarzellen-Belegungen verwendet anstelle eines kontinuierlichen Verlaufs der Belegungsichte. Vergleicht man an diesem konkreten Beispiel die Kosten mit denen für ein Glasdach plus eine auf dem Dach aufgeständerte PV-Anlage, so ergeben sich Mehrkosten von 19 % pro kWp, weil es sich hier um eine gebäudeintegrierte Anlage mit Doppelglasmodulen handelt.

2 Fassade eines Krankenhauses in Aalst (Belgien)

Die in **Abbildung 3** dargestellte Fassade am neuen Krankenhaus in Aalst (Belgien) ist ein Beispiel für GIPV, bei dem Photovoltaik bewusst als architektonisches, gestalterisches Element eingesetzt wird. Hier wurde versucht, mit der PV-Fassade Fortschrittlichkeit und Modernität zu visualisieren. Wirtschaftliche Faktoren traten in den Hintergrund. Die Mehrkosten für diese integrierte PV-Fassade verglichen mit einer herkömmlichen Isolierglasfassade plus einer auf dem Dach aufgeständerten PV-Anlage sind moderat und belaufen sich in diesem Beispiel auf 27 % pro kWp. Auch bei anderen gestalterischen Fassadendetails (z. B. Naturstein) steht die Amortisationszeit nicht im Vordergrund. 236 Module wurden in eine „augenförmige“, ca. 20 x 38 Meter große Isolierglasfassade mit



Abbildung 6
Die PV-Sichtschutz-
wand des Ferdinand-
Braun-Institutes für
Höchstfrequenztechnik
in Berlin-Adlershof
besteht aus 732
Dünnschicht-Modulen
mit einer Gesamt-
leistung von 39 kW.

Quelle: Sulfurcell GmbH



Abbildung 7
Diese von Cythelia
installierte Indach-
Anlage bestückt beide
Dachflächen eines
Wohnhauses in
Frankreich.

Quelle: Sulfurcell GmbH

einem Neigungswinkel von 45 Grad eingebaut, wobei die Zellen hier als Sonnenschutz dienen. Um die Lichtverteilung im Raum zu gestalten, wurden die Module im oberen Bereich der Fassade dichter mit Solarzellen belegt.

Durch die spezielle Fassadenform gibt es kaum gleiche Modulabmessungen, sowie trapez- und

dreiecksförmige Module. Dies bedeutete einen hohen Planungsaufwand, zeigt jedoch die Möglichkeit, mit Photovoltaik auch außergewöhnlichen Wünschen gerecht zu werden. Getragen wird die Fassade mit rund 46 kWp installierter Leistung von IPE 550 Trägern, wobei die Module in einem Standardfassadenprofil auf der jeweils langen Seite verschraubt sind.

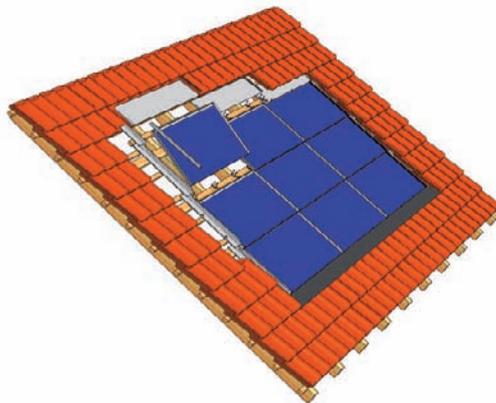
Abbildung 8
Diese von IBC Solar projektierte Indach-Anlage fügt sich dezent in das klassische Erscheinungsbild eines Landhauses ein.

Quelle: Sulfurcell GmbH



Abbildung 9
Das Verlegen der Module erfolgt bei Verwendung des SOLRIF®-Befestigungssystems wie bei Dachziegeln.

Quelle: Sulfurcell GmbH



3 Fassaden- und Dachintegration mit Dünnschichtsolarmodulen

a) Photovoltaik als Design-Element und Sichtschutz

Die homogene Oberfläche von CIS-Modulen ermöglicht eine Akzentuierung von Gebäudehüllen und kann so einen dezenten, edlen oder futuristischen Eindruck hervorrufen (*Abbildung 6*). Flexible Konstruktionslösungen bieten vielfältige Einsatzmöglichkeiten.

b) Indach-Lösungen als Antwort auf wildes Patchwork

Indach-Module von Sulfurcell ermöglichen mit Hilfe des von der Firma Schweizer entwickelten SOLRIF®-Befestigungssystems die photovoltaische Auskleidung der kompletten Dachhaut (*Abbildung 7*) oder den teilweisen Ersatz von Dachziegeln (*Abbildung 8*). Mit nur 2 bis 3 Hakenelementen pro Modul werden die einzelnen Elemente schnell und bequem zu einer wasserdichten Dachanlage zusammengefügt (*Abbildung 9*).

Fazit

Entscheidend für den Bau einer gebäudeintegrierten PV-Anlage ist letztendlich nicht mehr nur ein maximaler Stromertrag, sondern das perfekte ganzheitliche Zusammenspiel einer Vielzahl von bautechnischen Funktionen. Vielfältige technische und planerische Ansätze sind bereits realisiert.

Sobald Politik und Wirtschaft ein ausreichendes Informationsportfolio zu den Themen Finanzierung, Umsetzung, Netzwerken, Effizienz, Rentabilität und Nutzen anbieten, kann sich das Marktpotenzial in Richtung Gebäudeintegration von Photovoltaik entfalten.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf für die multifunktionale Nutzung der physikalischen Eigenschaften der Photovoltaikmodule.

Literatur

- [1] JRC-IES, Ispra, Italy
- [2] FP7-call NMP-2007-4.0-5 Resource efficient and clean buildings
- [3] Eicke Weber, 23. Symposium Otti-PV, 2008
- [4] Tim Meyer, 22. Symposium Otti-PV, 2007

Solares Heizen – Wärmeversorgung für Alt- und Neubauten

1. Forschungsbedarf

Thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung sowie Kombianlagen, die der solaren Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung dienen, sind heute im Bereich der Einfamilienhäuser Stand der Technik. Bei größeren Kombianlagen besteht hingegen noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf: bei Fragen des Systemkonzepts, der Integration der Solaranlage in das konventionelle Heizungssystem sowie der Anlagenregelung. Große Kombianlagen weisen zudem in den Sommermonaten längere Stillstandszeiten auf, da in der Zeit des größten solaren Angebots nur der Wärmebedarf für das Trinkwasser gedeckt werden muss. Hier sind Maßnahmen erforderlich, um Schäden durch sich ausbreitenden Wärmeträgerdampf wirkungsvoll zu verhindern. Durch den antizyklischen Verlauf von solarem Angebot und Wärmebedarf für die Gebäudebeheizung sind neuartige Speicherkonzepte gefragt, die zu einer effizienteren Speicherung der solar gewonnenen Wärme führen. Einen anderen Weg gehen solar unterstützte Wärmepumpensysteme, die in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnen.

2. Große solare Kombianlagen

Aus Sicht des Klimaschutzes ist eine weite Verbreitung großer solarer Kombianlagen (Anlagen mit mehr als 100 m² Kollektorfläche) zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung dringend notwendig. Im Jahr 2007 wurde das vom BMU geförderte Verbundprojekt „Systemuntersuchungen großer solarthermischer Kombianlagen“ erfolgreich abgeschlossen, an dem ZfS – Rationelle Energietechnik GmbH, Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT), Fraunhofer ISE und das ISFH beteiligt waren (siehe auch <http://solarkombianlagen-xl.info>).

2.1 Analyse und Evaluierung großer Kombianlagen

Im Rahmen des Verbundprojektes wurden von ZfS und SWT durch die Vermessung von sechs bestehenden Anlagen in Verbindung mit Simulationsrechnungen Stärken und Schwächen der Anlagen bzw. Anlagenkonzepte aufgedeckt [3]. Die Ergebnisse zeigen, dass bei großen Kombianlagen noch Planungsunsicherheiten bestehen und dass viele Anlagen hydraulisch schlecht und oft auch zu komplex aufgebaut sind. Eine unnötige Komplexität erhöht oft die Kosten und die Gefahr von Systemfehlern. Offene Fragen bestehen vor allem beim Zusammenspiel von konventionellem Heizungsteil und solarer Wärmeversorgung, wie z. B. die Beeinflussung des Kesselnutzungsgrads durch die Solaranlage durch vermehrten Teillastbetrieb.

2.2 Beherrschung des Stillstandsverhaltens

Viele Solaranlagen, insbesondere solche zur Heizungsunterstützung, sind so dimensioniert, dass im Sommerbetrieb ein Wärmeüberschuss vorhanden ist. Bei vollständig beladenem Wärmespeicher schaltet die Solarpumpe ab, was dazu führt, dass sich die sonnenbestrahlten Kollektoren immer weiter aufheizen. Bei fortdauernder Solarstrahlung verdampft das Wärmeträgerfluid. Abhängig von der hydraulischen Ausführung der Kollektoren und des Kollektorkreises kann sich heißer Dampf über weite Strecken ausbreiten. Dies kann zur vorzeitigen Alterung oder Beschädigung temperaturempfindlicher Komponenten (z. B. Membranausdehnungsgefäß oder Solarkreispumpe) führen; unter Umständen wird auch das Fluid selbst zu stark thermisch belastet.

Innerhalb des Verbundprojektes haben Fraunhofer ISE und ISFH Maßnahmen zur Beherrschung des Stillstandsbetriebs entwickelt [4] und [5]. Hierzu ist zunächst vor allem das Verständnis der Vorgänge während der Stagnation durch umfangreiche Experimente an Einzelkollektoren, Test-Kollektorfeldern und realen Anlagen ent-

Dr. Jörn Scheuren
ISFH
j.scheuren@isfh.de

Matthias Rommel
Fraunhofer ISE
matthias.rommel@ise.fraunhofer.de

Harald Drück
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6
70550 Stuttgart
drucek@itw.uni-stuttgart.de

Elke Streicher
Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6
70550 Stuttgart
streicher@itw.uni-stuttgart.de

Wolfgang Schölkopf
ZAE Bayern
schoelkopf@muc.zae-bayern.de

Dr. Andreas Hauer
ZAE Bayern
hauer@muc.zae-bayern.de

scheidend verbessert worden. Als geeignete Maßnahme für einen gefahrlosen Stagnationsbetrieb hat sich eine optimierte interne und externe Kollektor- und Kollektorfeldverschaltung herausgestellt. In schwierigen Fällen können auch Regelungsstrategien oder die Integration von Kühlkörpern die temperaturempfindlichen Komponenten vor Stagnationsschäden schützen.

2.3 Einsatz fassadenintegrierter Kollektoren

Die Integration von thermischen Kollektoren in die Fassade ist besonders interessant für Systeme mit hohen solaren Deckungsanteilen, weil der jahreszeitliche Verlauf der Einstrahlung in der Kollektorebene dem der Heizlast besser angepasst ist, und zudem wesentlich seltener Stillstandsbetrieb auftritt als bei dachinstallierten Kollektoren.

Wenn der Kollektor zusätzlich die Funktion der Gebäudehülle übernimmt, ermöglicht diese Doppelnutzung wichtige Potenziale zur Kostensenkung. Des Weiteren bewirkt der Kollektor, wenn er ohne thermische Trennung (Hinterlüftung) integriert wird, im Jahresmittel eine effektive Reduzierung der Wärmeverluste der Gebäudehülle, da sich der Absorber im Winter auch bei schwacher Solarstrahlung, die keinen Kollektorbetrieb ermöglicht, über Umgebungstemperatur erwärmt. Zudem kann der Kollektor als Gestaltungselement eingesetzt werden, auch und gerade in der energetischen Sanierung des Gebäudebestandes.

Schon im Jahr 2002 wurde am ISFH in einem vom BMWi geförderten Projekt die Fassadenintegration von Kollektormodulen mit wärmedämmenden Formteilen untersucht [6] (*Abbildung 1, links*). Am Fraunhofer ISE wird zurzeit an der Entwicklung eines Fassadenkollektors gearbeitet, der neben der reinen Kollektorfunktion auch einen winkelselektiven Sonnenschutz bietet (*Abbildung 1, rechts*). Er stellt also ein multifunktionales Fassadenelement dar.

3. Neuartige Speicherkonzepte

Ein wichtiger Entwicklungsschritt für eine verstärkte Nutzung der thermischen Solarenergie zur Gebäudebeheizung mit hohen solaren Deckungsanteilen ist eine verbesserte Wärmespeicherung [1]. Die folgenden Punkte zeigen einen kurzen Überblick über die derzeitigen Forschungsaktivitäten für verbesserte Speicherkonzepte:

3.1 Innovative Warmwasserspeicher

Obwohl der technische Entwicklungsstand der Warmwasserspeicher bereits relativ hoch ist, bietet diese Technik für die solare Heizungsunterstützung mit hohen Deckungsanteilen noch ein großes Entwicklungspotenzial. Zu erforschende Kostensenkungspotenziale sind

- die Verwendung günstiger Materialien
- modulare Bauweise
- eine Reduzierung der Wärmeverluste
- eine Verbesserung der thermischen Be- und Entladung

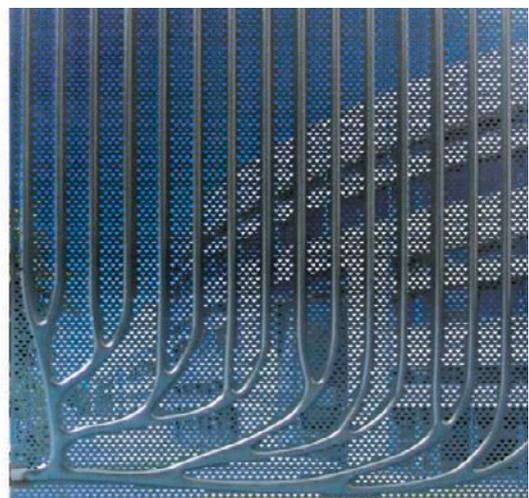
Abbildung 1

Links: Testfassade mit integrierten Kollektormodulen am ISFH

Foto: ISFH

Rechts: Fotomontage eines teiltransparenten Solarkollektors mit Sonnenschutzfunktion

Quelle: Fraunhofer ISE



- verbesserte regelungstechnische Einbindung in das Heizungssystem
- die Integration von Phasenwechselmaterialien (PCM: Phase Change Materials) in Warmwasserspeicher.

Sowohl in der Altbausanierung als auch im Neubau ist die Gebäudeintegration großer Speichervolumina problematisch. Im Gebäudebestand verhindern in vielen Fällen Türen und Treppen das Einbringen größerer Behälter. Hier können z. B. modulare Speicherkonzepte eine Lösung bieten. Möglich ist auch der Einsatz von erdvergrabenen Warmwasserspeichern in unmittelbarer Nähe des Gebäudes.

3.2 Langzeitwärmespeicher

Langzeitwärmespeicher bieten die Möglichkeit, die im Sommer gewonnene solare Wärme in den Wintermonaten zu nutzen. Da mit zunehmender Speichergroße die volumenspezifischen Wärmeverluste des Speichers abnehmen, werden Langzeitwärmespeicher zumeist für die Versorgung von Wohnsiedlungen in Nahwärmenetzen eingesetzt. Für diese Anwendungen bewegen sich die Speichergroßen meist im Bereich zwischen 1.000 und 10.000 m³. Hierbei handelt es um Speicher mit dem Entwicklungsstand von Pilot- und Forschungsobjekten. Die systemtechnische Einbindung der Großspeicher in ein Nahwärmenetz mit zahlreichen Verbrauchern und das Erreichen niedrigen Netzzücklauf-temperaturen sind dabei immer noch ein Herausforderung.

Aktuelles Beispiel eines solaren Nahwärmenetzes mit saisonalem Wärmespeicher ist das Neubaugebiet „Am Ackermannbogen“ am Olympiapark München [2]. Das System mit drei großen Kollektorfeldern (2760 m²), einem saisonalen Erdbeckenspeicher (6000 m³) und einer mit Fernwärme angetriebenen Absorptionswärmepumpe wurde im Frühjahr 2007 in Betrieb genommen. Planungsziel ist ein solarer Deckungsanteil von 50 % für Heizung, Trinkwarmwasser und Netzverluste. Das Projekt wird seitdem vom ZAE Bayern in einer zweijährigen Monitoringphase wissenschaftlich begleitet.

3.3 Wärmespeicherung in Phasenwechselmaterialien (PCM)

Phasenwechselmaterialien zur Speicherung von latenter Wärme sind seit geraumer Zeit Gegenstand der Forschung. Einige Materialien haben Marktreife erlangt und werden für unterschiedliche Einsatzzwecke kommerziell angeboten.

Neben der großen Energiedichte der latenten Wärmespeicherung ist das Temperaturniveau, bei dem sich der Phasenwechsel vollzieht, für technische Anwendungen interessant. Nachteilig gegenüber dem Speichermedium Wasser sind höhere Investitionskosten und die Schwierigkeit des Wärmetransports, hervorgerufen durch die geringere Wärmeleitfähigkeit der Materialien.

3.4 Physikalisch-chemische Wärmespeicher

Generell können drei Mechanismen zur physikalisch-chemischen Energiespeicherung unterschieden werden: Adsorption, Absorption und chemische Reaktion. Allen gemeinsam ist die Wärmefreisetzung bei der Entladung des Speichers durch einen exothermen Reaktionsschritt. Durch die Zufuhr solarthermisch erzeugter Wärme, in der Regel auf einem höheren Temperaturniveau als bei der Wärmefreisetzung, wird der Reaktionsschritt umgekehrt und der Speicher wieder beladen.

Die physikalisch-chemische Energiespeicherung zeichnet sich durch eine hohe volumenspezifische Energiedichte aus. Zusätzlich bietet sie die Möglichkeit einer weitgehend verlustfreien Speicherung über längere Zeiträume. Sie ist derzeit jedoch von den untersuchten Speicherungsverfahren noch am weitesten von der Marktreife entfernt.

4. Solar unterstützte Wärmepumpensysteme

Ein gänzlich anderes Konzept solaren Heizens verfolgen solare Wärmepumpensysteme, die in den letzten Jahren das Augenmerk auf sich ziehen. Die Integration von Sonnenkollektoren kann zu einer Steigerung der Jahresarbeitszahlen gegenüber herkömmlichen Wärmepumpensystemen und damit zu einer Einsparung an elektrischer Energie führen [7], [8], [9].

Abbildung 2
Schema des SOLAERA-Wärmepumpensystems (links) und Hybridkollektor mit Luftwärmetauscher (rechts)

Grafik: ISFH

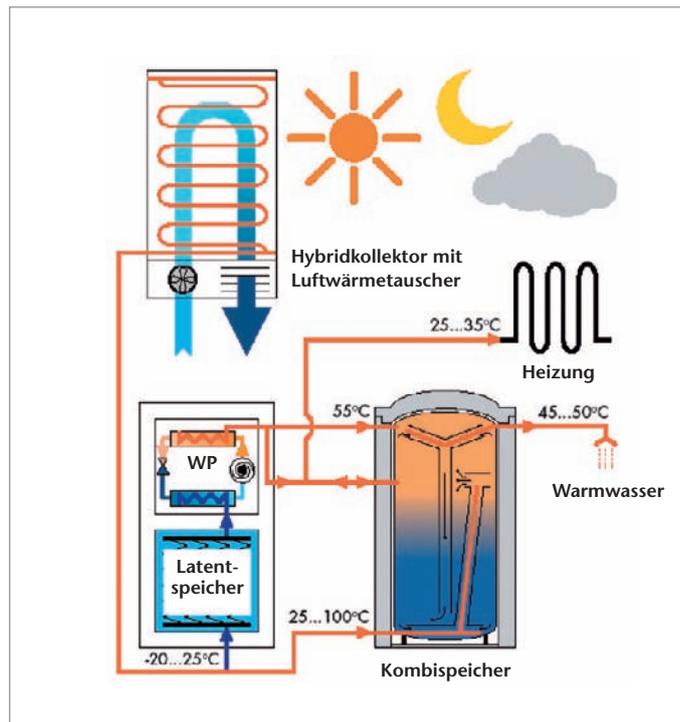
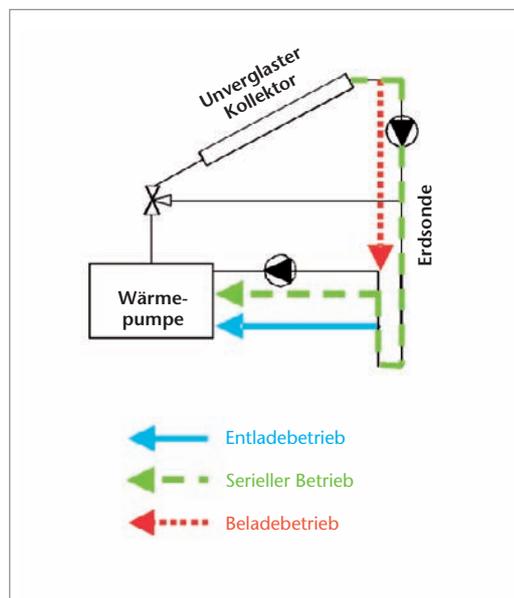


Abbildung 3
Systemkonzept zur Einbindung unverglaster Kollektoren in Wärmepumpensysteme

Grafik: ISFH



4.1 SOLAERA-Konzept

Beispielhaft sei hier das SOLAERA-Konzept der Firma Consolar genannt, dessen Entwicklung vom ITW und vom Fraunhofer ISE begleitet wurde [8]. Das System besteht aus einem neuartigen Hybridkollektor, einer Sole/Wasser-Wärmepumpe, einem Wasser-Eis-Speicher und einem Kombischichtenspeicher. Die Besonder-

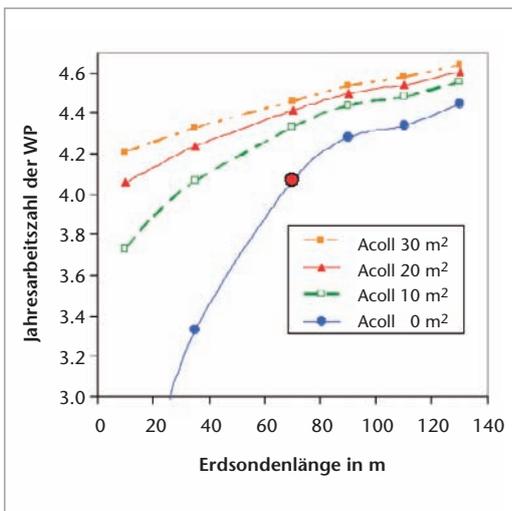
heit des von Consolar mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) entwickelten Systems besteht darin, dass auf den Einsatz von Erdsonden komplett verzichtet wird. Der Hybridkollektor mit Luftwärmeübertrager nutzt statt dessen neben der Solarstrahlung auch die Umgebungswärme als Wärmequelle und versorgt so die Wärmepumpe mit Niedertemperaturwärme (Abbildung 2).

4.2 Konzept mit unverglasten Metalldachkollektoren

Ein anderes Systemkonzept wurde am ISFH im Rahmen eines DBU-Projektes untersucht, das 2008 abgeschlossen wurde [9]. In Kooperation mit der Firma Rheinzink wurden Wärmepumpensysteme mit Erdsonde und unverglastem Sonnenkollektor vermessen und durch Simulationsrechnungen mit der Transsolar-Software nachgebildet. Das bewusst einfach und robust gewählte Systemkonzept ist in *Abbildung 3* dargestellt.

In konventionellen Wärmepumpensystemen kühlt das Erdreich als Wärmequelle durch den andauernden Wärmeentzug stark aus, und die Wärmequellentemperaturen sinken in der Heizperiode auf 0 °C oder darunter ab. Für die

Einbindung von Sonnenkollektoren ergibt sich somit der günstige Umstand, dass häufig ein Betrieb unterhalb der Umgebungstemperatur (oder nur leicht darüber) möglich ist. Durch einen guten konvektiven Wärmeübergang weisen in diesen Betriebspunkten insbesondere unverglaste Kollektoren hohe Wirkungsgrade auf. Der Kollektor dient als Wärmequelle sowohl für die Wärmepumpe (WP) als auch für die Erdsonde, deren Temperaturniveau auf diese Weise erhöht wird.



Simulationen dieses solaren Wärmepumpensystems für ein Einfamilienhaus zeigen eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl (JAZ) gegenüber einem konventionell ausgelegten System, oder aber eine mögliche Verkürzung der Erdsonden bei gleichbleibender JAZ (Abbildung 4). Darüber hinaus erhöht sich in einem System mit Kollektor die Planungssicherheit erheblich. Ausgehend vom Auslegungspunkt eines konventionellen Systems (roter Punkt) führen Unsicherheiten in den Randbedingungen der Auslegung (Wärmelast, Leitfähigkeit des Erdreichs, usw.) im ungünstigen Fall zu einem „Abrutschen“ der JAZ und somit auch zu einem extremen Auskühlen des Erdreichs. Der flache JAZ-Verlauf der Systeme mit Kollektor verhindert dies.

100-prozentige solare Deckung

Im Nachfolgeprojekt, das vom BMU gefördert wird, untersucht das ISFH die Kopplung von Wärmepumpen und unverglasten photovoltaisch-thermischen Kollektormodulen (PVT-Kol-

lektoren), die sowohl Niedertemperaturwärme als auch Strom liefern. Die Wärme steht zusammen mit der Erdwärme einer Erdsonde der Wärmequellenseite einer Wärmepumpe zur Verfügung, über das die Wärmeversorgung von Gebäuden sichergestellt wird. Die PVT-Kollektoren liefern also über zwei Pfade Energie an die Wärmepumpe, nämlich sowohl Wärme für die Quellenseite als auch (indirekt) den Strom für den Kompressor. Zudem wird durch die Kühlung der PV-Module der Ertrag an elektrischer Energie gesteigert. Im Projekt soll gezeigt werden, dass es mit diesem integrierten System möglich ist, ein Gebäude zu 100 % mit solar erzeugter Wärme für Heizung und Trinkwasser zu versorgen.

Literatur

- [1] H. Drück, W. Heidemann, H. Müller-Steinhagen: Potenziale innovativer Speichertechnologien für solare Kombianlagen, Tagungsband zum 14. Symposium Thermische Solarenergie. S. 104–109. Bad Staffelstein. 2004.
- [2] J. M. Kuckelkorn, C. Brandt, W. Dallmayer, M. Reuß, M. Schmidt, W. Schölkopf, C. Schweigler: Solare Nahwärme Am Ackermannbogen (SNAB), München. Solares Nahwärmesystem mit saisonalem Wärmespeicher und Heißwasser-Absorptionswärmepumpe. Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie. S. 592–597. Bad Staffelstein. 2008.
- [3] A. Schenke, H. Drück, R. Croy, H. P. Wirth: Analyse und Evaluierung großer Kombianlagen zur Trinkwassererwärmung und Raumheizung. Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben. Förderkennzeichen 0329268B. 2007.
- [4] M. Rommel, T. Siems, K. Schüle, S. Mehnert, C. Thoma, J. Steinmetz: Erkenntnisse zum Stagnationsverhalten von Solaranlagen. Tagungsband zum 16. Symposium Thermische Solarenergie. S. 538–543. Bad Staffelstein. 2006.

Abbildung 4
Jahresarbeitszahlen für verschiedene Kollektorflächen und Erdsondenlängen. Der rote Punkt markiert ein konventionell ausgelegtes Wärmepumpensystem

Grafik: ISFH

- [5] J. Scheuren, W. Eisenmann: Stagnationsuntersuchungen in den Kollektorkreisen hochdimensionierter großer thermischer Solaranlagen. Abschlussbericht zum BMU-Vorhaben. Förderkennzeichen 0329268A. 2007.

- [6] S. Janßen, G. Rockendorf, M. Zwerger, A. Kilian, S. Fintelmann: Fassadenintegration von thermischen Kollektormodulen mit wärmedämmenden Formteilen. Tagungsband zum 12. Symposium Thermische Solarenergie. S. 152–156. Bad Staffelstein. 2002.

- [7] S. Bachmann, H. Drück, H. Müller-Steinhagen: Solarthermie und Wärmepumpe – Vorstellung verschiedener Konzepte für solare Kombianlagen. Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie. S. 194–198. Bad Staffelstein. 2008.

- [8] U. Leibfried, F. Klinger, M. Mulyo: Die Sonne als Hauptlieferant der Heizung. Von der Vision zur Realität. Tagungsband zum 17. Symposium Thermische Solarenergie. S. 88–90. Bad Staffelstein. 2007.

- [9] E. Bertram, J. Glembin, J. Scheuren, G. Zienterra: Unverglaste Sonnenkollektoren in Wärmepumpensystemen: Betriebserfahrung und Dimensionierung. S. 212–217. Tagungsband zum 18. Symposium Thermische Solarenergie. Bad Staffelstein. 2008.

Solare Klimatisierung – Techniken und Energiemanagement

Einleitung

Klimatisierung von Gebäuden beinhaltet:

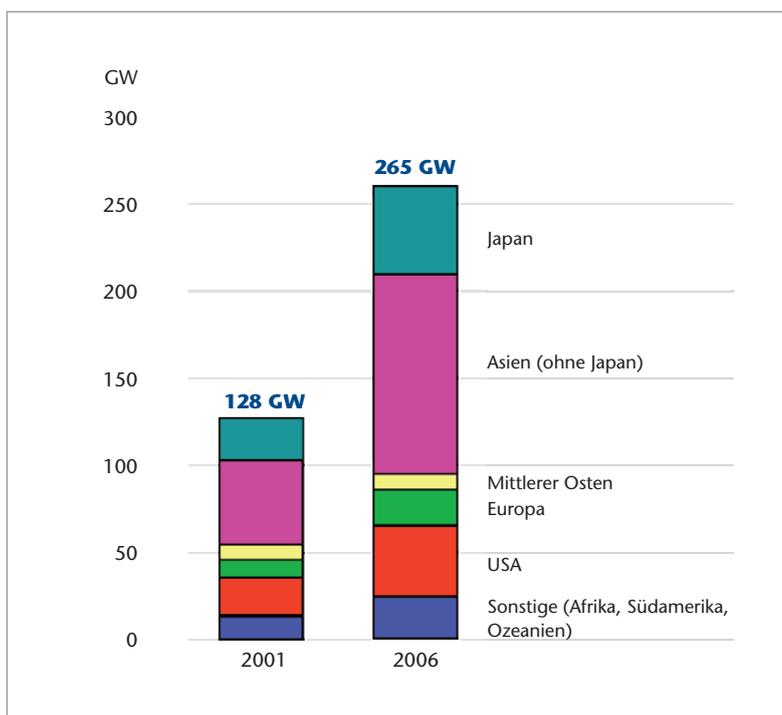
- eine Absenkung von Zulufttemperatur
- die Einstellung der Zuluftfeuchte und
- die Einstellung der operativen Temperatur von Innenräumen auf Werte im Behaglichkeitsfeld

Der Markt für die Gebäudeklimatisierung wächst weltweit stark an aufgrund wachsenden Bedarfs, steigender Ansprüche an das Innenklima, der Industrialisierung warmer Regionen, der Zunahme interner Wärmequellen in Gebäuden (Ausstattung mit Computern, elektrischen Geräten) und des aktuellen architektonischen Trends zu verglasten Gebäudehüllen. Dem überlagert ist eine Zunahme der sommerlichen Extremtemperaturen in mittleren Breiten, die den Klimatisierungsbedarf zusätzlich erhöht.

Da die Gebäudeklimatisierung heute zu mehr als 90 % durch elektrische Energie gedeckt wird, erzeugt der steigende Klimatisierungsbedarf neben einem Anstieg des Primärenergiebedarfs Strombedarfsspitzen im Sommer. Sie bestimmen, insbesondere in südlichen Ländern, den maximalen Leistungsbedarf an Elektrizität.

Abbildung 1 zeigt den weltweiten Anstieg der installierten Klimatisierungsleistung von 2001 bis 2006 [1]. Die Verdoppelung von ca. 130 GW auf mehr als 260 GW entspricht einer Zunahme von ca. 15 % pro Jahr. Die Folgen dieses stark steigenden Leistungsbedarfs sind Versorgungsengpässe in konventionell versorgten elektrischen Netzen verbunden mit erhöhten Risiken eines Netzausfalls.

Der Einsatz solar gestützter Verfahren zur Gebäudeklimatisierung ist eine viel versprechende Alternative zur konventionell strombe-



Wolfgang Schölkopf
ZAE Bayern
schoelkopf@
muc.zae-bayern.de)

Thomas Brendel
Universität Stuttgart
Institut für Thermodynamik und
Wärmetechnik (ITW)
Pfaffenwaldring 6
70550 Stuttgart
brendel@
itw.uni-stuttgart.de

Edo Wiemken
Fraunhofer ISE
Edo.Wiemken@
ise.fraunhofer.de

Dr. Michael Krause
Fraunhofer IBP
michael.krause@
ibp.fraunhofer.de

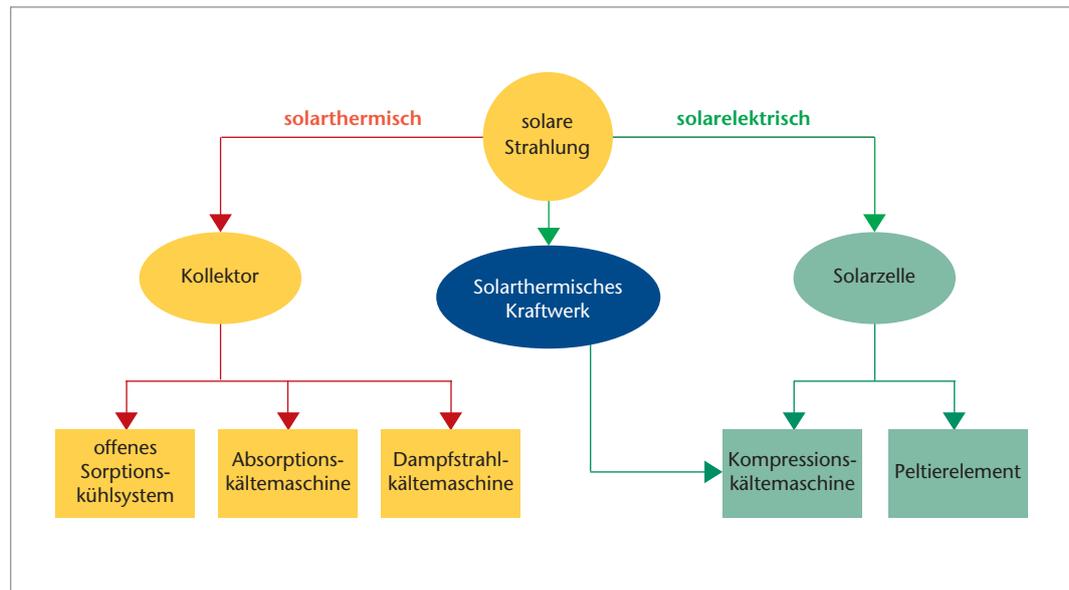
Dr. Thomas Nunez
Fraunhofer ISE
tomas.nunez@
ise.fraunhofer.de

Abbildung 1
Weltweit installierte
Kühlleistung nach
Regionen in GW_{el} [1]

Grafik ZAE Bayern

Abbildung 2
Pfade der solaren
Klimatisierung

Grafik: ZAE Bayern/
Hoch3 GmbH



triebenen Klimatisierung, da das solare Angebot gut mit dem Bedarfsprofil an gebäudlicher Klimatisierung übereinstimmt und damit keine großen Speicherkapazitäten erfordert.

Grundsätzlich müssen hier sowohl der solarelektrische Pfad (Photovoltaik-Anlagen, solarthermische Kraftwerke) als auch der solarthermische Pfad (Wärme angetriebene Prozesse) betrachtet werden (Abbildung 2).

In diesem Artikel werden nur solarthermisch angetriebene Klimatisierungsverfahren behandelt, da sie eine einfache Integration von Speichern auf der warmen und/oder auf der kalten Seite des Systems zulassen und das Stromnetz um wenigstens eine Größenordnung weniger als die elektrisch angetriebene Klimatisierung belasten. Da Angebotsprofil und Bedarfsprofil grundsätzlich übereinstimmen, sind die im System vorzuhaltenden Speicher klein und werden häufig be- bzw. entladen. Die hohe Zyklenzahl erlaubt den wirtschaftlichen Einsatz von teuren und damit auch leistungsfähigen Speichertypen.

Solarelektrische Verfahren könnten zukünftig eine wichtigere Rolle spielen, da sie heute in erster Linie aus wirtschaftlichen Erwägungen ausgeschlossen werden. Steigt die Elektrizitätsbereitstellung aus erneuerbaren Energiequellen z. B. mit solarthermischen Kraftwerken an, so wird die elektrische Klimatisierung zur interessanten Alternative, da sie heute schon solare

Strahlung effizient in Klimakälte umwandeln und anlagentechnisch einen breiten Leistungsbereich abdecken kann. In den Ländern des Sonnengürtels speisen dann solarthermische Kraftwerke in das Stromnetz ein und erfüllen mit ihrem Angebotsprofil die oben angesprochene Kohärenz gleichermaßen.

Für dezentrale Anwendungen sind Kombinationen aus photovoltaischen Generatoren und kleinen Kompressionskälteanlagen interessant, wenn PV-Generatoren billiger werden, denn Kompressionskälteanlagen sind heute schon unter energetischen Gesichtspunkten eine erstzunehmende Konkurrenz für thermisch angetriebene Anlagen.

Solare Kühlungs- und Klimatisierungstechniken

Aktuell steht eine breite Palette thermisch angetriebener Verfahren für den solaren Einsatz zur Verfügung. Bislang werden allerdings nur zentrale solarthermische Anlagen zur Klimatisierung kompletter Gebäude bzw. Gebäudeteile erprobt, da es kaum kleine Anlagen zur Klimatisierung von Einzelräumen gibt.

Es sind zwei verschiedene Techniken nach eingesetztem thermodynamischen Verfahren und eingesetztem Kältemittel zu unterscheiden. Zum einen geschlossene Verfahren, die kaltes Wasser

als Betriebsmedium zur Verfügung stellen. Zum anderen offene Sorptionsverfahren, die mit der Atmosphäre verbunden sind und kühle Luft der entsprechenden Temperatur mit eingestellter Feuchte bereitstellen. Unter Sorption ist hier die Anlagerung eines Kältemittels, z. B. Wasser, an ein zweites Material zu verstehen. Im Fall der Anlagerung an eine Flüssigkeit spricht man von **Absorption**, die Anlagerung in porösen Festkörpern wird als **Adsorption** bezeichnet. In beiden Fällen geht das Lösungsmittel eine mehr oder weniger starke reversible Bindung ein, die unter Zufuhr von Wärme wieder gelöst werden kann.

1. Geschlossene Kältemaschinen

In Kältemaschinen mit geschlossenem Arbeitsmittelkreislauf wird Kaltwasser bei Temperaturen von üblicherweise 6 bis 12 °C bereitgestellt, das zur Raumklimatisierung genutzt werden kann. Die drei wichtigsten Techniken sind:

- Absorptionskältemaschinen
- Adsorptionskältemaschinen
- Dampfstrahlkältemaschinen

Bei Absorptions- und Adsorptionsmaschinen werden Zweistoffgemische aus Kältemittel und Sorptionsmittel eingesetzt, um eine thermische Verdichtung des Kältemittels zu erreichen.

Die Dampfstrahltechnik ist ein mechanisches Verfahren, das ebenfalls mit Wärme angetrieben wird und nur einen Stoff nutzt. Wesentlicher Bestandteil der Maschine ist ein Strahlverdichter. Dort wird mit einem Treibmedium Kältemitteldampf vom Verdampferdruckniveau auf das Kondensatordruckniveau gefördert. Im BINE-Informationsblatt „Klimatisieren mit Sonne und Wärme“ [2] ist das Verfahren genauer beschrieben.

Die geforderte Temperatur des Kaltwassers zur Raumklimatisierung wird wesentlich davon bestimmt, ob nur sensible Lasten (Temperaturabsenkung) oder auch latente Lasten (Absenkung der Feuchte) vorliegen. Zur Behandlung latenter Lasten muss die Luft mit Temperaturen gekühlt werden, die unter dem angestrebten Taupunkt von ca. 10 bis 12 °C liegen. Da diese Temperatur unter der erwünschten Zulufttemperatur liegt, muss die Luft anschließend aus Gründen der Behaglichkeit wieder auf 20 bis 22 °C erwärmt werden. Bei dezentralen Umluft-

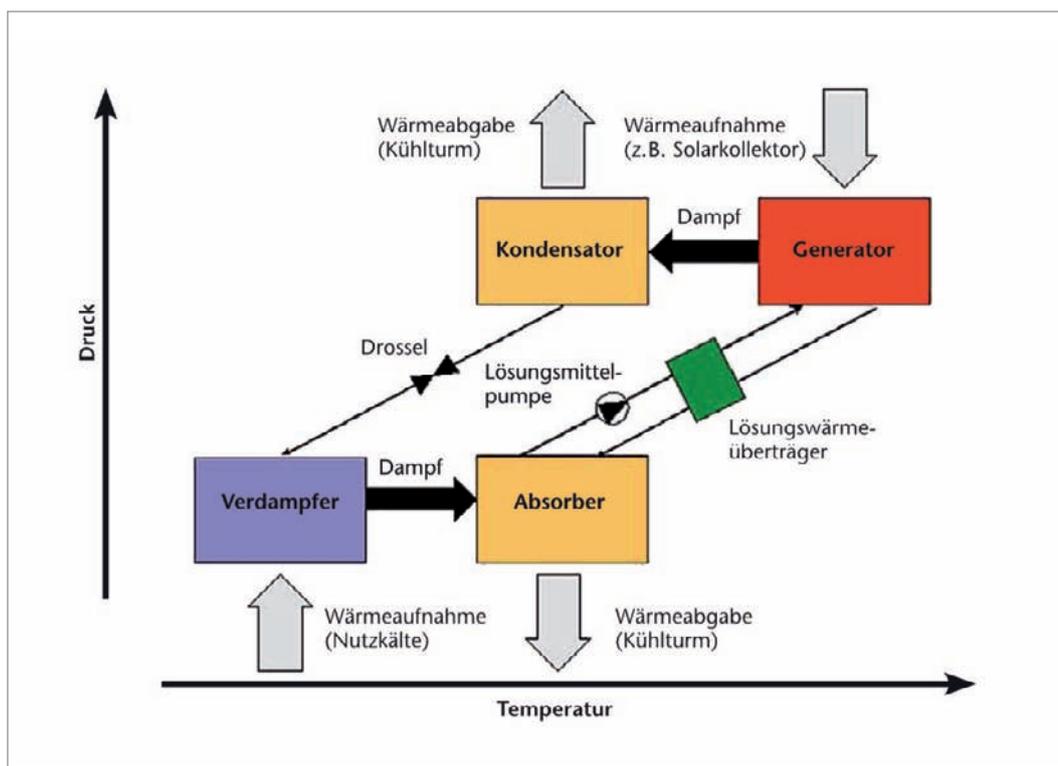


Abbildung 3
Kreisprozess einer einstufigen Absorptionskälteanlage mit Stoffpaar Lithiumbromid (LiBr)/Wasser im stilisierten $\log(p) - 1/T$ Diagramm

Grafik: Fraunhofer ISE

geräten wird die absolute Feuchte im Raum selbst reduziert. Für eine effiziente Luftentfeuchtung sind Kaltwassertemperaturen von 6 bis 9 °C erforderlich. Wird eine Kältemaschine nur zur Behandlung sensibler Lasten eingesetzt (Absenken der Temperatur) und/oder zur Flächenkühlung, so genügen meist Kaltwassertemperaturen zwischen 15–18 °C. Flächenkühlungen sind z. B. Kühldecken, Fußbodenkühlung oder Wandflächen mit integrierten Kühlregistern (Kapillarrohmatten), die die Strahlungstemperatur der Raumhülle erniedrigen und die Lufttemperatur absenken. Bei moderaten Kühllasten wird auch Bauteilkühlung oder Betonkernkühlung eingesetzt. Man nutzt dabei auch die hohe Speicherkapazität der massiven Gebäudekomponenten aus, um so die Spitzenleistung der Kühlanlage abzusenken.

Abbildung 3 zeigt das Schema einer Absorptionskältemaschine. Diese Anlagen werden mit dem Stoffpaar Lithiumbromid/Wasser ausgeführt und sind heute für Großanlagen eine marktgängige Technik. Der Verdampfer befindet sich auf einem Druckniveau von ca. 10 mbar und der Kondensator auf ca. 90 mbar Druck. Das Kältemittel Wasser verdampft am Verdampfer bei 4–7 °C, diese Verdampfungswärme wird von einem äußeren Kältekreis aufgebracht und erzeugt so die nutzbare Kälteleistung. Der Kältemitteldampf wird im Absorber in konzentrierter LiBr-H₂O-Lösung absorbiert. Die bei der Absorption freiwerdende Lösungswärme wird über einen Kühlturm an die Umgebung abgegeben. Das Lösungsmittel wird im flüssigen Zustand mit geringem Energieaufwand von der Lösungsmittelpumpe auf ein Druckniveau von ca. 90 mbar im Generator gefördert. Mit solar erzeugter Antriebswärme bei Temperaturen von 70–95 °C wird der Kältemitteldampf im Generator aus der LiBr-H₂O-Lösung ausgetrieben. Die Verflüssigung des Kältemittels erfolgt im Kondensator ebenfalls durch Rückkühlung über den Kühlturm. Im nächsten Prozessschritt wird das Kältemittel nach der Drosselung auf das niedrige Druckniveau im Verdampfer erneut verdampft. Die im Generator gewonnene konzentrierte Lösung wird über einen Lösungswärmeübertrager in den Absorber zurückgeführt. Große Maschinen bis in die Leistungsklasse von 10 MW werden heute routinemäßig eingesetzt, da sie meist wirtschaftlicher als große Kompressionskälteanlagen sind und

mit Abwärme aus BHKW oder Fernwärme betrieben werden können.

Als Kälteleistungszahl oder COP (coefficient of performance) wird das Verhältnis von gelieferter Kälte zu eingesetzter Wärme bezeichnet. Für diese Leistungskennzahl ist wesentlich, bei welchen Temperaturen die Absorptionskältemaschine rückgekühlt und auf welchem Temperaturniveau die Nutzkälte angefordert wird. Im Allgemeinen gilt: je höher das Temperaturniveau der Nutzkälte und je niedriger die Rückkühltemperatur ist desto höher liegt der COP.

2. Offene Verfahren

Offene Verfahren arbeiten mit einer Kombination von sorptiver Luftentfeuchtung und Verdunstungskühlung. Im deutschsprachigen Raum werden sie als sorptionsgestützte Klimatisierung (SGK), englisch „Desiccative and Evaporative Cooling (DEC)“ bezeichnet. Bei offenen Verfahren ist das Kältemittel Wasser bei Umgebungsdruck in direktem Kontakt mit der Atmosphäre. Die offenen Sorptionsverfahren werden direkt in Lüftungsanlagen eingesetzt, die primär die Aufgabe haben, einen Raum mit Frischluft zu versorgen. Die Technik der offenen Sorption gestattet mit thermischer Antriebsenergie, diese Frischluft hinsichtlich Temperatur und Feuchte zu konditionieren und gleichzeitig den Raum mit frischer Luft zu versorgen. Damit geht ihre Funktion über die reine Kältebereitstellung hinaus, was einen direkten Vergleich mit geschlossenen Absorptionsanlagen, die Kaltwasser erzeugen, schwierig macht.

Die heute wichtigsten Typen von offenen Sorptionsanlagen nutzen Sorptionsrotoren (desiccant wheels) als zentrale Komponente zur Luftentfeuchtung. Für unterschiedliche Klimabedingungen sind unterschiedliche Ausführungen notwendig (Klassifizierung: feucht-heiß, trocken-heiß, moderat usw.). Der in mitteleuropäischen Klimaten anwendbare Standardzyklus mit Verdunstungskühlung nutzt zusätzlich die Eigenschaften der Abluft zur indirekten Kühlung der Zuluft und ist in *Abbildung 4* dargestellt in Anlehnung an [3]:

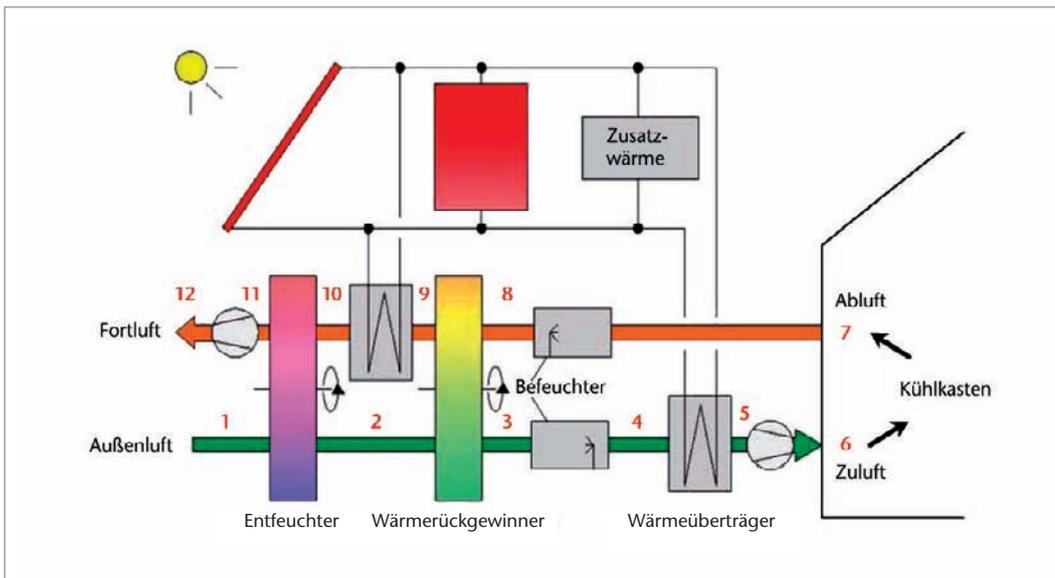


Abbildung 4
Fließschema einer
solaren, sorptions-
gestützten Klimatisie-
rungsanlage

Grafik: Fraunhofer ISE

- 1 → 2 Die Außenluft wird zunächst entfeuchtet und dabei durch die freiwerdende Sorptionswärme und Wärmeübertragung von der Abluftseite erwärmt;
- 2 → 3 Die Luft wird im Gegenstrom zur Abluft im Wärmerückgewinner vorgekühlt;
- 3 → 4 Mittels direkter Verdunstungskühlung wird die Luft durch Einsprühen von Wasser bei Zunahme der Feuchte abgekühlt;
- 4 → 5 Der Wärmeüberträger ist nur im Winter zur Lufterwärmung erforderlich;
- 6 Mittels Ventilator in den Raum geförderte Zuluft wird durch interne Lasten im Raum (sensibel, latent) erwärmt und befeuchtet;
- 7 → 8 Die Abluft wird in einem adiabaten Befeuchter befeuchtet und dadurch abgekühlt;
- 8 → 9 Die Luft erwärmt sich im Gegenstrom zur Zuluft im Wärmerückgewinner;
- 9 → 10 Die bereits vorgewärmte Luft wird mittels extern zugeführter Wärme auf Regenerationstemperatur (ca. 60–80 °C) erwärmt;
- 10 → 11 Die Regenerationsluft entzieht dem Sorptionsmaterial im Rotor die auf der Zuluftseite zugeführte Feuchte.
- Üblicherweise haben große Sorptionsrotoren Frequenzen von 8 bis 12 Umdrehungen pro Stunde. Die dafür nötige Antriebsenergie ist vernachlässigbar.
- Energetisch interessant ist, dass dieselben Anlagen, die im Sommer zur Klimatisierung genutzt werden, im Winter zur Wärmerückgewinnung und ggf. auch zur Feuchterückgewinnung eingesetzt werden können. Damit werden dieselben Systemkomponenten synergetisch zur Energieeinsparung und der Klimatisierung mit erneuerbarer Energie genutzt. Andere Verfahren arbeiten mit flüssigen Sorptionsmitteln oder innovativen Komponenten der Feststoffsorption. Weitere Details zu den Verfahren sowie eine Übersicht zur Thematik insgesamt gibt beispielsweise ein Themen-Info des BINE Informationsdiensts [2].

Systemauswahl

Welche Anlagentechnik wo eingesetzt werden kann, um solare Wärme zur Raumklimatisierung zu nutzen, hängt von den speziellen Rahmenbedingungen ab. Entscheidende Kriterien sind:

- klimatische bzw. meteorologische Bedingungen
- Art der Kühllasten (latent, sensibel, interne oder Ventilationslasten)
- Nutzeranforderungen
- zentrale, mechanische Lüftungstechnik
- Beschaffenheit der Gebäudehülle

Tabelle 1
Leistungsdaten von marktgängigen Typen geschlossener Sorptionskälteanlagen

Verfahren	Absorptionskältemaschinen		Adsorptionskältemaschine	
Sorptionsmittel	Lithiumbromid (LiBr)		Wasser	Silikagel
Arbeitsstoff	Wasser		Ammoniak	Wasser
Anzahl Stufen	1-stufig	2-stufig	1-stufig	1-stufig
Antriebstemperatur	60 – 90 °C	160 – 180 °C	80 – 120 °C	60 – 90 °C
Kälteleistungszahl (COP)	0,6 – 0,8	1,0 – 1,3	0,3 – 0,7	0,4 – 0,6
Angebotener Leistungsbereich	7,5 kW bis 5 MW	Einige Typen < 50 kW bis zu einige MW	großanlagen-anwenderorientiert	5 – 500 kW

Die beiden letzten Aspekte entscheiden darüber, ob es sinnvoll ist, eine Zu-/Abluft-Anlage zu installieren.

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die Leistungsdaten von marktgängigen mit Wärme angetriebenen Klimatisierungsanlagen. Sie zeigt, dass beim Einsatz hochwertiger Wärme von 150–180 °C zweistufige LiBr-Anlagen möglich werden, die Kälteleistungszahlen größer 1 erreichen, und dass Absorptionsanlagen mit dem Stoffpaar LiBr-H₂O mit verhältnismäßig geringen Temperaturen und guten COP betreibbar sind.

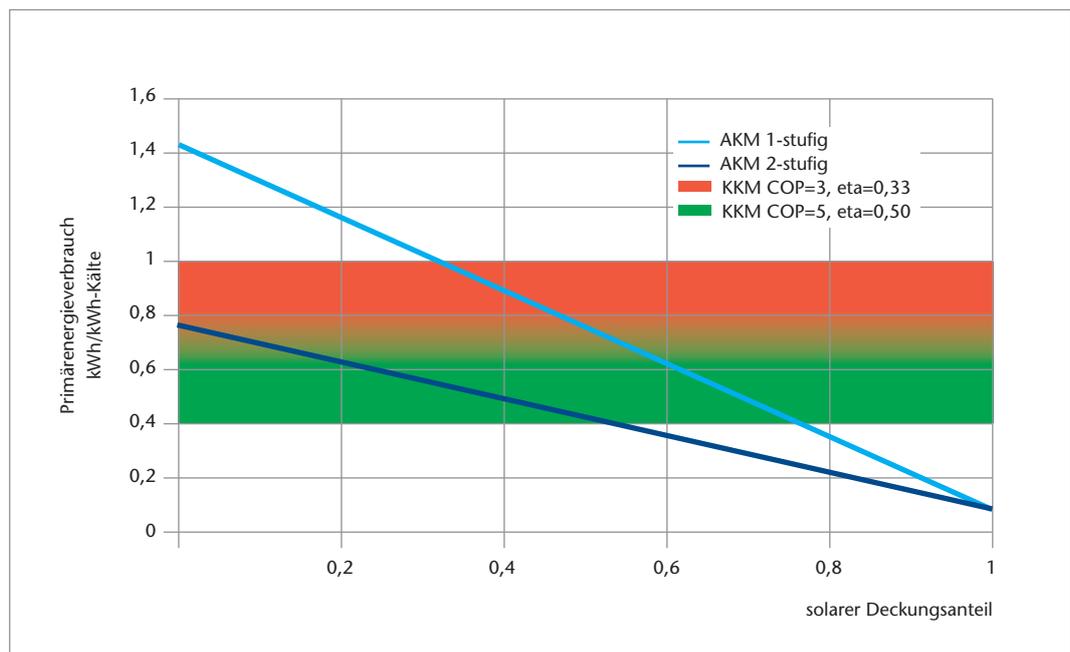
Kompressionsanlagen werden ebenfalls durch eine Kälteleistungszahl charakterisiert. Sie ist dort auch das Verhältnis von gelieferter Kälte zur eingesetzten elektrischen Leistung. Sie erreichen

Kälteleistungszahlen zwischen 3 und 5, brauchen allerdings elektrische Energie, die vorher mit wesentlichen Umwandlungsverlusten erzeugt wurde. Um einen Vergleich beider Techniken zu ermöglichen, müssen sie unter primärenergetischen Aspekten betrachtet werden.

Solar gestützte Klimatisierungsanlagen können wegen des fluktuierenden Angebots solarer Strahlungsenergie meist nicht den kompletten Klimatisierungsbedarf decken. Deshalb werden zusätzliche Wärmequellen, wie z. B. ein Gasbrenner, eingesetzt, um eine volle Abdeckung des Klimatisierungsbedarfs zu gewährleisten. Bei solchen Anlagen wird der solare Deckungsanteil zur wichtigen Kenngröße des Systems.

Vergleicht man mit Wärme angetriebene Systeme mit Systemen, die zur Kälteerzeugung

Abbildung 5
Primärenergievergleich von Absorptionskälteanlage und Kompressionskälteanlage. COP im Diagramm ist die Kälteleistungszahl der Kompressionsanlage. (COP-Werte der Tabelle 1 für LiBr-Anlagen angesetzt) eta = Wirkungsgrad der Elektrizitätserzeugung
AKM = Absorptionskälteanlage
KKM = Kompressionskälteanlage



elektrisch angetriebene Kompressionskältemaschinen einsetzen, so muss auf den Primärenergieaufwand zurück gerechnet werden. Damit sind die Konversionsverluste bei der Bereitstellung elektrischer Energie berücksichtigt. In *Abbildung 5* ist dieser Vergleich grafisch dargestellt. Im Bereich von rot nach grün steigt der Wirkungsgrad der Elektrizitätserzeugung η von 0,33 auf 0,50 und der COP der Kompressionskälteanlage von 3 auf 5 an.

Aus dem Diagramm lässt sich direkt ablesen, dass eine **einstufige Absorptionskälteanlage** erst ab einem solaren Deckungsanteil von 0,30 einen geringeren Primärenergiebedarf hat als eine Kompressionsanlage bei ungünstiger Elektrizitätserzeugung ($\eta = 0,33$) und mit schwacher Kälteleistungszahl ($COP = 3$). Bei günstiger Elektrizitätsbereitstellung ($\eta = 0,50$) und guter Kälteleistungszahl ($COP = 5$) muss sie sogar mindestens einen solaren Deckungsanteil von 0,75 erreichen, um Primärenergie einzusparen.

Die **zweistufige Absorptionsanlage** spart dagegen bei ungünstiger Elektrizitätserzeugung immer Primärenergie ein und gewinnt gegen die Kombination von sehr günstiger Elektrizitätserzeugung und guter Kältemaschine ab einem solaren Deckungsanteil von 0,50.

2006 waren in Europa knapp 100 Anlagen installiert, die solarthermische Kollektoren für die solare Gebäudeklimatisierung einsetzen. Die meisten der Anlagen wurden in Deutschland und Spanien realisiert. Die insgesamt installierte Kälteleistung lag dabei unter 10 MW und die hierfür installierte Kollektorfläche bei ca. 20.000 m².

Rund zwei Drittel der Anlage setzen Absorptionskältemaschinen ein, der Rest verteilt sich auf Adsorptionskältemaschinen und offene Sorptionskühlverfahren. Im Rahmen eines unter dem Dach der Internationalen Energie-Agentur (IEA) durchgeführten, internationalen Projektes zur solaren Klimatisierung wurde ein Entscheidungsbaum entwickelt, der die Auswahl geeigneter Anlagen für die entsprechende Anwendung erleichtert. Das gesamte Dokument mit Anwendungsbeispielen kann von der Internetseite des IEA-Projekts geladen werden [4].

Auslegung

Der Mittelwert der spezifischen Kollektorfläche aller Anlagen beträgt rund 2,9 m²/kW. Ein Wert von 3 – 3,5 m²/kW kann als Anhaltspunkt für thermisch angetriebene Kältemaschinen gelten. Bei den offenen Verfahren ist eine Angabe bezogen auf die Luftmenge üblicher. Hier hat sich ein Wert von 8 – 10 m² pro 1000 m³/h installierter Luftleistung als sinnvolle Größenordnung herausgestellt. Diese Werte sind nur grobe Anhaltspunkte und ersetzen nicht eine der Aufgabe angepasste Anlagenauslegung. So hängt die Auslegung beispielsweise entscheidend von der anteiligen Verteilung der Kühllasten (innere Lasten, äußere Lasten) ab und auch von dem Anspruch mit der solaren Installation einen Beitrag zur Heizlastdeckung des Gebäudes beizutragen. Im Einzelfall kann deshalb die Kollektorfläche um den Faktor 2 größer sein als die oben genannten Richtwerte.

Beispiel einer Anlage zum Heizen und Kühlen: Am ZAE Bayern in Garching läuft im Rahmen eines Feldversuchs seit 2007 eine einstufige LiBr-Maschine mit der Kältenennleistung von 10 kW [5]. Sie kühlt im Sommer Teile des Institutsgebäudes und unterstützt die Heizung in der Heizperiode. Die Kühlung erfolgt über Deckensegel und betrifft eine Teilfläche von ca. 500 m². Der Beitrag zur Heizung bezieht sich auf eine beheizte Fläche von ca. 1500 m². Das Heizsystem ist in den Laborbereichen 50 °C (Radiatoreheizung) auf 50 °C Vorlauftemperatur und in dem Bürobereich 34 °C (Deckenheizung) ausgelegt. Das Kollektorfeld hat insgesamt 56 m² Fläche und ist auf dem Flachdach des Gebäudes installiert.

Im Kühl- und Heizbetrieb wurden im Betriebsjahr 2007/08 ungefähr 35 % solare Deckung erreicht. Anzumerken ist, dass in dieser Installation nicht der solare Deckungsanteil im Vordergrund stand, vielmehr ging es um die Erprobung der LiBr-Kühlanlage und die Erprobung einer neuen Art der trockenen Rückkühlung. In diesem Rückkühlsystem wird während des ca. zehnstündigen Kühlbetriebs nur ein Teil der Rückkühlenergie über den Trockenkühler an die Umgebung abgegeben. Der größere Anteil der rückzukühlenden Wärme wird in einem 2 m³ großen CaCl₂·6H₂O-Latentwärmespeicher in der

eigentlichen Betriebsphase gespeichert und danach in den restlichen 14 Stunden, vorwiegend also nachts, an die Umgebung abgegeben. Diese Art der Rückkühlung braucht kein Kühlwasser, vereinfacht das System und eliminiert den bei nassen Rückkühlwerken notwendigen Wartungsaufwand. Der Latentwärmespeicher hat im Temperaturbereich von 25–35 °C eine aktive Speicherkapazität von 60 kWh/m³ und kann sowohl im Sommer zur Unterstützung der Rückkühlung als auch im Winter als Pufferspeicher für die Heizung eingesetzt werden. Die damit erreichbare hohe Zyklenzahl rechtfertigt den zusätzlichen Investitionsaufwand für den Speicher im Rückkühlkreis. Genaue Leistungs- und Betriebsdaten sind in [6] dargestellt

[6] M. Helm, B. Pötz, C. Keil, S. Hiebler, H. Mehling, C. Schweigler: Solar Heating and Cooling System with Low Temperature Latent Heat Storage – Energetic Performance and Operational Experience. Proceedings of Int. Sorption Heat Pump Conference 2008, Seoul, Korea.

Literatur

- [1] U. Eicker, Potentiale Solarthermischer Kühlung, Vortrag 5. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Stuttgart, 2008
- [2] Henning, H.-M. (Autor); Meyer, F. (Redaktion): Klimatisieren mit Sonne und Wärme, BINE Informationsdienst; Themen-Info I/04
- [3] Henning, H.-M. et al, Solare Kühlung und Klimatisierung – Belüftung und Wärmehückgewinnung, FVS Themen 2005, Wärme und Kälte aus Sonne und Erde
- [4] Decision Scheme for the Selection of the Appropriate Technology Using Solar Thermal Air-Conditioning – Guideline Document. IEA Solar Heating and Cooling Programme, Task 25: Solar-assisted air conditioning of buildings. www.iea-shctask25.
- [5] Kühn, A., Harm, M., Kohlenbach, P., Petersen, S., Schweigler, C., Ziegler, F.: Betriebsverhalten einer 10 kW Absorptionskälteanlage für die solare Kühlung. KI Luft- und Kältetechnik, (41. Jahrgang) 7/2005, S. 263–266.

■ Integrierte Gebäudesystemtechnik

- Dezentrales Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – Was kann die Gebäudeautomation beitragen?
- Inbetriebnahme, Betriebsführung und Überwachung von Gebäuden

Dezentrales Energiemanagement im elektrischen Verteilnetz – Was kann die Gebäudeautomation beitragen?

David Nestle
ISET
dnestle@iset.uni-kassel.de

Dr. Christian Bendel
ISET
cbendel@iset.uni-kassel.de

Jan Ringelstein
ISET
jringelstein@
iset.uni-kassel.de

Philipp Strauß
ISET
pstrauss@iset.uni-kassel.de

Dr. Christof Wittwer
Fraunhofer ISE
christof.wittwer@
ise.fraunhofer.de

Einführung

Erneuerbare und dezentrale elektrische Erzeuger werden mit zunehmender Anzahl und Leistung im Netz installiert. Daher entsteht die Forderung, dass diese künftig mittels einer Kommunikationsanbindung wie konventionelle Kraftwerke gesteuert werden und zum Netzbetrieb beitragen. Zugleich kommt auch dem Lastmanagement eine zunehmende Bedeutung zu, da sich die fluktuierenden Erzeuger Windkraftanlagen und Photovoltaik (PV) nicht in dem Maße regeln lassen wie konventionelle Kraftwerke. Eine technische Kommunikationsanbindung von elektrischen Verbrauchern und dezentralen Erzeugern im Netzbetrieb wird daher in Zukunft unerlässlich sein.

IuK-Technik für mehr Energieeffizienz

Da die meisten Lasten und dezentralen Erzeuger in Gebäuden installiert sind, kommt dabei neben der Kommunikation zwischen den Gebäuden einer übergeordneten Leitstelle (Wide Area Network) der Gebäudeautomation als „Local Area Network“ eine wesentliche Rolle zu (*Abbildung 1*). Zugleich kann Gebäudeautomatisierung in Kombination mit neuen Stromzählern kleinen Stromkunden wesentlich zeitnäher Informationen über ihren Energieverbrauch und den damit verbundenen Kosten zur Verfügung stellen. Wenn diese Informationen richtig genutzt werden, kann dies zur Erhöhung der Energieeffizienz beitragen. Durch die Entwicklung in der Informations- und Kommunikationstechnik kommen jetzt neue Lösungen zur Gebäudeautomatisierung auf den Markt, wodurch hier ein erhebliches wirtschaftliches Potenzial besteht.

Gebäudeautomation

In der Vergangenheit war in Europa der Einsatz von Gebäudeautomatisierung aus Kostengründen meist auf den Bereich größerer gewerblicher Gebäude und auf wenige Wohngebäude der Preisoberklasse beschränkt. Nach wie vor ist die Verbreitung im Bereich Privathaushalte und Kleingewerbe noch recht gering, es zeichnet sich aber durch die neu verfügbaren IT-Technologien eine Trendwende hin zu kostengünstigen Lösungen ab. Für die Ansteuerung einzelner Geräte innerhalb eines Gebäudes werden bisher vor allem Bussysteme der Gebäudeautomatisierung wie EIB/KNX [1] und LON [2] eingesetzt. Allerdings haben diese im Bereich der Privathaushalte bisher keine große Verbreitung gefunden – im Gegensatz zu Rechner- und Telefonnetzen. Obwohl auch Systeme auf dem Markt sind, die Funk oder vorhandene Stromleitungen als Kommunikationskanal nutzen, werden vor allem Lösungen angeboten, die die Verlegung einer separaten Verkabelung für das Bussystem erfordern. Dies erschwert und verteuert die Verwendung im Gebäudebestand. Diese Systeme sind i. d. R. darauf ausgelegt, dass Anwendungen wie die Verschaltung von Lichtschaltern und Beleuchtung damit implementiert werden. Hier würden grundlegende Fehler bei der Konfiguration die Benutzbarkeit eines Gebäudes stark einschränken, weshalb diese Systeme zwingend durch einen Fachbetrieb konfiguriert werden müssen. Das erhöht die Kosten, während derartig weitreichende Funktionen für die meisten Privathaushalte ohne praktischen Mehrwert sind.

Realistischer ist der Einsatz einfacher Kommunikationslösungen, deren Versagen oder Fehlkonfiguration zur Not für einige Tage hingenommen werden kann und die vom Nutzer des Gebäudes selbst konfiguriert werden können,

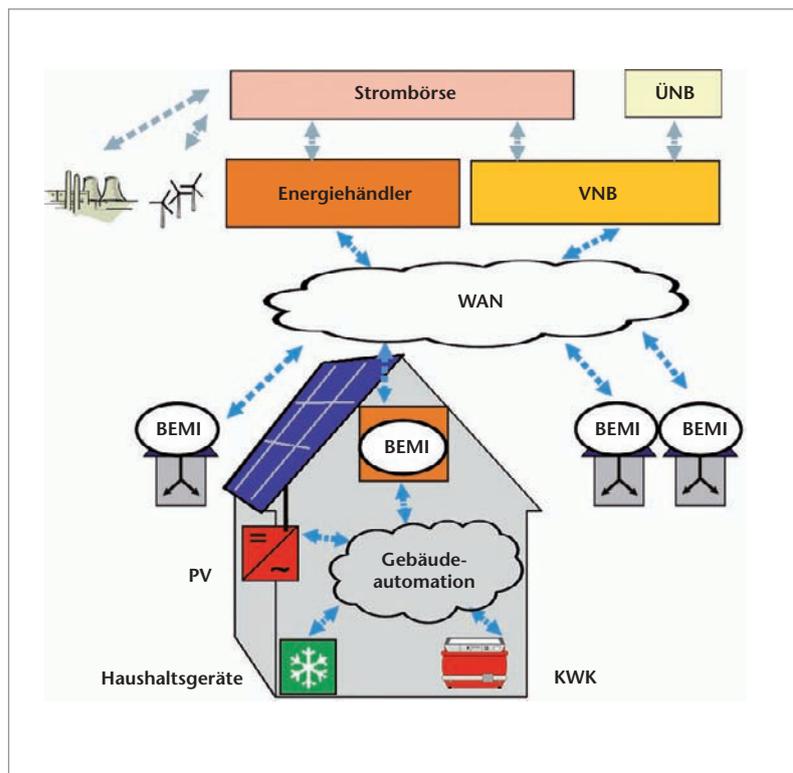


Abbildung 1
Kommunikations-
struktur

BEMI: Bidirektionales
Energiemanagement-
interface

WAN: Wide Area
Network

VNB: Verbindungs-
netzbetreiber

ÜNB: Übertragungs-
netzbetreiber

Quelle: ISET

wie es heute bei praktisch allen privaten Rechnernetzwerken der Fall ist. Neue Funkstandards, vor allem die drahtlose Kommunikationsmöglichkeit Z-Wave [3] und das offene Funknetz ZigBee, das es ermöglicht, Haushaltsgeräte auf Kurzstrecken (10–100 m) zu verbinden [4], zielen ebenfalls auf den Bereich der Gebäudeautomatisierung und sollten deutlich kostengünstiger werden. Technisch gesehen ist die Auto-Routing-Funktion von Bedeutung, die dafür sorgt, dass Daten innerhalb eines Netzes von jedem Knoten so weitergeleitet werden, dass sie möglichst schnell ihr Ziel erreichen, auch wenn keine direkte Funkverbindung zwischen Sender und Empfänger besteht, sondern ein oder mehrere Knoten als Brücke fungieren müssen. Ebenfalls auf kostengünstige Gebäudeautomation zielt die Digitalstrom-Technologie, die auf eine Kommunikation über die vorhandenen Stromleitungen setzt [5].

Smart Metering

Aufbauend auf Vorgaben der EU müssen laut dem 2008 erlassenen Gesetz zur Öffnung des

Messwesens Neubauten ab Januar 2010 mit Stromzählern ausgestattet werden, die dem jeweiligen Anschlussnutzer den tatsächlichen Energieverbrauch und die tatsächliche Nutzungszeit widerspiegeln [6][7]. Diese Anforderung ist wirtschaftlich nur mit Hilfe von intelligenten Zählern zu bewerkstelligen, die über eine Kommunikationsverbindung fernauslesbar sind. Das Gesetz schreibt ferner vor, dass Energieversorgungsunternehmen bis Ende 2010 Endkundertarife anbieten müssen, die einen Anreiz zur Energieeinsparung oder Steuerung des Energieverbrauchs setzen. Zeitvariable Tarife stellen hier eine Alternative dar, deren Einführung zu erwarten ist. Deshalb ist die Lastgangaufzeichnung durch Smart Meters auch für Abrechnungszwecke nötig.

Entsprechende Geräte werden daher von den Energieversorgern zur Zeit in Gebäuden getestet. Ergebnisse aus Österreich [8] zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit von Smart Meters steigt, wenn diese spartenübergreifend eingesetzt werden („Multi-Utility-Communication“ MUC: kombinierte Strom-, Wasser-, Gaszählung) und mit Funktionen verknüpft werden, die in den Bereich der klassischen Gebäudeautomation

fallen. Smart Metering stellt dadurch eine interessante Technologie dar, die für die Gebäudevernetzung genutzt werden kann.

Im Zusammenhang mit Smart Metering – einem intelligenten Stromzähler – wird zwischen Primär-, Sekundär- und Tertiär-Kommunikation unterschieden:

- Die Primärkommunikation bezieht sich auf die „Inhouse“-Kommunikation im Zähler-system.
- Sekundärkommunikation ist die Auskopp-lung von Daten in die Gebäudeautomation.
- Tertiäre Kommunikation wird zur Übertra-gung zum Messstellenbetreiber genutzt.

Im MUC-Standardisierungskreis werden offene Kommunikationsstandards festgelegt, die herstellerunabhängiges Multisparten-Metering möglich machen sollen [9]. Bis 2009 sollen entsprechende MUC-konforme Gateways (die es Netzwerken mit unterschiedlichen Protokollen erlauben, miteinander zu kommunizieren) und Zähler zur Verfügung stehen, die für den Mess-stellenbetrieb geeignet sind. Der lokale Zugriff auf die Messwerte soll die Einbindung in die Gebäudeenergieanlage ermöglichen, so dass beispielsweise ein tarifgeführter Betrieb von Haushaltsgeräten möglich wird. Das Fraunhofer ISE hat mit der EWE-Box (Abbildung 2) ein System entwickelt, das diese Funktionalität in einem Gateway zur Verfügung stellt. Neben der Integration von Metering-Systemen ist hier insbesondere ein Feedback-System entwickelt worden, das dem Nutzer Aufschluss über seinen Energieverbrauch, seine Kosten und seine verursachten Emissionen gibt.

Energiemanagement

Wie eingangs erläutert, entsteht durch neue Anforderungen an das Management von dezentralen Erzeugern und Lasten künftig Bedarf zum verstärkten Einsatz von Gebäudeautomation. Für die Gestaltung eines solchen Managements ist es wichtig zu beachten, dass Kunden in der Niederspannungsversorgung meist keine Planung des zeitlichen Verlaufs ihres Strombedarfs vornehmen, da sich der Aufwand im Verhältnis zur geringen umgesetzten Menge nicht lohnt. Außerdem lässt sich das aggregierte Verhalten einer großen Zahl von Kunden ohnehin besser durch statistische Verfahren vorhersagen als durch individuelle Planung. Dies muss für diese Kundengruppe auch weiterhin möglich bleiben.

Um dieser Anforderung gerecht zu werden, ist es entscheidend, den Kunden weiterhin Freiheit bezüglich ihres Energieverbrauchs zu lassen, aber zugleich Anreize zu schaffen, den Betrieb des Energieversorgungssystems zu unterstützen. Dies lässt sich durch Vorgabe eines variablen Tarifs erreichen, der dem Kunden die Entscheidung überlässt, zu welcher Zeit er wie viel Strom bezieht oder einspeist, aber zugleich dem Kunden einen finanziellen Anreiz gibt, sich dabei den Erfordernissen der Energieversorgung anzupassen. Über den Mechanismus der statistischen Mittelung wird dadurch ein Instrument entwickelt, das dem Kunden maximale Flexibilität, zugleich aber auch der Energieversorgung insgesamt einen sehr hohen Grad an Zuverlässigkeit bietet. Dies entspricht dem Prinzip der „dezentralen Entscheidung auf Basis zentraler und dezentraler Informationen“.

Abbildung 2
EWE-Box IP-basiertes
Smart-Metering-
System mit Feed Back
System

Quelle: Fraunhofer ISE





Abbildung 3
BEMI-Teststand

Quelle: ISET

Darüber hinaus ist es entscheidend, dass die meisten Kunden nicht bereit sind, hohen persönlichen Aufwand für ein Energiemanagement aufzubringen. Daher müssen die notwendigen Mess-/Überwachungs- und Schaltvorgänge automatisch erfolgen, wozu ein geeignetes System der Gebäudeautomatisierung notwendig ist.

Dieses Konzept wurde als bidirektionales Energiemanagementinterface (BEMI) vom ISET entwickelt und erfolgreich durch Laboraufbau und Simulation getestet (Abbildung 3) [10]. Ergebnisse des Labortests zeigen, dass bei Vorgabe eines variablen Strompreises typische Haushaltsgeräte entsprechend der Kundenanforderungen ohne Beeinträchtigung der Funktion automatisch und kostenoptimal geschaltet werden können. Dazu wurde ein einfaches System der Gebäudeautomatisierung basierend auf WLAN bzw. ZigBee verwendet.

Energieeffizienz

Neben dem Energiemanagement besteht im Bereich des Niederspannungsnetzes auch ein erhebliches Potenzial zur Einsparung des Energieeinsatzes selbst – sowohl im Bereich der Nutzung elektrischer Energie als auch im Bereich der Raumwärme, die mit fossilen Energieträgern versorgt wird. Allein durch Verhaltensänderun-

gen wird ein Einsparungspotenzial von 6,4 % angegeben, durch zusätzliche technische Maßnahmen sogar ein Potenzial von ca. 30 % [11]. Der Aktivierung dieses Potenzials steht allerdings noch entgegen, dass die meisten Privatkunden wenig über ihren Energieverbrauch und ihre Energiekosten wissen. Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie über Energieeffizienz, Energiedienstleistungen und Smart Metering werden auch Privatkunden häufiger und detaillierter über ihren Energieverbrauch informiert werden. Allerdings ist abzusehen, dass sie in vielen Fällen mit einer effektiven Nutzung dieser Informationen überfordert sein werden. Hier kann Gebäudeautomation durch Kombination mit einer Smart-Metering-Technologie dazu beitragen, Effizienzpotenziale durch geeignete Feedback-Systeme zu identifizieren und zu visualisieren.

Smart Metering umfasst insbesondere die Erfassung des Energieverbrauchs und der Verbrauchsprofile der Kunden. Dadurch können auch Privatkunden wesentlich zeitnäher Informationen über ihren Energieverbrauch und die damit verbundenen Kosten erhalten, was als wichtiges Instrument dienen kann, die Energieeffizienz zu fördern [12].

Weitere Konzepte aus der Gebäudeautomation können ebenfalls zu Energieeinsparungen

beitragen: Beispielhaft genannt sei die automatische Abschaltung der Beleuchtung oder anderer Geräte (z. B. Fernseher) bei Verlassen des Hauses oder die automatische Nachtabstaltung von Geräten mit hohem Standby-Verbrauch. Allerdings darf der Energiemehrverbrauch der Gebäudeautomation die erzielte Energieeinsparung nicht überkompensieren. Diese Anforderung muss bereits bei der Entwicklung der entsprechenden technischen Lösungen von Beginn an berücksichtigt werden.

Literatur

- [1] KNX Association, <http://www.knx.org>
- [2] LonMark International, www.lonmark.org/
- [3] www.zen-sys.com, Stand 21.09.2008
- [4] ZigBee Alliance, www.zigbee.org, Stand 21.09.2008
- [5] Digitalstrom Allianz, www.digitalstrom.org, Stand 21.09.2008
- [6] Richtlinie 2006/32/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG, 5.04.2006
- [7] Gesetz zur Öffnung des Messwesens bei Strom und Gas, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 40, Bonn, 8.09.2008
- [8] N. Breitschopf: Effiziente Energienutzung in Privathaushalten als Beitrag zum Klimaschutz, 10. Symposium Energieinnovation, Graz 02/2008
- [9] <http://m-u-c.org>, Stand 21.09.2008
- [10] C. Bendel, D. Nestle, J. Ringelstein: Netz- und marktkonformes bidirektionales Energiemanagement für Lasten und dezentrale Erzeuger im Niederspannungsnetz, 10. Symposium Energieinnovation, Graz 02/2008
- [11] U. Böde, E. Gruber, B. Brohmann, M. Cames, A. Herold, P. Deutscher, M. Elsberger, L. Rouvel: Klimaschutz durch Minderung von Treibhausgasemissionen im Bereich Haushalt und Kleinverbrauch durch klimagerechtes Verhalten, Forschungsbericht 204 01 120 im Auftrag des Bundesumweltamtes, 08/2000 (Öko-Institut Darmstadt/Freiburg/Berlin, Fraunhofer-Institut ISI Karlsruhe, TU München)
- [12] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (EEAP) der Bundesrepublik Deutschland, 11/2007

Inbetriebnahme, Betriebsführung und Überwachung von Gebäuden

Einführung

Der Gebäudebereich ist für rund 40 % des EU-weiten Endenergieverbrauchs verantwortlich. Allein durch Verbesserungen bei der Inbetriebnahme und im laufenden Betrieb von Gebäuden können Energieeinsparungen von 5–30 % erzielt werden. Dieses Energieeinsparpotenzial liegt im Bereich gering investiver Maßnahmen, insbesondere für Nicht-Wohngebäude im Bestand. Dafür müssen systematische Methoden wie z. B. kontinuierliche Betriebsüberwachung, Fehlererkennung und -diagnose sowie Optimierungen eingesetzt werden. Im US-amerikanischen Raum wird dies auch als Ongoing – oder Continuous Commissioning bezeichnet.

Das Fraunhofer ISE verfolgt einen Ansatz, bei dem ein einheitlicher Mindestdatensatz definiert wurde, der mehrere Demonstrationsgebäude mit einer hohen zeitlichen Auflösung (< 1h) erfasst. Es wurden standardisierte Analysen entwickelt, um den Gebäudebetrieb zu überwachen und zu verbessern. Die praxisnahen Methoden eignen sich für eine weitgehende Automatisierung.

Mangelnde Effizienzkontrolle

Es ist heute bei den technischen Anlagen in Gebäuden gängige Praxis, dass die Energieeffizienz des Betriebs nicht kontinuierlich oder oft überhaupt nicht überwacht wird. Die Wartung stellt meist nur die prinzipielle Funktionalität der technischen Anlagen sicher. Den Gebäudebetrieb passt das Bedienpersonal meist nur bei Nutzerbeschwerden an.

Auch bei Neubauten wird die Energieeffizienz oftmals nicht überwacht. Daraus resultiert, dass das Bedienpersonal die Anlagen von Anfang an weitab ihres energetisch/ökonomischen Opti-

mums betreibt, da die Gebäudeautomations-systeme dies nicht zurück melden.

Zusätzlich wird ein effektiver Betrieb in der Praxis oft durch fehlende oder unvollständige Dokumentationen und eingeschränkte Ressourcen (Budget, Personal, Qualifikation) erschwert. Gebäudebesitzer betrachten systematisches und kontinuierliches Monitoring in vielen Fällen als reinen Kostenfaktor und verzichten deshalb auf eine Messdatenerfassungen. Dadurch werden die Möglichkeiten zur Betriebsoptimierung eingeschränkt.

Außerdem fehlen kostengünstige Methoden zur Betriebsanalyse und -optimierung, die die Beschränkungen der Praxis berücksichtigen.

Erfahrungen aus der Inbetriebnahme

Energetisch innovative Neubauprojekte, die im Rahmen wissenschaftlicher Begleitforschung detailliert untersucht wurden, haben gezeigt, dass nach Inbetriebnahme eine intensive Betreuung insbesondere während des ersten Betriebsjahres erforderlich ist.

In diesen Neubauten sind im Rahmen von Forschungsprojekten umfangreiche Messsysteme für ein Monitoring installiert worden. Nachdem die Gebäude wie in Deutschland üblich übergeben und abgenommen waren, dokumentierte das Monitoring-System das Gebäudeverhalten auf wissenschaftlichen Niveau. Es zeigte sich, dass die Gebäude weit entfernt vom energetischen Optimum betrieben wurden. Mit den installierten Monitoring-Systemen wurden die Gebäude dann nachträglich energetisch optimiert betrieben [1].

In Gebäuden, die nicht Bestandteil eines wissenschaftlichen Begleitprogramms sind, könnte die

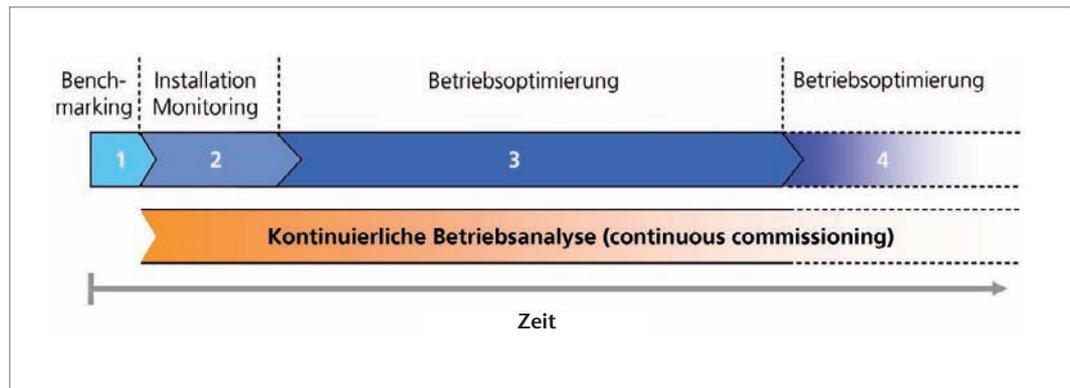
Dirk Jakob
Fraunhofer ISE
dirk.jacob@ise.fraunhofer.de

Christian Neumann
Fraunhofer ISE
christian.neumann@ise.fraunhofer.de

Jan Kaiser
Fraunhofer IBP, Kassel
jan.kaiser@ibp.fraunhofer.de

Abbildung 1
Abfolge der vier
Hauptschritte zur
kontinuierlichen
Betriebsanalyse
(englisch: Continuous
Commissioning: CC)

Grafik: Fraunhofer ISE



Gebäudeautomation (GA) häufig als „Messwert-erfassungssystem“ genutzt werden. Dies ist aber oft schwierig, weil wichtige Messwerte fehlen, Daten nicht aufgezeichnet werden und/oder nicht exportiert und weiterverarbeitet werden können. Um Gebäude effektiver und kostengünstiger in Betrieb zu nehmen und zu optimieren muss die Betriebsüberwachung und -optimierung wesentlich stärker standardisiert werden, damit auch relativ wenig qualifiziertes Personal in der Lage ist, die Möglichkeiten der Betriebsoptimierung zu nutzen.

Aktuelle Forschungsarbeiten zur Betriebsoptimierung

ModBen ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördertes Forschungsprojekt zur Entwicklung einer Methode zur modellbasierten Betriebsanalyse von Nicht-Wohngebäuden. Die Analyse soll als Teil eines integrierten Energiemanagements zur Sicherstellung eines langfristig energieeffizienten Betriebs dienen.

Die Ziele von ModBen sind:

- Entwicklung einer Systematik und praxistauglicher Werkzeuge für die Analyse und energetische Optimierung des Gebäudebetriebs.
- Darstellung der Bedeutung eines kontinuierlichen Monitorings für den energieeffizienten Betrieb von Nicht-Wohngebäuden.
- Aufzeigen möglicher Schnittstellen zur Energieeinsparverordnung (EnEV, DIN V 18599)

Diese Ziele sollen durch die Entwicklung einer allgemeinen, standardisierten Systematik zur kontinuierlichen Betriebsanalyse erreicht werden (Abbildung 1). Für existierende Methoden zur Fehlererkennung und Optimierung wird untersucht, ob sie ausreichend standardisierbar, robust und praxistauglich sind. Teilweise müssen bestehende Methoden angepasst bzw. neue Methoden entwickelt werden (siehe z. B. Abbildung 3).

Diese Systematik wird aktuell an sechs mit Messwertfassung ausgestatteten Demonstrationsgebäuden (Gewerbeimmobilien) erprobt. Dabei wird ein so genannter Top-Down Ansatz verfolgt, d. h., die Gebäude werden von der obersten Zusammenfassungsebene (z. B. Gesamtenergieverbrauch) her betrachtet und untersucht. Dadurch werden bei relativ geringem Aufwand die bedeutsamsten Fehler mit hoher Wahrscheinlichkeit identifiziert. Dazu wurde ein vierstufiger Prozess entwickelt (siehe Abbildung 1):

Schritt 1: Beim „Benchmarking“ (Abbildung 1) werden historische Verbrauchsdaten der Gebäude mit Vergleichswerten verglichen. Dies setzt voraus, dass solche Daten verfügbar sind. Damit werden Gebäude mit hohem Verbesserungspotenzial bzw. -bedarf identifiziert.

Schritt 2: In diesen Gebäuden wird ein Monitoring-System installiert (Abbildung 2). Um den Kostenaufwand dafür möglichst gering zu halten, wird standardmäßig folgender Datensatz erhoben:

- Gesamtverbräuche (Wärme, Kälte, Energieträger, Wasser)
- Klima (Außentemperatur, -feuchte, Globalstrahlung)

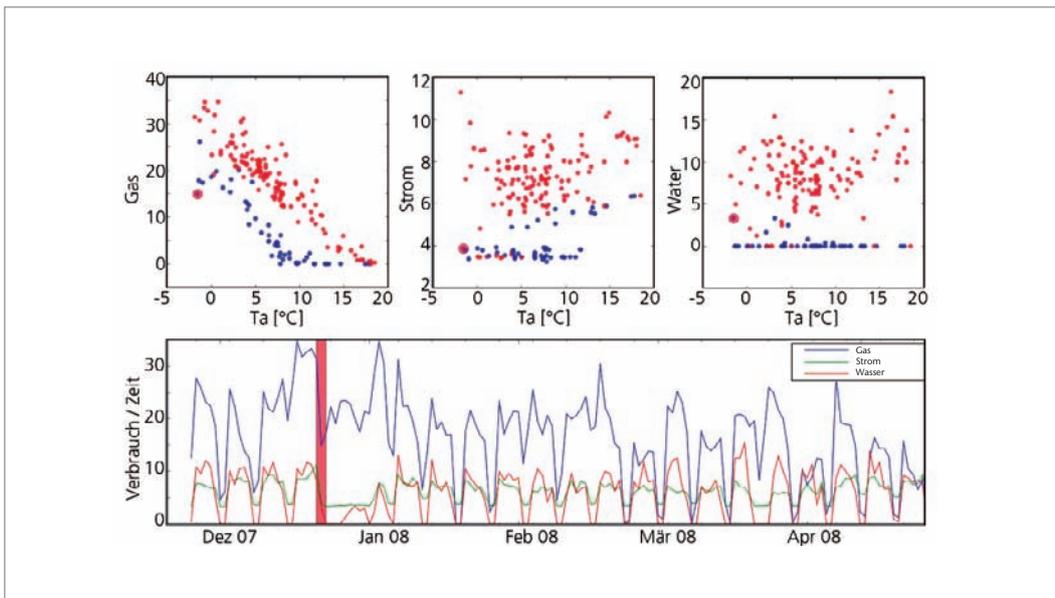


Abbildung 2
Standardisierte
Diagramme zur
Identifizierung von
Nutzungs- und
Betriebszeiten sowie
zur Prüfung klima-
abhängiger Regel-
strategien

Grafik: Fraunhofer ISE

- Raumklima (Temperatur, Feuchte, repräsentative Messstellen)
- Systemdaten (Vor- und Rücklauftemperaturen Wasserkreise, Zulufttemperatur und -feuchte großer Lüftungsanlagen).

Die Daten werden in mindestens stündlicher Auflösung (i. d. R. aber alle 5 oder 10 min) aufgezeichnet. Die Kosten für die Datenerfassung betrug bei den Demonstrationsgebäuden zwischen 15.000 € und 25.000 €.

Schritt 3: Nachdem das Monitoring-System installiert ist, beginnt die eigentliche Betriebsoptimierung (Abbildung 1). Zunächst werden die Daten aufbereitet z. B. durch Prüfungen, Zusammenfassungen, Mittelwertbildungen, Filterungen oder Gruppierung. Die so aufbereiteten Daten werden in standardisierten Diagrammen dargestellt. Dabei werden neben normalen Zeitreihen (Abbildung 2 unten) auch Carpetplots zur Identifikation von Nutzungs- und Betriebszeiten und zeitlichen Abhängigkeiten, Scatterplots zur Prüfung klimaabhängiger Regelstrategien (Abbildung 2 oben) und Box-Plots verwendet. Mit Hilfe dieser Darstellungen können einige häufige Fehler einfacher erkannt werden, z. B. ob sinnvolle Betriebszeiten eingestellt sind oder ob gleichzeitiges Heizen und Kühlen auftritt. Auch das Bedienpersonal vor Ort kann von diesen Visualisierungen profitieren, die deutlich über die üblichen Darstellungen von Gebäudeautomationssystemen (GA) hinausgehen.

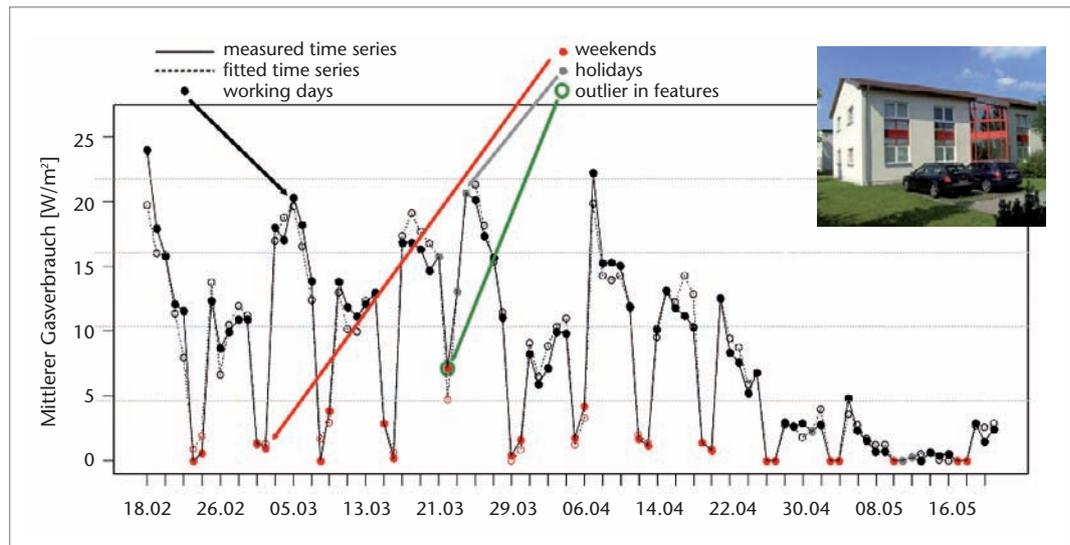
Diese neuen Visualisierungen sind am Bildschirm mit interaktiven Kombinationsdiagrammen möglich. Gleichzeitige Darstellung von Signaturen des Gas-, Strom- und Wasserverbrauchs und der entsprechenden Zeitreihen am Bildschirm. Diese Visualisierung ist interaktiv, d. h., wenn sich die Computermaus auf einem bestimmten Messpunkt befindet, wird dieser auch in den anderen Diagrammen markiert (blass-rötliche Hervorhebung, großer Kreis); in den Signaturen sind Wochenendwerte blau und Wochentagwerte rot markiert. Die Darstellungen in [Abbildung 2](#) stellen ein Beispiel vieler möglicher Analysegrafiken dar.

Darauf aufbauend werden automatische Algorithmen zur Betriebsüberwachung entwickelt und die Ausreißer mit statistischen Methoden detektiert. Dabei wird ein Messwert (in [Abbildung 3](#) z. B. Tagesmittelwerte) als „Ausreißer“ betrachtet, wenn er mehr als drei Standardabweichungen von einem vorhergesagten Wert abweicht. Die Vorhersage beruht auf linearen Modellen unter Berücksichtigung von statistisch ermittelten Typtagen (z. B. Wochentag, Wochenendtag). [Abbildung 3](#) zeigt eine erste Anwendung des Algorithmus auf das Demonstrationsgebäude in Großpöna. „Ausreißer“ des Strom- und Gasverbrauchs konnten erkannt werden.

Wenn mit Standard-Analysen Probleme in bestimmten Bereichen erkannt werden, werden diese bei einer systemspezifischen Analyse weiter eingegrenzt. Dafür werden z. B. Kurzzeitmessun-

Abbildung 3
Am Demonstrationsgebäude Großpösna detektierte Ausreißer in der Weihnachtszeit

Grafik: Fraunhofer ISE



gen durchgeführt oder die Regelungsstrategien optimiert. Dafür sind Gebäudesimulationen mit hoher Simulationsgeschwindigkeit eine wichtige Voraussetzung.

Als ein Beispiel wurde die Laufzeit der Heizungs-freigabe bzw. Heizkreispumpe für das Demogebäude Großpösna optimiert. Es ergab sich ein Einschaltzeitpunkt 1 h vor Beginn und ein Ausschaltzeitpunkt 1,5 h vor Ende der Arbeitszeit, wodurch 9 % Primärenergieeinsparung vorhergesagt werden. Da diese Verfahren möglichst weitgehend automatisiert werden sollen, ist eine einheitliche und wieder verwendbare Dateneingabe der Bestandsdaten (z. B. Gebäudegeometrie, Wandaufbauten) wichtig. Hier sind noch erhebliche Entwicklungsarbeiten zu leisten.

Anhand von Gebäudesimulationen werden auch quantitative Vorhersagen zur Auswirkung von Fehlern und Optimierungsansätzen gemacht. Aktuelle Herausforderung sind die Entwicklung von einfachen und praxisnahe Methoden, die mit Planungs- und Zertifizierungswerkzeugen gekoppelt werden können.

Schritt 4: Um die erreichten Verbesserungen aufrecht zu erhalten, wird der Betrieb weiterhin überwacht (*Abbildung 2*).

Zusammenfassung

Unsere Erfahrungen bei Inbetriebnahmen und in Forschungsprojekten haben gezeigt, dass im Bereich der Betriebsoptimierung ein großes Einsparpotenzial besteht. Zur wirtschaftlichen Erschließung dieses Potenzials fehlen derzeit standardisierte Ansätze und geeignete Werkzeuge. Im Rahmen von ModBen wird am Fraunhofer ISE eine Systematik zur Betriebsoptimierung entwickelt und an Demonstrationsgebäuden erprobt. Erste Elemente und Schritte wurden bereits erfolgreich getestet und bewertet

- Datenerfassung
- Datenaufbereitung
- Datenvisualisierung
- Fehler-/Ausreißererkenung
- Regelungsoptimierungsbeispiel

Diese Verfahren können nicht nur in Deutschland, sondern auch in vielen anderen Industrieländern angewendet werden. Dabei müssen aber unterschiedliche klimatische, gesetzliche, kulturelle und bauhistorische Randbedingungen beachtet und das Verfahren entsprechend angepasst werden.

Literatur

- [1] Herkel, Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse von Monitoringprogrammen, FVS Jahrestagung 2008 Berlin

Podiumsdiskussion: Wie kann die Bereitschaft, die Techniken des solaren Bauens einzusetzen, verbessert werden?

Marktmacht der Verbraucher

Schmid: Herr Disch, sie sind ein berühmter Solararchitekt, der halb Freiburg solarisiert hat und die Gemeinden drum herum auch. Ich bitte Sie, ein wenig in die Zukunft zu schauen und uns Hinweise zu geben wo die Reise hingehet.

Disch: Wir müssen Kapital dort rausnehmen, wo es Klima und Leben zerstört und es in erneuerbare Energien und Energieeffizienzsysteme umlenken. Jeder einzelne von uns hat die Möglichkeit dazu: Wir müssen doch sowieso alle eine Altersvorsorgung aufbauen und das kann man verbinden mit einer soliden Kapitalanlage z. B. in Windkraft, Solaranlagen oder Umweltfonds. Verbraucher können entscheiden, bei welcher Bank sie ihr Geld anlegen und auch wo sie ihren Strom kaufen. Und sie können nicht nur selbst wechseln, sondern auch Werbung dafür machen.

Für mich selbst habe ich die Konsequenz gezogen, dass ich seit 15 Jahren keine Niedrigenergie- oder Passivhäuser, sondern ausschließlich Plusenergiehäuser baue. Spätestens seit 2001 lohnt sich das auch wirtschaftlich. Wir haben eine ganze Plusenergie-Siedlung gebaut und das geht auch für Stadtteile und ganze Städte.

Nutzerfreundlichkeit der Systeme

Publikumsfrage (Monika Ganseforth, Verkehrsclub Deutschland): Frage an Herrn Disch: Gibt es noch Kinderkrankheiten beim solaren Bauen? Wie ist es mit der Behaglichkeit? Kommen Nutzer, Mieter und Vermieter mit der Technik zurecht? Es sind ja technisch anspruchsvolle

Dinge, oder wählen sie ihre Mieter nach Intelligenzquotient aus?

Disch: Wir können und wollen die Mieter natürlich nicht auswählen. Unser Bestreben ist es, die Häuser so einfach wie möglich zu machen. Wir haben ein Nutzerhandbuch, das enthält eine Kurzfassung „Wie geht man mit so einem Haus um“ und Prospekte von den Geräten. Ein Problem ist aber noch die Regelung. Wir haben in den ersten Häusern eine aufwändige und komplizierte Regelung gehabt. Inzwischen haben wir sie zwar vereinfacht, aber sie ist immer noch schwierig zu verstehen.

Wir haben eine Umfrage bei den Bewohnern gemacht über ihre Zufriedenheit. Erfreulicherweise haben wir festgestellt, dass sie nicht nur zufrieden, sondern geradezu begeistert sind über das Wohnklima. Wir haben großen Wert auf das gesunde Wohnen gelegt. Was mich besonders gefreut hat war eine Rückmeldung, dass bei einem Bewohner sein Asthma 14 Tagen nach Einzug wegging. Sein Arzt sagte ihm, dass das mit dem Haus zusammenhinge. Solche Rückmeldungen sind sehr positiv. Aber wir sind nicht mit allem zufrieden. Es gibt also noch Entwicklungs- und Forschungsbedarf. Ein solar gebautes Haus muss so einfach zu bedienen sein wie ein Telefon.

Integration ins Gesamtkonzept

Bosse: Ich habe in meiner langjährigen Tätigkeit immer wieder festgestellt, dass die Bereitschaft sehr groß ist, Techniken des solaren Bauens einzusetzen. Es gibt auch immer wieder Studien, die besagen, dass 60 % der Deutschen bereit sind, mehr Geld für solares Bauen auszugeben. Meiner Einschätzung nach ist es notwendig, die

Moderation

Prof. Dr. Jürgen Schmid

ISSET

jschmid@uni-kassel.de

Teilnehmende

Silke-Kirsten Bosse
Sulfurcell Solartechnik GmbH
bosse@sulfurcell.de

Ullrich Bruchmann

BMU

ullrich.bruchmann@bmu.bund.de

Rolf Disch

Architekturbüro
info@rolfdisch.de

Wolfgang Schölkopf

ZAE Bayern

schoelkopf@muc.zae-bayern.de

Systeme einfacher bedienen und montieren zu können. Die Systeme müssen problemlos zusammenarbeiten. Es kann nicht sein, dass einer nur Module herstellt und der andere Wechselrichter. Es muss zusammenpassen. Doch bisher sind die einzelnen Komponenten zu kompliziert. Meiner Meinung nach muss es Pflicht werden, das solare Bauen als normalen Baustoff zu sehen.

Publikumsfrage (Astrid Schneider, Architektin): Leider ging in den letzten 5 Jahren die Entwicklung in der PV-Industrie von der Gebäudeintegration weg und die Industrie hat stattdessen auf preiswerte Großanlagen, Aufdachanlagen und Freiflächenanlagen gesetzt. Deshalb sind die Produkte manchmal gar nicht wirklich geeignet, in jeder Form im Gebäude eingesetzt zu werden. Meine Frage an Frau Bosse: Was muss geschehen, damit die Industrie selbst Solarmodule so entwickelt, dass sie in eine Gebäudehülle eingesetzt werden können?

Bosse: Es gibt zwei Richtungen in der Solarenergie: die Gebäudeintegration und Solarpaneele um sie aufs Dach zu schrauben. Die Paneele haben sich stark durchgesetzt, weil ihr Zubehör, also Montagesysteme, Wechselrichter und Kabel einfach zu bedienen sind. Bei der Gebäudeintegration hingegen gibt es viele Dinge zu beachten, wie z. B. Genehmigungsverfahren für Überkopf-Verglasungen oder Bestimmungen für die Fassade. In Deutschland erscheint mir momentan die Integration als sehr schwierig. Wir hatten neulich Gespräche mit britischen Partnern, die überhaupt nicht wussten, was eine Überkopf-Verglasung ist, obwohl sie sehr großen Erfolg mit der Fassadengebäudeeinrichtung haben. Auch Sulfurcell produziert nur Einzelelemente und arbeitet dann mit Zulieferern zusammen. Ich gebe zu, dass es dort noch hapert. Die Schweizer machen uns aber vor, wie es geht. Wir müssen daran arbeiten, dass es einfacher für den Verbraucher wird.

Publikumsbeitrag (Andreas Gries, Energieagentur NRW): Wir koordinieren das Projekt der 50 Solarsiedlungen in NRW. Meiner Meinung nach ist die solare Bauleitplanung ein Schlüsselinstrument. Es müssen ja erst einmal die Voraussetzung geschaffen werden, um Solarenergie aktiv und auch passiv richtig zu nutzen. Unserer

Erfahrungen nach muss man an die Kommunen herantreten, um diese Voraussetzungen zu schaffen. Vor dem Hintergrund der Kosten, denke ich, ist das ein wichtiger Aspekt. Diese Gebäude sollen 100 Jahre und länger stehen und wenn wir diese Voraussetzung schon frühzeitig durch eine solare Bauleitplanung initiieren können, dann sind das Gewinne, die wir über Jahrzehnte sichern können. Es gibt in der Stadt Dortmund erste erfreuliche Ansätze. Die Planungsämter prüfen alle Neubaugebiete solarenergetisch auf ihre Potenziale. Das muss nicht bedeuten, dass man stupide, schachbrettartige städtebauliche Strukturen bekommt. Es geht nur um Optimierung und die sichert uns Potenziale über Jahrzehnte.

Architekten als Multiplikatoren

Reyelts: Bei ganzheitlichen Lösungen ist die Kompetenz von Architekten gefragt. Bei dem Ansatz wäre dann beispielsweise zu fragen „Ist der solare Gewinn einer Ziegelwand auf der Südseite nicht viel größer als bei anderen aufwändigeren Maßnahmen?“. Da könnte man abwägen und die Solartechniken in der richtigen Gewichtung sehen. Man muss das Haus als Ganzes sehen, und dann wird man die richtige Solartechnik an die richtige Stelle bringen. Nur so ist eine gebäudeintegrierte Solartechniken zu machen.

Publikumsbeitrag (Robert Dehmel, TFH Berlin): Für mich als Architekt und Ausbilder von Studierenden, die auch Architekt/-in werden wollen, ist Akzeptanz immer wieder ein interessantes Thema. Architekten spielen als Multiplikatoren eine entscheidende Rolle. Wenn ein Architekt meint, dass bestimmte Komponenten nicht in sein gestalterisches Konzept hineinpassen, dann kann ich nur gewinnen, wenn der Bauherr sagt, dass er es dennoch unbedingt haben möchte. Ich mache jedes Jahr eine Sommerakademie mit amerikanischen Architekten. Auch da haben wir das Akzeptanzproblem: Solarkollektoren können wir zwar einbauen, aber bitte nur da, wo sie keiner sieht.

Reyelts: Das Erscheinungsbild der Häuser wird sich gewaltig ändern müssen und dafür brauchen wir eine neue Ästhetik, eine Effizienzästhetik. Ich

verstehe unter solarem Bauen einen ganzheitlichen Ansatz. Es ist der Industrialisierung und dem fossilen Zeitalter geschuldet, dass wir ein Gebäude als ‚mit Apparaten versorgt‘ denken. Wenn wir zurückgehen auf das was eigentlich solares Bauen ausmacht, dann sage ich ‚energieeffizientes Bauen in jeder Hinsicht‘ ist die Zukunft. Energieeffizienz heißt dann „die Einbeziehung von solarer Energie in jeder Form“.

Kostensenkung

Bosse: Ich komme von einem Hersteller von Dünnschichtsolarmodulen. Unser Ziel ist es, die einzelnen Komponenten so günstig wie möglich herstellen, damit wir die „grid parity“ erreichen und damit die Voraussetzung schaffen, dass sich jeder diese Technik leisten kann.

Publikumsfrage (Robert Dehmel, TFH Berlin): Energieeinsparung gibt es nicht umsonst. Wie viel Energie muss ich denn in die Hand nehmen, um Energie einzusparen? Also es geht um die energetische Amortisation, um das Leistungsspektrum einschätzen zu können.

Disch: Zu den Rücklaufzeiten oder der Amortisation möchte ich sagen. Ich rechne so gar nicht. Ich kann bei heutigen Energiepreisen nachweisen, dass sich die Energiesparmaßnahmen sofort lohnen. Ich habe sofort mehr Geld in der Tasche. Ich habe Finanzierungskosten, aber diese sind niedriger als die bisherigen Energiekosten. Das gleiche gilt auch für Solaranlagen. Diese rechnen sich gleich ab dem ersten Tag.

Publikumsfrage (da Silva, Forschungsabteilung der Robert-Bosch GmbH): Für uns kommt die Motivation über die Integration der erneuerbaren Systemtechnik in die Gebäudesubstanz nachzudenken, weniger aus Erwartung der Wirtschaftlichkeit oder der CO₂-Einsparung, sondern zielt auf die Qualität der Raumnutzung. Wir erwarten, dass das ein Hebel für die Beherrschung der Qualität und Komplexität und für die Verkürzung und Planbarkeit von Bauzeiten. Über diese Aspekte habe ich relativ wenig gehört und es würde mich interessieren, ob das nur ein Thema im Gespräch mit Fertighausherstellern oder auch eins der Forschung ist.

Disch: Das ist ein Thema, das ich auch den Gemeinden nahe bringen wollte. Es gibt Möglichkeiten der Vorfertigung von Raummodulen. Wenn es gelingt ein Raummodul, wir nennen es Powerbox, in einer Werkhalle zu fertigen, dann habe ich eine hohe Qualität und eine hohe Sicherheit, dass alles funktioniert. Dann muss man nicht auf einer Baustelle daneben stehen und schauen, dass die Leitungen richtig angeschlossen werden, sondern das in einer Werkstatt vorgefertigte Modul ist praktisch in einer Stunde geliefert und in der zweiten Stunde ist das nächste Modul draufgesetzt. Die Fabrikation muss also in die Werkhallen verlegt werden, so dass auf der Baustelle nur noch montiert werden muss.

Forschung und Forschungsförderung

Schmid: Ich denke, dass viele Solardächer, also Photovoltaiksysteme, nicht in die Dächer integriert wurden liegt daran, dass es keine speziellen Forschungsprogramme gibt. Ich denke, hier muss etwas passieren. Ich bitte Herrn Bruchmann vom Umweltministerium vom Referat für Forschung und Entwicklung der EE dazu etwas zu sagen.

Bruchmann: Zur Frage, dass die Forschungsmittel für die Grundlagenforschung zu intensiv und die Forschungsförderung in der Anwendungstechnologie zu gering sei: Die Industrie erwartet von uns gerade eine stärkere Förderung der Grundlagenforschung. Und dies zeigt deutlich, dass sie die direkte anwendungsnahe Forschung, Entwicklung und Demonstration aus ihrem eigenen Portfolio finanzieren können und wollen. Unsere Philosophie basiert auf dem Energieforschungsprogramm, einer verbindlichen Richtlinie, die eine Beihilfe darstellt. Wir bewerten nach Exzellenzkriterien. Für das Budget von circa 100 Millionen gibt es das Dreifache an Anträgen, also im Bereich von 300 Millionen. Da muss entschieden werden, wer den Zuschlag bekommt und wer nicht.

Schmid: Ich sehe da Parallelen. Die Industrie hat vor 25 oder 30 Jahren gesagt, dass sie keine Solarforschung in der Anwendung brauchen,

sondern es schon allein machen. Das hat sich als ganz falsch erwiesen. Die Forschung musste überall mithelfen, die Systeme weiterzubringen. Daher würde ich eine Empfehlung abgeben: Es gibt ohnehin alle drei Jahre ein Strategietreffen für Photovoltaik in Glottental, zu dem Industrie und Forschung eingeladen sind. Ich glaube es wäre sicher wichtig, in Zukunft auch Architekten dazu einzuladen.

Publikumsfrage (Astrid Schneider, Architektin): Ich finde – und das richtet sich auch an den Forschungsverbund Sonnenenergie – dass der größte Teil der Forschungsgelder für Solarenergie im Bereich der Grundlagenforschung aufgewendet wird; also für Solarzellenschichten, Solarzelleneffizienz oder Produktionstechnologien. Was die Architekten, kleine Bauunternehmen oder Handwerker brauchen, wird eigentlich gar nicht gefördert. Diese so genannte Anwendungsforschung kommt in der Solarforschung nicht vor!

Bruchmann: Die Bereitschaft solares Bauen oder erneuerbare Energien zu nutzen, heißt für uns in erster Linie, Versorgungssicherheit mit Energie zu gewährleisten, aber auch ganz entscheidend eine Komfortsicherheit. Das Bundesumweltministerium nutzt dafür zwei Förderprogramme. Das eine ist im Referat Erneuerbare Energien & Forschungsförderung, das andere ist das Energieforschungsprogramm. Das Programm dient der Förderung von Technologieentwicklung im Bereich der erneuerbaren Energien mit den Schwerpunkten PV, Windkraft, Solarthermie und Geothermie. Wir haben einen Ansatz von rund 103 Millionen, davon rund 10 Millionen für Solarthermie. Ziel ist es, die Versorgungssicherheit langfristig mit Technologieentwicklungen zu sichern.

Das Marktanreizprogramm, oder besser gesagt die „Richtlinien für Förderungen und Maßnahmen zur Nutzung der erneuerbarer Energien“, fördern Investitionen zur Nutzung erneuerbarer Energien vor allem im Wärmebereich.

Forschungsförderung hat auch das Ziel der Technik- und Qualitätssicherung, um die Akzeptanz und die Bereitschaft diese Technologie zu nutzen und zu verstärken. Es geht aus der Sicht der Forschungsförderung schwerpunktmäßig darum, die Planer und Installateure in die Lage

zu versetzen, diese Systeme kundenfreundlich anzubieten. Das sind die Schwerpunkte unserer aktuellen Forschungsförderung. Schwerpunkt in der Zukunft zur optimalen Nutzung der Technologie muss eine bessere und solide Einbindung in den Gebäudekomplex, also in die Wärme- oder Energiesenke sein, um eine Optimierung des Komforts zu erreichen.

Schölkopf: Ich möchte unterstreichen, was Herr Bruchmann angesprochen hat: wir brauchen eine langfristig angelegte belastbare Förderkonzeption. Wir sehen, dass es beim EEG funktioniert, aber in der Solarthermie gibt es noch große Defizite und Optimierungsmöglichkeiten.

Schmid: Im Strombereich gibt es das EEG, das ganz hervorragend funktioniert und wir haben diskutiert, ob man so etwas auch für die Solarthermie einführen kann. Ich denke es gibt durchaus machbare Lösungsvorschläge. Man braucht einen politischen Willen, um einen Schritt weiterzukommen und ich bin sicher, wenn uns das gelingt, dann werden wir bei der Wärme genau so erfolgreich sein, wie bei der Stromerzeugung.

Publikumsfrage (Astrid Schneider, Architektin): Herr Bruchmann, was muss in der Politik bei der Förderung und Vergütung passieren, damit sich die Integration der Technologien verbessert? Es ist bedauerlich, dass die EEG-Novelle ausgerechnet den 5-Cent-Zuschlag für die Fassadenintegration gestrichen hat. Warum haben sich Verwaltung und Politik nicht gesagt, dass man das unbedingt behalten muss?

Schmid: Unsere Nachbarländer haben mittlerweile sogar einen Bonus für das Dach und nicht nur für die Fassade!

Bruchmann: Die EEG-Novelle bedeutet, dass mittels eines parlamentarischen Verfahrens eine Entscheidung über die Förderung der Stromerstellungskosten der Zukunft erfolgen soll. Politisches Ziel ist nach wie vor die Stromerstellungskosten zu reduzieren. In dem Novellierungsverfahren wurde nicht vom grünen Tisch entschieden, sondern mit den Herstellern dieser Systeme in einem intensiven Dialog die Neuausgestaltung der Einspeisevergütung diskutiert. Die Industrie hat klar zugesagt, dass eine

Reduzierung der Stromkosten machbar ist, wie sie die reale Lernkurve abbildet und dass dies am Markt durchsetzbar ist. Der quantitative Ausbau der PV muss mit einer qualitativen Entwicklung der Systeme und damit auch einer Preisreduzierung einhergehen. Das ist das Ziel der Fortschreibung des EEG in den nächsten vier Jahren.

Disch: Über-Kopf-Verglasung wäre auch ein Beispiel für die Anwendungsforschung. Wir haben praktisch ausprobiert, was passiert, wenn Module zerstört werden: Sie können herunterfallen und es kann Personenschaden geben. Deshalb müssen wir, wenn wir Über-Kopf-Verglasung einsetzen, darunter Verbundglas einbauen und dies erhöht die Kosten und das Gewicht. Ich denke aber, dass es Möglichkeiten geben, die Kosten zu reduzieren. Vielleicht beschäftigt sich jemand damit. In der Schweiz und in Spanien gibt es damit kein Problem. Da können wir semi-transparente Module über Kopf einsetzen, also z. B. für Dachvorsprünge. Aber in Deutschland geht das nach den Vorschriften nicht. Wenn wir an dieser Stelle weiterkommen wollen, müssen wir Projekte machen und Leute begeistern. Die Projekte sind dann Anschauungsprojekte oder Demonstration für die Sonnenenergie.

Dass wir mehr Geld in die Anwendung geben, heißt aber nicht, dass das Forschungsgelder sein müssen. Wir sind ja eins der reichsten Länder. Wir müssen eben die Gelder organisieren und in die Projekte reinstecken. Das sind Investitionen und keine Kosten – und Investitionen rentieren sich.

Demonstration zeigt Machbarkeit

Publikumsfrage (Prof. Jänicke, Kuratorium der DBU und FU Berlin): Herr Disch, was ist aus Ihrer schönen Kampagne „Das Energieplushaus in jeder Gemeinde“ geworden?

Disch: Für diese Aufklärungskampagne habe ich jeden Bürgermeister in Deutschland angeschrieben mit einem Faltblatt das zeigt, dass Energieplushäuser machbar sind. Es gibt ungefähr 10.000 Bürgermeister in der BRD, auf den Brief

haben sich ca. 200 Bürgermeister gemeldet, von denen sind 60 nach Freiburg gekommen und haben sich die Solarsiedlung und das Sonnenschiff angeschaut und Interesse bekundet. Ein Beispiel: Der Bürgermeister von Königsfeld hat sich dafür eingesetzt, dass Königsfeld eine Solarkommune wird. Für ein neues Baugebiet haben wir eine neue Siedlung geplant. In den Bauvorschriften haben wir unter anderem Passivhäuser als Standard im Wärmebereich und die Belegung der Dachflächen mit Solaranlagen vorgeschrieben. Die Siedlung ist also komplett regenerativ und die Kampagne konnte hier realisiert werden.

Fazit

Schmid: Die ganzheitliche Vorgehensweise ist der Schlüssel. Wir sehen wie komplex das energieeffiziente und solare Bauen ist und wir sehen noch viele Defizite. Das solare Bauen ist also im wahrsten Sinne des Wortes eine Baustelle, auf der noch viel gearbeitet werden wird.

Die größten Defizite sehe ich im Moment weniger in der richtigen Technik, denn wir haben sehr gute Techniken entwickelt, sondern in der Information an alle, die in der Realisierung der Gebäude und der Nutzung beteiligt sind: vom Architekten über den Installateur und Planer bis zum Nutzer, der täglich damit umgehen muss. Auch die Institute des Forschungsverbands werden in den nächsten Jahren mithelfen diese Defizite zu beseitigen.

■ Demonstration und Praxis neuer Techniken

- Wohngebäude – neue Techniken in der Praxis, Energieertrag und Effizienz
- Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse und Erfahrungen aus Monitoring-Projekten

Wohngebäude – neue Techniken in der Praxis, Energieertrag und Effizienz

Isabell Schäfer
 TU Darmstadt
 Fachbereich Architektur
 El-Lissitzky-Straße 1
 64287 Darmstadt
 ischaefer@
 ee.tu-darmstadt.de

Einführung

Beschäftigt man sich heute mit zukunftsfähigen Wohnformen, ist neben den zu lösenden Problemen auf soziokultureller, demografischer und ökonomischer Ebene die Frage nach der Energieeffizienz und -versorgung unserer Wohngebäude von entscheidender Bedeutung.

Bedrohliche Klimaveränderungen und die Erkenntnis, dass unsere fossilen Energiequellen endlich sind, fordern weltweit ein Umdenken. Aus der Erkenntnis heraus, dass zudem etwa 50 Prozent der Energie in Gebäuden verbraucht wird, sind gerade im Bereich Bauwesen und Architektur neue Wege zu beschreiten. Nachhaltiger Wandel muss Eingang in Planung und Ausbildung finden und gleichzeitig in das Bewusstsein der Öffentlichkeit transferiert werden.

Effiziente Gebäude haben noch keine eigene architektonische Sprache

Gebäude stehen in vielfältigen Austauschbeziehungen mit ihrem Umfeld: Klima, Landschaft, Topographie, bauliches Umfeld, Verkehr und Infrastruktur wirken auf ein Gebäude ein. Sie definieren seinen Kontext sowie das Energieangebot, auf das es zugreifen kann. In Europa sind Gebäude in der Regel in ein Netz von Ver- und Entsorgungssystemen eingebunden. Der Stand der Technik lässt aber heute eine autarke Bauweise zu, die auf eine externe Energiezufuhr verzichten kann.

Gegenwärtig wird jährlich nur etwa 1 % des deutschen Gebäudebestands neu errichtet. Energieeffiziente Neubauten allein führen also aufgrund der nur langsam steigenden Anzahl zu

keiner schnellen Reduktion des Gesamtenergieverbrauchs oder des CO₂-Ausstoßes durch Gebäude.

Nachdem sich energieeffiziente Bauweisen noch vor wenigen Jahren als eine Art Nischenprodukt dargestellt haben, werden sie nun allmählich bekannter. Allerdings fehlt diesem Bedarf an Raum für Wohnen und Arbeiten eine klare architektonische Sprache – Energieeffizienz besitzt noch keine spezifische architektonische Form. Sie ist eine Methodik, die sich nicht zwingend auf die Architektur niederschlägt.

Aber die Ziele für eine hohe Energieeffizienz sind erfahrbar, wenn bei Ihrer Umsetzung eine hohe Behaglichkeit für den Gebäudenutzer erreicht wird. Um eine solche hohe Behaglichkeit anbieten zu können, ist eine intelligente Planung von Gebäuden notwendig. Die Höhe des Energiebedarfs während der Nutzungsphase steht dabei im Zusammenhang mit der Ausbildung des Baukörpers und der Gebäudehülle, den klimatischen Randbedingungen, der eingesetzten Systemtechnik und nicht zuletzt dem Komfortanspruch sowie dem Nutzerverhalten. Architektonische Parameter stehen dabei für den Energiebedarf und Energiedienstleistungen in einem unmittelbaren Zusammenhang.

Gebäudefassaden als Energiewandler

Die Fassade eines Gebäudes ist Wandler des Energieflusses und daher ist sie zwingend auf die unterschiedlichen Bedarfe im Innenraum und die äußeren Einflüsse auszurichten. Bedarfe und Einflüsse zeigen dabei an der Fassade auch die unterschiedlichen Möglichkeiten zur Nutzung von Fassaden.

Eine diese Einflüsse berücksichtigende Gestaltung hat zwangsläufig Rückwirkungen auf den gesamten Energiebedarf und -gewinn eines Gebäudes. So hat z. B. die Flächenrelation von opaken zu transparenten Flächen einen hohen Einfluss auf die Energiebilanz eines Gebäudes. Im Zusammenspiel von g-Wert und U-Wert ergeben sich auch innerhalb der transparenten Flächen hohe Handlungspotenziale, die mittlerweile auch durch die DIN 18599 energetisch durch den Wärmeeintrag durch Sonnenstrahlung sowie den daraus ermittelten Kühlbedarf abgebildet werden. Eine Einflussnahme ist besonders auch über adaptive Elemente möglich. Lamellen können z. B. als Sonnenschutz, Blendenschutz oder als zusätzlicher Windschutz an der Fassade wirken.

Für eine hohe Marktrelevanz von Produkten geht es hierbei weniger um eine spezifische und herausragende Materialeigenschaft, als um den geschickten Mix von Eigenschaften, die sich untereinander in dem spezifischen Anwendungsgebiet positiv beeinflussen und verschiedene Funktionen übernehmen können.

Bestimmte Anforderungen an die Fassade können den Wunsch der Verwendung einer Technologie nach sich ziehen. Wärmerückgewinnung aus der Abluft ist z. B. nur durch eine geregelte Lüftung möglich. Damit sinkt der Bedarf an natürlicher Lüftung – allerdings dürfen die Nutzerbedürfnisse nicht vernachlässigt werden.

Eine solche technikintegrierte Gestaltung führt in der Regel zu einer klaren Trennung von Gebäudetechnik und Gebäude, was z. B. aus der unterschiedlichen Dauerhaftigkeit beider Elemente durchaus positiv bewertet werden kann. Hier kommen übergeordnete Aspekte der Nachhaltigkeit im Detail und die Materialwirkung der Einzeltechnologie ins Blickfeld. Beide Aspekte werden durch die Gestaltung des Gebäudes mitbestimmt.

Das Plusenergiehaus – Solar Decathlon 2007

Der Entwurf für das Solar Decathlon Haus 2007 der TU Darmstadt (*Abbildung 1*) basiert auf drei Grundprinzipien:

- flexible Nutzung für den Wettbewerb (2007 in Washington)
- Er soll eine eine Nachnutzung erlauben.
- Er soll ein integratives Energiekonzept ermöglichen.

Diese drei Grundprinzipien erzeugen eine einfache und ruhig anmutende Architektur.

1. Durch das Prinzip der **Schichtung** wird der Grundriss in verschiedene Zonen unterteilt, die sich im Zwiebelprinzip um einen inneren „Kern“ legen. Die unterschiedlich temperierten Schichten erlauben eine differenzierte Bespielung des Grundrisses je nach Jahreszeit.



Abbildung 1
Decathlon Haus 2007

Foto: TU Darmstadt

2. Der Innenraum des Gebäudes zeichnet sich durch ein hohes Maß an **Flexibilität** aus. Ein fließender Raum umgibt den inneren Raumkern, in dem Küche und Bad angeordnet sind. Durch intelligente Klapp- und Schiebensysteme lassen sich diese erweitern.
3. Ein weiteres prägendes Element des durch ein schlichtes Design geprägten Raums ist ein doppelter Boden. In diesem sind neben technischen Komponenten Möbel integriert. Nutzungen wie Wohnbereich und Bett lassen sich durch ein Klappsystem mit Bodenelementen überdecken. Es entsteht ein **vielfältig nutzbarer Raum**.

Das Haus demonstriert, dass Ästhetik und Wohnkomfort durchaus mit Energieeffizienz vereinbar sind. Der Grundriss entspricht den im Wettbewerb vorgeschriebenen ca. 74 m² Grundfläche. Das Haus kann in drei gleich große, transportierbare, Raummodule zerlegt werden. Die ganzheitliche und sinnvolle Kombination der einzelnen Subsysteme ist wichtig für ein optimiertes und innovatives Gesamtsystem, das Bauteile und Gebäudetechnik integriert und Synergien nutzt.

Passive Maßnahmen im Solar Decathlon Haus

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung des Gebäudes und einer integralen Planungsmethode sind bereits im Entwurfsprozess energetisch wichtige Parameter berücksichtigt worden:

- Zonierung des Grundriss nach Temperaturzonen
- kompakter Baukörper zur Optimierung der Hüllfläche
- sehr gute Wärmedämmung der Hülle (Vakuuminisolation, U-Wert < 0,1 W/m²K) und Fenster (3- bzw. 4-fach-Verglasung, U-Wert = 0,5 bzw. 0,3 W/m²K)
- große Fensterflächen im Süden für passive solare Gewinne in Kombination mit einem energetisch aktivierten Verschattungssystem
- PCM (Phase Changing Material) als thermische Speichermasse im Leichtbau

- Querlüftung in der Nacht zur Auskühlung der thermischen Speichermasse
- zusätzliches passives Nachtkühlsystem über die PV-Module
- optimale Tageslichtnutzung durch die Transparenz der Nordseite

Aktive Systeme

Erst wenn die passiven Systeme nicht mehr ausreichen, um den geforderten Wohnkomfort einzuhalten, werden diese durch aktive ergänzt:

- Energiegewinnung durch Photovoltaik
- Warmwasserbereitung mit solarthermischen Kollektoren
- Kühlen und Heizen mit einer reversiblen Wärmepumpe
- Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Energieeffiziente Haushaltsgeräte und Leuchten (z. B. LED)

Energieeffiziente Büros und Produktionsstätten – Ergebnisse und Erfahrungen aus Monitoring-Projekten

Einleitung

Nichtwohngebäude sind seit der Verabschiedung der europäischen Richtlinie zur Energieeffizienz von Gebäuden (EBPD) stärker im Fokus von energieeffizienten Konzepten. Im Rahmen des Förderprogramms „Energieoptimiertes Bauen – EnBau“ und „Energetische Sanierung des Gebäudebestands – EnSan“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie werden seit 1998 Nichtwohngebäude über eine zweijährige messtechnische Kampagne evaluiert um Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Konzepte aufzuzeigen. Ziel aller Demonstrationsbauten ist die Verbindung einer hohen Arbeitsplatzqualität mit niedrigem Energieverbrauch.

Energieverbrauch und Arbeitsplatzqualität

In Bürogebäuden dominieren in einer Jahreskostenbetrachtung die Gehälter der Mitarbeiter, während die unmittelbaren Energiekosten meist deutlich unter 1 % ausmachen [1]. Andererseits sind die Energiekosten oft der größte Einzelposten in den Nebenkosten, der so genannten „zweiten Miete“. Diese summiert sich im Falle eines voll klimatisierten Gebäudes in 50 Betriebsjahren auf etwa die Hälfte der Investitionskosten für das Gebäude. Wegen der hohen Bedeutung der Personalausgaben stehen optimale Bedingungen am Arbeitsplatz im Mittelpunkt einer Gebäudeplanung. Hohe Arbeitsplatzqualität trägt zur Zufriedenheit und Motivation der Mitarbeiter bei. Nur mit Gebäuden hoher Nutzungsqualität lassen sich auf einem hart umkämpften Markt langfristig sichere Renditen erzielen. Maßnahmen zur Energieeinsparung sind vor allem in solchen Bereichen erfolgreich,

Sebastian Herkel
 Fraunhofer ISE
 sebastian.herkel@ise.fraunhofer.de

Jan Kaiser
 Fraunhofer IBP
 jan.kaiser@ibp.fraunhofer.de

Dr. Henk Kaan
 Energy Research Centre of the Netherlands, ECN
 kaan@ecn.nl

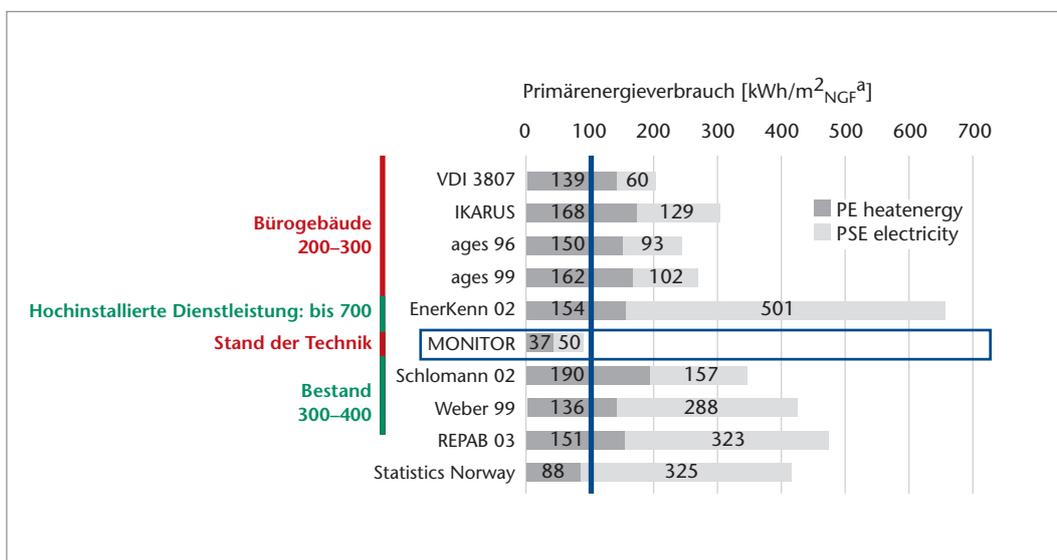


Abbildung 1
 Ergebnisse verschiedener Untersuchungen aus dem Förderprogramm EnBau verglichen mit Verbrauchswerten für Bürogebäude aus dem Bestand [1]

Quelle: Fraunhofer ISE/ECN

Abbildung 2
Das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel (links), PV-Fassade des ECN Gebäudes 31 (Mitte) und Wintergarten mit PV des ECN Gebäudes 42 (rechts)



Quelle: Fraunhofer ISE/ECN

in denen sich gleichzeitig positive Auswirkungen für die Nutzungsqualität ergeben.

Knapp ein Viertel des deutschen Gebäudebestands fiel 1995 in die Kategorie des Nichtwohnungsbaus. Während im Wohnungsbau die Bereitstellung von Wärme für die Raumheizung und Warmwasser mit 92 % dominiert, kommt in den Bürogebäuden dem elektrischen Energieverbrauch eine wesentlich größere Bedeutung zu. Die dominierenden Einflussfaktoren auf den Stromverbrauch sind der Umfang und Energieeffizienz der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) für Beleuchtung, Lüftung und Klimatisierung sowie der Büroausstattung [1] [2],

Abbildung 1.

Konzepte: Kühlung mit Low-Ex Systemen und Solare Energieversorgung

Ein wichtiger Bestandteil im Energiekonzept von Bürogebäuden ist die energieeffiziente Bereitstellung eines angenehmen Raumklimas im Sommer. Um auf eine aktive Kühlung verzichten zu können, werden bereits in der Planungsphase solare und interne Wärmelasten durch wirksamen Sonnenschutz bzw. verbesserte Tageslichtnutzung, Beleuchtungsautomatisierung und konsequente Gerätewahl (z. B. Flachbildschirme) reduziert. Die reduzierten Wärmelasten können weitgehend durch die Lüftung oder über thermisch aktive Bauteilsysteme (TABs) abgeführt werden. Bei hinreichend niedrigen, nächtlichen Außentemperaturen kann die Wärme mit der kühlen Nachtluft abgeführt werden. Als besonders leistungsfähige Wärmesenken kommen das Erdreich oder das Grundwasser in Frage.

Folgende Technologien werden in Demonstrationsgebäuden eingesetzt:

- Freie und mechanische Nachtlüftung
- Erdwärmetauscher (luftdurchströmte Rohre im Erdreich)
- Betonkernaktivierung in Kombination mit Erdsonden
- Grundwasserkühlung mit Schluckbrunnen.

Die Technologien sind bereits in die Baupraxis eingeführt, können zu wettbewerbsfähigen Kosten (Investition und Betriebskosten) realisiert werden und gewährleisten – bei richtiger Planung und Betriebsführung – ein gutes Raumklima ohne aktive Klimatisierung.

Allerdings kommen diese Konzepte mit niedrigem Exergieaufwand („Low-Ex“) insbesondere bei Nutzung der kühlen Nachtluft an Grenzen, wenn besonders hohe Anforderungen an die Raumtemperatur gestellt werden oder hohe Wärmelasten abgeführt werden müssen. Daher müssen in der Planung die Grenzen der passiven Kühlung für z. B. wechselnde Nutzungsanforderungen bestimmt und beachtet werden. Exemplarisch werden hier die Konzepte von drei Projekten vorgestellt: das Zentrum für Umweltbewusstes Bauen in Kassel und zwei Bürogebäude der ECN in Den Haag.

Zentrum für Umweltbewusstes Bauen

Das Bürogebäude in Kassel vereint auf einer Nettogrundfläche von 1.347 m² einen hoch wärmegeprägten, solar optimal ausgerichteten Baukörper mit einer energieeffizienten Anlagentechnik. Mit Hilfe einer bedarfsgeregelten Lüftungsanlage, einem Bauteilheiz- und -kühlsystem, sowie einer tageslichtgeführten Beleuchtungsregelung ist es gelungen, die Anforderungen aus dem Förderprogramm deutlich zu übertreffen [5]. Hierbei beträgt der über vier Jahre gemessene durchschnittliche End-

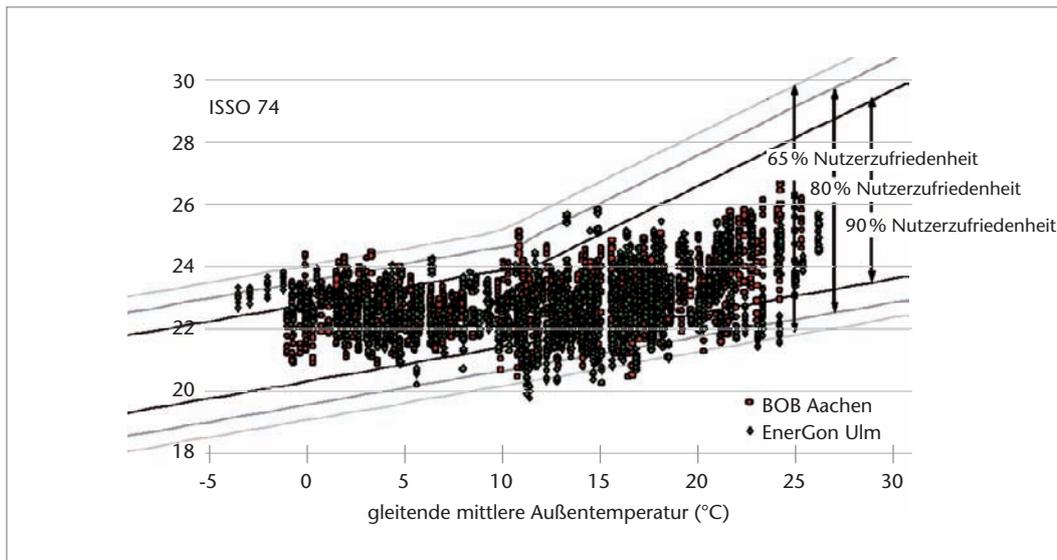


Abbildung 3

Thermischer Komfort exemplarisch für die Gebäude Energon Ulm (grün) und BOB Aachen (rot): Dargestellt ist die gemessene mittlere Raumtemperatur der Büros während der Anwesenheitszeit der Nutzer (8:00 bis 18:00) in Abhängigkeit des gleitenden Mittels der Außentemperatur (Richtlinie ISSO 74). Gemäß den Behaglichkeitskriterien sind 65% der Nutzer immer mit der Raumtemperatur zufrieden. Alle Daten für das Jahr 2005, Quellen sind die Hochschulen Ulm und Köln.

Quelle: Fraunhofer ISE/ECN

energieverbrauch für die Beheizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung nur 39,4 kWh/(m²a). Das entspricht einem Primärenergieverbrauch von 48,4 kWh/(m²a).

Als Besonderheit können die Büroräume in den Sommermonaten über einen Wasserkreislauf in der Fundamentplatte passiv gekühlt werden. Der Einsatz einer Sohlplattenkühlung¹ ist insbesondere dann sinnvoll, wenn durch weitere Maßnahmen die internen und externen Lasten beschränkt werden können. Mit dem Einsatz eines außenliegenden Sonnenschutzes, sowie einer stromsparenden Geräteausstattung ist dies insoweit gelungen, dass zu jeder Zeit behagliche raumklimatische Verhältnisse hergestellt werden konnten. Das Lüftungskonzept, welches im Winterbetrieb eine mechanische Lüftung und im Sommer die Fensterlüftung vorsieht, hat sich während der gemessenen Betriebsjahre bewährt. Der Stromverbrauch der Anlage konnte durch den Einsatz von VOC-Sensoren in Kombination mit drehzahlgeregelten Ventilatoren deutlich gesenkt werden.

ECN-Gebäude

Das ECN-Gebäude 31 wurde 1963 gebaut und 1996–1998 unter Leitung von ECN- und BEAR-

¹ Die Sohlplattenkühlung nutzt die Energiespeicherfähigkeit des Erdreiches zur Kühlung. Hierfür sind in der Bodenplatte des Gebäudes wasserführende Rohrschlangen verlegt. Das durch die Sohlplatte abgekühlte Wasser wird dann über ein System zur Kälteverteilung in den Räumen zur Gebäudekühlung genutzt.

Architekten renoviert. Das Gebäude hat eine südorientierte Fassade und litt unter starker Übererhitzung. Im Zuge der Renovierung wurde ein statischer Sonnenschutz mit integrierten PV-Modulen installiert sowie das Dach mit einer PV-Anlage ausgestattet. Die Wärmelast wurde dadurch substantiell reduziert, so dass auf eine Kühlanlage verzichtet werden kann. Der Anteil an Solarzellen des Sonnenschutzes wurde so optimiert, dass eine ausreichende Tageslichtversorgung in den zur Fassade orientierten Büroräumen gewährleistet ist. Die Funktionalität der Fassade wurde vorher in einem Fassadentest messtechnisch nachgewiesen und die Simulationen validiert [6] [7].

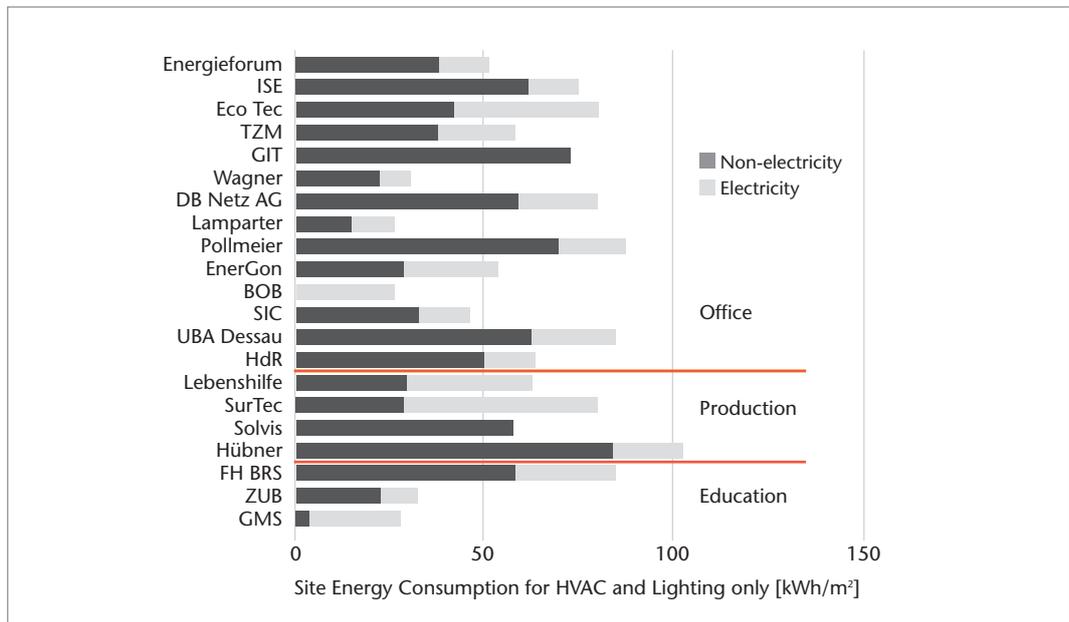
Der erste Bauabschnitt des ECN-Gebäudes 42 wurde 2000 gebaut (Abschnitt 2 und 3 sind in Vorbereitung). Das ebenfalls von BEAR-Architekten entworfene Gebäude war zu diesem Zeitpunkt das energieeffizienteste Gebäude der Niederlande. Ein Wintergarten mit integrierter PV-Verglasung dient auch hier als Schutz gegen zu hohe solare Lasten. Aufgrund des nur 500 m von der Nordsee entfernten Standortes ist die passive Kühlung mit Nachtlüftung sehr effektiv (die nächtlichen Tiefstwerte der Außentemperatur im Sommer überschreiten selten 16 °C). Damit funktioniert auch dieses Gebäude ohne mechanische Kühlung. Beide Beispiele haben gezeigt, dass gut entworfene Gebäude bei gleichzeitig hoher Energieeffizienz ein komfortables Innenklima haben können.

Monitoringergebnisse: Sommerliches Temperaturverhalten und Energiekennzahlen

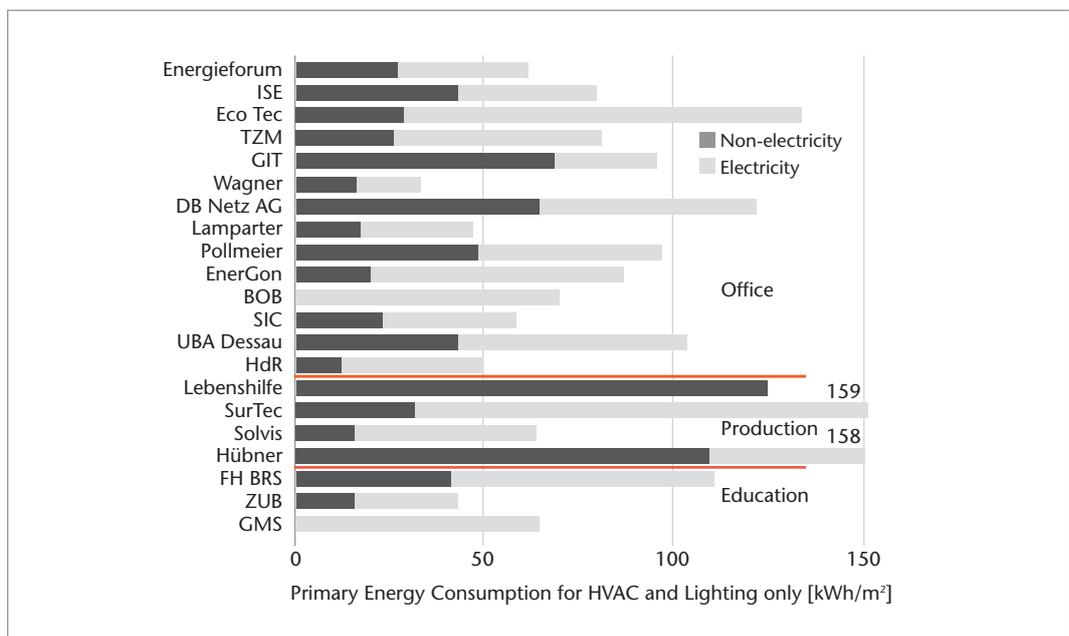
Bezüglich des sommerlichen Temperaturverhaltens muss sich das Gebäudekonzept zur passiven Kühlung an den Temperaturen in den Büros bei hohen Außentemperaturen orientieren. Die mehrjährigen Messkampagnen der Raumtemperaturen wurden für verschiedene Konzepte zur Gewährleistung des sommerlichen Raumklimas analysiert.

Für Gebäude mit passiver Kühlung mittels Nachtlüftung zeigt sich, dass in typischen Sommern wie zum Beispiel im Jahr 2002 die Maximaltemperaturen in den Büros zwischen 27 °C und 28 °C lagen. Ebenso wie für klimatisierte Gebäude war der extrem warme Sommer 2003 – mit z. B. 23 Tagen mit Tagesmittelwerten > 26°C in Freiburg – eine Herausforderung für passiv gekühlte Gebäude mit Nachtlüftung. Es zeigt sich, dass nur ein Teil der Gebäude die Komfortkriterien der DIN EN 15251:2007-08 erfüllt. Dies ist insbesondere auf die hohe Sensitivität dieses Konzepts auf das Nutzerverhalten

Abbildung 4
Endenergiefaktoren (oben) und daraus abgeleitete Primärenergiekennzahlen (unten). Primärenergiefaktoren basieren auf DIN 18599 [8]. Die Verbrauchswerte beziehen sich auf die gesamte TGA für Heizen, Lüften, Kühlen und Beleuchten. Datenquelle ist jeweils die mit dem Messprogramm beauftragte Hochschule.



Quelle: Fraunhofer ISE/ECN



(Sonnenschutz und Fensteröffnung) zurückzuführen [1,4]. Gebäude mit Erdsonden, Grundwasser oder Erdreich gekoppelten Bodenplatten als Wärmesenke zeigen eine gute Performance auch in warmen Perioden, *Abbildung 3* [4]. Zu beachten ist hier vor allem eine saisonal ausgeglichene Energiebilanz der Senke/Quelle, so dass es nicht zu einer langfristigen Veränderung des Temperaturniveaus der Wärmesenke kommt.

Insgesamt umfasst das Förderprogramm ENOB derzeit 51 Gebäude, davon 24 Bestandsgebäude (EnSan) und 27 Neubauten (EnBau).

Abbildung 4 fasst die Ergebnisse der Neubausprojekte sowie die 2008 zur Verfügung stehenden Jahresmessdaten grafisch zusammen. Primärenergiefaktoren und Stromgutschriften basieren auf DIN 18599, lokale Stromproduktion mit PV ist hier nicht mit dargestellt [8].

Erfreulicherweise erreichen die meisten Gebäude die angestrebten Energiekennwerte, wobei vor allem dann sehr niedrige Verbrauchswerte erreicht werden, wenn der Wärmebedarf sehr niedrig ist. Einige Gebäude kommen durch regenerative Produktion von Strom und Wärme dem Ziel einer ausgeglichenen Primärenergiebilanz („Nullenergiegebäude“) recht nahe.

Fazit

Die Planung, Umsetzung und Evaluierung von Bürogebäuden unter Maßgabe eines ganzheitlichen Primärenergiezielwertes hat belastbare Ergebnisse auf einem in dieser Breite und Tiefe noch neuen Arbeitsgebiet ergeben. Umfangreiche Zusatzinformation zu sämtlichen Demonstrationsprojekten befindet sich unter www.enbau.info sowie www.enob.info im Internet. Daten aus den Projekten sind unter www.enob.ise.fraunhofer.de visualisiert.

Literatur

- [1] Voss, K., Löhnert, G., Herkel, S., Wagner, A. and Wambsganß, M. (2006): Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen, Solarpraxis Berlin, 2. Auflage, ISBN-10: 3-934595-59-6.
- [2] Voss, K., Herkel, S., Löhnert, G., Pfafferott, J. and Wagner, A. (2006): Energy efficient office buildings with passive cooling – Results from a Research and Demonstration Programme. Proceedings of 4th European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Lyon, France.
- [3] Gossauer, E., Leonhart, R. and Wagner, A. (2006): Workplace occupant satisfaction at workplaces – a study in sixteen German office buildings. Proceedings of Windsor Conference on Comfort and Energy Use in Buildings, Windsor, UK.
- [4] Kalz, D., Pfafferott, J., Herkel, S. (2006): Monitoring and Data Analysis of two Low Energy Office Buildings with a Thermo-Active Building System (TABS). Proceedings of 4th European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Lyon, France.
- [5] Hauser, G., Kaiser, J.; Rösler, M. und Schmidt, D.: Solaroptimiertes Bauen, Teilkonzept 3 Energetische Optimierung, Vermessung und Dokumentation für das Demonstrationsgebäude des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen: Abschlußbericht. Universität Kassel, Dezember 2004.
- [6] Kaan, HF and T.H. Reijenga: Retrofit & Architectural Integration of PV Modules in Façade and roof of an Office & Laboratory Building, Petten. ECN, April 2002
- [7] Kaan, H.F., and C.E.E. Pernot: Proefopstelling PV-geïntegreerde zonwering/PV-systeem met daglichtsysteem. ECN, Januar 2000
- [8] Voss, K., Herkel, S. et al. (2008): Energy-Optimised Building – Experience and Future Perspectives from a Demonstration Programme in Germany. Proceedings of ICEBO, Berlin.

■ Markt, Politik und Nachhaltigkeit

- Maßnahmen und Instrumente für Einsparpotenziale im Gebäudebestand – Politikszenerarien bis 2030
- Die energieeffiziente Stadt – Ziele des BMBF-Wettbewerbs

Maßnahmen und Instrumente für Einsparpotenziale im Gebäudebestand – Politikszenerarien bis 2030

Patrick Hansen
Forschungszentrum
Jülich
p.hansen@fz-juelich.de

Jürgen-Friedrich Hake
Forschungszentrum
Jülich
jfh@fz-juelich.de

Das Integrierte Energie- und Klimaprogramm für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren

Mit dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm wird in Deutschland eine Verminderung der Emissionen in Bezug zu 1990 um 40 % bis 2020 angestrebt. Die politische Umsetzung der Beschlüsse von Meseberg für den Haushaltssektor sieht vor, dass ab 2009 neben der Verschärfung der primärenergetischen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Neu- und Altbauten um rund 30 % ein Erneuerbares-Energien-Wärmegesetz eingeführt wird. Dabei soll in Neubauten die Wärmenachfrage durch einen Anteil von Erneuerbaren von mindestens 10 % gedeckt werden. In Altbauten soll der Einsatz regenerativer Energien durch verstärkte Anreize des Marktanzreizprogramms gefördert werden. Das Programm der KfW zur CO₂-Gebäudesanierung soll mindestens bis einschließlich 2011 auf dem bisherigen Niveau fortgeschrieben werden. Der Anteil für Erneuerbare zur Wärmeerzeugung soll von 6,6 % (2007) auf 14 % (2020) erhöht werden.

Im Mittelpunkt der nachfolgenden Untersuchungen stehen die Wirkungen der beschlossenen Maßnahmen des Integrierten Energie- und Klimaprogramms im Haushaltssektor. Mit Hilfe von Szenarien, deren Zeithorizont bis zum Jahr 2030 reicht, wird gezeigt, welche Einsparungen erwartet werden können. In einem weiteren Schritt werden Maßnahmen in den Blick genommen, die über das von der Bundesregierung beschlossene Maßnahmenpaket hinausgehen.

Rahmenbedingungen

Für die Durchführung der Analysen wird eine reale Steigerung des Bruttoinlandsprodukts von 2006 bis 2030 von jährlich rund 1,7 % angenommen. Die Energieträgerpreise werden entsprechend der Studien von EWI/PROGNOS 2006 und Markewitz, Matthes et al. 2008 [1,2] unterstellt. Die Entwicklung der Bevölkerung und der Haushalte wurde für die Berechnungen den Angaben den Veröffentlichungen [3,4,5] entnommen. Die bewohnte Wohnfläche wächst im Zeitraum 2006 bis 2030 von 3,06 auf 3,45 Milliarden Quadratmeter.

Für die Gebäudehülle wird ein rechnerischer Mittelwert von 50 Jahren für eine Vollsanierung zugrunde gelegt. Die Sanierung der Gebäudehülle im Altbaubereich wird aufgrund der Untersuchungen von Hansen und Kleemann 2005 [6] als unzureichend eingeschätzt. Diese Einschätzung beruht auf der Kennzahl „Potenzialausnutzung“. Sie gibt das Verhältnis der tatsächlich erreichten Einsparungen zu den maximal möglichen Einsparungen an. Die derzeitige Sanierungspraxis wird durch einen Wert von nur 32 % beschrieben. Bei den Szenarioanalysen wird zugelassen, dass sich die Potenzialausnutzung durch zusätzliche Minderungsmaßnahmen verbessern kann. So wird im Reduktionsszenario eine Potenzialausnutzung von 65 % ab 2013 unterstellt.

Hansen und Kleemann [6] haben in Neubauten einen tatsächlichen Mehrverbrauch gegenüber dem genormten Verfahren der EnEV von rund 31 % festgestellt. Der Mehrverbrauch gegenüber dem gerechneten Normverbrauch in einem Teil der Neubauten entsteht durch abweichende Gebäudeeigenschaften, durch Umnutzungen und durch das Nutzerverhalten.

Definition der Szenarien

Für die Analysen werden drei Szenarien definiert:

- Im fiktiven **Referenzszenario** findet keine Sanierung der Gebäudehüllen und der Heizungsanlagen statt. Berücksichtigt werden nur Bestandsveränderungen durch Abrisse und Neubauten. Dieses Szenario dient als rechnerisches Referenzniveau für die Einsparungen in den anderen Szenarien.
- Das sogenannte **Trendszenario** zeigt die Auswirkungen der heutigen Sanierungspraxis. Die Trends der laufenden und beschlossenen Minderungsmaßnahmen werden fortgeschrieben. Die finanzielle Förderung verbleibt bis 2030 auf dem heutigen Niveau. Die Potenzialausnutzung, die das Sanierungsverhalten der Gebäudebesitzer beschreibt, wird nach Hansen and Kleemann [6] auf einen Wert von 32 % gesetzt und erhöht sich im Trendszenario aufgrund der Wirkungen der Energieausweise bis 2030 moderat auf 42 %.
- Im **Reduktionsszenario** wird von verstärkten Klimaschutzaktivitäten ausgegangen, die zu einer Verbesserung der Ausschöpfung des Sanierungspotenzials beitragen und den Anteil der Erneuerbaren zur Wärmeerzeugung deutlich erhöhen können.

Eingesetztes Modell

Zur rechnerischen Ermittlung des zukünftigen Energieverbrauchs für die Wärmebereitstellung im Gebäudesektor wird das IKARUS-Raumwärmemodell eingesetzt, ergänzt um das dynamische Sanierungsmodell von Hansen [7]. Das Modell berechnet auf der Grundlage einer umfassenden Gebäude- und Heizungstypologie den Heizwärmebedarf, den Bedarf an Brennstoffen und die CO₂-Emissionen. Mit den Typologien der Gebäude, die alle relevanten Alters- und Größenklassen sowie die Heizungs- und Warmwassersysteme umfassen, kann der gesamte Wohngebäudebestand in Deutschland abgebildet werden [8,9].

Energieverbrauch im Trendszenario

Das Trendszenario zeigt in *Abbildung 1*, welche Energieeinsparpotenziale in den Bereichen Raumwärme und Warmwasser bei einer Weiterführung der bereits implementierten Maßnahmen und Programme bis zum Jahr 2030 erzielt werden können. Die Szenariorechnungen führen für den Trend zu Einsparungen von 2008 bis 2020 (2030) von rund 7 % (15 %). Während die fossilen Energieträger Heizöl und Gas um

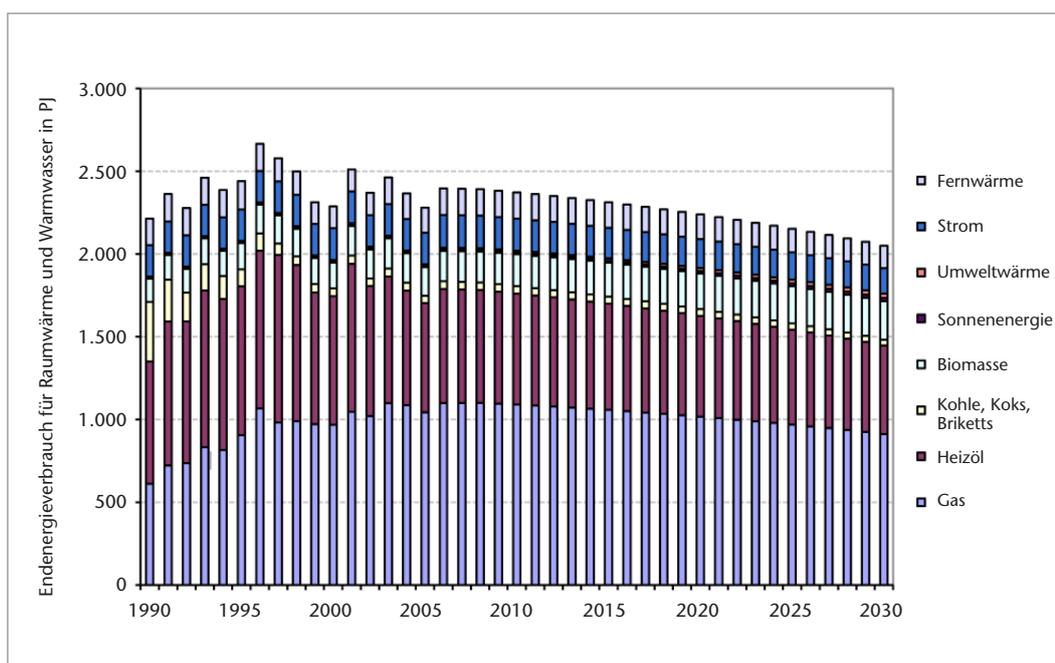


Abbildung 1
Entwicklung der
Energieverbrauchs-
struktur im Trend-
szenario bis 2030

Grafik: Forschungszentrum
Jülich

23 und 17 % abnehmen, steigt der Einsatz von erneuerbaren Energien auf 11 % bis 2020 und auf 14 % bis 2030 an. Folglich kann ein Anstieg auf 14 % bis zum Jahr 2020 im Wohngebäude-sektor mit den bestehenden Maßnahmen nicht erreicht werden.

Zusätzliche Maßnahmen zur Verstärkung der erneuerbaren Energien

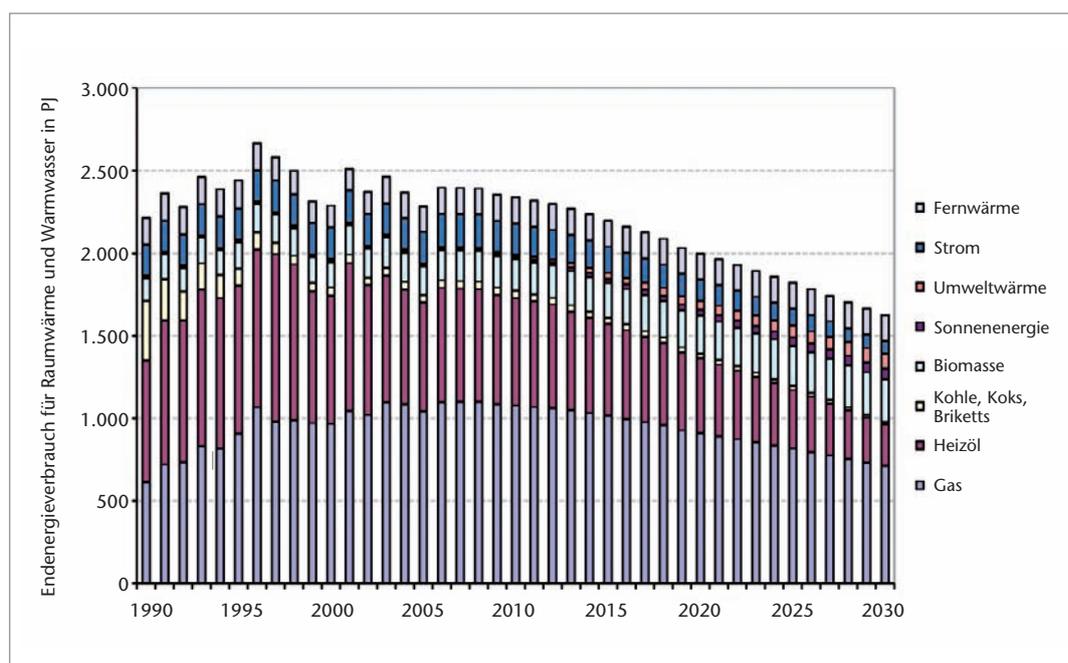
Die Wirkungen von zusätzlichen Maßnahmen und Instrumenten für die Verstärkung der Chancen von regenerativen Energien bis 2030 werden im Reduktionsszenario bewertet. Schwerpunkte dieses Szenarios stellt einerseits die Erhöhung der Anforderungen der EnEV 2009 um weitere 30 % für Neu- und Altbauten ab 2013 und andererseits die Einführung eines dem EEG ähnlichen Wärmegesetzes dar. Dieses Fördergesetz würde eine Trennung der Wärmebereitstellung und der erbrachten Umweltdienstleistung ermöglichen. Die Anlagenbetreiber würden dabei einen gesetzlich festgelegten Bonus erhalten. Im Szenario wird eine Variante des Bonusmodells berücksichtigt, wobei der Wirkungsbereich dieses Instruments zunächst nur auf größere Anlagen beschränkt bleibt.

Eine weitere Maßnahme stellt der **Einsatz von hocheffizienten Brennwertkesseln** dar. Der mittlere Erneuerungszyklus für Öl- und Gaskessel liegt derzeit bei 24 Jahren. Da Brennwertkessel deutlich bessere Wirkungs- und Nutzungsgrade als die heute noch verbreiteten Niedertemperaturkessel haben und Heizkessel, die älter als 18 Jahre sind, bei weitem nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen und sehr ineffizient arbeiten, wird in diesem Szenario ein Erneuerungszyklus von 18 Jahren angenommen. Dabei wurde unterstellt, dass ab 2013 Heizkessel, die älter als 18 Jahre und keine Niedertemperatur- und Brennwertkessel sind, nicht weiter betrieben werden dürfen. Zudem wurde angenommen, dass bei Neuinstallationen von Brennwertkesseln gleichzeitig verstärkt Solaranlagen mit eingebaut werden. Die Kombination der hocheffizienten und wirtschaftlichen Brennwerttechnik mit der Solarthermie stellt einen geeigneten Anlagen-Mix dar.

Durch die Verstärkung des Einsatzes von erneuerbarer Energien kann deren Anteil von 2005 bis 2030 deutlich gesteigert werden. Die Verbrennung fester Biobrennstoffe, die Nutzung der Solarthermie und die Verwendung der Umgebungswärme durch Wärmepumpen sind besonders geeignet im Gebäudebestand einen nachhaltigen Beitrag zur Wärmeversorgung zu liefern.

Abbildung 2
Entwicklung der Energieverbrauchsstruktur im Reduktionsszenario bis 2030

Grafik: Forschungszentrum Jülich



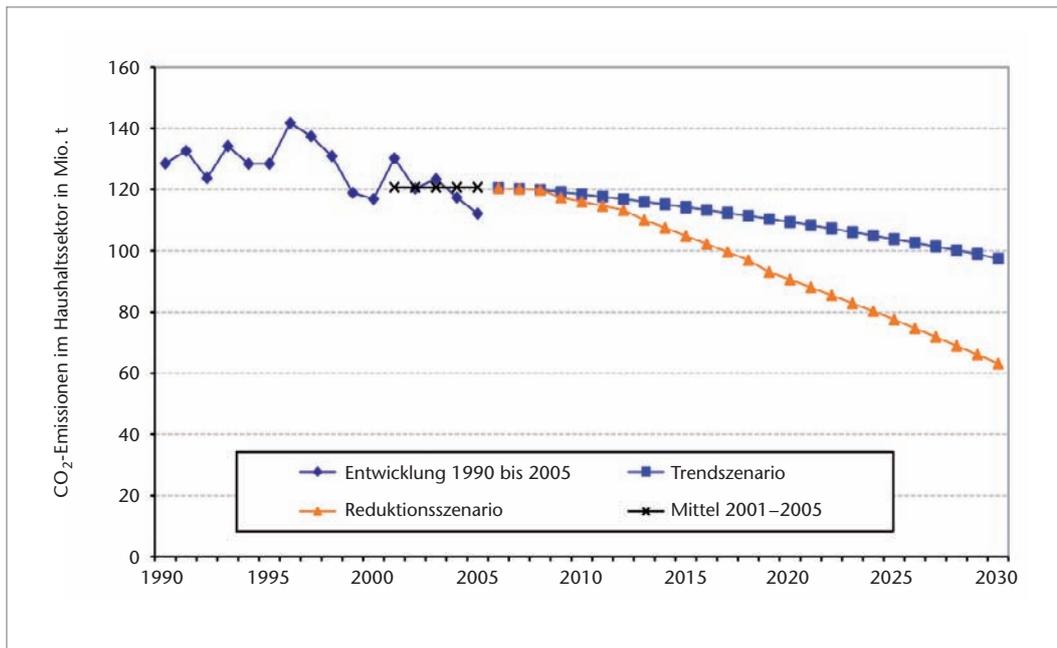


Abbildung 3
Emissionsentwicklungen der Szenarien bis 2030

Grafik: Forschungszentrum Jülich

Zur **Erhöhung der Umsetzungsgeschwindigkeit** und zur Auflösung des Sanierungstaus bei der Wärmedämmung sollen anstelle von mehreren behelfsmäßigen Sanierungen von überalterten Bauteilen durchgreifende Sanierungen angestoßen werden. Dies führt zur Erhöhung der Anzahl der Sanierungen. In der Realität wird hierdurch eine Verkürzung der Renovierungszyklen bewirkt. Im Hinblick auf die Sanierungsqualität ist darauf zu achten, dass die Wärmedämmungen entsprechend der gültigen EnEV umgesetzt werden. In den Rechnungen werden die Verbesserung der Sanierungsqualität und die Verkürzung der Renovierungszyklen durch eine Verdopplung der Potenzialausnutzung angenommen. Diese beschreibt das Verhältnis der erreichten Einsparungen in Bezug zu den Einsparungen der jeweils gültigen EnEV beschreibt, von heute 32 % auf 65 % ab 2013.

Energieverbrauch im Reduktionsszenario

In *Abbildung 2* sind für das Reduktionsszenario die Energieverbrauchsstrukturen dargestellt. Demnach kann der Einsatz von fossilen Energien um mehr als 45 % gegenüber 2005 verringert werden und der Anteil der Erneuerbaren an der Wärmeerzeugung bis 2020 (2030) auf 16 % (26 %) erhöht werden. Der Anteil der Nah- und Fernwärme sinkt nur geringfügig ab.

Zur Realisierung der Einsparungen des Reduktionsszenarios bis 2030 sind wichtige Faktoren zu beachten:

- Klare Zielvorgaben für die Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2020 bzw. 2030 definieren
- Ausrichtung der Instrumente und Maßnahmen an diesen Reduktionszielen zur Aufhebung der Verunsicherung
- Sichere Aussagen zur mittelfristigen Förderung der energetischen Sanierungen und der erneuerbaren Energien (min. 5 Jahre) treffen
- Nachfrage nach energetischen Sanierungsmaßnahmen durch eine verbesserte Förderung erhöhen
- Zertifikat für nachhaltiges Bauen unter Berücksichtigung der Energieausweise sollte für Neu- und Altbauten eingeführt werden

- Sanierungen im Mietwohnungsbau beschleunigen
- Realisierung der Ziele bzgl. des Anteils der Erneuerbaren sowie der Energieeffizienz und der Emissionseinsparungen durch regelmäßige Monitoringberichte sicherstellen.

Fazit

Im Rahmen des Trendszenarios können die Emissionen bis 2020 gegenüber 1990 um 19 Mio. t und 15 % sowie bis 2030 um 31 Mio. t und 24 % reduziert werden. Das Ziel zur Steigerung des Anteils von erneuerbaren Energien auf 14 % im Gebäudesektor bis 2020 wird mit diesem Szenario verfehlt. Insgesamt könnten durch die Umsetzung der zusätzlichen Maßnahmen des Reduktionsszenarios die Emissionen im Haushaltssektor gegenüber 1990 um 30 % bis 2020 und um mehr als 50 % bis 2030 vermindert werden.

Literatur

- [1] EWI/PROGNOS (2006). Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und -nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Untersuchung im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Köln, Basel.
- [7] Hansen (2008). Entwicklung eines Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor (bisher unveröffentlichte Fassung der Dissertation an der Uni Siegen). Jülich, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE).
- [6] Hansen and Kleemann (2005). Evaluierung der CO₂-Minderungsmaßnahmen im Gebäudebereich, durchgeführt im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Jülich, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE).
- [8] Heckler, Markewitz, et al. (1998). Das IKARUS-Raumwärmemodell. In: Modelle für die Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien. Schriften des Forschungszentrums Jülich, Reihe Umwelt, Band 7, S. 219–269. Jülich, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE).
- Kleemann (2007). Untersuchung der Altersstruktur von Öl- und Gaskesseln, Studie im Auftrag des Instituts für wirtschaftliche Ölheizung e.V. (IWO). Hamburg.
- [9] Kleemann, Markewitz, et al. (2004). Politikszenerarien für den Klimaschutz – Langfristszenarien und Handlungsempfehlungen ab 2012, Untersuchungen im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA), herausgegeben von P. Markewitz und H.-J. Ziesing. Jülich, Forschungszentrum Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE). Schriften des Forschungszentrums, Reihe Umwelt, Band 50.
- [2] Markewitz, Matthes, et al. (2008). Politikszenerarien für den Klimaschutz IV – Szenarien bis 2030. Jülich, Institut für Energieforschung – Systemforschung und Technologische Entwicklung (IEF-STE). Schriften des Forschungszentrum Jülich, Reihe Energie und Umwelt, Band 6, Hrsg.: P. Markewitz und F. Chr. Matthes.
- [4] Schulz and Hannemann (2007). Bevölkerungsentwicklung in Deutschland bis 2050: Nur leichter Rückgang der Bevölkerung? DIW Wochenbericht 47/2007. Berlin, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW).
- [3] StaBu (2006). Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden 2006.
- [5] StaBu (2007). „Entwicklung der Privathaushalte bis 2025. Ergebnisse der Haushaltsvorausberechnung 2007. Wiesbaden 2007.“

Die energieeffiziente Stadt – Ziele des BMBF-Wettbewerbs

Einleitung

Die Bundesregierung hat sich ehrgeizige Ziele für den Klimaschutz gesetzt. Zur Erreichung dieser Ziele ist vor allem ein effizienter Umgang mit Energie unerlässlich. Die Städte und Kommunen sind in diesem Zusammenhang Dreh- und Angelpunkt für viele der notwendigen Energieeffizienzverbesserungen, um eine wirtschaftliche, umwelt- und sozialverträgliche sowie nachhaltige Energieversorgung zu erreichen.

Städte sind in einem ständigen Wandel begriffen. Dieser Wandel wird in den kommenden Jahrzehnten durch massive demografische Veränderungen, durch Wertewandel sowie Veränderungen in der Arbeitswelt, der Mobilität, des Freizeitverhaltens und nicht zuletzt aufgrund technischer Entwicklungen stärker und schneller von statten gehen als je zuvor. Da Ausmaß und Richtung solcher Veränderungen nur in seltenen Fällen genau zu erfassen sind, müssen Entscheidungen über technische Systeme im Energieversorgungsbereich einer Stadt in einer ganzheitlichen Betrachtung mit größtmöglicher Flexibilität getroffen werden.

Bislang gemachte Erfahrungen in Kommunen zeigen, dass die selbst gesetzten örtlichen Klimaschutzziele nicht wegen mangelnder Technik oder aus Wirtschaftlichkeitsgründen nicht erreicht werden – insbesondere nicht beim heutigen Energiepreisniveau. Es bedarf vielmehr des Wissens im Detail über die örtlich am besten geeigneten Maßnahmen im Rahmen einer umfassenden Strategie. Für die Entwicklung dieser Strategie ist eine ganzheitliche Analyse der Energieverbrauchs- und der Energieversorgungssituation unter Einbeziehung aller relevanten Akteure einschließlich der Einwohner erforderlich. Dienstleistungen, auch im Umfeld der Energieversorgung, können maßgeblich zu innovativen Konzepten beitragen und haben daher besondere Bedeutung.

Der Wettbewerb des BMBF konzentriert sich daher auf folgende Punkte:

- Dem Systemgedanken, d. h. den Wechselwirkungen zwischen verschiedenen städtischen Funktionsbereichen, deren Energieversorgung und den verschiedenen kommunalen Handlungsebenen soll eine besondere Bedeutung zukommen.
- Zukunftsweisende Ideen sollen vor allem in den Projekten bearbeitet werden.
- Dienstleistungsaspekte sind als wichtiger Bestandteil der systemischen Sicht ausdrücklich mit zu berücksichtigen. Die vom BMBF zu fördernden Projekte sollen sich mit der Möglichkeit von Innovationen im Dienstleistungsbereich, auch über die Dienstleistung der Energieversorgung hinaus, auseinandersetzen.

Ziele des Wettbewerbs

Der Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“ soll einen Beitrag zur Erreichung der energiepolitischen Zielsetzungen der Bundesregierung leisten und darüber hinaus zu den folgenden übergeordneten strategischen Zielen der BMBF-Energieforschung beitragen:

- Anwendungsorientierte Grundlagenforschung soll den Energietechnologien der nächsten Generation den Weg bereiten.
- Es sollen neutrale, wissenschaftlich fundierte Informationen für die energie- und klimapolitische Strategiediskussion erarbeitet werden.
- Es soll ein Beitrag zur wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit Deutschlands geleistet werden.

Förderziele des Wettbewerbs sind vor allem:

- Die Reduktion des Energiebedarfs um einen bestimmten Prozentsatz; angelehnt an die Ziele der Bundesregierung für den Klimaschutz (z. B. 40 % CO₂-Einsparung bis 2020).

Gudrun Maaß
Bundesministerium für
Bildung und Forschung
Referat 715 „Grundlagenforschung Energie“
gudrun.maass@
bmbf.bund.de

- Die Entwicklung und Erprobung von innovativen Strategien, Technologien, Instrumenten und neuen Dienstleistungen.
- Der Umbau einer „normalen“ Stadt zu einer „energieeffizienten“ Stadt.
- Die Entwicklung innovativer visionärer Ansätze.

Der Lebensraum Stadt soll dabei als Gesamtsystem betrachtet werden. Folgende kommunale Handlungsfelder spielen in diesem Gesamtsystem beispielsweise eine Rolle: Wohnen, Arbeiten, Ausbildung, Versorgung, Kultur und Freizeit, Verkehr und Transport.

Um die gewünschte signifikante Reduktion des Energieverbrauchs in der Stadt erreichen zu können, kann bei den zu fördernden Konzepten eine Fokussierung auf Bereiche hohen Energieverbrauchs erfolgen.

Es sollen innovative Methoden, Konzepte und Modelle der Planungswissenschaften auf typische oder zukunftsweisende städtische Funktionsbereiche hauptsächlich unter Energieversorgungsgesichtspunkten aber auch unter Berücksichtigung ökologischer und sozialer Randbedingungen entwickelt werden und zum Einsatz kommen.

Bei der Entwicklung innovativer Methoden sollen vor allem folgende Punkte beachtet werden:

- Kommunen sollen umfassend als Energiesystem betrachtet werden.
- Der Vernetzungsgedanke in Energiesystemen soll weiterentwickelt werden.
- Es sollen Vorschläge für die Überwindung von Barrieren (finanziell, strukturell, juristisch etc.) erarbeitet werden.
- Es sollen neue Finanzierungswerkzeuge entwickelt werden.
- Der mögliche Aufbau neuer Dienstleister soll untersucht werden.
- Es soll eine Kosten-Nutzen-Betrachtung aus kommunaler Sicht erstellt werden.
- Es sollen Methoden zur Priorisierung von Investitionen erarbeitet werden.
- Eine Bilanzierung von Energieströmen und Emissionen soll vorgenommen werden.
- Die Umsetzung des erarbeiteten Konzepts sowie die Übertragbarkeit auf andere

vergleichbare Städte und Kommunen sollte sichergestellt sein.

Aus den angesprochenen Zielsetzungen ergeben sich auch die Bewertungskriterien für den Wettbewerb:

- Gesamtbetrachtung der Stadt oder Kommune
- Innovation
- erwartete Wirkung
- Dauerhaftigkeit
- Realisierbarkeit und Übertragbarkeit

Wirkungen und quantitative Erfolge der geplanten und umgesetzten Maßnahmen müssen während und zum Abschluss der Förderphasen bilanziert werden. Aufgrund der Unterschiedlichkeit von Städten und Kommunen wird kein aufwändiges einheitliches Bilanzierungssystem zur Quantifizierung des Ist-Standes und der Wirkungen für einen interkommunalen Vergleich vorgegeben. Die Kommune ist aber verpflichtet, ein enges Bewertungssystem mit Erfolgsindikatoren und einer Ausgangsbilanz zu entwickeln an Hand derer die Entwicklung zu einer energieeffizienten Kommune verfolgt und beurteilt werden kann.

Begleitforschung zum Wettbewerb

Parallel zum Wettbewerb „Energieeffiziente Stadt“ hat das BMBF ein Projekt zur Begleitforschung initiiert. Mit diesem Projekt sollen Hemmnisse analysiert und Instrumente, Verfahren und Methoden erarbeitet werden, um die Verzahnung von Dienstleistungsforschung mit anderen fachlichen FuE-Feldern am Beispiel der energieeffizienten Stadt umzusetzen.

Die Begleitforschung wird praxisnah ausgerichtet. Sie gliedert sich in folgende Arbeitsmodule:

- **Forschungsbeitrag zur Verzahnung von fachbezogener Energieeffizienzforschung und Dienstleistungsforschung**
Neue Strategien und Herangehensweisen an der Schnittstelle von Energieeffizienzforschung und Dienstleistungsforschung zur Umsetzung der klimapolitischen Ziele der Bundesregierung.

- **Projektbegleitende Unterstützung der Forschungsvorhaben einschließlich der Beratung der Kommunen**

Hierzu gehören in erster Linie die Unterstützung der ausgewählten Forschungsvorhaben (Coaching) und die Herausarbeitung von projektübergreifenden Dienstleistungen und Tools – beispielsweise zum Ziel- und Anforderungsmanagement, zur Abschätzung und Berechnung der Wirksamkeit von Instrumenten und Maßnahmen.

- **Unterstützung bei der Ausrichtung und Durchführung des Wettbewerbs**

Hierzu werden die Projektarbeiten und Erkenntnisse systematisch ausgewertet und für eine konzise Behandlung für die Projektbegleitung aufbereitet. Als Basis für die Diskussionen wird eine Indikatorik zur Klassifizierung von Konzepten, Handlungsebenen und Vorgehensweisen der Akteure vorgelegt.

- **Öffentlichkeitsarbeit und Ergebnistransfer**

Die projektübergreifende Öffentlichkeitsarbeit und der Transfer der Ergebnisse der Begleitforschung zur Integration von Fach- und Dienstleistungsforschung werden durch eine aktive Pressearbeit sowie durch eine interaktive Informations- und Kommunikationsplattform im Internet und geeigneten öffentlichkeitswirksamen Veranstaltungen unterstützt.

Durchführende der Begleitforschung sind das Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT) als Projektkoordinator, die GEF Ingenieur AG, Leimen, das Institut für Industrielle Bauproduktion, ifib, Karlsruhe und der Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft (LEE) Bochum.

Auswahl und das Ranking der Umsetzungsprojekte am Ende der Konzeptphase, Beteiligung an Coaching und Projektfortschritt sowie die Beteiligung an der Präsentation des Wettbewerbs.

Der Lenkungsausschuss setzt sich zusammen aus Experten für Energieeffizienz, Systemanalyse, Städteplanung, Dienstleistungsforschung und Energiewirtschaft. Darunter sind auch Experten, die die Begleitforschung für verwandte Aktivitäten anderer Bundesressorts durchführen. Außerdem nehmen als Beobachter Vertreter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi), des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) am Lenkungsausschuss teil.

Der Wettbewerb gliedert sich in drei Phasen:

1. Vorlage von Ideenskizzen (Anträge). Diese Phase wurde Ende August 2008 abgeschlossen.
2. Die Auswahl von 10-15 Skizzen zur Erarbeitung von Umsetzungskonzepten. Diese Phase soll Ende November 2008 abgeschlossen sein. Die Erarbeitung der Umsetzungskonzepte wird dann vom BMBF gefördert.
3. Die Auswahl von 3-5 Umsetzungsprojekten Ende 2009/Anfang 2010. Diese Projekte sind dann die Wettbewerbsgewinner. Die Umsetzung soll dann je nach Zuständigkeit durch das BMBF, die Programme anderer Ressorts oder durch entsprechende Länderprogramme gefördert werden.

Durchführung des Wettbewerbs

Zur Begutachtung der eingegangenen Wettbewerbsanträge sowie zur Begleitung des Wettbewerbs hat das BMBF einen Lenkungsausschuss einberufen. Dieser Ausschuss soll folgende Aufgaben übernehmen: die Auswahl und das Ranking der zu fördernden Skizzen, die

Podiumsdiskussion: Plusenergiehäuser und -städte – Energieüberschüsse für Verkehr und Produktion

Moderation

Klaus Oberzig
scienzz communication
oberzig@scienzz.com

Teilnehmende

Olaf Achilles
systaic AG
achilles@systaic.com

Prof. Monika
Ganseforth
Verkehrsclub
Deutschland
monika.ganseforth@gmx.de

Prof. Gerd Hauser
Fraunhofer IBP
gerd.hauser@
ibp.fraunhofer.de

Gudrun Maaß
BMBF
gudrun.maass@
bmbf.bund.de

Prof. Volker Wittwer
Fraunhofer ISE
volker.wittwer@
ise.fraunhofer.de

I. Plusenergiestädte

Können Plusenergiegebäude Teile der Energieversorgung übernehmen?

Oberzig: Wir kennen den plakativen Satz „Vom Landwirt zum Energiewirt“. Wie stehen die Chancen, dass die Wohnungswirtschaft zum Energielieferanten wird?

Hauser: Ich sehe durchaus die Chance, dass die Wohnungswirtschaft diese Möglichkeiten stärker nutzt, sodass sie mit ihren großen Gebäudekomplexen Energie erntet und diese Energie weitgehend auch selbst nutzen wird, um attraktive Wohnräume oder Wohnarbeitsräume zu schaffen. Außerdem kann man so für die dort lebenden Menschen auch die Möglichkeit schaffen, Elektrofahrzeuge aufzuladen, sodass man den individuellen Nahverkehr im städtischen Bereich damit abdecken kann. Das wäre ein großer Erfolg.

Achilles: Wenn man heute schon Plusenergie-Hochhäuser bauen kann, ist es sehr wohl möglich, dass man in dieser Weise auch Städte bauen könnte. Ich denke, dass es lebensnotwendig ist, die Städte umzubauen. Beispielsweise hätten wir in Berlin auf dem ehemaligen Flughafen in Tempelhof eine Riesemöglichkeit, den ersten emissionsfreien Stadtteil Europas zu bauen. Und ich finde, dass Wissenschaft, Politik und Industrie in Berlin diese Möglichkeit annehmen sollten.

Wittwer: Freiburg versteht sich als „grüne“ Stadt und zurzeit gibt es Überlegungen, ob sich eine Stadt mit 200.000 Einwohnern selbst versorgen kann. Doch es ist ganz klar, dass man dazu das Umfeld braucht. Eine Stadt mit Industrie kann sich allein nicht mit Energie

versorgen. Wir brauchen die Kombination von importierter Energie und dezentraler Erzeugung. Außerdem müssen wir das Problem mit dem Heizen im Winter lösen. Die solare Prozesswärme spielt europaweit eine große Rolle. Vor allem in südlichen Ländern können wir große Bereiche der Industrie mit solarer Wärme versorgen.

Hauser: Plusenergiehäuser sind schon vereinzelt im Neubau realisiert. Ich denke, dass wir vielleicht ab 2020 Neubauten standardmäßig zu Plusenergiegebäuden machen, aber noch nicht den Gebäudebestand. Der Gebäudebestand ist aber letztendlich der Schlüssel zum Erfolg der Reduktion des Energieverbrauchs. Hier müssen wir ansetzen. Das Fraunhofer IBP saniert derzeit eine „Plusenergieschule“ in Stuttgart. Dank des Wirtschaftsministeriums wird eine bestehende, ziemlich marode Schule zu einer Plusenergieschule als Leuchtturmprojekt umfunktioniert.

Achilles: Zum Potenzial des Bestands möchte ich noch etwas ergänzen: Es gibt ein Projekt von Frau Dr. Klärle, Professorin für Geoinformatik, in dem Städte überflogen werden, um aus der Luft aufzunehmen, wie viel solar nutzbare Fläche im Südbereich der Dächer vorhanden ist. Es zeigte sich, dass alle bisher überflogenen Städte genug Fläche haben, um zumindest den Haushaltsbedarf zu mehr als 100 % zu decken.

Forschungsaufgaben

Oberzig: Herr Hauser, welche Forschungsperspektiven sind dafür notwendig wie ist das Verhältnis zwischen Bauphysik und Anlagentechnik? Ist das bisher ausreichend oder müssen da andere Wege gegangen werden?

Hauser: Ich sehe sehr wohl die Chance, dass Plusenergiehäuser im Laufe der Zeit kommen. Sie werden sowohl über bauphysikalische Maßnahmen zu erreichen sein, als auch über die Anlagentechnik und die erneuerbaren Energien. Ich sehe überhaupt kein Gegeneinander in diesen drei Disziplinen. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass es ein hervorragendes Miteinander ist und dass es nicht mehr wegzudenken ist. In manchen Fällen fällt es sogar schwer, eine Zuordnung zu treffen, in welchen Bereich bestimmte Elemente hingehören, ob es nun Bauphysik oder Anlagentechnik ist – da sind die Grenzen oft fließend. Eine Konkurrenzsituation besteht nicht.

Wittwer: Solare Energie ist die einzige Energiequelle, die uns in ausreichendem Maße zur Verfügung steht. Als Gründungsmitglied des Fraunhofer ISE vor 26 Jahren denke ich natürlich an eine Zukunft mit einem großen Anteil solarer Energie an der Energieversorgung. Um zu zeigen wie groß die Herausforderungen sind, Folgendes:

Zur Zeit haben wir ca. ein Zehntel Quadratmeter Kollektoren pro Einwohner in Deutschland. 2050 werden wir 8 qm pro Person brauchen, wenn wir – bei 50 % Einsparung – die Hälfte unserer Wärme mit solarer Energie decken wollen. Das heißt wir müssen die Fläche verachtzigfachen. Im PV-Bereich haben wir im Moment einen halben Quadratmeter pro Einwohner. Wenn wir nur den privaten Strom rechnen und wenn wir ein wenig einsparen, benötigen wir 1000 kWh/Person im Jahr, dann bedeutet das für jede Person 6 qm Photovoltaik. Das heißt, dass hier enorme Herausforderungen auf uns zu kommen. Die Probleme mit der Fluktuation des erneuerbaren Energieangebots und das Sommer-Winter-Problem müssen wir natürlich auch in den Griff bekommen. Hier steht nicht genug Solarenergie zur Verfügung, doch wir haben Biomasse und Wind und wir werden in Zukunft statt Erdöl und Erdgas Solarstrom importieren.

Achilles: Für mich ist vollkommen klar, dass es die emissionsfreie Stadt geben muss. Ich glaube auch, dass es die CO₂-freie Wirtschaft geben muss. Der Staat, der das zuerst geschafft hat, hat einen Wettbewerbsvorteil und deswegen spielt die Forschung hier eine wichtige Rolle. Wir müssen es schaffen, dass erneuerbare Ener-

gien Vorrang haben. Es gibt viele kommunale Initiativen, so genannte 100 %-Initiativen. Bei den 100 %-Regionen geht es auch darum, dass die Wertschöpfung in der Region selbst stattfindet. Die Region Oberland bei München verbraucht beispielsweise 0,5 Milliarden Euro für Energie. Nur blöderweise kommt die Energie von außerhalb, d. h., die Wertschöpfung findet nicht in der Region statt. Auf ganz Deutschland bezogen importieren wir zwei Drittel der Energie. Diese Wertschöpfung findet nicht in Deutschland statt. Das ist auch wissenschaftlich eine spannende Sache. Es gibt eine Forderung von den Planern, auf jeder kommunalen Ebene erst mal einen „Masterplan Energie“ zu machen. Man muss ganz neu denken und schauen, was man für Möglichkeiten in der Region hat. Es sollten z. B. Potenzialanalysen für die Regionen durchgeführt werden. Ich wünsche mir, dass die Wissenschaftler sich in solche Initiativen einbringen, um auch einen Rückfluss zu bekommen. Diese Ressourcen sollte man nutzen.

Zeithorizonte

Achilles: Die PV-Industrie sagt, dass sie 12 % des Solarstroms bis 2020 europaweit zur Verfügung stellen kann. Dies ist technisch gesehen möglich – politisch ist das eine andere Sache. Ich persönlich finde es sehr realistisch, dass Solarstrom 30 % zur Verfügung stellen kann.

Ganseforth: Ich schließe mich von Seiten des VCD diesem Ziel an.

Hauser: Wir sollten die Fragestellung nicht zu sehr auf den Strom fokussieren; also die Frage, ob wir die Stromversorgung Deutschlands insgesamt durch die Wohn- und Nutzgebäude abdecken können, sondern es kommt in erster Linie darauf an, dass wir die Energieeffizienz in diesem Bereich soweit wie möglich verstärken. Wenn wir diesen wichtigen Schritt gemacht haben, können wir umsatteln und die erneuerbaren Energien verstärkt zum Einsatz bringen. Die Reihenfolge muss auch aus Gründen der Effizienz eingehalten werden. Hier müssen wir ansetzen und wir werden vielleicht bis zum Jahr 2050 in die Lage sein, von größeren Netzen unabhängiger zu werden. Ich glaube aber es wäre wichtiger, dass wir den Primärenergieeinsatz so weit wie möglich reduzieren.

Wittwer: Richtig. Ich bin auch für den Einsatz der PV so viel es geht, aber man sollte das Energiesparen nicht vergessen. Es ist leichter, erst mal in einem Gebäude 50 % Energie zu sparen, bevor ich sie – doch relativ teuer – auf dem Dach erzeuge.

Maaß: Ich teile die Zeitvorstellungen von Herrn Hauser. Ich glaube nicht an die Stadt mit kurzen Wegen in den nächsten 10 Jahren. Noch geht die Tendenz dahin, dass man im Grünen wohnen und ins Büro pendeln möchte. Dies wird durch die bestehenden Gesetze sogar noch unterstützt. Ich denke, dass wir da noch viel zu tun haben und dass das Umdenken längere Zeiträume erfordern wird.

Wittwer: Die zukünftige Energieversorgung wird auf jeden Fall dezentraler sein, da Sonne und Wind eben dezentral anfallen. Strom wird relativ wichtiger werden. Denn er ist intelligent und mit ihm kombiniert, können wir Wärme vernünftiger nutzen. In der zukünftigen Energieversorgung werden Blockheizkraftwerke (BHKW) eine zunehmende Rolle spielen. Hier gibt es das Problem, dass die kleinen BHKW auch im Sommer ihre Wärme abgeben müssen. Da wäre die Kombination mit der Industrie eine geniale Variante. Dann kann es gelingen, Strom zu produzieren und die anfallende Wärme in der Industrie oder im Wohnbereich abzusetzen; im Sommer eventuell umgewandelt zur Kühlung, was auch ohne den Umweg über Strom möglich ist. Wenn wir diese Konzepte weiter entwickeln, werden die BHKW sicherlich eine zentrale Stelle in der Energieversorgung unserer Städte einnehmen.

Achilles: Was wir schaffen müssen, ist unsere eigenen Ressourcen zwischen den Ohren zu rebooten und uns immer wieder zu fragen, ob es nicht noch radikaler geht. Ich höre immer „2050 sind wir da und da“, aber so viel Zeit haben wir nicht mehr und wir müssen jetzt versuchen, die wichtigen Schlüsselinstrumente zu finden. Die gesamten Energiemärkte weltweit haben große Steigerungsraten gehabt. Der Ölmarkt z. B. hatte über 100 Jahre hinweg eine Steigerungsrate von über 30 %. Jetzt sollten wir mit diesen Steigerungen auch den erneuerbaren Energiebereich angehen: letztes Jahr hatten wir eine Steigerung im Stromsektor von 20 % und

wenn ich über die nächsten Jahre jeweils 20 % Steigerung hätte, dann hätte ich bereits in neun Jahren 100 % Strom aus dem erneuerbaren Energiebereich.

Förderprogramme

Oberzig: Brauchen wir nicht bessere Förderprogramme, um den Städteumbau zu beschleunigen?

Publikumsbeitrag (Reyelts): Es gab schon mal Städteförderungsprogramme, die leider 1989 aufhörten, zumindest in großen Städten in Westdeutschland. Wir haben ja schon so was gehabt und wollten den Umbau.

Maaß: Es gibt Programme im BMBF, im BMWi und im BMVBS. Letzteres hieß zunächst „Städteumbau Ost“ nun „Städteumbau Ost und West“. Im Rahmen dieses Programms gibt es ein Unterprogramm, das „Energetische Stadtsanierung“ heißt. Hier gibt es erhebliche Fördermittel, die sich teilweise aus den Emissionshandelszertifikaten speisen. Ich denke, dass in den nächsten Jahren dort viele Mittel hineinfließen werden. Die Begleitforschung dazu koordiniert die TU Cottbus.

Import von Solarenergie

Achilles: Es gibt ja immer wieder Solarfanatiker, die meinen, dass man in der Wüste Solarstrom erzeugen sollte und den hierher bringen müsste. Das ist aus meiner Sicht totaler Blödsinn. Es gibt keine Argumente dafür. Wir haben hier in Europa genügend Fläche für Solarstrom und andere erneuerbare Energien. Ich kann beispielsweise 40 % der Schweizer Wohnungen allein mit Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser heizen. Es gibt so viele Ideen, die man umsetzen kann. Man braucht keine zentrale Energie! Da sind wir wieder beim Thema: Natürlich wollen die Daimlers nur eine neue Batterie einbauen. Genauso wollen die Vattenfalls dieser Erde endlos Windkraftträder bauen; irgendwo zentral in die Nordsee, damit sie eine zentrale Versorgung haben. Nein, es geht um dezentrale Konzepte. Deswegen ist der Ansatz sehr gut, unser ganzes Wissenschaftskonzept zu überdenken und auch die dazugehörige Soziologie und Planung.

Wittwer: Zum Import von Solarenergie: Warum nicht? Wir führen 90 % unserer Energie ein. Auch wenn wir in Zukunft 80 % oder 70 % hier erzeugen, kommen wir um die letzten 20 oder 30 % nicht umhin, weil wir im Winter nicht genügend Energie haben. Vor allem braucht unsere Industrie Energie; Tag und Nacht, im Sommer und im Winter. Solarenergie ist in Afrika um 50 % billiger als hier und es gibt dort doppelt so viel Sonne. Der Transport ist kein technisches Problem. Von daher wäre es dumm, diese billige Energie nicht zu nutzen.

Hauser: Ich kann nur unterstreichen, was Herr Wittwer ausgeführt hat.

Sozioökonomische Aspekte

Oberzig: Herr Achilles, wenn wir von der Vision einer Plusenergiestadt sprechen, wie muss sie sich auch in architektonischer Sicht verändern? Ihre Firma liefert doch Bestandteile zur Architektur. Wird eine neue Architektur kommen?

Achilles: Ich bin zwar kein Architekt, aber es wird sicher eine intelligente Architektur kommen und es gibt sie schon, wie man es bei den Gebäuden von Herrn Disch sieht. Wir haben große Aufträge von der Wohnungswirtschaft, die auf bestehenden Dächern Solarstrom erzeugen will. Das Spannende wird ja sein, wenn der Solarstrom so preiswert oder genauso teuer sein wird wie der Strom, der aus der Steckdose kommt, und das kann sehr schnell so sein, da wir ja sehen, wie schnell die Strompreise steigen.

Maaß: Man muss das System als Ganzes im Zusammenhang sehen, vor allem auch in Bezug auf die Infrastrukturen. Nullenergiehäuser oder Plusenergiehäuser können nur im System funktionieren. Mir fehlen noch die sozioökonomischen Aspekte. Das ist zum Beispiel der Aspekt der Akzeptanz. Außerdem muss man aber auch Dinge wie die demographische Entwicklung bedenken. Zum Beispiel hat Frau Schäfer vorhin in ihrem Vortrag zwei architektonische Entwürfe vorgestellt, die mir sehr gefallen haben, die aber in einer alternden Gesellschaft nicht durchzusetzen sind. Ein Entwurf hatte sehr viele Treppen, und im anderen fand das Wohnen und Schlafen in einer Kuhle statt. Das ist für einen älteren Menschen gar nicht vorstellbar! Ich

finde, man muss die sozioökonomischen Aspekte mehr berücksichtigen und darf nicht nur rein von der technischen Seite kommen.

II. Energieüberschüsse für Verkehr und Produktion

Trennung von Wohnen und Arbeiten aufheben

Oberzig: Heute sind Wohnen und Arbeiten sehr weit auseinander gerissen. Könnte das unter dem Aspekt der Energieeffizienz wieder zusammenwachsen und in einer Plusenergiestadt zu einem Verbund werden?

Hauser: Bei Bildschirmarbeitsplätzen sind die technischen Möglichkeiten gegeben, Arbeitsplatz und Wohnung zusammenrücken zu lassen. In der produzierenden Industrie kann ich mir das weniger vorstellen, da diese Schallemissionen und andere Belästigungen mit sich bringt.

Anforderungen an den Verkehr

Ganseforth: Ich möchte gern einen Dank an die Veranstalter aussprechen, weil sie über Energieeffizienz und solares Bauen nicht die Mobilität vergessen haben. Ein Verkehrsplaner sagte einmal „Verkehr entsteht, wenn etwas verkehrt steht.“ Bauen ist eine Ursache für Verkehr und leider wird das selten zusammen gesehen. Doch was nützt mir ein Plusenergiehaus auf der grünen Wiese, wenn dadurch Zwangsmobilität entsteht? Der VCD fordert deshalb verträgliche Mobilität:

- **Vermeidung:** kurze Wege zwischen Wohnen und Arbeiten, nur solche Gebiete als Baugebiete ausweisen, die schon eine öffentliche Verkehrsanbindung haben, also nicht auf der grünen Wiese
- **Verlagerung:** auch mal zu Fuß gehen oder mit dem Rad fahren oder die öffentlichen Verkehrsmittel nutzen
- **Effiziente Technik:** vor allem Autos müssen noch viel effizienter werden.
- **Art der Antriebsenergie:** Der VCD betrachtet die Diskussion um die Antriebsenergie sehr kritisch. Die Automobilindustrie betreibt viel Lobbyarbeit. Da wird mit großer Begeisterung über Brennstoffzellen zum Antrieb von Autos geredet. Doch wo sind

die? Es wird auch über Biokraftstoffe diskutiert. Die sind sicher nicht schlecht, aber der Verdacht, dass sie eine Alibifunktion für die Automobilindustrie haben, ist da. Das Neuste in nun das Elektroauto. Doch wir haben große Bedenken, weil Elektronutzung mit Vorliebe von Atom- und Kohlekraftwerkbetreibern thematisiert wird und von denen, die Gutachten über angebliche „Stromlücken“ machen. Ich meine, dass wir erst über das Elektroauto sprechen sollten, wenn die Atomkraftwerke vom Netz sind, wenn keiner mehr ein neues Kohlekraftwerk baut und wenn nicht mehr von einer Stromlücke gesprochen wird. Dann ist die Zeit reif für ein Elektroauto.

Zeithorizonte für Elektromobilität

Oberzig: Frau Ganseforth, bei Ihren verkehrspolitischen Vorstellungen ist ein Stufenmodell angeklingen: „Das Elektroauto kommt erst, wenn wir unsere anderen Hausaufgaben gemacht haben“. Wenn ich jetzt die Presse studiere, sehe ich, dass Daimler/Benz den Smart Elektro nächstes Jahr in Berlin anbieten möchte. In London, wo eine City-Maut existiert, fahren schon Elektroautos. In Israel macht man eine Zusammenarbeit mit Renault und es gibt noch weitere Beispiele. So weit weg ist das Elektroauto nicht. Was sagen Sie denn, wenn das viel schneller kommt?

Ganseforth: Ich habe Aspekte genannt, die man mit bedenken sollte, denn nur dann hat das Elektroauto seinen Platz zur CO₂-Vermeidung und besserer Effizienz. Elektroautos bieten im Gesamtsystem die Möglichkeit, dass man die Batterien als Puffer nimmt. Bei Überschussstrom lädt man die Akkus und bei großer Stromnachfrage könnte man sie auch wieder entladen. Das ist aber noch Zukunftsmusik!

Ich möchte gern noch auf die Energiefrage zurückkommen, weil immer von „überschüssiger Energie“ die Rede ist. Und diese soll nun durch das Elektroauto genutzt werden. Aus meiner Sicht brauchen wir eine Energiewende und eine Verkehrswende, um die Klimaprobleme in den Griff zu bekommen. Bei der Energieversorgung heißt das für mich auch: weg vom Denken in Grundlast-Mittellast-Spitzenlast und dem Ausfüllen der Täler durch zusätzliche Verbraucher. Wir wollen das „virtuelle Kraftwerk“, d. h. die

dezentral Einspeisung und Nutzung aller Energieangebote. Da kann dann das Elektroauto eine wichtige Rolle spielen. Wir haben in Deutschland 50 Millionen Autos, und man erwartet 2 Millionen Elektroautos bis 2020, also 4 %. Wir sprechen jetzt mal über die Vision, wenn mal 50 % Elektroautos da sind, was ich sicher nicht mehr erleben werde. Da ist noch ein enormer Forschungs- und Umstellungsbedarf. Die Infrastruktur muss zur Verfügung gestellt werden. Außerdem muss die Batterietechnik weiterentwickelt werden; z. B. steht nicht genug Lithium für so viele Lithium-Akkus zur Verfügung. Die Batterien müssen auch genormt sein, damit man sie austauschen kann und die Stecker passen. Meiner Meinung nach müssen die Autos auch ganz anders aussehen als heute.

Dann ist es auch nicht richtig zu sagen, dass man „überschüssigen“ Strom nimmt. Wenn man den überschüssigen Strom nimmt, dann braucht man auch ein Management, sodass man nur dann den Strom nutzt, wenn es ein Überangebot gibt und nicht in die Zeit reingeht, wo eine große Nachfrage ist. Aber was macht man denn im Winter, wenn kein überschüssiger Strom da ist oder wenn zu Ferienbeginn alle ihr Auto noch mal richtig aufladen wollen? Hier gibt es in der Logistik noch einen großen Forschungsbedarf, ehe das vernünftig funktioniert.

Wittwer: Ich glaube auch, dass der Verkehr langfristig eingebunden werden muss, und zwar dann wenn der Strom regenerativ ist, dann können wir auch über Elektroautos nachdenken.

Publikumsbeitrag (Astrid Schneider): Wir sind im Moment wirklich am berühmten peak oil angelangt. Die Versorgung aus den konventionellen Ölquellen wird in den nächsten Jahren um 3–5 % pro Jahr zurückgehen. Jetzt stehen wir vor einer dramatischen Umbruchsituation. Das ist keine Zukunftsmusik, sondern wir müssen jetzt jährlich 5 % Mobilität anderweitig ersetzen. Die erneuerbaren Technologien jetzt einzuführen, ist absolut sinnvoll und notwendig. Und wir brauchen auch jetzt Konzepte, wie wir mit dem Zuwachs umgehen. Wir sprechen dabei nicht von einer fernen Zukunft, in der wir Überschussstrom puffern müssen, sondern wir haben das schon hier und jetzt im Netz. Berlin

z. B. ist von windreichen Flächenländern umgeben, die an Wintertagen 100 % Windkraft im Netz haben. In Brandenburg kann man das onshore-Windenergiepotenzial sogar noch verdoppeln, dann hätten wir 200 % dessen was wir brauchen im Netz. In Polen mussten schon Kohlekraftwerke abgeschaltet werden, weil wir hier zuviel Strom hatten. Hinzu kommt, dass man nachts nur ein Zehntel des Stroms braucht gegenüber dem Tagesverbrauch. Nachts weht der Wind aber sehr stark. Die Situation, dass wir Überschussstrom haben, den man z. B. in Elektroautos packen könnte, besteht also schon jetzt! Wir sollten also nicht von morgen oder irgendwann reden.

Publikumsbeitrag (Arno Paulus): Ist Ihnen bekannt, dass es bereits Plusenergieautos und Plusenergieschiffe gibt? Diese sind viel effizienter als das, was heute in der Industrie hergestellt wird. Sie sind an Universitäten entstanden. Die Antriebsformen durch Radnabenantriebe aus den 20er Jahren – das Patent ist übrigens von Porsche – sind revolutioniert worden mit einem Wirkungsgrad von 96 % am Rad. In Deutschland haben wir zwei Universitäten, die sich damit befassen: Darmstadt und Bochum. Wäre es nicht vielleicht sinnvoller diese Forschung voranzutreiben?

Hauser: Zu Ihren Ausführungen über die Automobilindustrie: Mir ist bekannt, dass sich die Automobilindustrie Gedanken über jedes Konzept macht. Das Elektroauto ist in den Köpfen nur im Sinne eines Hybridsystems, wobei niemals ausschließlich mit Elektroenergie gefahren werden soll, sondern nur als hybridunterstützendes Modell. Hier geht man von Reichweiten 50 bis 200 km aus und nicht mehr. Die Automobilindustrie sieht die Lösung viel eher in der Wasserstofftechnologie.

Publikumsbeitrag: Ich bin Landwirt aus einer kleinen Gemeinde in Niederösterreich. Ich hatte vor 30 Jahren schon ein italienisches Elektroauto und konnte 90 % meiner Fahrten auf dem Land damit bewältigen. Mit 20 qm Photovoltaik können Sie 15.000 km im Jahr fahren. Diese Fläche hat die Landwirtschaft locker. Die Landwirtschaft ist in der Lage den gesamten Energiebedarf mit PV, Windenergie und ein bisschen Biomasse zu decken. Und nun bekommt man in Deutschland solche Sachen von Frau Ganseforth zu hören!

Ganseforth: Sie haben mich falsch verstanden, wenn Sie denken, dass wir gegen das Elektroauto sind. Sie sprechen aber von einem anderen Auto, als es das Auto heute ist. Das ist genau meine Forderung: Zuerst Vermeidung, Verlagerung und höhere Effizienz, dann das Elektroauto. Aber unsere Automobilindustrie will die bestehenden Fahrzeuge beibehalten mit ihren Beschleunigungen, Spitzengeschwindigkeiten und ihrem Gewicht. Das funktioniert nicht, das ist eine Alibi-Veranstaltung.

Publikumsbeitrag: Ich finde es gut und vielleicht auch mutig, diesen Hype um das Elektroauto ein bisschen herunterzuschrauben. Sie haben vollkommen Recht, Frau Ganseforth, dass die deutschen Autobauer nur Batterien in ihre alten Autos stecken wollen und gar kein Umdenken stattfinden soll.

■ Danksagung an Zuwendungsgeber und Sponsoren

Die Jahrestagung 2008 wurde unterstützt von:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



Das SYSTAIC Energiedach

Solarsystem und ästhetisches Dach



Das SYSTAIC Erfolgskonzept ist die Vereinigung eigener Energiegewinnung mit architektonischer Ästhetik.

Designstark und zukunftsorientiert - auch auf den Messen Bau 2009 und Intersolar 2009.

systaic

Standorte der FVEE-Mitgliedsinstitute



ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE) • Kekuléstraße 5 • 12489 Berlin
 Telefon: 030/8062-1338 • fvee@helmholtz-berlin.de • www.fvee.de

Anschriften der FVEE-Mitgliedsinstitute



DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. in der Helmholtz-Gemeinschaft
Zentrum Köln-Porz • 51170 Köln

Prof. Dr. Robert Pitz-Paal:
Telefon 02203/601-2744
E-Mail: robert.pitz-paal@dlr.de
www.dlr.de

Standort Stuttgart
Pfaffenwaldring 38–40 • 70569 Stuttgart

DLR-Projektteam auf der
PSA Plataforma Solar de Almería
Apartado 39 • E-04200 Tabernas (Almería)



Forschungszentrum Jülich

52425 Jülich
Dr. Anne Rother:
Telefon 02461/61-4661
E-Mail: info@fz-juelich.de
www.fz-juelich.de



Fraunhofer IBP Fraunhofer Institut für Bauphysik

Nobelstr. 12 • 70569 Stuttgart
Rita Schwab:
Telefon 0711/9703301
E-Mail: rita.schwab@ipb.fraunhofer.de
www.ipb.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 • 83626 Valley

Standort Kassel
Gottschalkstr. 28a • 34127 Kassel



Fraunhofer ISE
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

Heidenhofstraße 2 • 79110 Freiburg
Karin Schneider:
Telefon 0761/4588-5147
E-Mail: karin.schneider@ise.fraunhofer.de
www.ise.fraunhofer.de

Weitere Standorte:
PV-TEC
Emmy-Noether Str. 2 • 79110 Freiburg
Labor- und Servicecenter Gelsenkirchen
Auf der Reihe 2 • 45884 Gelsenkirchen



GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum

Telegrafenberg • 14473 Potsdam
Franz Ossing:
Telefon 0331/288-1040
E-Mail: ossing@gfz-potsdam.de
www.gfz-potsdam.de



HZB Helmholtz-Zentrum Berlin
für Materialien und Energie

Lise-Meitner-Campus
Glienicker Straße 100 • 14109 Berlin-Wannsee
Dr. Ina Helms:
Telefon 030/8062-2034
E-Mail: info@helmholtz-berlin.de
www.helmholtz-berlin.de

Campus Wilhelm Conrad Röntgen
Kekuléstraße 5 • 12489 Berlin-Adlershof



ISFH Institut für Solarenergieforschung GmbH
Hameln/Emmerthal

Am Ohrberg 1 • 31860 Emmerthal
Dr. Roland Goslich:
Telefon 05151/999-302
E-Mail: info@isfh.de
www.isfh.de



ISET Institut für Solare Energieversorgungstechnik
Verein an der Universität Kassel e. V.

Königstor 59 • 34119 Kassel
Uwe Kregel:
Telefon 0561/7294-345
E-Mail: ukregel@iset.uni-kassel.de
www.iset.uni-kassel.de

Standort Hanau
Rodenbacher Chaussee 6 • 63457 Hanau



ZAE Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e. V.

Am Hubland • 97074 Würzburg
Anja Matern-Lang:
Telefon 0931/70564-52
E-Mail: matern-lang@zae.uni-wuerzburg.de
www.zae-bayern.de

Standort Garching
Walther-Meißner-Str. 6 • 85748 Garching

Standort Erlangen
Am Weichselgarten 7 • 91058 Erlangen



ZSW Zentrum für Sonnenenergie- und
Wasserstoff-Forschung Baden Württemberg
Gemeinnützige Stiftung

Industriestraße 6 • 70565 Stuttgart
Karl-Heinz Frietsch:
Telefon 0711/7870-206
E-Mail: info@zsw-bw.de
www.zsw-bw.de

Standort Ulm
Helmholtzstraße 8 • 89081 Ulm

Impressum • Themen 2008

Energieeffizientes und solares Bauen

Herausgeber

Dr. Gerd Stadermann
ForschungsVerbund Erneuerbare Energien (FVEE)
Kekuléstr. 5 • 12489 Berlin
Tel.: 030/8062-1338
Fax: 030/8062-1333
E-Mail: fvee@helmholtz-berlin.de
Internet: www.fvee.de

Redaktion

Dr. Gerd Stadermann
Petra Szczepanski

Förderung

Der ForschungsVerbund Erneuerbare Energien
wird durch diese Ministerien gefördert:

- BMU
- BMBF
- BMWi
- BMELV
- BMVBS

Gesamtproduktion

Hoch3 GmbH – Design- und Werbeagentur

Berlin, April 2009

ISSN • 0939-7582





Geschäftsstelle c/o Helmholtz-Zentrum Berlin • Kekuléstraße 5 • 12489 Berlin
Telefon: 030/8062-1338 • Telefax: 030/8062-1333 • fvee@helmholtz-berlin.de • www.fvee.de