

# Dämmstoffe – innovativ, nachhaltig, effizient

Die energetische Sanierung im Gebäudebereich ist die Voraussetzung zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Deutschland. Durch eine Beschreibung aktueller Innovationen in Bezug auf die eingesetzten Dämmstoffe, die ökologischen und ökonomischen Aspekte sowie eine realistische und bauteilbezogene Abschätzung des Einsparpotentials bei Sanierungsmaßnahmen im Bestand wird dies verdeutlicht. Betrachtet man das Einsparpotential der Gebäudesanierung, so wird klar, dass die energetische Sanierung des Gebäudebestands ein unverzichtbarer Baustein der Energiewende ist.

**Innovative insulation materials for sustainability and energy efficiency in the building sector.** *The energetically restoration in the building sector is a prerequisite for reducing energy consumption in Germany. This is brought out through a description of the latest innovations in terms of insulation materials used, the environmental and economic aspects as well as a realistic estimate of the energy saving potential of substituted building components. The energy efficient restoration of existing buildings is an essential component of the energy transition.*

## 1 Einleitung

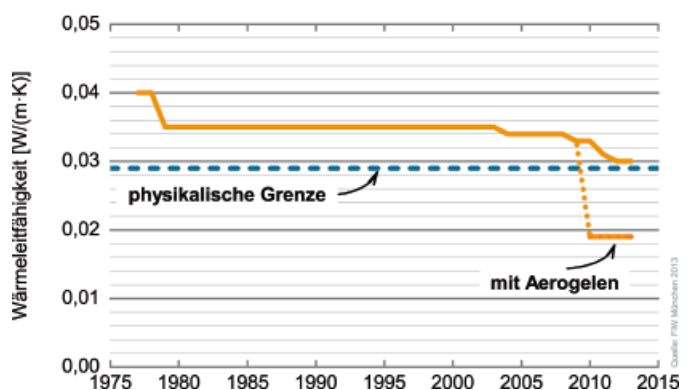
Die von der Bundesregierung im Energiekonzept 2050 formulierten Zielvorgaben bei der Reduzierung des Primärenergiebedarfs sind klar. Um die avisierte Verminderung des Primärenergieverbrauchs um 50 % gegenüber 2008 zu erreichen, soll der Primärenergieverbrauch im Gebäudebereich um 80 % reduziert werden [1]. Dieses ambitionierte Ziel ist allein mit einer energieeffizienten Ausführung von Neubauten nicht zu erreichen. Es bedarf also in jedem Fall einer planvollen Sanierung des Gebäudebestands unter Ausnutzung aller sinnvollen aktiven (Haustechnik) und passiven (Dämmung) Maßnahmen. Die hierfür notwendigen Dämmstoffe unterlagen in den letzten Jahren einer konsequenten Weiterentwicklung. Durch Optimierungen auf Material- und Systemebene konnte die technische Leistungsfähigkeit vieler Produkte verbessert werden. Vor allem im Bereich der Wärmeleitfähigkeit bewegen sich inzwischen einige Produkte an der Grenze des physikalisch Möglichen. In diesem Beitrag werden ausgewählte Innovationen der letzten Jahre im Bereich typischer dämmender Baustoffe, Aspekte der Nachhaltigkeit und eine bauteilbezogene Abschätzung des Einsparpotentials bei Sanierungsmaßnahmen im Bestand zusammengefasst.

## 2 Aktuelle Innovationen

Die Entwicklungen der letzten Jahre bewegen sich in einem Spannungsfeld, das im Wesentlichen zwischen den drei Einflussgrößen Wärmeleitfähigkeit, mechanische Eigenschaften und Kostendruck aufgespannt werden kann. Den Herausforderungen immer niedrigerer U-Werte, entsprechend den Novellierungen der Wärmeschutz- und Energieeinsparverordnungen der letzten Jahre, wird mit verschiedenen Konzepten zu einer Reduzierung der Wärmeleitfähigkeit begegnet, um die nötigen Wandquerschnitte oder zusätzlich aufzubringenden Wärmedämmschichten nicht übermäßig ansteigen zu lassen.

Im Bereich der *Mineralwolle* fand in den letzten Jahren, vor allem nach der Freigabe der 1 mW/(m·K)-Abstufung im Zusammenhang mit der Einführung der harmonisierten Produktnorm für Mineralwolle (DIN EN 13162), eine schrittweise Absenkung der Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  statt. Inzwischen werden von einzelnen Produkten Werte von  $\lambda = 0,030$  W/(m·K) erreicht, was bereits nahe an der physikalischen Grenze, die als Bemessungswert in einem Bereich von  $\lambda = 0,029$  W/(m·K) zu sehen ist, liegt. Weitere Reduzierungen sind aber über die Kombination mit anderen Dämmstoffen, z. B. durch die Integration von nanoporösen Partikeln wie Aerogele, möglich (Bild 1).

Die Anwendung dieser Produkte, mit denen zurzeit Bemessungswerte von bis zu  $\lambda = 0,019$  W/(m·K) erreicht



**Bild 1.** Verbesserung des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit von Mineralwolle seit 1975  
**Fig. 1.** Evolution of the rated values of thermal conductivity of mineral wool since 1975

werden können, bietet vor allem im Bereich der Innendämmung Vorteile, wo aus Gründen des Raumverlusts die Dämmschichtdicke möglichst begrenzt sein sollte.

Die sehr niedrige Wärmeleitfähigkeit von nanoporösen Stoffen, wie *Aerogel* oder *pyrogene Kieselsäure*, beruht dabei auf dem Verhältnis der mittleren freien Weglänge der Gasmoleküle zur Größe des Porenraums, was auch als Knudsen-Zahl ( $Kn$ ) bezeichnet wird. Für  $Kn \gg 1$  ist die Wärmeleitung des Gases im Porenraum praktisch ausgeschaltet, was die äquivalente Wärmeleitfähigkeit eines solchen Dämmstoffs auf die Anteile (1) Wärmeleitung des Feststoffgerüsts und (2) Infrarot-Strahlungsaustausch in den Poren reduziert. Die mittlere freie Weglänge von Gasmolekülen der Luft beträgt unter Normaldruck ca. 60 nm, weshalb mindestens Porengrößen von  $< 60$  nm erreicht werden müssen, um von dem Effekt zu profitieren [2]. Neben den erwähnten Einsatzmöglichkeiten von *Aerogel* in Plattenmaterialien (z. B. mit Mineralwolle oder direkt gebunden) wird das Material auch in Form loser Partikel verwendet. Durch die gute Rieselfähigkeit lassen sich Kerndämmungen ausführen, die aufgrund des oftmals geringen Platzangebots zwischen Trag- und Blendschale von der niedrigen Wärmeleitfähigkeit profitieren.

Die mittlere freie Weglänge der Gasmoleküle ist vom umgebenden Druck abhängig. Je niedriger der Umgebungsdruck, umso größer ist die mittlere freie Weglänge. Dieser Effekt hat zur Entwicklung von *Vakuumisolationspaneelen (VIP)* geführt. Je kleiner die Porengröße des Stützkernmaterials ist, umso höher kann der während der Nutzungsdauer des VIP maximal tolerierbare Druckanstieg in der Platte ausfallen, ohne den angegebenen Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit zu überschreiten. Aktuell wird in VIP für Bauanwendungen deshalb fast ausschließlich pyrogene Kieselsäure als Stützkernmaterial verwendet, die jedoch verhältnismäßig teuer ist. Um zukünftig günstigere Stützkernmaterialien (z. B. aus Mineralwolle) verwenden zu können, müssen die Barriereeigenschaften der verwendeten Folien und die Technik der Folienverschweißung wesentlich verbessert werden, damit die Bedingung  $Kn \gg 1$  dauerhaft eingehalten wird.

Auch bei den organischen *Hartschäumen* konnten in den letzten Jahren zahlreiche Innovationen umgesetzt werden. Durch den Einbau von Infrarot-Trübungsmitteln in das Feststoffgerüst von expandiertem Polystyrol (EPS) konnte der Anteil der Wärmeübertragung durch Strahlung deutlich gesenkt werden. Dieses graue EPS lässt eine Absenkung der Rohdichte des Dämmstoffs bei gegenüber weißem EPS unveränderter Wärmeleitfähigkeit zu bzw. ermöglicht bei gleichbleibender Rohdichte eine deutlich niedrigere Wärmeleitfähigkeit von aktuell bis zu  $\lambda = 0,031$  W/(m·K) (Bild 2).

Auch bei *extrudiertem Polystyrol (XPS)* ist eine Verringerung der Wärmeleitfähigkeit durch Beimengung von Graphit möglich [3]. Jüngere Forschungsarbeiten beschäftigen sich auch mit der Beimengung von Graphen in XPS, was einerseits kleinere Zellgrößen von bis zu 25  $\mu\text{m}$  ermöglicht und andererseits ähnlich wie Graphit die Durchlässigkeit für Infrarot-Strahlung senkt. Graphene sind sogenannte Riesenzellen mit Abmessungen von rund 350 nm  $\times$  10 nm, die aus Netzwerken von Kohlenstoffatomen in Form von sechseckigen Waben bestehen [4].

Die Verringerung der Wärmeleitfähigkeit bei *Polyurethan-Dämmstoffen (PU)* beruhte in den letzten Jahren

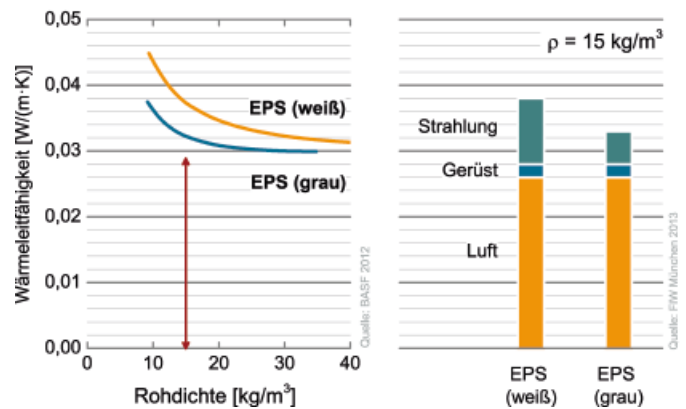


Bild 2. Einführung von grauem EPS bei Polystyrol  
Fig. 2. Thermal conductivity of grey EPS

überwiegend auf der Substitution herkömmlicher Zellgase durch neuartige fluorierte Verbindungen mit niedrigerer Gas-Wärmeleitfähigkeit und gleichzeitig geringem Treibhauspotential. Vielversprechende Forschungsansätze sind auch bei der Verringerung der mittleren Zellgrößen in Größenordnungen  $< 1 \mu\text{m}$  zu erkennen. Ein neu entwickeltes offenzelliges Polyurethan-Aerogel, das als mechanisch stabile Platte hergestellt werden kann, hat eine gemessene Wärmeleitfähigkeit von kleiner 0,016 W/(m·K).

Neben Entwicklungen bei einzelnen Produktgruppen ist allgemein auch ein Trend in die Richtungen *integrierte Systeme und Kombination von unterschiedlichen Materialien* zu erkennen. Beispiele sind die eingangs erwähnten Kombinationen aus verschiedenen Dämmstoffen, aber auch VIP mit Deckschichten und Randstreifen aus unterschiedlichen Materialien, die dadurch robuster für Bauanwendungen werden. Ein System für die Fassade besteht aus EPS-Platten mit breitem Stufenfalz, Befestigungs- und Bearbeitungsrand und integrierter VIP-Dämmplatte. Durch den Zuschnitt im Bereich der Bearbeitungsränder können mit diesem System auch stark gegliederte Fassaden mit nur wenigen unterschiedlichen Plattenabmessungen belegt werden. Der Bereich des Zuschnitts und der Befestigung wird in einem zweiten Schritt mittels passender und ebenfalls VIP-gedämmter Formteile abgedeckt. Die wenigen verbleibenden Fehlstellen werden durch andere Materialien mit niedriger Wärmeleitfähigkeit (z. B. Phenolharz-Hartschaumplatten) gedämmt, ohne den Wärmedurchgangskoeffizienten der Fassade nachhaltig zu erhöhen. Auf diese Weise können sehr schlanke WDVSAufbauten realisiert werden [5] (Bild 3).

Im Bereich der *Systemlösungen mit Multifunktionalität* sind beispielsweise modulare Wand- oder Fassadenbausysteme auf Basis von Mineralwolle oder EPS zu nennen, die sich je nach System durch einen hohen Vorfertigungsgrad, Rückbaubarkeit oder die Integration von Elementen zur Luftführung für die Innenraumbelüftung auszeichnen [6].

Ziele für Weiterentwicklungen in der Zukunft liegen im Bereich der Effizienz und der Sicherheit der Materialien bzw. Systeme. Konkret werden vor dem Hintergrund steigender Anforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden hinreichend schlanke Wandaufbauten durch Dämmstoffe mit niedriger Wärmeleitfähigkeit gefordert. Aber auch eine effiziente Produktion mit möglichst geringem



**Bild 3.** Mittels WDV's auf Basis von EPS-ummantelten VIP sanierte Fassade eines MFH in München  
**Fig. 3.** Restored façade of a multi-family house in Munich consisting of thermal composite insulation system with EPS covered VIP

Einsatz an Ressourcen (Rohstoffe, Energie) und eine transparente Darstellung und Beherrschung der ökologischen Wirkungen des Produkts werden für die Absetzbarkeit von Dämmstoffen in Zukunft eine immer größere Rolle spielen. Für die Anwender sind zudem Vereinfachungen und Systematisierungen bei den planerischen Anforderungen an die Dimensionierung und bauphysikalische Funktionalität wünschenswert. Darüber hinaus wird dadurch die Montagesicherheit auf den unterschiedlichsten Untergründen im Bestand und in der Neubausituation verbessert. Aspekte der Sicherheit umfassen weiter das Verhalten des Dämmstoffs im Brandfall, bei der Montage und dem Rückbau und die Unbedenklichkeit hinsichtlich einer hygienischen Innenraumluftqualität während der Nutzung.

### 3 Ausgewählte Aspekte der Nachhaltigkeit von Dämmstoffen

Die im vorherigen Absatz angeschnittenen Entwicklungsfelder bezüglich Effizienz und Sicherheit der Materialien finden sich in differenzierter Form auch in den drei Säulen der Nachhaltigkeit wieder, die ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte umfassen. Nachdem die Bauproduktenverordnung eine den gesamten Produktlebenszyklus

umfassende Bewertung von Bauprodukten fordert, stellt sich die Frage nach einheitlichen Bewertungskriterien, um zumindest innerhalb Europas auf vergleichbare Datensätze zurückgreifen zu können. Richtlinien für die Erstellung und Verwendung von Umweltzeichen finden sich in der Normenreihe ISO 14000. Darin beschriebene, sogenannte Typ III-Umweltzeichen enthalten auch quantitative Angaben zu Produkteigenschaften und werden beispielsweise in Deutschland auf der Basis von Umweltproduktdeklarationen (EPD = Environmental Product Declaration) vergeben. Die zu betrachtenden Szenarien und Berechnungsmethoden sind in der seit 2012 geltenden EN 15804 beschrieben. EPDs enthalten dabei immer eine Sachbilanz, eine Wirkungsabschätzung und weitere Indikatoren. In der Sachbilanz werden beispielsweise Angaben zum Ressourceneinsatz (Primärenergieinhalt erneuerbar/nicht erneuerbar), Wasserverbrauch und zu den Emissionen beschrieben. Trotzdem ist ein Vergleich der Umweltwirkungen zumindest nicht auf den ersten Blick möglich, wenn unterschiedliche Bezugsgrößen (z. B. MJ/kg vs. MJ/m<sup>3</sup>) verwendet und unterschiedliche Wärmeleitfähigkeiten vorliegen. Eine exemplarische Aufbereitung von Ökobilanzdaten aus Hersteller-EPDs für drei typische Dämmstoffgruppen zeigt Tabelle 1.

Ein Vergleich der energetischen Amortisation (Energieeinsparung der Maßnahme im Verhältnis zum Verbrauch an nicht erneuerbarer Primärenergie zur Herstellung) fällt mit 0,3 a zugunsten der Mineralfaserdämmung aus. Beim Treibhauspotential (GWP Global Warming Potential) hebt sich die Holzfaser mit einem negativen GWP-Wert von -20 kgCO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> von den Varianten aus Glaswolle und EPS ab, während beim Versauerungspotential (AP Acidification Potential) die Variante mit EPS die niedrigsten Werte zeigt, gefolgt von Holzfaser und Glaswolle. Die Berechnung dieser Kennwerte ist nicht aufwändig und schafft innerhalb der Teilbereiche ein klares Ranking – weitgehend unklar ist aber immer noch die kombinierte Bewertung dieser Faktoren. Im konkreten Beispiel ist bei einer reduzierten Bewertung dieser drei ausgewählten Faktoren die energetische Amortisation auf einem insgesamt so niedrigen Niveau, dass die Unterschiede der absoluten Zahlen vernachlässigbar sind. Aufgrund der deutlichen Unterschiede beim GWP könnte ein Vergleich momentan zugunsten der Holzfaserdämmung entschieden werden. Bei einer anderen Gewichtung und unter Einbeziehung weiterer (evtl. zurzeit noch nicht genutzter) Ökobilanz-

**Tabelle 1.** Aufbereitete Ökobilanzdaten gemäß Hersteller-EPDs, energetische Amortisation, Treibhauspotential und Versauerungspotential von drei typischen Dämmstoffgruppen bei Annahme eines Bestandsbauteils mit einem U-Wert von  $U = 1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  und Sanierung auf  $U = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

**Table 1.** Eco-balance-data from manufacturer's EPDs, energetic amortization, global warming potential and acidification potential for three common groups of thermal insulation materials, assuming a restoration of the building element with initial U-value of  $U = 1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  to  $U = 0,18 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$

Dämmstoffgruppe	Energetische Amortisationszeit [a]	Treibhauspotential GWP 100 [kg CO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ]	Versauerungspotential AP [kg SO <sub>2</sub> eq/m <sup>2</sup> ]
Holzfaser $\rho = 110 \text{ kg/m}^3$ (EPD-GTX-20111111-D)	0,6	-20,0	0,0161
Glaswolle $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$ (EPD-GHI-2011212-D)	0,3	6,02	0,0228
EPS $\rho = 25 \text{ kg/m}^3$ (EPD-IVH-2009311-D)	0,6	15,1	0,0152

daten sind aber auch andere Entscheidungsszenarien denkbar. Unter Einbeziehung der Verarbeitungskette (Transport, Montage(hilfen), Hilfsstoffen am Bau, Gerüstzeiten etc.) wird der Zusammenhang dann endgültig beliebig komplex. Hier fehlen einheitliche Bewertungskriterien und Abgrenzungen der Betrachtungsräume, um Planern und Bauherren nachvollziehbare Entscheidungen zu ermöglichen.

Neben der ökologischen Qualität werden auch *ökonomische Aspekte* gerade in den Medien intensiv diskutiert. Auch die aktuellste Fassung der EnEV 2014 enthält im §10, Absatz (5) die Einschränkung der Gültigkeit der Nachrüstpflicht bei Gebäuden im Bestand, wenn die Maßnahmen nicht innerhalb zumutbarer Amortisationszeiträume die Wirtschaftlichkeit erreichen. Um dem Problem der Bewertung der Wirtschaftlichkeit gerecht zu werden, muss zunächst geklärt werden, welche Kosten entstehen und unter welchen Gesichtspunkten diese Kosten bei einer Sanierung im Zuge regulärer Sanierungszyklen angesetzt werden können. In diesem Zusammenhang entstehen im Wesentlichen zwei Probleme. Von Seiten des Handels werden zumeist m<sup>2</sup>-Preise für Dämmstoffe veröffentlicht, die aber nicht die damit verbundenen baulichen Maßnahmen berücksichtigen und die sich zudem ab einer bestimmten Dämmschichtdicke auch progressiv entwickeln können; etwa wenn Dachüberstände vergrößert, Ortgänge verkleidet oder Fensterbänke versetzt werden müssen. Diese Zusatzkosten werden zumeist erst im Planungsprozess sichtbar – was oft Unzufriedenheit auf Seiten der Bauherren auslöst. Wenn alle Kostengruppen bekannt und bezifferbar sind, stellt sich die Frage einer Trennung in Kosten, die der energetischen Verbesserung des Bauteils zuzuordnen sind, und Kosten, die auch bei einer regulären Instandsetzung angefallen wären. Bei der Überarbeitung einer Fassade könnten beispielsweise die Kosten für das Gerüst, die Aufbereitung des Untergrunds, den Putz und die Farbe, als „Sowieso-Kosten“ bezeichnet werden, die auch bei einer regulären Instandsetzung der Fassade angefallen wären. Der Anteil der energiebedingten Mehrkosten schwankt je nach konkretem Objekt deutlich. Tabelle 2 zeigt für unterschiedliche Beispiele den Anteil energiebedingter Mehrkosten in %.

Setzt man nun in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur die energetisch bedingten Mehrkosten an, so zeigt sich, dass Dämmmaßnahmen innerhalb regulärer Amortisationszeiträume die Wirtschaftlichkeit erreichen können. Probleme bestehen aber nach wie vor bei der Abgrenzung der Maßnahmen und bei der Bewertung vorgezogener Maßnahmen, um z. B. Maßnahmenpakete sinnvoll zu koppeln. Ge-

nerell kann festgestellt werden, dass Selbstnutzer von energetischen Sanierungen besser profitieren als Kapitalanleger. In der Studie [9] werden für Kapitalanlageobjekte unter Ausnutzung der gesetzlich zulässigen Mieterhöhung, je nach Gebäudetyp und Technologie Eigenkapitalrenditen von 3,35–4,75 % erzielt. Kann die Mietumlage nicht in rechtlich vorgesehener Höhe umgesetzt werden, kann die Eigenkapitalrendite geringer ausfallen. Selbstnutzer können je nach Gebäudetyp und Technologie der Maßnahme Eigenkapitalrenditen von 5,06–5,83 % erreichen, was im Rahmen der im Wohnungsbereich üblichen Zielrendite von 5 % liegt.

Die *soziokulturelle Qualität*, als dritte Säule der Nachhaltigkeit, betrifft die Bewahrung der Gesundheit der Nutzer, die Funktionalität hinsichtlich eines behaglichen Raumklimas und die Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität. Insbesondere Fragestellungen zu Raumluftqualität, Brandschutz und städtebaulicher Qualität werden teilweise intensiv diskutiert – aber zu kurz kommt oft die Bewertung der ureigensten Funktionalität der Wärmedämmung für den Nutzer, nämlich die Sicherstellung eines optimierten winterlichen und sommerlichen Wärmeschutzes. Eine gute Raumluftqualität und thermische Behaglichkeit sowohl im Sommer als auch im Winter erhöhen das Wohlempfinden und die Leistungsfähigkeit der in einem Gebäude lebenden oder arbeitenden Personen. Dieser Nutzen kann monetär kaum quantifiziert werden, müsste aber in einer Kosten/Nutzen-Rechnung, die heute auf der Nutzen-Seite oft nur die Wirtschaftlichkeit enthält, deutlich stärker gewichtet werden.

#### 4 Dämmstoffe als Baustein der Energiewende

In Deutschland gibt es ca. 18,2 Mio. Wohngebäude (WG), die ca. 39,7 Mio. Wohneinheiten (WE) enthalten. Zusammen mit den WE in Nichtwohngebäuden (NWG) entspricht dies einer Wohnfläche von insgesamt ca. 3,45 Mrd. m<sup>2</sup>. Der Mittelwert des spezifischen Endenergieverbrauchs von Wohngebäuden in Deutschland liegt bei ca. 177 kWh/(m<sup>2</sup>·a), während ca. 25 % der Gebäude einen spezifischen Endenergieverbrauch >250 kWh/(m<sup>2</sup>·a) aufweisen [10]. Da in den aus energetischer Sicht sanierungsbedürftigen Gebäudealtersklassen (GAK) bis 1993 – also Baujahren vor der Wärmeschutzverordnung (WSchV) 1995 – oft bereits Teilmaßnahmen an bestimmten Bauteilen durchgeführt wurden, muss eine Potentialabschätzung des erzielbaren Minderverbrauchs durch Energieeffizienzmaßnahmen die Verteilung des aktuellen Zustands der Bauteile in den einzelnen GAK berücksichtigen. Für die GAK bis 1993 können auf Basis der Gebäudetypologie des Institut für Woh-

Tabelle 2. Anteile energiebedingter Mehrkosten, Zusammenstellung von Werten aktueller Studien, unterschieden nach Ein-/Mehrfamilienhaus (EFH, MFH) bzw. unterschiedlichen Systemen

Table 2. Percentages of energy-related extracosts, compilation of single- and multifamily-houses (EFH, MFH), and various insulation systems respectively

% - Anteil energiebedingter Mehrkosten (Min – <u>Mittelwert</u> – Max) [7]	EFH	MFH
	34 – <u>38</u> – 54	29 – <u>43</u> – 61
% - Anteil energiebedingter Mehrkosten [8]	WDVS	Steildach mit Zwischensparrendämmung
	41	26

**Tabelle 3. Zusammenstellung der Flächen der Bauteile der Gebäudehülle in einem bestimmten energetischen Zustand für den Gebäudebestand bis GAK 1993**

*Table 3. Summed up surfaces of building components of the building envelope in a certain energetic condition for the building age-classes up to 1993*

Gebäudetyp	Bauteil	Vor	WSchV 77/84	Nach	Summe
		WSchV 1977	[Mrd. m <sup>2</sup> ]	WSchV 1995	
EFH	Dach, obere Geschossdecke	0,55	0,77	0,25	1,57
	Wand	1,30	0,39	0,16	1,85
	Fenster	0,24	0,10	0,05	0,39
	unterer Gebäudeabschluss	0,42	0,13	0,69	1,24
MFH	Dach, obere Geschossdecke	0,36	0,38	0,12	0,86
	Wand	1,18	0,34	0,12	1,64
	Fenster	0,25	0,09	0,05	0,39
	unterer Gebäudeabschluss	0,11	0,70	0,03	0,84

nen und Umwelt (IWU) [11] und mit den Daten aus [12] Flächenangaben zu Bauteilen der Gebäudehülle, unterschieden in bestimmte energetische Zustände, abgeleitet werden. Tabelle 3 zeigt auf dieser Basis eine Zusammenstellung der Flächen der Bauteile der Gebäudehülle, unterschieden in einen Zustand vor der ersten WSchV 1977, der WSchV 1977/1984 und nach der WSchV 1995.

Den Ist-Zuständen entsprechend den Kategorien in Tabelle 3 können nun typische U-Werte zugeordnet werden, die sich aus den Erhebungen der Gebäudetypologie und den Standards der jeweiligen WSchV ergeben. Durch einen Vergleich der mit dem Heizperiodenbilanzverfahren ermittelten Transmissionswärmeverluste des Ist-Zustands mit unterschiedlichen Sanierungsszenarien können nun Einsparpotentiale für diesen Bestandsausschnitt berechnet werden.

Im Folgenden werden Ergebnisse für eine Sanierung auf das Niveau der EnEV 2009 dargestellt. Angewendet werden zwei Sanierungsszenarien:

#### Sanierungsszenario 1

Sanierung aller Bauteile vom Zustand „vor WSchV 1977“ und „WSchV 1977/1984“ in den GAK bis 1993

#### Sanierungsszenario 2

Sanierung aller Bauteile vom Zustand „vor WSchV 1977“ in den GAK bis 1993

Durch die Sanierung auf einen Zustand der EnEV 2009 können je nach Sanierungsszenario bei allen Bauteilen relevante mittlere (bezogen auf den betrachteten Bestand) Einsparungen an Transmissionswärmeverlusten über diese Bauteile, von ca. 45–55 % beim Dach, ca. 72–78 % bei der Wand und ca. 48–56 % beim unteren Gebäudeabschluss erreicht werden. Die angegebenen Schwankungsbreiten ergeben sich aus den zwei unterschiedlichen Sanierungsszenarien. Bei einer getrennten Betrachtung von EFH und MFH werden die Unterschiede größer.

Allen Angaben zu prozentualen Einsparungen liegt das Problem der Bezugsgröße zu Grunde. In Tabelle 4 ist

die bauteilbezogene prozentuale Einsparung durch eine Sanierung der Gebäudehülle entsprechend den Vorgaben der EnEV 2009 dargestellt, bezogen auf den Gesamtenergiebedarf aller WG im Gebäudebestand bis GAK 1993. Insgesamt könnten durch eine Sanierung der GAK bis 1993 auf den Zustand der EnEV 2009 ca. 54 % (Sanierungsszenario 2) bis 64 % (Sanierungsszenario 1) der Energie für Raumwärme im Wohngebäudebereich eingespart werden.

Die größten Verbesserungspotentiale liegen demnach im Bereich der bisher unsanierten Wände, gefolgt von Maß-

**Tabelle 4. Verhältnis zwischen der Energieeinsparung (Differenz der Transmissionswärmeverluste vor und nach der Sanierung) bestimmter Bauteile in den GAK bis 1993 bei Sanierung nach Szenario 1 bzw. 2, bezogen auf den Gesamtenergiebedarf aller WG in den GAK bis 1993 (Ist-Zustand)**  
*Table 4. Ratio of energy-saving (difference of transmission heat losses before and after restoration) when restoring certain building components in the building age classes up to 1993, related to the heating energy demand of all residential buildings in the building age classes up to 1993*

Gebäudetyp	Bauteil	Szenario 1	Szenario 2
EFH	Dach, obere Geschossdecke	5,6 %	4,5 %
	Wand	20,5 %	18,8 %
	Fenster	4,8 %	2,7 %
	unterer Gebäudeabschluss	1,5 %	0,8 %
MFH	Dach, obere Geschossdecke	3,5 %	3,0 %
	Wand	18,5 %	17,0 %
	Fenster	4,7 %	2,6 %
	unterer Gebäudeabschluss	4,5 %	4,4 %
Summe		63,6 %	53,8 %

nahmen an Dach und Kellerdecke. Das steht scheinbar im Widerspruch zu der Betrachtung der prozentualen Energieeinsparung an einem konkreten (unsanierten) Objekt, bei der Dach und oberste Geschossdecke üblicherweise ein größeres Einsparpotential als die Außenwand haben. Da aber bereits viele Dächer und oberste Decken eine Wärmedämmung haben, hingegen die Mehrzahl der Fassaden noch im Originalzustand sind, ergibt sich durch den Bezug auf den Gesamtenergiebedarf aller Gebäude in Deutschland die nachfolgend dargestellte Verteilung des Einsparpotentials.

Der angenommene durchschnittliche U-Wert der Wände ist in der Bauteilklasse „vor WSchV 1977“ mit  $1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  deutlich schlechter als die Werte im Dach, die in diesem energetischen Zustand mit  $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  berücksichtigt werden. Je schlechter der Ausgangs-U-Wert vor der Sanierung und je größer die Differenz im U-Wert zum Sanierungsziel, umso größer ist der Einfluss auf die erzielbare Energieeinsparung. Dazu kommt, dass mit Blick auf die Flächenwerte in Tabelle 3 deutlich mehr unsanierte Flächen („vor WSchV 1977“) in der Fassade vorhanden sind als im Dachbereich. Hier spiegelt sich die energetische Sanierung der letzten Jahrzehnte wider, in der oft erste Maßnahmen am Dach bereits umgesetzt wurden.

## 5 Fazit

In den letzten Jahren wurden im Bereich des energieeffizienten Bauens und Sanierens sehr deutliche Effizienzsteigerungen erreicht. Ein Passivhaus verbraucht nur noch ca. 13 % der Energie eines typischen Bestandsgebäudes in Deutschland. Dabei werden die größten Einsparungen durch passive Maßnahmen an der Gebäudehülle erreicht (Bild 4).

Um die hierfür notwendigen Dämmdicken nicht zu groß werden zu lassen, benötigt der Markt hocheffiziente Dämmstoffe mit niedriger Wärmeleitfähigkeit. Daneben war in den letzten Jahren die Erhöhung der Funktions- und Bauschadenssicherheit durch abgestimmte Systemlösungen und integrierte Systeme mit Zusatznutzen wichtig. Gute Fortschritte konnten bei der Verringerung der Umweltwirkungen aus Dämm- und Baustoffen erreicht werden, wobei hier einige Maßnahmen noch unmittelbar vor der Umsetzung stehen (z. B. die Substitution üblicher Flammschutzmittel durch den neuen Stoff Polymer FR im Feststoffgerüst von EPS und XPS). Vielversprechende Entwicklungen zur Erhöhung der Energieeffizienz zeigen sich bei der Zellgröße von Hartschäumen und durch die Kombination herkömmlicher Stoffe mit neuartigen Materialien – v. a. VIP und Aergelle. Die Hersteller werden auch in Zukunft eine kritische Auseinandersetzung mit ihren Produkten und Systemen pflegen. Ein positiver Schritt in dieser Richtung ist die Bereitstellung von EPDs, die unter einheitlichen und nachvollziehbaren Richtlinien erstellt werden. Forschungs- und Weiterbildungsbedarf für Planer und Architekten besteht aber in der Frage der Bewertung dieser Umweltkriterien, erweitert um Betrachtungen der den Produktlebenszyklus direkt betreffenden Hilfs- und Montagemaßnahmen, die je nach Produkt und konkretem Objekt unterschiedlich sind.

Zur Frage der ökonomischen Qualität von Wärmedämmung muss klargestellt werden, dass Dämmmaßnahmen nicht ausschließlich unter Renditegesichtspunkten gesehen werden sollten, sondern vielmehr als Beitrag zum

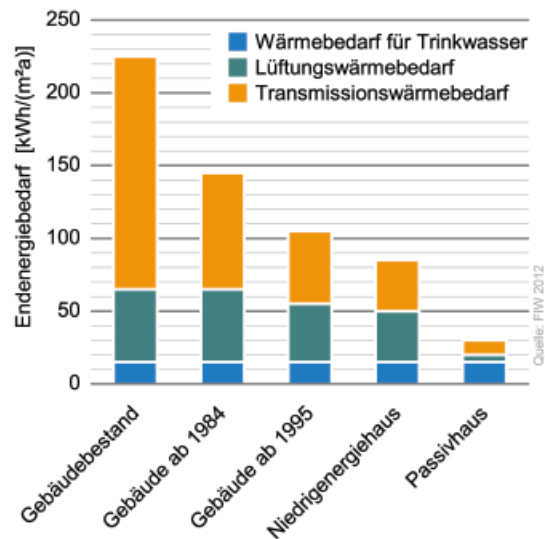


Bild 4. Entwicklung der Verteilung des Endenergiebedarfs für Gebäude mit unterschiedlichen energetischen Standards  
Fig. 4. Distribution of final energy demand of buildings with different energy standards, depending on the age class

Gelingen der gesamtgesellschaftlichen Aufgabe der Bildung einer energieeffizienten Volkswirtschaft verstanden werden müssen. Betrachtet man das Potential der Energieeinsparung durch energieeffizientes Bauen und Sanieren im Vergleich zur Energieerzeugung durch Erneuerbare Energien, so wird die Bedeutung der bereits umgesetzten und zukünftig abrufbaren Einsparpotentiale deutlich (Bild 5).

Bereits jetzt spart die Einführung der WSchV und EnEV mit den entsprechenden Anpassungen der letzten drei Jahrzehnte jährlich ca. 167 TWh an Endenergie für Heizung allein im Wohnungsbau ein. Bezogen auf den Ge-

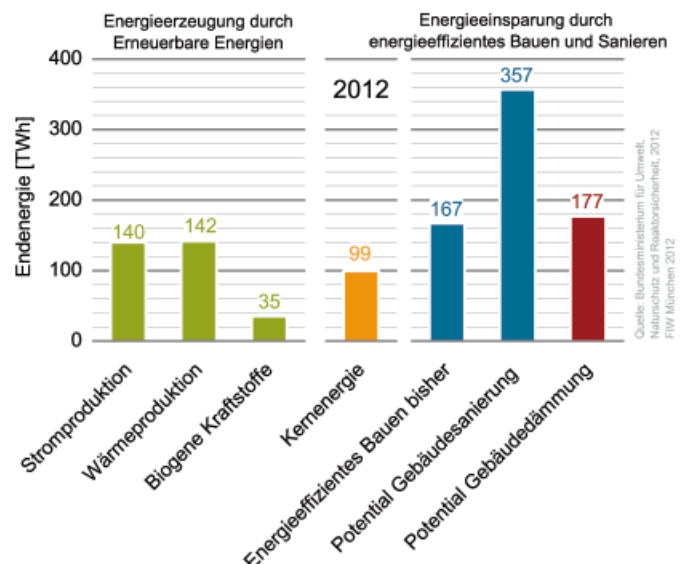


Bild 5. Bedeutung der Gebäudedämmung (Sanierung aller Wohngebäude auf das Niveau EnEV 2009) im Vergleich zur Energiebereitstellung aus regenerativen Energien bzw. aus Kernkraftwerken

Fig. 5. Meaning of thermal insulation of buildings (restoration of all residential buildings to the standard of EnEV 09), in comparison with energy-production of renewable resources, resp. nuclear power

samtverbrauch an Endenergie in Deutschland in Höhe von 2500 TWh sind dies 6,7 %. Dennoch besteht mit 177 TWh weiterhin ein riesiges Einsparpotential durch die Dämmung von Gebäuden. Zusammen mit anderen Energiesparmaßnahmen (z. B. Fenstertausch, Anlagentechnik) ergibt sich ein Einsparpotential für die Gebäudesanierung von 357 TWh, es ist somit allein bei den Wohngebäuden größer als die derzeit bereits jährlich bereitgestellte Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen.

Neben den rein energetischen Aspekten sind darüber hinaus Gesichtspunkte der Substanzerhaltung, Wertsteigerung und Behaglichkeitserhöhung zu beachten – Themenfelder, die ebenfalls originär mit Wärmedämmung verbunden sind.

#### Literatur

- [1] BMWi: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 28. September 2010. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) Abt. KI, 2012.
- [2] *Zeitler, M.*: Allgemein gültiges Modell zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit poröser Stoffe und Stoffschichten. Diss. Universität GHS Essen, Fachbereich 12 – Maschinenwesen, 2000.
- [3] *Bunge, F., Merkel, H.*: Polystyrol-Extruderschaum mit verbesserten wärmetechnischen Eigenschaften – Entwicklung, Prüfung und Anwendung. *Bauphysik* 33 (2011) H. 1, S. 67–72.
- [4] Kurzberichte aus der Bauforschung. 54 (2013) Nr. 2, S. 78–79.
- [5] *Kubina, L.*: Practice Experience with LockPlate. Proceedings of the International Vacuum Insulation Symposium IVIS, Montreal, 2011.
- [6] *Holm, A., Sprengard, C., Tremml, S.*: Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmedämmstoffe. Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendungen – Innovationen. Forschungsbericht mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundes-

institutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Aktenzeichen: II 3-F20-12-1-074 / SWD-10.08.18.7-12.39, 2013.

- [7] *Henger, R., Voigtländer, M.*: Energetische Modernisierung des Gebäudebestandes: Herausforderungen für private Eigentümer. Gutachten des Instituts der deutschen Wirtschaft Köln, 2012.
- [8] *Hinz, E.*: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden. BMVBS-Online-Publikation, Nr. 07/2012, BMVBS, 2012.
- [9] *Pfnür, A., Müller, N.*: Energetische Gebäudesanierung in Deutschland. Studie Teil II: Prognose der Kosten alternativer Sanierungsfahrpläne und Analyse der finanziellen Belastung für Eigentümer und Mieter bis 2050. Arbeitspapiere zur immobilienwirtschaftlichen Forschung und Praxis, Band Nr. 28, 2013.
- [10] *Bigalke, U., Henning, D., Lukas, H., Zeng, Y., Bensmann, K., Stolte, Ch.*: Der dena-Gebäudereport 2012. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand. Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), Berlin, Stand 09/2012.
- [11] *Loga, T., Diefenbach, N., Born, R.*: Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden. Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU), Darmstadt, 2011.
- [12] *Walberg, D., Holz, A., Gniechowitz, T., Schulze, Th.*: Wohnungsbau in Deutschland – 2011. Modernisierungen oder Bestandsersatz. Studie zum Zustand und der Zukunftsfähigkeit des deutschen „Kleinen Wohnungsbaus“. Bauforschungsbericht Nr. 59, Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V., 2011.

#### Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dr.-Ing. Andreas H. Holm, Institutsleiter  
 Dipl.-Ing. Christoph Sprengard, Abteilungsleiter  
 Dr.-Ing. Sebastian Tremml, wissenschaftlicher Mitarbeiter

Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V. FIW München  
 Lochhamer Schlag 4  
 82166 Gräfelfing