



# Modernisierung zum Passivhaus im Bestand

Konzept der Altbaumodernisierung mit Passivhauskomponenten  
Realisierte Beispiele aus dem hessischen Förderprogramm



überarbeitete Neuauflage mit Auswertung des Heizwärmeverbrauchs  
geförderter Modernisierungen



## Impressum

### Herausgeber

Hessisches Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Landesentwicklung  
Kaiser-Friedrich-Ring 75  
65185 Wiesbaden  
Telefon: 06 11 – 8 15-0  
[www.wirtschaft.hessen.de](http://www.wirtschaft.hessen.de)

### Konzeption

HessenEnergie  
Gesellschaft für rationelle Energienutzung mbH  
Mainzer Straße 98–102  
65189 Wiesbaden  
Telefon: 06 11 – 7 46 23-0  
[www.HessenEnergie.de](http://www.HessenEnergie.de)

### Bearbeitung

Energie&Bildung  
Dipl.-Ing. Thomas Königstein  
Festerbachstr. 16  
65329 Hohenstein  
Telefon: 0 61 20 – 50 83 80  
[www.energie-bildung.de](http://www.energie-bildung.de)

### Überarbeitete Auflage

August 2017

### Gestaltung

© Gute Gestaltung  
Büro für Kommunikations-Design 2017  
Friedrich-Ebert-Platz 6  
64289 Darmstadt  
Telefon: 0 61 51 – 29 30 71  
[www.gute-gestaltung.de](http://www.gute-gestaltung.de)

## Inhalt

- 2 Inhaltsverzeichnis / Impressum**
- 3 Vorwort**
- 4 Energieeffiziente Gebäudemodernisierung**
  - Kernidee des Passivhauses
  - Modernisierung mit Passivhauskomponenten?
- 6 Das hessische Förderprogramm zur energetischen Modernisierung zum Passivhaus im Bestand**
- 7 Konzept der Altbau-Modernisierung**
- 8 Wärmedämmung der Bauteile**
  - U-Wert
  - Außenwand
  - Kellerdecke
  - Bodenplatte
  - Oberste Geschossdecke
  - Flachdach
  - Schrägdach
- 11 Fenster und Haustür**
  - Fenster/Fenstertür
  - Haustür
- 12 Ausführungsdetails**
  - Wärmebrücken
  - Luftdichtheit des Gebäudes
- 14 Nachweisverfahren**
  - PHPP (Passivhaus-Projektierungs-Paket)
  - Blower-Door-Messung
- 15 Lüftung und Wärmeversorgung**
  - Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
  - Wärmeversorgung
- 16 Erfahrungen aus den Fördervorhaben**
- 20 Realisierte Beispiele**

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden.

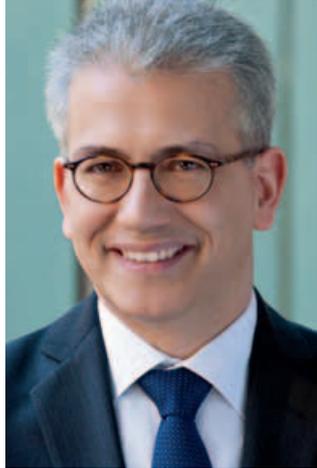
Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen und Werbemittel.

Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist.

Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

## Sehr geehrte Damen und Herren,



in Hessen gibt es 1,36 Millionen Wohngebäude mit etwa 2,83 Millionen Wohnungen. Etwas mehr als zwei Drittel davon wurden vor 1978, also vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet und knapp ein weiteres Viertel von 1979 bis 2000, also vor dem Erlass der ersten Energieeinsparverordnung im Jahr 2002. Nur etwa 6 Prozent der Bestandsgebäude sind nach der Jahrtausendwende fertiggestellt worden. Um die Ziele des Hessischen Energiegipfels zu erreichen, ist eine signifikante Erhöhung der Modernisierungsraten beim Wärmeschutz und der Wärmeversorgung notwendig. Dabei ist eine möglichst hohe Qualität der energetischen Modernisierungsmaßnahmen unabdingbar. Mit der heute zur Verfügung stehenden Technik können Altbauten weitestgehend dieselben Anforderungen erfüllen wie Neubauten.

Bereits 1990 wurde mit dem Passivhaus Darmstadt Kranichstein erstmals in Europa ein Wohngebäude mit einem Heizenergieverbrauch unter 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) errichtet und sein Heizenergieverbrauch messtechnisch überprüft. Die sehr guten Erfahrungen mit dieser Bauweise haben die Nachfrage seitdem stetig ansteigen lassen. Mit inzwischen rund 25.000 Wohneinheiten in Deutschland und etwa 50.000 weltweit steht der Standard an der Schwelle zur flächendeckenden Umsetzung.

Das Passivhaus Darmstadt Kranichstein wurde 2016 nach 25jähriger Nutzung auf die Dauerhaftigkeit der baulichen Maßnahmen hin untersucht. In allen Aspekten von der Wärmeversorgung bis zur Hygiene der Lüftungskanäle und der Luftqualität waren die Ergebnisse sehr gut. Auch der Heizwärmeverbrauch des ersten Passivhauses ist weiterhin so gering wie vor 25 Jahren prognostiziert.

Ähnliche Befunde ergab auch die Auswertung der seit 2008 durch das Land Hessen geförderten umfassenden Modernisierungsmaßnahmen, bei denen Bestandsgebäude auf das energetische Niveau eines Passivhauses im Bestand gebracht wurden: Die Gebäude benötigen durchschnittlich jährlich 24,1 kWh je Quadratmeter Heizwärme und erfüllen damit die Effizienzanforderungen.

Mit Unterstützung des Landes Hessen werden derzeit in den hessischen Kommunen Lohfelden und Nidderau zwei Baugebiete vollständig im Passivhausstandard erschlossen. Er garantiert den Bewohnern dauerhaft niedrige Heizkosten und schont die Energieressourcen sowie das Klima.

Das sind gute Gründe für das Land Hessen, die energetische Modernisierung auf Passivhausniveau im Bestand weiterhin zu fördern. Über die Chancen und Möglichkeiten einer solchen Modernisierung informiert diese Broschüre anhand von Beispielen aus der Praxis. Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre und viel Erfolg bei Ihrer beabsichtigten Gebäudemodernisierung.

**Tarek Al-Wazir**

Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Landesentwicklung

## Energieeffiziente Gebäudemodernisierung

Die Verringerung des Heizenergiebedarfs ist bereits seit den 1970er Jahren eine wichtige und sowohl ökonomisch als auch ökologisch notwendige Zielsetzung beim Bau und bei der Modernisierung von Gebäuden. Stand zunächst bei steigenden Brennstoffkosten die Verringerung der Heizkosten im Vordergrund, so wurde das Thema zunehmend auch unter dem Gesichtspunkt begrenzter Energieressourcen und der Begrenzung des Treibhauseffekts als wichtige Aufgabe erkannt. Dementsprechend stiegen die in der Energieeinsparverordnung (EnEV) festgelegten Mindestanforderungen an die Energieeffizienz beim Bau und der Modernisierung von Gebäuden. Gleichzeitig wurden die baulichen und technischen Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs entscheidend weiterentwickelt. Bei Neubau von Passivhäusern kann der Heizenergiebedarf gegenüber Bestandsgebäuden um etwa 90 % gesenkt werden. Die für Passivhäuser entwickelten Komponenten und Techniken lassen sich jedoch auch bei der energetischen Modernisierung bestehender Gebäude sehr erfolgreich einsetzen. Gegenüber den derzeitigen gesetzlichen Mindestanforderungen lässt sich dadurch der Heizenergieverbrauch erheblich verringern.

### Das Passivhaus

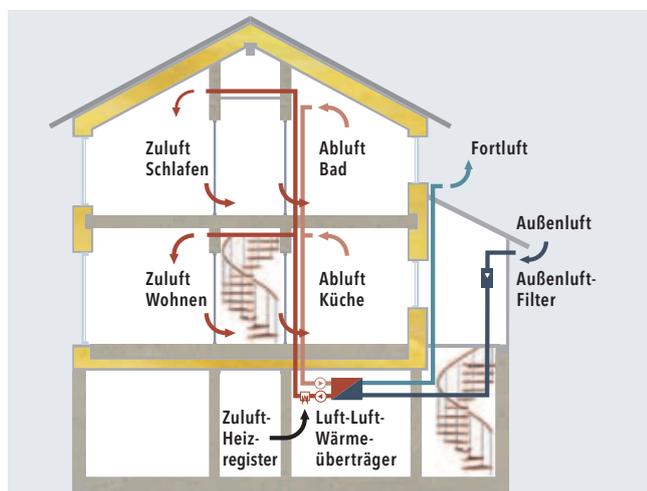
Begonnen hat in Deutschland alles mit dem Bau des ersten Passivhauses in Darmstadt im Jahr 1990, das als Reihenhauseszeile mit vier Wohneinheiten realisiert und seit 1991 bewohnt wird. Heute gibt es allein in Deutschland mehr als 15.000 Gebäude in Passivhaus-Standard, in der Mehrzahl sind es Wohngebäude. Aber auch Nichtwohngebäude, wie z. B. Schulen, Sporthallen, Altenzentren, Industriebauten oder Supermärkte, gibt es heute bereits als Passivhaus - ein Gebäude ohne traditionelles aktives Heizsystem.

### Wie wird ein Gebäude zum Passivhaus?

Vor allem durch eine sehr gute und wärmebrückenfreie Dämmung aller Bauteile und Fenster sowie durch eine Komfortlüftung mit einer effizienten Wärmerückgewinnung.

### Warum eine Wärmedämmung?

Deutschland hat in klimatisch unterschiedlichen Gebieten heiße Sommer, aber auch sehr kalte Winter - bei zum Teil gleichzeitig vergleichsweise viel Sonnenschein. Die monatlichen Durchschnitts-Außentemperaturen liegen von Oktober bis April klar unter der üblichen Heizgrenze von 15°C. Fällt nun die Außentemperatur unter die Heizgrenze, springt der Kessel an und verbraucht Energie. Im Winter gibt es nicht nur niedrige durchschnittliche Temperaturen im Bereich von 0°C, an wenigen



Passivhaus

Tagen gibt es auch extrem tiefe Außentemperaturen. Bei der Kesseldimensionierung sind deshalb die Norm-Außentemperaturen von -10°C (z. B. Bensheim) über -14°C (z. B. Bad Hersfeld) bis zu -20°C (z. B. Oberstdorf) zu berücksichtigen.

Hauptgrund für die Notwendigkeit einer Heizungsanlage ist aber nicht die Tatsache, dass die Außentemperaturen zu tief sind, sondern dass es bei einem Gebäude an der Wärmedämmung fehlt.

Es verhält sich mit Gebäuden genauso wie mit uns Menschen. Im Sommer benötigen wir kaum Kleidung, weil wir im Verhältnis zur uns umgebenden Außentemperatur kaum Körperwärme verlieren. Je tiefer die Außentemperatur sinkt, je schneller kühlen wir aus und desto wärmer ziehen wir uns an (umso besser machen wir unsere Wärmedämmung), um uns vor dem Auskühlen zu schützen. Je besser wir uns vor einem Wärmeverlust schützen, umso weniger sind dann selbst tiefste Außentemperaturen tatsächlich ein Problem. Denn unser Körperwärmeverlust wird jetzt sehr stark verringert. Für jeden Wintersportler ist dies eine Binsenweisheit.

Und natürlich ist es mit einem Gebäude nicht anders. Allerdings lässt sich die Wärmedämmung nicht - wie unsere Bekleidung - dauernd den wechselnden äußeren Verhältnissen anpassen. Der einmal gewählte Wärmedämm-Standard bleibt für Jahrzehnte bis zum normalen Erneuerungszyklus bestehen und bei fehlender oder zu wenig Dämmung muss zur Erhaltung der Raumtemperatur eine Heizungsanlage installiert werden. Oft aber planen Architekten und Bauherren für ein Gebäude keinen besseren Wärmedämm-Standard als den, der vom Gesetzgeber vorgegeben ist. Dann jedoch ist eine Heizungsanlage unumgänglich.

Das am häufigsten eingesetzte Heizungssystem ist die Warmwasserzentralheizung. Dabei sind in Altbauten im Durchschnitt 120 W/m<sup>2</sup> und in Neubauten 40 W/m<sup>2</sup> an Kesselleistung (Heizlast) installiert.

### Die Kernidee

Alle Wärmeverluste über die Gebäudehülle und die Lüftung werden derart stark verringert, dass die maximale Heizlast unter 10 W/m<sup>2</sup> liegt. Ein „aktives“ Heizsystem ist dann nicht mehr erforderlich. Auch deshalb wird ein solches Gebäude als Passivhaus bezeichnet.

Die „Restheizung“ erfolgt vor allem durch passive Wärmequellen wie Sonneneinstrahlung, Menschen und Haushaltsgeräte sowie durch die Wärmerückgewinnung aus der Raumluft (Abluft) und eine Erwärmung der Zuluft (Außenluft). Ein Vorteil: Die Investitionskosten für die sonst übliche Heizungsanlage können weitgehend eingespart werden. Als Nachweis wird der jährliche Heizwärmebedarf je Quadratmeter Wohnfläche berechnet: Ein Gebäude ist dann ein Passivhaus, wenn sein



Passivhausneubau

jährlicher Heizwärmebedarf (Nutzenergie nur zur Raumerwärmung) unter  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  liegt und die Zuluftherwärmung als alleinige zusätzliche Wärmequelle ausreicht. Das Passivhaus entspricht bei Neubauten damit bereits heute dem von der Europäischen Union ab 2021 geforderten Niedrigstenergiestandard.

### Ein Passivhaus rechnet sich

Im Vergleich mit dem gesetzlichen Baustandard nach der Energieeinsparverordnung betragen die Mehrkosten beim Neubau nur rund  $150$  bis  $200 \text{ €/m}^2$ . Das bedeutet, dass ein Passivhaus heute für jeden Bauherren bezahlbar ist und sich Dank der deutlichen Energieeinsparung rechnet. Da man ja nun die Energiekosten z. B. für Heizöl oder Erdgas einspart, amortisieren sich die Mehrkosten innerhalb der Gebäudelebensdauer. Und je mehr Passivhäuser gebaut werden, umso mehr geeignete Passivhauskomponenten gibt es am Markt. Das senkt langfristig die Preise für diese Bauteile.

### Modernisierung mit Passivhauskomponenten?

In Deutschland wurden in den vergangenen Jahren deutlich weniger als  $200.000$  neue Wohneinheiten pro Jahr gebaut. Dagegen gibt es knapp  $40$  Mio. Wohnungen, von denen  $26,2$  Mio. bzw.  $64\%$  vor  $1978$  (Inkrafttreten der 1. Wärmeschutzverordnung) errichtet wurden. Damit liegt das eigentliche Energieeinsparpotenzial nicht im Neubau sondern im großen Gebäudebestand, der nach und nach modernisiert werden muss. Hier lassen sich die für neue Passivhäuser gemachten Erfahrungen ebenso wie die entwickelten Bautechniken und Komponenten auf die energetische Modernisierung von Altbauten übertragen.

Gebäude sind langlebige Wirtschaftsgüter mit einer Nutzungsdauer von mehreren Jahrzehnten, was in jeder ökonomischen Betrachtung berücksichtigt werden muss. Wie bei einem Neubau ist auch die umfassende Modernisierung eines Gebäudes eine sehr langfristige Entscheidung, denn sie

- kostet viel Geld.
- erfordert aktives Handeln (planen, finanzieren, ausschreiben, vorbereiten) neben dem Alltag.
- erzeugt Lärm, Schmutz und andere Unannehmlichkeiten.

Dass diese Hemmnisse eine große Rolle spielen, zeigt die niedrige Modernisierungsrate. Laut einer Erhebung des Institut Wohnen und Umwelt (IWU) und des Bremer Energie Institut (BEI) von  $2010$  wurde in Deutschland bisher im Mittel nur ca.  $1,0\%$  des Wohngebäudebestands pro Jahr umfassend modernisiert. Das bedeutet, dass im Durchschnitt jeder Eigentümer sein Wohnhaus im Abstand von mehr als  $50$  Jahren einmal modernisiert. Zweifellos erfordert die Modernisierung einen hohen Kapitaleinsatz, der zwischen  $300$  und  $1.000 \text{ €/m}^2$  Wohnfläche liegen

kann – je nach Umfang der Maßnahmen (nur außen am Gebäude oder auch innen z. B. mit Änderungen der Raumzuschnitte). Für ein Einfamilienhaus mit z. B.  $140 \text{ m}^2$  Wohnfläche sind dann Investitionen von  $42.000$  bis  $140.000 \text{ €}$  notwendig.

Besser und vor allem wirtschaftlich vernünftiger ist es deshalb, bei der Modernisierung auf die normalen Erneuerungszyklen (Nutzungsdauern) zu setzen. Die Bausubstanz ist keine stationäre Größe: Mal wird ein Fenster (Nutzungsdauer  $30$  bis  $40$  Jahre) ausgetauscht, mal eine Fassade (Nutzungsdauer  $40$  Jahre) neu gestrichen oder ein Dach (Nutzungsdauer  $40$  bis  $50$  Jahre) neu gedeckt. Nicht so entscheidend ist dabei das Warum. Viel wichtiger dagegen ist die Qualität, mit der jede dieser Maßnahmen ausgeführt wird.

Ist nämlich ein Bauteil einmal (ob einzeln oder im Zuge einer Gesamtmaßnahme) modernisiert worden, dann widerspricht es der wirtschaftlichen und pragmatischen Logik, dieses Bauteil vor Ablauf des normalen Erneuerungszyklus noch einmal zu modernisieren. Da bei den meisten Bauteilen diese Zyklen im Bereich von  $30$  bis  $50$  Jahren liegen, lautet die entscheidende Konsequenz: Wenn modernisiert wird, dann energetisch hochwertig.

### Beispiel Einfamilienhaus Baujahr 1968

Die verputzte Außenwand aus Hohlblocksteinen (insgesamt  $33 \text{ cm}$ ) hat einen schlechten U-Wert von  $1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und soll mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) gedämmt werden. Wird nun der vorhandene U-Wert nur auf das gesetzlich vorgeschriebene Niveau von  $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  verbessert, reichen  $14 \text{ cm}$  Dämmstärke aus. Werden diese  $14 \text{ cm}$  tatsächlich realisiert, so wird dieses Bauteil in näherer Zukunft mit Sicherheit niemand mehr erneut modernisieren.

Das liegt daran, dass die konstruktiven Kosten unabhängig von der Dämmstärke hoch sind. Es muss u. a. immer ein Gerüst gestellt, neue Fensterbänke angebracht, Fallrohre versetzt, die Dämmung befestigt, ein Putz aufgebracht und gestrichen werden.

Deshalb ist es sinnvoll, gleich auf niedrigere U-Werte zu gehen: Das wirtschaftliche Optimum liegt derzeit bei einem U-Wert zwischen  $0,20$  und  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , was in diesem Fall durch eine Dämmstärke von  $18$  bis  $24 \text{ cm}$  erreicht werden würde. Wird die Wärmedämmung von vorne herein in dieser ökonomisch gebotenen Qualität ausgeführt, so zahlt sich das aus: Die Energieeinsparung ist deutlich höher bei gleichzeitig nur geringen Mehrkosten für z. B.  $10 \text{ cm}$  mehr Dämmstoffstärke ( $24 \text{ cm}$  statt den ursprünglich geplanten  $14 \text{ cm}$ ).

Wird das versäumt und eine nur suboptimale Dämmung realisiert, so wären in einem denkbaren zweiten Modernisierungsschritt alle Kosten noch einmal aufzubringen, um dann von einem U-Wert von  $0,24$  nur noch einen kleinen Schritt auf z. B.  $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  zu erreichen. Das rechnet sich in keinem Fall.



Reihenhaus in Frankfurt vor der Modernisierung



Reihenhaus nach der Modernisierung u. a. mit  $30 \text{ cm}$  WDVS

### Hohe Dämmqualität lohnt sich

Deshalb sollte gleich eine Modernisierung mit Passivhauskomponenten angestrebt werden. Bei der Dämmung der Außenwand geht es dabei – je nach Ausgangslage – um Dämmstärken von 20 bis 30 cm. Die bessere Qualität führt zu einer besseren Wirtschaftlichkeit, zu einer höheren Energiekosteneinsparung und zu einer Werterhöhung für den Eigentümer.

Auch für einen Vermieter ist die Modernisierung in Richtung auf das Passivhausniveau interessant. Er profitiert zusätzlich von einer qualitativ gut ausgeführten Maßnahme durch stabile Vermietungsquoten und zufriedene Mieter (hohe thermische Behaglichkeit, kein Schimmel mehr).

Inzwischen gibt es etliche realisierte Beispiele die zeigen, dass eine Modernisierung in dieser energetischen Qualität möglich ist. Einige Gebäude, deren energetische Modernisierung vom Land Hessen gefördert wurde, werden in dieser Broschüre ab Seite 16 vorgestellt.

Bei der Modernisierung von Bauteilen sollte also die substanzielle Verbesserung der Qualität im Mittelpunkt stehen. Eine geringere Qualität sollte heute weder geplant noch ausgeführt werden. Wer jetzt nur im Rahmen der gesetzlichen Mindestanforderungen statt energieeffizient modernisiert, verpasst für die kommenden Jahrzehnte eine nicht wiederkehrende Chance.

Eines zeigen die vergangenen 50 Jahre unumstößlich: Die Energiepreise steigen kontinuierlich, z. B. der Ölpreis seit 1962 im Durchschnitt Jahr für Jahr um 6 %. Deshalb wird mit jeder Modernisierung die Energiekosteneinsparung ebenfalls steigen.

### Das hessische Förderprogramm zur energetischen Modernisierung zum Passivhaus im Bestand

Das Land Hessen fördert die energetisch optimierte Modernisierung von Gebäuden zum Passivhaus im Bestand als innovative Energietechnologie nach der Richtlinie des Landes Hessen zur energetischen Förderung im Rahmen des hessischen Energiegesetzes (HEG) vom 2. Dezember 2015.

#### Grenzwert 25 kWh/(m<sup>2</sup>a)

Modernisierungsmaßnahmen werden gefördert, wenn sie den jährlichen Heizwärmebedarf des Gebäudes auf maximal 25 kWh pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (Wohnfläche nach Wohnflächenverordnung, die innerhalb der thermischen Hülle liegt) reduzieren, wodurch ein dem Anforderungsniveau von Passivhäusern angenäherter Heizwärmebedarf des Gebäudes erreicht wird.



Mehrfamilienhaus in Gießen vor der Modernisierung

Außerdem ist eine kontrollierte Lüftungsanlage mit Wärmereückgewinnung einzubauen und nach Abschluss der Maßnahmen durch eine Blower-Door-Messung der Nachweis zu erbringen, dass der Wert n<sub>50</sub> für die Luftdichtheit mit  $\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$  eingehalten worden ist.

#### Nachweis des Heizwärmebedarfs

Bei Antragstellung ist der jährliche Heizwärmebedarf mit dem Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) oder einem gleichwertigen geeigneten Verfahren auf Grundlage der DIN EN ISO 13790 nachzuweisen.

#### Förderung der Mehrausgaben als Zuschuss

Gefördert werden die Mehrausgaben für eine energetisch optimierte Modernisierung gegenüber einer Modernisierung, welche die Mindestanforderungen der aktuell geltenden Energieeinsparverordnung (EnEV) einhält. Voraussetzung ist, dass die Maßnahmen von Fachunternehmen durchgeführt werden (Eigenleistungen sind von der Förderung ausgeschlossen). Die Förderung wird als Zuschuss zu den zuwendungsfähigen Ausgaben gewährt.

Zuwendungsfähig sind:

- Investive Mehrausgaben für bauliche Maßnahmen, die wegen der zusätzlichen energetischen Anforderungen gegenüber einer konventionellen Bauausführung nach geltender EnEV entstehen. Dafür werden pauschalisierte Mehrausgaben zugrunde gelegt.
- Investive Mehrausgaben für die technische Gebäudeausrüstung, wenn diese ausschließlich zur Erfüllung der Anforderungen an den Jahres-Heizwärmebedarf installiert wird. Hierfür können die Mehrausgaben in der tatsächlichen Höhe angesetzt werden.
- Ausgaben für die Durchführung eines Blower-Door-Tests, für die Installation von Messeinrichtungen für den Heizwärmeverbrauch sowie Planungsmehrausgaben. Hierbei werden die zuwendungsfähigen Ausgaben für diese Positionen auf einen Anteil von maximal 10 % der zuwendungsfähigen investiven Mehrausgaben begrenzt.

Es kann ein Zuschuss bis zu 50% der beantragten zuwendungsfähigen Ausgaben gewährt werden.

#### Merkblatt

Alle Details zu diesem Förderprogramm sind ausführlich im Merkblatt zur Förderung der energetisch optimierten Modernisierung von Gebäuden zum Passivhaus im Bestand nachzulesen. Es steht unter [www.energieland.hessen.de](http://www.energieland.hessen.de) als Download zur Verfügung.



Mehrfamilienhaus in Gießen nach der Modernisierung

## Konzept der Altbau-Modernisierung

### Gute Planung und Ausführung

Eine qualitativ hochwertige energetische Modernisierung von Gebäuden mit passivhaustauglichen Komponenten setzt zunächst voraus, dass sowohl die Planung und Bauleitung als auch die handwerkliche Ausführung von hoher Qualität sind.

### Sieben Merkmale

Für eine erfolgreiche Umsetzung sind grundsätzlich die folgenden Merkmale zu beachten:

1. Sehr gute Wärmedämmung aller Bauteile
2. Sehr gut gedämmte Fensterrahmen mit Dreifachverglasung
3. Sehr gut gedämmte Haustür
4. Reduzierung/Vermeidung von Wärmebrücken
5. Luftdichte Ausführung
6. Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
7. Passiv-solare Wärmegevinne

### Anforderung Heizwärmebedarf

Während die Anforderung an den Heizwärmebedarf für einen Passivhaus-Neubau bei maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) liegt, ist im Rahmen des hessischen Förderprogramms zur energetischen Modernisierung mit Passivhauskomponenten die Anforderung auf einen Wert von maximal 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) verringert. Begründet ist das u. a. in den eingeschränkten Möglichkeiten zur Vermeidung von Wärmebrücken oder zur Optimierung von passiv-solaren Wärmegevinnen. Das schließt nicht aus, dass der geforderte Heizwärmebedarf vor allem bei der Modernisierung größerer Wohngebäude deutlich unterschritten werden kann.

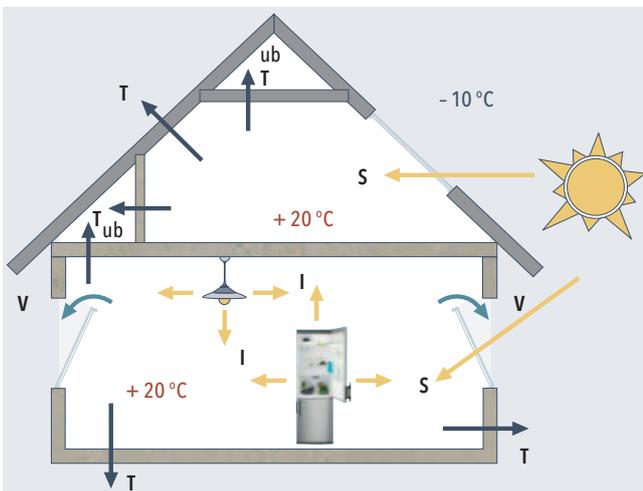
Wie hoch letztlich der Heizwärmebedarf eines Gebäudes ist, wird aus einer Bilanzierung der Wärmeverluste mit den Wärmegevinnen errechnet:

### T = Transmissionswärmeverluste

Sie entstehen wegen der Wärmeleitung durch alle Gebäudeteile (Wand, Fenster, Decke, Dach, Boden) aus dem beheizten Bereich zu allen kälteren Bereichen wie Außenluft, Erdreich und unbeheizte Nebenräume (ub).

### V = Lüftungswärmeverluste (Ventilation)

Sie entstehen wegen des Luftaustauschs durch alle undichten (nicht luftdichten) und geöffneten Gebäudeteile (Fenster, Tür, ...) vom beheizten zu allen kälteren Bereichen (unbeheizte Nebenräume, Außenluft).



Wärmeverluste und Wärmegevinne

### I = Interne Wärmegevinne

Sie entstehen durch die Nutzung selbst, also z. B. durch Kochen oder Warmwasserverbrauch, aber auch durch die Abwärme von Elektrogeräten und den Menschen selbst.

### S = Solare Wärmegevinne

Sie entstehen bei Sonneneinstrahlung durch alle transparenten Flächen, also durch die Fensterverglasung.

Für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs werden die Wärmegevinne von den Wärmeverlusten abgezogen. Der verbleibende Wärmebedarf (HWB) muss durch eine Heizungsanlage gedeckt werden.

### Bilanz der Wärmeverluste und Wärmegevinne

In der unten abgebildeten Wärmebilanz für einen Altbau betragen die Transmissionswärmeverluste 180 kWh/(m<sup>2</sup>a) wegen der schlechten Wärmedämmung. Hinzu kommen die Lüftungswärmeverluste über die Fenster mit 40 kWh/(m<sup>2</sup>a). Die internen Gevinne liegen bei 15 und die solaren Wärmegevinne bei 20 kWh/(m<sup>2</sup>a). Damit verbleibt ein Heizwärmebedarf von 185 kWh/(m<sup>2</sup>a).

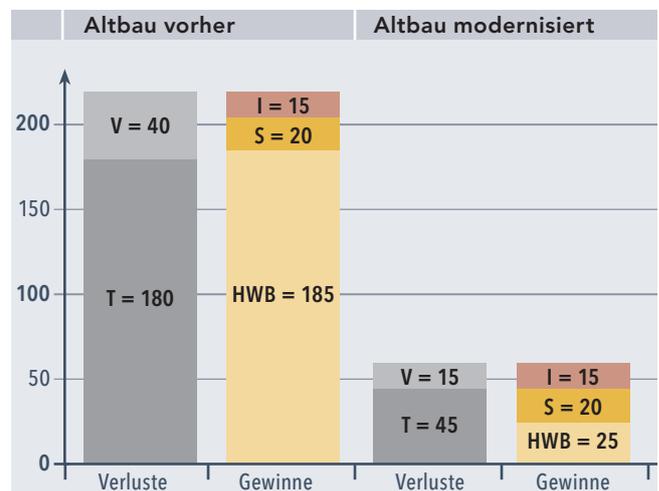
Werden nun alle Bauteile sehr gut gedämmt und luftdicht ausgeführt, Wärmebrücken reduziert und die Lüftung über eine kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung gewährleistet, sinken alle Verluste um 73 % auf insgesamt 60 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Da sich an der Nutzung, den Bewohnern und dem Anteil der Glasflächen i.d.R. nichts ändert, bleiben die Wärmegevinne mit insgesamt 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) gleich. Zieht man die Gevinne von den Verlusten ab, verbleibt nur noch ein Heizwärmebedarf von 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) – der Zielwert ist damit erreicht. Es wird deutlich, dass es für ein gutes Ergebnis möglichst um die Optimierung aller Wärmeverluste und –gevinne geht.

### Das Konzept

Da sich bei einem bewohnten bestehenden Gebäude die passiv-solaren Wärmegevinne gar nicht oder u. U. nur wenig vergrößern lassen, liegt das Hauptaugenmerk auf der Wärmedämmung aller Bauteile, dem Einbau einer grundsätzlich notwendigen Lüftungsanlage und einer guten handwerklichen Ausführung, welche sich auf die Reduzierung von Wärmebrücken und die Herstellung einer besseren Luftdichtheit konzentriert.

Im letzten Schritt muss dann das (noch erforderliche, aber sehr klein zu dimensionierende) aktive Heizungssystem an den neuen Dämmstandard angepasst werden.



Bilanz der Wärmeverluste und Wärmegevinne

## Wärmedämmung der Bauteile

Dabei geht es um die Verringerung der Transmissionswärmeverluste durch alle Bauteile vom Boden über die Kellerdecke und Außenwand bis hin zum Dach.

### U-Wert

Maß des Wärmedurchgangs durch jedes Bauteil ist der sog. Wärmedurchgangskoeffizient, kurz als U-Wert (aus dem Englischen: U = Unit of Heat Transfer) bezeichnet. Seine Einheit ist Watt je Quadratmeter und Kelvin  $[W/(m^2K)]$ . Sie gibt an, wie viel Energie durch  $1 m^2$  eines Bauteils bei  $1 K$  Temperaturdifferenz vom warmen zum kalten Bereich abgegeben wird. Der U-Wert eines Bauteils lässt sich näherungsweise leicht abschätzen: Es wird die Wärmeleitfähigkeit  $[\lambda]$  des Materials durch die Dicke des Materials  $[m]$  dividiert.

### Exkurs Wärmeleitfähigkeit

Sie ist eine Stoffgröße und beschreibt, wie viel Energie durch ein Material hindurchgeht. Sie wird mit dem griechischen Buchstaben  $\lambda$  (sprich: lambda) bezeichnet. Die Einheit ist  $W/(mK)$  und gibt an, welche Wärmemenge pro Sekunde durch ein Material von  $1 m$  Länge bei einem Temperaturunterschied von  $1 K$  an den beiden Enden (erst dann entsteht ja ein Wärmestrom) strömt. Je kleiner (niedriger)  $\lambda$  ist, desto besser (höher) ist seine Dämmwirkung, desto besser ist der Wärmeschutz.

Typische Größen für die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen:

Material	Wärmeleitfähigkeit $[W/(mK)]$
Aluminium	160,00
Stahlbeton	2,10
Zementestrich	1,40
Hochlochklinker	1,05
Kalkzementputz	1,00
Ziegel um 1930	0,80
Ziegel um 1960	0,52
Leichtbeton-Hbl um 1970	0,50
Ziegel um 1975	0,30
Nadelholz	0,13
Dämmstoff (Durchschnitt)	0,04

Damit hat z. B. ein  $30 cm$  dicker Leichtbeton-Hohlblockstein die gleiche Dämmwirkung wie nur  $7,8 cm$  Nadelholz oder gerade  $2,4 cm$  eines durchschnittlichen Dämmstoffs.



Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS)

### Zielwert $U \leq 0,15 W/(m^2K)$

Ein Altbau um 1960 hat eine  $30 cm$  dicke Ziegelwand, innen und außen verputzt. Unter der bauphysikalisch richtigen Einbeziehung der sog. Wärmeübergangswiderstände innen und außen beträgt der U-Wert  $1,33 W/(m^2K)$ . Das ist ein schlechter, weil hoher U-Wert für eine typische Altbauwand aus den 60er Jahren. Beim Passivhaus (wie auch bei der energetischen Modernisierung mit Passivhauskomponenten) muss der U-Wert aller an die Außenluft grenzenden Bauteile gleich oder kleiner  $0,15 W/(m^2K)$  sein. Das bedeutet, dass der U-Wert der Ziegelwand von  $1,33$  auf mindestens  $0,15 W/(m^2K)$  gesenkt werden muss. Erforderlich sind dann mindestens  $24 cm$  eines Dämmstoffs mit einem  $\lambda = 0,040 W/(mK)$ .

### Außenwand

Für die energetische Modernisierung von bestehenden Außenwänden auf Passivhausniveau kommt bei den hier notwendigen Dämmstärken von mehr als  $20 cm$  meist nur ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) in Frage, dessen prinzipieller Aufbau unten links abgebildet ist.

In der Regel werden die Dämmplatten direkt auf den vorhandenen Außenputz nur aufgeklebt und/oder verdübelt. Auf die Dämmung wird in einer Armierungsmasse das sog. Armierungsgewebe eingebettet, das Dehnungsspannungen aufnimmt und gleichzeitig die Grundlage für den Außenputz als Schlussbeschichtung bildet.

Wie der Name schon sagt, handelt es sich um ein Dämmsystem, das aus aufeinander abgestimmten Materialien des jeweiligen Herstellers besteht. Es stehen viele Dämmstoffe zur Verfügung. Die Auswahl erfolgt nach technischen, individuellen und preislichen Gesichtspunkten.

Eine Auswahl typischer Dämmstoffe:

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit $[W/(mK)]$
Polystyrol (EPS)	0,031–0,040
Steinwolle (MF)	0,035–0,040
Mineralschaum	0,045–0,060
Phenolharzschaum (PF)	0,021–0,025
Holzweichfaser (WF)	0,040–0,050
Kork	0,040–0,044

Die Lebensdauer eines WDVS entspricht etwa der Haltbarkeit des Außenputzes. Zur Pflege gehört praktisch nur der Putzanstrich in den üblichen Zeitabständen. Ausgeführte Dämmungen haben bereits mehr als  $35$  Jahre problemlos überdauert. Hersteller bieten deshalb eine Gewährleistung auf ihr System von zehn Jahren und mehr.



Außenwanddämmung mit einem WDVS

## Kellerdecke

Zwar sind die Transmissionswärmeverluste vom beheizten Wohnraum zum unbeheizten Keller geringer als über die Außenwand zur Außenluft; dafür sind aber auch die Investitionskosten wesentlich niedriger, da z. B. weder ein Gerüst noch ein Putz notwendig sind.

Die Wärmedämmung wird genau wie bei der Außenwand außen auf der kälteren Seite angebracht, also unter der Kellerdecke. Normalerweise reicht dann das Ankleben aus und dübeln ist nicht erforderlich.

Vorteilhaft für die Dämmung einer Kellerdecke auf Passivhausniveau sind folgende Ausgangssituationen:

- glatte Deckenoberfläche
- wenig Rohrleitungen an der Decke
- ausreichende lichte Raumhöhe
- Kellerfenster nicht deckenbündig

In diesen Fällen kann gut mit Plattendämmstoffen gearbeitet werden, die auch eine niedrige Wärmeleitfähigkeit haben.

Eine Auswahl typischer Dämmstoffe:

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
Polystyrol (EPS)	0,031–0,040
Steinwolle (MF)	0,035–0,040
Polyurethan (PU)	0,024–0,028
Phenolharzschaum (PF)	0,021–0,025

Für einen gleich niedrigen U-Wert ist zuerst die Wärmeleitfähigkeit entscheidend. Erst daraus ergibt sich die Dämmstärke.

So entsprechen 20 cm EPS mit  $\lambda = 0,040 \text{ W/(mK)}$  [ $0,20 / 0,040 = 5,00$ ] in ihrer Dämmwirkung z. B. 14 cm PU mit  $\lambda = 0,028 \text{ W/(mK)}$  [ $0,14 / 0,028 = 5,00$ ] oder 11 cm Phenolharzschaum mit  $\lambda = 0,022 \text{ W/(mK)}$  [ $0,11 / 0,022 = 5,00$ ].

Sind die Deckenoberflächen nicht glatt, sollte zuerst ein dünner Ausgleichsputz aufgebracht werden, damit die Platten flächenbündig und dicht angeklebt werden können. Sind viele Rohrleitungen (Heizung, Warmwasser, Kaltwasser usw.) von der Decke nicht ausreichend tief abgehängt, empfiehlt sich eine abgehängte Decke, die mit einer Stopfdämmung z. B. aus Mineralwolle ausgefüllt wird.

## Bodenplatte

Ist das Haus nicht unterkellert, was bei Altbauten sehr selten der Fall ist, oder soll ein Teil des Kellers (z. B. Treppenhaus) oder der gesamte Keller in die beheizte Hüllfläche einbezogen werden, so muss die Bodenplatte gedämmt werden. Bauphysikalisch richtig wäre eine Dämmung unter der Bodenplatte auf der kälteren Seite (Erdrreich), was im Bestand jedoch technisch unmöglich ist. In diesem Fall muss daher auf der Bodenplatte gedämmt werden.

Um möglichst wenig Raumhöhe zu verlieren, sollten wie bei der Kellerdecke Dämmstoffe mit einer möglichst niedrigen Wärmeleitfähigkeit eingesetzt werden. Trotzdem werden in fast allen Fällen einer nachträglichen Wärmedämmung der Bodenplatte die Passivhauswerte in Bezug auf den U-Wert nicht erreicht werden – mit einer Ausnahme, der Dämmung mit einer Vakuum-Isolations-Paneele (VIP).

Es handelt sich dabei um eine Vakuum-Dämmung. Ein Paneel besteht aus einer gasdichten Hülle (vakuumdichte Mehrschichtfolie, die metallisch bedampft ist) und einem druckstabilen Kern, der oft aus mikroporöser Kieselsäure besteht und evakuiert ist.

Vakuum bietet einen erheblich besseren Wärmeschutz als Luft (Beispiel: Thermoskanne). Eine VIP ist rund 5–10mal besser als ein üblicher Dämmstoff, denn sie hat nur eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,004$  bis  $0,008 \text{ W/(mK)}$ . Da nun statt z. B. 20 cm üblichem Dämmstoff mit  $\lambda = 0,040$  [ $0,20 / 0,040 = 5,00$ ] nun 2 cm mit  $\lambda = 0,004 \text{ W/(mK)}$  [ $0,02 / 0,004 = 5,00$ ] ausreichen, bietet sich die Vakuumdämmung überall dort zum Einsatz an, wo nicht genügend Platz für eine ausreichende Dämmstärke aus üblichem Dämmstoff ist.

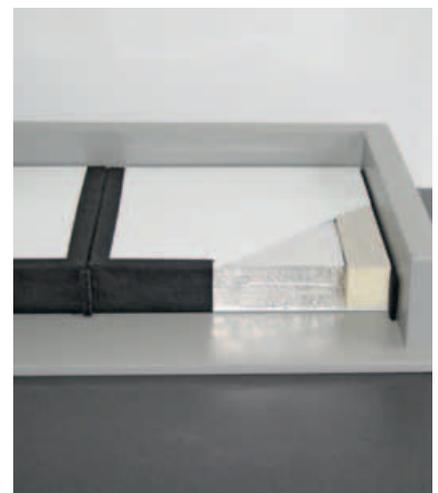
Bei der Dämmung der Bodenplatte wird dann z. B. der darüber vorhandene Zementestrich (ca. 5 cm) entfernt, eine Vakuumdämmung von 2 cm verlegt und darüber 3 cm neuer Estrich aufgebracht. Das hat den Vorteil, dass die ursprüngliche Bodenhöhe beibehalten werden kann und somit z. B. die Türen im Keller nicht gekürzt werden müssen.



Kellerdeckendämmung mit Einbeziehung von Rohrleitungen



Bodendämmung im Kellerflur in der Höhe der Treppenstufe



Bodenplattendämmung mit VIP-Elementen

### Oberste Geschossdecke

Je nach dem, wo sich bei einem Gebäude die obere Grenze der wärmeübertragenden Hüllfläche befindet, ist dieses Bauteil ebenfalls gut zu dämmen.

Entweder es handelt sich um die oberste Geschossdecke. Dann befindet sich darüber noch ein unbeheizter Dachraum. Die Wärmedämmung wird dann sinnvollerweise auf dieser Decke (auf der kälteren Seite) eingebracht. Wichtig für die Auswahl des Dämmstoffs ist dabei, ob die Decke begehrbar oder nicht begehrbar sein muss. Oft können dann schütt- oder einblasfähige Materialien eingesetzt werden.

### Flachdach

Ein Flachdach wird von außen von oben gedämmt.

Hier müssen dann Dämmstoffe eingesetzt werden, die u. a. druckfest und feuchteunempfindlich sind.

Je nach System sind zusätzliche Dichtungsbahnen unter- und oberhalb der Dämmung notwendig. Im Zuge der Flachdachsanierung kann es zudem sinnvoll oder sogar notwendig sein, zum wärmebrückenfreien Anschluss der Dach- an die Außenwanddämmung den Dachüberstand zu verlängern.

### Schrägdach

Wenn es sich um ein klassisches Schrägdach wie z. B. ein Satteldach aus Sparren handelt, sind verschiedenste Dämmstrategien denkbar. Sie reichen vom kompletten Dachneubau über die Verstärkung einer schon vorhandenen Zwischensparrendämmung innen und/oder außen bis hin zu einer Aufsparrendämmung.

Für die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten steht eine große Zahl von Dämmstoffen zur Verfügung. Die Auswahl wird vor allem unter Berücksichtigung konstruktiver Gesichtspunkte und im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz vorgenommen.

Eine Auswahl typischer Dämmstoffe:

Dämmstoff	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
Zellulose	0,040–0,045
Hanf	0,040–0,045
Holzweichfaser (WF)	0,040–0,050
Steinwolle (MF)	0,035–0,040
Glaswolle (MF)	0,031–0,040
Polystyrol (EPS)	0,031–0,040
Polystyrol (XPS)	0,036–0,042
Polyurethan (PU)	0,024–0,028
Phenolharzschaum (PF)	0,021–0,025



Obergeschossdecke vor



und nach der Einblas-Dämmung



Wärmedämmung des Flachdachs



Zwischensparrendämmung des Schrägdachs

### Sommerlicher Wärmeschutz

Eine gute Wärmedämmung sorgt dafür, dass die Wärme im Winter nicht von innen nach außen abfließt und umgekehrt im Sommer, dass die Hitze nicht so schnell von außen ins Gebäudeinnere gelangt und die Wohnbereiche extrem aufgeheizt. Besonders anfällig sind hier ausgebauter Dachgeschoss, da sie, wie auch Gebäude in Holzleichtbauweise, überwiegend aus Dämmstoff bestehen.

Als Maß für den sommerlichen Wärmeschutz wird die sog. Phasenverschiebung betrachtet. Sie ist der Zeitraum zwischen dem Auftreten der höchsten Temperatur auf der Außenoberfläche des Bauteils bis zum Erreichen der höchsten Temperatur auf der Innenseite. Das Durchwandern der Temperatur braucht Zeit. Je länger es dauert, umso größer ist die Phasenverschiebung und umso besser ist der Schutz vor Überhitzung auf der Innenseite.

Gerade bei der Dämmung von z.B. Schrägdächern sind dafür Dämmstoffe mit einer besonders hohen Wärmespeicherefähigkeit bzw. Wärmekapazität wichtig. Je höher die Wärmekapazität, desto länger dauert die Phasenverschiebung. Sie "puffert" die Wärme und gibt sie mit geringerer Temperatur und zeitlicher Verzögerung an den Innenraum ab. Hohe Wärmekapazitäten haben (schwere) Dämmstoffe mit einer hohen Rohdichte. Hier sind vor allem Zellulose und Holzweichfaser zu empfehlen, während z.B. die leichte Glaswolle mit einer geringeren Wärmekapazität einen schlechten sommerlichen Wärmeschutz bietet.

Eine wichtige Ergänzung für tatsächlich kühle Dachräume auch im Sommer besteht zusätzlich in der Verschattung der Dach(flächen)fenster. Sie müssen von außen z. B. durch Rollläden oder Jalousien gegen die Sonneneinstrahlung verschattet werden, sonst nützt auch die beste Phasenverschiebung bei den Dämmstoffen nichts.

## Fenster und Haustür

### Fenster/Fenstertür

Unverzichtbar für das Erreichen eines niedrigen Heizwärmebedarfs von  $\leq 25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bei der energetischen Modernisierung mit Passivhauskomponenten sind ganz entscheidend verbesserte Verglasungen, Glasabstandhalter und Rahmen bei gleichzeitig hohem Energiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung: Zielwert  $U_w$ -Wert  $\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Um diesen Wert zu erreichen, benötigt ein Fenster als Qualitätsstandard eine Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung, einen sehr gut gedämmten Rahmen und einen deutlich reduzierten Wärmeverlust am Glasrand durch einen thermisch optimierten Abstandhalter. Zur Erhöhung der solaren Wärmegewinne sollte das Wärmeschutzglas gleichzeitig einen hohen g-Wert haben.

Doch auch 17 Jahre nach Einführung der DIN EN ISO 10077-1 zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  von Fenstern scheint allgemein die Kenntnis über die einzelnen Faktoren und Zusammenhänge noch relativ gering zu sein. Wie sonst lässt es sich erklären, dass in aktuellen Ausschreibungen von Fensterfirmen und Architekten oder in Beschreibungen von Bauträgern und Immobilienverkäufern nur der Verglasungswert  $U_g$  angegeben wird – als das Merkmal für ein energieeffizientes Fenster.

Für den  $U_w$ -Wert wird neben dem Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_g$  der Verglasung sowie dem Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_f$  des Rahmens der lineare Wärmebrückenverlustkoeffizient  $\Psi_g$  für den Einbau der Verglasung im Rahmen benötigt. Der Fenster-U-Wert wird dann über die folgende Formel berechnet:  $U_w = [(U_g \times A_g) + (U_f \times A_f) + (l_g \times \Psi_g)] / (A_g + A_f)$ . Dabei sind  $A_g$  und  $A_f$  die jeweils zu berücksichtigenden Flächen und  $l_g$  die Länge des Abstandhalters, von dem der  $\Psi_g$ -Wert wesentlich abhängt.

### Verglasung $U_g$

Die Formel macht deutlich, dass sich allein mit der Angabe des  $U_g$ -Wertes die Wärmeverluste des gesamten Fensters und damit seine Effizienz nicht beschreiben lassen. Deshalb reicht diese bis heute bei Ausschreibungen, Angeboten oder Immobilienbewerbungen übliche Angabe alleine nicht aus.

### $U_g$ und g-Wert

Verglasungen bewirken nicht nur Wärmeverluste. Je nach dem Grad ihrer Energiedurchlässigkeit erzielen sie auch Wärmegewinne. Der g-Wert als sog. Gesamtenergiedurchlassgrad gibt den Anteil der einfallenden Sonneneinstrahlung an, der durch die Verglasung in das Rauminnere gelangt und während der Heizzeit zur (kostenlosen) Raumheizung genutzt werden kann. Deshalb sind der  $U_g$ - und der g-Wert vor allem bei den

3-fach-Wärmeschutzverglasungen immer zusammen zu planen. Ist der g-Wert niedrig, sind auch die passiv-solaren Wärmegewinne während der Heizzeit i. d. R. niedriger als die Wärmeverluste. Hersteller bieten hier „sowohl als auch“ an, wie die folgende Tabelle einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung eines Herstellers beispielhaft zeigt (4 = 4 mm Glasstärke; 12 = 12 mm Scheibenzwischenraum; Ar = Argon; Kr = Krypton):

	Typ A		Typ B		Typ C	
Aufbau	4-12-4-12-4		4-12-4-12-4		4-12-4-12-4	
Gasfüllung	Ar	Kr	Ar	Kr	Ar	Kr
Lichttransmission	71 %		58 %		74 %	
g-Wert	0,50		0,37		0,60	
$U_g$ -Wert	0,7	0,5	0,7	0,4	0,7	0,5

Der besonders niedrige  $U_g$ -Wert von  $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bei Typ B ist nur mit einem g-Wert von  $0,37$  (= 37 % Energiegewinn) zu haben, bei ebenfalls vergleichsweise niedriger Lichttransmission von 58 %. Letztere sollte aber z. B. für Wohngebäude mindestens 70 % betragen. Je nach Verglasung (Typ A oder C) werden  $U_g$ -Werte von  $0,5$  oder  $0,7$  mit einem g-Wert von immerhin  $0,50$  oder besserem  $0,60$  angeboten. Für hohe solar-passive Wärmegewinne muss hier das Typ C-Glas eingesetzt werden.

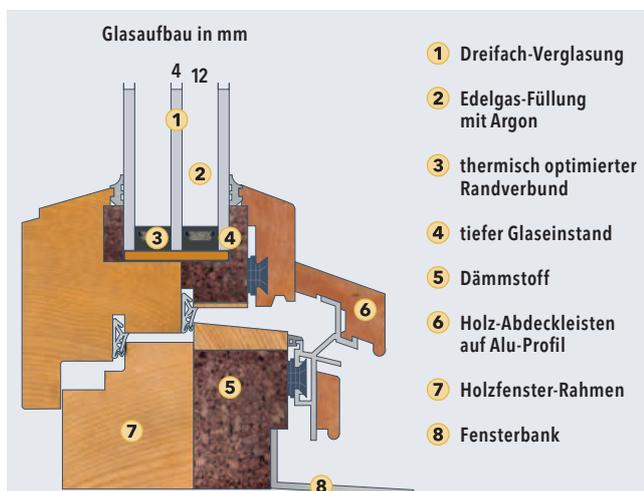
### Rahmen $U_f$

Die Bewertung der Energieeffizienz eines Fensters allein über den  $U_g$ -Wert vernachlässigt, dass etwa 28 bis 45 % der Fensteröffnung z. B. in einer Wand auf den Rahmen entfallen. Es wird noch immer unterschätzt, dass ein Viertel (bei großen Fenstern) bis fast die Hälfte (bei kleinen Fenstern) der Fensterfläche aus opakem (nicht lichtdurchlässigem) Rahmenmaterial besteht. Holz und Kunststoff beherrschen hier mit einem Anteil von über 80 % den Markt.

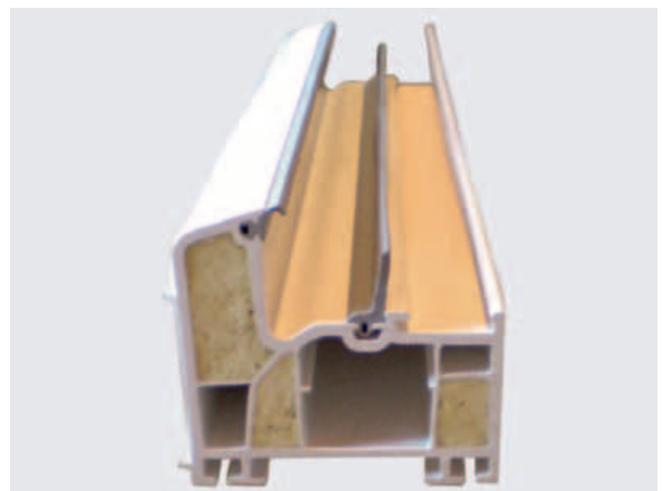
Die Rahmen-U-Werte erreichen mit  $U_f \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  erst dann die Glas-U-Werte von 3-fach-Verglasungen, wenn die Holz- oder Kunststoffprofile dämmtechnisch optimiert werden. Holzprofile erhalten dann z. B. zusätzliche Luftspalten oder werden mit einer zusätzlichen Vorsatzschale aus Hanf oder PU versehen. Alternativen bei Holzrahmen sind auch PU-Dämmkerne und bei Kunststoffrahmen PU-Füllungen der Kammern.

### Abstandhalter $\Psi_g$

Die dritte und sehr wesentliche Komponente für den  $U_w$ -Wert eines Fensters ist der Abstandhalter zwischen den Glasscheiben – der sog. Glasrandverbund. Unterschieden wird zwischen konventionellen und wärmetechnisch verbesserten Abstandhaltern, wobei erstere aus Aluminium oder Stahl noch immer



Schnitt durch ein qualitativ gutes Fenster



Schnitt durch einen gedämmten Kunststoffrahmen

den größten Marktanteil haben. Dabei verursacht gerade Aluminium mit seiner hohen Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 160 \text{ W/(mK)}$  einen hohen Wärmeverlust (Wärmebrücke). Sichtbar wird dieser Effekt schnell durch Kondensation der Raumluftfeuchte auf diesem kältesten Bereich eines Fensters – ein bei neuen (und teuren) Fenstern eigentlich untragbarer Zustand. Berücksichtigt wird der Wärmeverlust über den Wärmebrückenverlustkoeffizienten  $\psi_g$  und die Länge des Abstandhalters. Eine deutliche Verbesserung ist durch energetisch günstigere Abstandhalterprofile wie z. B. aus Edelstahl, Kunststoff oder Kautschuk zu erreichen. Solche Abstandhalter, welche die Wärmeleitung im Glasrandbereich verschlechtern und so für eine „warme Kante“ sorgen, werden wie die herkömmlichen Alu-Abstandhalter eingesetzt.

Ein für die energetische Modernisierung auf Passivhausniveau geeignetes Fenster mit einem  $U_w$ -Wert  $\leq 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  besteht deshalb aus einer Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit einem  $U_g < 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  bei einem gleichzeitig hohen g-Wert  $> 50\%$ , einem gedämmten Blend- und Flügelrahmen mit einem  $U_f < 0,80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  und einem thermisch optimierten Abstandhalter (warme Kante).

### Haustür

Im Modernisierungskonzept nicht zu vergessen ist in jedem Fall die Hauseingangstür. Sie ist meist eines der wärmedämmtechnisch gesehen schwächsten Bauteile. Oft besteht sie noch aus ungedämmten Alurahmen mit einfacher Drahtglasfüllung oder im besten Fall aus einem Holz- oder Kunststoffrahmen mit oder ohne eine Isolierglasfüllung. Der  $U_D$ -Wert, in diesem Fall mit dem Index D für Door (Tür) versehen, liegt im Bereich von etwa 3,5 bis 5,5  $\text{W/(m}^2\text{K)}$ .

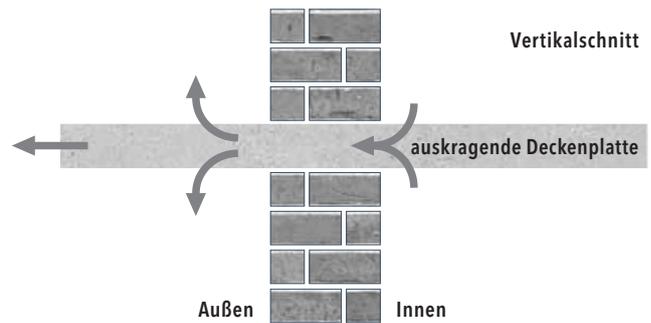
### Zielwert $U_D < 1,00 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Für eine Haustür sollte der Zielwert unterschritten werden, denn nur so erreicht auch dieses Außenbauteil einen den Fenstern ähnlichen niedrigen U-Wert. Auf dem Markt sind heute zahlreiche Anbieter von Holz- oder Kunststofftüren mit und ohne Dreifachverglasung, die je nach Türblattfüllung  $U_D$ -Werte für die Gesamttür von 0,58 bis 0,79  $\text{W/(m}^2\text{K)}$  erreichen. Die Füllung des Türblattes besteht dabei oft aus einem Dämmschaum (Purenit) oder auch aus einer Vakuumdämmung (z. B.  $U_D = 0,62 \text{ W/(m}^2\text{K)}$  bei 68 mm Blattstärke). Im Übrigen ist auch bei der Kellertür auf ein gut gedämmtes Element zu achten, falls sie als Bauteil zwischen beheiztem und unbeheiztem Bereich wirkt.

## Ausführungsdetails

### Wärmebrücken

Sie verbinden beheizte mit unbeheizten Gebäudeteilen oder der Außenluft. Dabei handelt es sich sehr vereinfacht gesagt um Energieschlupflöcher mit Bauschadenpotenzial, die im Vergleich mit der übrigen Gebäudehülle eine hohe Wärmeleitfähigkeit haben. Da Wärme immer den Weg des geringsten Widerstandes geht, sucht sie sich stets die Bauteile mit der höchsten Wärmeleitfähigkeit. Typisches Beispiel ist die auskragende Stahlbetondecke bei einem Balkon oder über der Haustüre, die im Vergleich mit der Mauer eine wesentliche höhere Wärmeleitfähigkeit hat.



Wärmebrückenwirkung eines Balkons

Technisch formuliert ist eine Wärmebrücke eine örtlich begrenzte Störung in (Außen)bauteilen, wo sich im Vergleich zu unmittelbar angrenzenden Bereichen ein veränderter (meist erhöhter) Wärmefluss einstellt (eine Temperaturdifferenz zwischen innen und außen vorausgesetzt).

Da die Wärme von innen nach außen abfließt, ist übrigens der Begriff „Kältebrücke“ in diesem Zusammenhang nicht richtig.

Wärmebrücken werden – wie bei den Fenstern – mit dem Koeffizienten  $\psi$  bezeichnet, der  $< 0,01 \text{ W/(mK)}$  sein sollte. Dieser Zielwert für Neubauten lässt sich bei der Modernisierung eines Altbaus i. d. R. nicht erreichen. Da die Auswirkung einer Wärmebrücke aber in einer teilweise deutlich verringerten inneren Oberflächentemperatur besteht, kann das im schlimmsten Fall zum Ausfall von Tauwasser (Wasserdampfcondensation) und damit zum Durchfeuchten von Bauteilen und zu Schimmelpilzwachstum führen. Außerdem wird dem Bewohner wesentlich mehr Strahlungswärme entzogen, was die Behaglichkeit beeinträchtigt.



Tauwasserausfall in Höhe des Abstandhalters



Türblattfüllung mit Purenit



Türblattfüllung mit VIP

Beispiele für typische konstruktive Wärmebrücken sind:

- Fensterbank und -sturz
- Auskragendes Vordach
- Balkon als auskragende Betonplatte
- Betonstütze oder Ringanker in der Außenwand
- Betondeckenaufleger

Wärmebrücken durch unsachgemäße Ausführung können entstehen, wenn z. B. die Dachdämmung nicht das gesamte Gefach füllt, bei Lücken in der Dämmung, bei mangelhaft ausgeführten Luftdichtungen oder bei Bauteilübergängen.

### Vermeidung/Reduzierung von Wärmebrücken

Durch gute Planung und Bauausführung können aber Wärmebrücken vermieden oder stark reduziert werden. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Falls an Bauteilanschlüssen unterschiedlich starke Dämmungen aneinander grenzen, sollten die Mittellinien der Dämmlagen ineinander übergehen. So wird z. B. das Fenster optimal im Zentrum der Außenwanddämmung eingebaut.
- Die Dämmstofflagen verschiedener Bauteile sollten an den Stoßstellen lückenlos ineinander übergehen, so z. B. die Dämmung der Dachschräge in die Dämmung der Außenwand.
- Ist die Wärmebrücke vielleicht auch vollständig zu vermeiden? Viele Balkone werden tatsächlich gar nicht mehr benötigt und können abgebrochen werden. Oder es wird ein neuer, von der Außenwand thermisch getrennter Balkon errichtet.

### Luftdichtheit des Gebäudes

Jedes Gebäude – erst recht ein sehr gut gedämmtes – setzt auch eine hohe Luftdichtheit der Gebäudehülle zum Schutz der Bausubstanz, zur Erzielung der Behaglichkeit, zur Sicherung der geplanten Energieeinsparung und zum Schutz der Bausubstanz voraus.

Ist ein Gebäude nicht luftdicht, kann je nach Luftdruckunterschied zwischen innen und außen 2–30 mal mehr Wärme verloren gehen als durch die gesamte gedämmte Fläche entweicht. Dies ist häufig ein schleichender Vorgang, der frühestens dann von Bauherren und Architekten bemerkt wird, wenn trotz bester Wärmedämmung die erhofften Energieeinsparungen nicht in vollem Umfang realisiert werden.

Folgen eines nicht luftdichten Gebäudes können sein:

- unbehagliche Zugluft (an windreichen Tagen wurde in Dachgeschoss ein Luftwechsel gemessen, der mehr als dem dreißigfachen des hygienisch notwendigen Luftwechsels entsprach)
- große Lüftungswärmeverluste (Energieverbrauch) durch austromende warme Raumluft
- Bauschäden durch Ausfall von Tauwasser (Konsequenzen: Holzfäule, Schädlingsbefall, Schimmelbildung).
- So kann im Vergleich zur Wasserdampfdiffusion z. B. über 1 m<sup>2</sup> Dachfläche durch eine 1 m lange und nur 1 mm breite Fuge die 1.000 bis 2.700-fache Wasserdampfmenge in kürzester Zeit in den Dachaufbau einströmen und dort Feuchteschäden verursachen.

### Luftdichte Ausführung

Luftdicht wird ein Gebäude dann, wenn die Dichtung als nicht unterbrochene Ebene das Gebäude innen vollständig umschließt, um Luftströmungen von innen nach außen zu verhindern. Dazu wird eine Luftdichtung stets auf der warmen Seite eines Bauteils (innen) montiert und übernimmt beim Dach oft auch die Funktion einer Dampfbremse. Bei einer Außenwand bildet der Innenputz bereits eine gute Luftdichtung.

Schwachpunkte sind wie bei den Wärmebrücken alle Übergänge von einem auf ein anderes Bauteil (z. B. Fenster an Wand oder Dach an Außenwand), mangelnde Verklebungen von Luftdichtungen (z. B. Folien, Baupapier oder Holzwerkstoffplatten) untereinander sowie alle Durchdringungen von innen nach außen (u. a. Steckdosen, Kamin, Antennenmast, Heizungs-, Wasser- und Abwasserrohre, Installationsschächte oder Türen).

Bei der Planung und unbedingt bei der Ausführung durch die Handwerker ist deshalb auf eine luftdichte Gebäudehülle größten Wert zu legen. Entsprechende Materialien und Ausführungshinweise sind zahlreich und bewähren sich seit langem. Die Überprüfung der Luftdichtheit ist vergleichsweise einfach. Es wird eine Blower-Door-Messung durchgeführt, die mögliche Lecks aufspürt. Die Messung und die einzuhaltenden Werte für die Luftdichtheit des Gebäudes werden auf Seite 14 beschrieben.

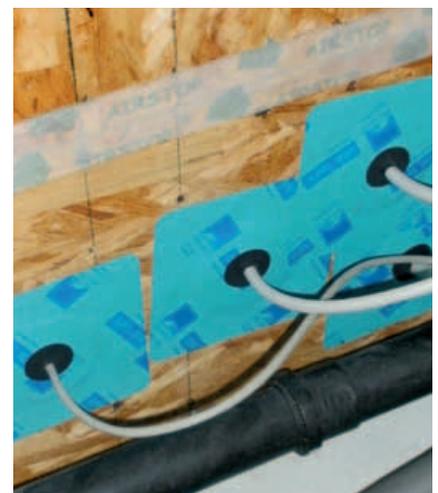
Schließlich ist eine gute Luftdichtheit auch eine wichtige Voraussetzung für die Funktion der stets notwendigen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Unkontrollierte Luftströme sind nicht erwünscht, da sie die Leistungsfähigkeit der Anlage spürbar verringern.



Vorher: auskragendes Vordach



Nachher: Vermeidung der Wärmebrücke



Luftdichte Durchführung von Elektrokabeln

## Nachweisverfahren

### PHPP (Passivhaus-Projektierungs-Paket)

Beim PHPP handelt es sich um Excel-basiertes Programm, das seit 1998 auf dem Markt ist und fortlaufend anhand von Messwerten und Forschungsergebnissen validiert und erweitert wird. Im Förderprogramm zur energetischen Modernisierung mit Passivhauskomponenten ist der Grenzwert für den Heizwärmebedarf von 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) vor allem mit diesem Programm zu berechnen und nachzuweisen.

Mit Hilfe des PHPP wird eine Energiebilanz aufgestellt und der jährliche Energiebedarf eines Gebäudes ermittelt.

Die wesentlichen Ausgaben des Programms sind:

- Jährlicher Heizwärmebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- Jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/(m<sup>2</sup>a)]
- Heizlast [W/m<sup>2</sup>]

Das PHPP ist ein Planungswerkzeug, mit dem Architekten und Fachplaner einen Passivhausneubau oder ein Modernisierungsprojekt fachgerecht planen und optimieren können. Mit dem PHPP wird das gesamte Gebäude als Einheit behandelt, inklusive der Lüftung und der übrigen Haustechnik. Das Handbuch zum PHPP gibt über die Standardhilfen hinaus zahlreiche Tipps für eine optimierte Anordnung von Bauteilen (luftdicht, wärmebrückenfrei und kostengünstig), für den Planungsablauf und für die Qualitätssicherung.

Das PHPP ermöglicht demnach u. a. die

- Planung von einzelnen Komponenten (Bauteilaufbauten inkl. U-Wert Berechnung, Fensterqualitäten, Verschattung, Komfortlüftung, ...) und ihr Einfluss auf die Energiebilanz im Winter und im Sommer
- Auslegung der Heiz- und Kühllast
- Auslegung der gesamten Haustechnik: Heizung, Kühlgeräte und Warmwasserbereitung
- Nachweis der Energieeffizienz des Gebäudekonzepts.

Aktuell liegt das PHPP als Version 9 mit u. a. folgenden Ergänzungen vor:

- Möglichkeit der Eingabe von Entwurfsvarianten und Sanierungsschritten für gesamte Gebäude oder Gebäudekomponenten sowie deren Vergleich im Hinblick auf den Energiebedarf und die Wirtschaftlichkeit
- Unterstützung der Dateneingabe durch Fehlermeldungen sowie durch Warn- und Plausibilitätshinweise
- Erhebliche Erweiterung der Eingabeoptionen für die Berechnung von Verteilverlusten bei Heizungs- oder Warmwasserleitungen

Energiebezugsfläche:	137,2	m <sup>2</sup>
Verwendet:	Monatsverfahren	
<b>Energiekennwert Heizwärme:</b>	<b>24</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>Drucktest-Ergebnis:</b>	<b>0,9</b>	<b>h<sup>-1</sup></b>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung, Kühlung, Hilfs- u. Haushalts-Strom):	<b>126</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung und Hilfsstrom):	<b>87</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> Einsparung durch solar erzeugten Strom:		<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>Heizlast:</b>	<b>20</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>
<b>Übertemperaturhäufigkeit:</b>	<b>2 %</b>	
<b>Energiekennwert Nutzkälte:</b>		<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>
<b>Kühllast:</b>	<b>10</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>

Auszug aus dem Ergebnisblatt PHPP

### Blower-Door-Messung

Mit ihr steht ein standardisiertes Messverfahren zur Verfügung, die Luftdichtheit eines Gebäudes quantitativ zu erfassen. Sie ist in der Norm DIN EN 13829:2001-02 „Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden“ definiert.

Mit der Blower-Door-Messung wird ermittelt, wie oft das Luftvolumen des Gebäudes bei einer bestimmten Druckdifferenz zur Außenluft pro Stunde ausgetauscht wird. Um diesen Differenzdruck aufzubauen, wird in eine offene Außentür ein Rahmen eingesetzt, der mit einer Folie bespannt ist, in der sich ein Ventilator befindet. Seine Drehzahl wird so gewählt, dass sich der gewünschte Druck einstellt. Dann wird der vom Ventilator geförderte Luftmassenstrom gemessen. Er ist genauso groß wie der Massenstrom, der gleichzeitig durch die Undichtheiten der Gebäudehülle strömt. Somit ist er ein Maß für die Luftdurchlässigkeit.

Die Messung wird bei Unter- und Überdruck bei unterschiedlichen Differenzdrücken (10–100 Pascal) durchgeführt. Durch eine Ausgleichsrechnung erhält man dann den Volumenstrom bei 50 Pascal (Pa), der auch Leakagestrom genannt wird.

Dividiert man den Leakagestrom durch das lichte Volumen des Gebäudes, ergibt sich die Luftwechselrate  $n_{50}$  bei 50 Pa, die je nach Anforderung nachgewiesen werden muss:

- Anforderung Neubau Passivhaus:  $n_{50} < 0,60 \text{ h}^{-1}$
- Anforderung Förderprogramm:  $n_{50} \leq 1,00 \text{ h}^{-1}$

Die Messung ist gemäß Norm durchgeführt, wenn die Gebäudehülle fertig gestellt ist. Nachbesserungen (Leckagedichtungen) sind allerdings nur dann mit geringerem Aufwand möglich, wenn die Luftdichtung noch zugänglich ist.

### Wie viel sind 50 Pa?

Der Druck ist so klein, dass am Gebäude keine Schäden zu befürchten sind. Es kann vorkommen, dass Folienverklebungen aufreißen; aber in einem solchen Fall war die Verklebung ohnehin nicht ausreichend und wäre auch ohne diese Luftdichtungsprüfung früher oder später aufgegangen. Ein Druck von 50 Pa entspricht dem Staudruck von Wind mit 33 km/h bzw. 9 m/s bzw. Windstärke 5.

### Leckagesuche

Während die Druckdifferenz aufgebaut ist, können Leckstellen in der Gebäudehülle leicht gefunden werden. Es zieht sozusagen durch alle Ritzen. Lecks werden vor allem an Fugen, Anschlüssen und Durchdringungen mit der bloßen Hand oder mit einem Luftgeschwindigkeitsmesser (Thermoanemometer) abgesehen.

Bei kalter Witterung können sie in einem beheizten Gebäude auch mit einer Thermografiekamera lokalisiert und dokumentiert werden. Seltener werden Rauchröhrchen eingesetzt.



Vorbereitung einer Blower-Door-Messung

## Lüftung und Wärmeversorgung

### Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Unser Wohlbefinden, unser Leistungsvermögen sowie unsere Gesundheit hängen von allem von einer guten Raumluftqualität ab, weshalb gut gelüftet werden muss. In Wohngebäuden reicht als sog. hygienischer Mindestluftwechsel eine Luftwechselrate  $n$  von  $0,5 \text{ h}^{-1}$  aus; d. h. durchschnittlich alle zwei Stunden ist eine Komplettlüftung erforderlich.

Da wir uns ca. 90 % unserer Zeit in Räumen aufhalten, kann deren Lüftung heute aber nicht mehr dem Zufall (oder der Zufallslüftung über Fenster) überlassen bleiben. Im Altbau ist vor allem durch undichte Fenster ein unkontrollierter, meist von den Windverhältnissen abhängiger Luftaustausch gewährleistet, der für die Raumluftqualität ausreicht oder oft auch zu hoch ist. Durch die beschriebene luftdichte Ausführung der Gebäudehülle genügt es nun nicht mehr, nur bei spürbar „schlechter“ Luft die Fenster zu öffnen oder mit einer dauernden Kippstellung der Fenster in einzelnen Räumen die teure Heizwärme ungenutzt nach draußen zu lüften.

### Kontrollierte Wohnungslüftung (Frischluftsystem)

Aus hygienischer und energetischer Sicht hat die Lüftung heute einen Stellenwert erreicht, der ebenso hoch ist wie der der Beheizung oder der Wasserversorgung. Stand der Technik ist eine ventilatorgestützte Lüftung als Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) in zentraler Ausführung. Sie zieht verbrauchte Raumluft dort ab, wo sie anfällt: Aus WC, Bad und Küche wird die Luft abgesaugt. In Wohn- und Schlafzimmern strömt die frische Außenluft zu.

Zielwerte: Wärmerückgewinnungsgrad  $\eta > 75 \%$  bei niedrigem Stromverbrauch ( $< 0,4 \text{ Wh/m}^3$ )

Ab- und Zuluft werden dabei jeweils über ein eigenes Kanalsystem zu einem Wärmeübertrager transportiert, in dem bis zu 90 % des Wärmeinhalts der Abluft für die Vorwärmung der Frischluft zurück gewonnen werden. Damit die Volumenströme für eine optimale Wärmeübertragung auch gleichmäßig hoch sind, ist eine gute Luftdichtheit des Gebäudes eine wichtige Voraussetzung. Die beiden regelbaren Ventilatoren für Ab- und Zuluft und der Wärmeübertrager für die WRG sind in einem zentralen Gerät untergebracht, über das auch die hygienisch notwendige Luftwechselrate eingestellt wird. Da Abluft- und Frischluftstrom getrennt sind, findet weder eine Vermischung noch eine Geruchsübertragung statt. Ein solches Frischluftsystem garantiert nicht nur eine sehr gute Raumluftqualität. Mit dieser Anlage wird eine so hohe Einsparung beim Lüftungswärmeverlust realisiert, dass erst mit dieser Anlage der Zielwert für den Heizwärmebedarf von  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bei der Modernisierung bzw.  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  beim Neubau erreicht werden kann.

### Einbauoptionen

Hier ist eine sorgfältige Anlagenplanung notwendig, welche die örtlichen Gegebenheiten berücksichtigt, um die Lage des Lüftungsgerätes und die Installation der Kanäle zu optimieren. Dabei ist auf möglichst kurze Leitungswege und einen guten Schallschutz zu achten. In Wohnungen besteht eine sinnvolle Lösung in der Montage von Lüftungsgerät und Kanälen sowie Schalldämpfern (bei Verrohrung mit Abzweigungen je einer pro Raum) innerhalb einer abgehängten Decke. Bei Einfamilienhäusern ist entweder im Dach- oder im Kellergeschoss ausreichend Platz für das zentrale Lüftungsgerät. Die Leitungsführung der Kanäle ist innerhalb und außerhalb des Gebäudes möglich, wobei bei einer Sternverrohrung (je Raum ein eigener Kanal) ein Schalldämpfer nur im Lüftungsgerät ausreicht.

### Wärmeversorgung

Im Förderprogramm zur energetischen Modernisierung mit Passivhauskomponenten werden keine Anlagen zur Wärme- und Warmwasserversorgung gefördert. Dennoch sollen abschließend ein paar Hinweise gegeben werden.

Durch die beschriebenen Maßnahmen zur energetischen Modernisierung sinkt nicht nur der Heizwärmebedarf auf max.  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ , auch die für die Dimensionierung des Wärmeerzeugers erforderliche Heizlast wird extrem gering. Benötigt ein Altbau bei z. B.  $200 \text{ m}^2$  Wohnfläche noch eine Kesselleistung von  $24.000 \text{ W}$  ( $200 \text{ m}^2 \times 120 \text{ W}/\text{m}^2$ ) bzw.  $24 \text{ kW}$ , reicht nach der Modernisierung vermutlich eine Leistung von ca.  $5.000 \text{ W}$  ( $200 \text{ m}^2 \times 20 \text{ W}/\text{m}^2$ ) bzw.  $4 \text{ kW}$  selbst bei einer Außentemperatur von  $-12^\circ\text{C}$  zur Beheizung aller Räume aus. Ein genaues Ergebnis liefert hier die Heizlastberechnung durch den Planer oder Installateur.

Welche Art von Wärmeerzeuger gewählt wird, hängt von den jeweiligen Verhältnissen vor Ort ab. In Frage kommen u. a.

- Gas-Brennwertkessel
- Pelletofen oder -kessel
- Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Fern- oder Nahwärmeanschluss

Da es Ölkessel nicht kleiner als etwa  $13 \text{ kW}$  gibt, ist die Überdimensionierung so groß, dass diese Art der Wärmeerzeugung nicht beibehalten werden sollte.

Nicht nur der bisherige Heizkessel ist nun überdimensioniert, auch die i. d. R. vorhandenen Heizkörper sind jetzt deutlich zu groß. Sie können aber beibehalten werden, da ein Raum bei sehr kleiner Heizlast und großer Wärmeabgabefläche hervorragend mit niedrigen Heizwassertemperaturen (Vor- und Rücklauf) versorgt werden kann – die ideale Voraussetzung für Brennwertkessel und Wärmepumpen. Ganz wichtig und beim Einbau neuer Wärmeerzeuger ohnehin vorgeschrieben: Es muss ein hydraulischer Abgleich durchgeführt werden.



Lüftungsanlage in einem Zweifamilienhaus



Wohnungslüftungsanlage über der Küchenzeile im Mehrfamilienhaus



Zentrale Lüftungsanlage in einer Schule

## Erfahrungen aus den Fördervorhaben

Seit dem Jahr 2008 fördert das Land Hessen die energetische Modernisierung von Gebäuden mit Passivhauskomponenten und zielt im Ergebnis damit auf eine Modernisierung ab, die deutlich über die gesetzlichen Mindestanforderungen hinausgeht.

Im Folgenden wird eine Übersicht über die bisher geförderten Gebäude gegeben. Insbesondere wird darin überprüft, ob der Heizwärmeverbrauch nach der Modernisierung den rechnerisch ermittelten niedrigen Bedarfswert aus der Planungsphase einhält. Dazu wurde der Heizwärmeverbrauch der modernisierten Gebäude über einen Zeitraum von zwei Jahren systematisch erfasst.

### Anzahl und Typen der geförderten Gebäude

Insgesamt wurde für 70 Gebäude ein Förderantrag gestellt. Es sind kleine und große Wohngebäude sowie ausgewählte Nichtwohngebäude vertreten. Zur besseren Übersicht können die Gebäude in folgende drei Typen zusammengefasst werden:

#### Kleine Wohngebäude (38 Fördervorhaben)

Einfamilienhäuser

Zwei- und Dreifamilienhäuser

Reihenendhäuser

Reihenmittelhäuser

#### Große Wohngebäude (26 Fördervorhaben)

Gebäude mit 4 bis 48 Wohnungen

#### Nichtwohngebäude (6 Fördervorhaben)

Schulen

Bürogebäude

Verwaltungsgebäude

### Baualtersklassen

Das Alter der Gebäude bildet bei der Entscheidung für eine umfassende (energetische) Modernisierung ein wichtiges Merkmal. In jeder Bauepoche lassen sich allgemein übliche Konstruktionsweisen oder auch typische Bauteilflächen finden, die den Heizwärmebedarf deutlich beeinflussen und vor einer energetischen Modernisierung wesentlich den Wärmeverlust bestimmen. Die folgende Abbildung zeigt die Zuordnung der geförderten Gebäude zu typischen Baualtersklassen. Der überwiegende Teil der Gebäude wurde in den sechziger Jahren errichtet, es sind jedoch auch Gebäude verschiedener anderer Baualtersklassen vertreten.

Die Verteilung der Gebäude auf Baualtersklassen spiegelt die bestehende hessische Baualtersklassen-Struktur wider, denn knapp die Hälfte aller Bestandsgebäude in Hessen fällt derzeit in die Baujahre 1950 bis 1979.

Die Abbildung zeigt darüber hinaus, dass für Gebäude verschiedener Baualtersklassen das Angebot des Landes Hessen, einen monetären Zuschuss für die Modernisierung zu erhalten, kaum in Anspruch genommen wurde. Eigentümer von Gebäuden, die vor 1918 errichtet wurden, scheuen vermutlich aufgrund der sensibleren Bausubstanz eine umfassende energetische Modernisierung oder halten das angestrebte energetische Niveau für nicht erreichbar. Demgegenüber schätzen wohl Eigentümer von Gebäuden, die nach 1995 errichtet wurden, aufgrund eines noch nicht anstehenden Sanierungszyklus eine energetisch optimierte Modernisierung mit passivhaus-tauglichen Komponenten als nicht zweckmäßig ein.

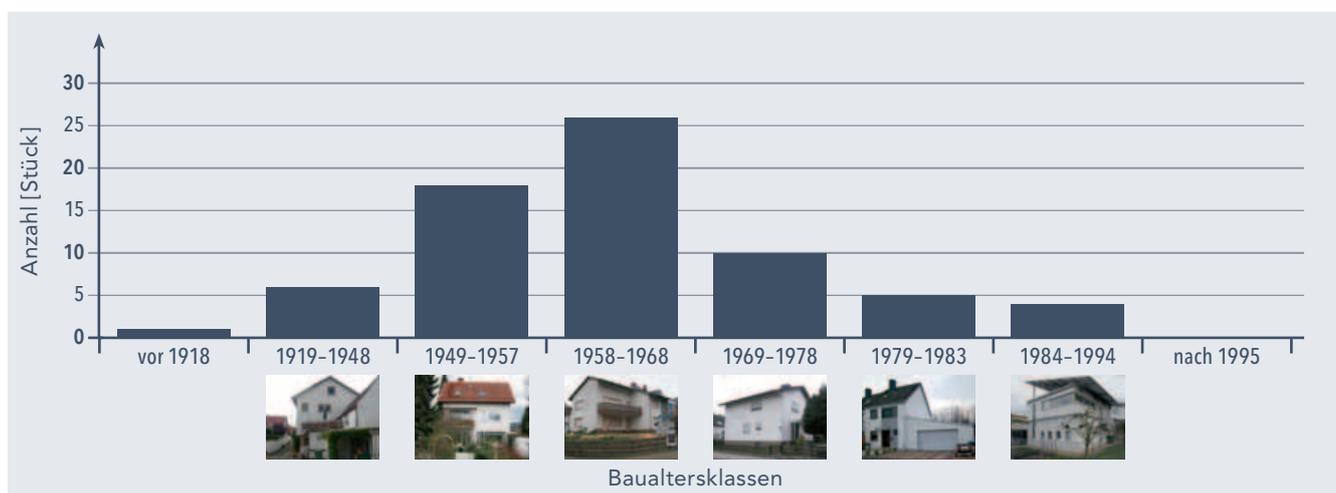
Im Ergebnis ist festzustellen, dass umfassende energetische Modernisierungsmaßnahmen unter Verwendung passivhaus-tauglicher Komponenten in verschiedenen Gebäudetypen und Baualtersklassen erfolgreich realisierbar sind.

### Auswertung des gemessenen Heizwärmeverbrauchs

Der Heizwärmebedarf wurde im Zuge der Planung der Modernisierungsvorhaben rechnerisch mit Hilfe des Passivhausprojektierungspakets (PHPP) ermittelt. Die zentrale Anforderung im Rahmen der finanziellen Unterstützung durch das Land Hessen ist, dass dieser Kennwert, der unter der Annahme standardisierter Randbedingungen berechnet wird, 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) nicht überschreiten darf.

Der gemessene Heizwärmeverbrauch eines Gebäudes nach der Umsetzung von Modernisierungsmaßnahmen wird auch durch Faktoren beeinflusst, die nicht unmittelbar in die berechnete Energiebilanz eingegangen sind. Zu nennen sind hier beispielsweise die Witterung in der jeweiligen Heizperiode, die tatsächliche Nutzung des Gebäudes (Anzahl der Personen), die eingestellte Raumtemperatur oder der tatsächliche Luftwechsel. Darüber hinaus ist der reale Heizwärmeverbrauch abhängig von der Qualität der Bauausführung. Zum Erhalt praxisrelevanter Daten ist deshalb eine Auswertung gemessener Verbrauchswerte erforderlich.

Die Heizwärmeverbräuche in 35 hessischen Förderprojekten wurden von den Zuwendungsempfängern über einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren nach der energetischen Modernisierung erfasst und dem Hessischen Wirtschaftsministerium für eine Auswertung zur Verfügung gestellt.



Verteilung der Gebäude auf Baualtersklassen

### Eingesetzte Wärmeerzeuger

Auch in einem mit Passivhauskomponenten modernisierten Gebäude ist – trotz effizienter Nutzung der internen und solaren Wärmegewinne sowie der Wärmerückgewinnung mittels kontrollierter Lüftungsanlage – zur Deckung des (Rest-)Wärmebedarfs eine Wärmeerzeugungsanlage notwendig.

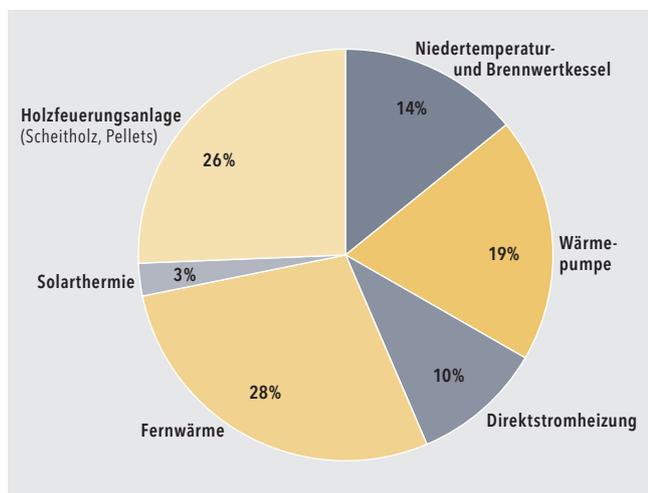
Charakteristisch für ein energetisch optimiertes Gebäude ist, dass der Bedarf für die Restheizwärme nach der Modernisierung sehr gering ausfällt. Deshalb wurde überwiegend das bestehende (überdimensionierte) Heizungssystem durch ein neues, den Anforderungen entsprechendes Heizungssystem ersetzt. Meist wurde auch aufgrund des ohnehin anstehenden Modernisierungszyklus in einen neuen Wärmeerzeuger investiert. Die nachfolgende Abbildung zeigt die verschiedenen Wärmeerzeuger und deren prozentualen Anteil an der Gesamtheit der installierten Anlagen.

Auffallend ist die Vielfalt der eingesetzten Wärmeerzeuger, wobei kein System signifikant bevorzugt eingesetzt wird. Häufig werden Biomassefeuerungsanlagen eingesetzt; sie werden als zentrale Heizungsanlagen oder Direktöfen (sekundäre Heizquelle) betrieben. Wärmepumpen werden überwiegend als Luft-/Wasser-Wärmepumpe und in wenigen Fällen als Sole-/Wasser-Wärmepumpe ausgeführt. Nennenswert ist auch der Anteil an Gebäuden, die über Direktstromheizungen mit Heizwärme versorgt werden. Die Beheizung mit elektrischer Energie kann dabei auf zwei Arten erfolgen: Entweder als sekundäres Heizsystem über im Zuluftstrang der Lüftungsanlage verbaute Heizregister oder als monovalentes System über eine Fußbodenheizung bzw. mittels Infrarotheizkörpern. In einigen Fällen wurden auch bestehende, funktionstüchtige Brennwert- oder Niedertemperaturkessel weiterbetrieben, die jedoch nur einen vergleichsweise niedrigen Jahresnutzungsgrad erreichen. Große Wohngebäude werden überwiegend über bestehende Anschlüsse an ein Fernwärmenetz versorgt.

### Verwendete Messeinrichtungen

Die systematische Erfassung des Heizwärmeverbrauchs ist, unabhängig vom energetischen Standard, für jedes Gebäude sinnvoll. Erst hierdurch bietet sich die Möglichkeit, den rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarf mit den gemessenen Verbrauchswerten zu vergleichen.

Ein Konzept zur Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs kann je nach Art der Wärmeversorgung unterschiedlich ausfallen. Überwiegend wurden Wärmemengenzähler eingesetzt, insbesondere bei der Fernwärmeversorgung oder dem Einsatz von Wärmepumpen. Diese geben den Energieverbrauch in Kilowattstunden (kWh) aus. Als weniger präzise Alternative dazu findet sich die Brennstoff-Verbrauchsmessung bei erdgas- oder ölbefeuerten Anlagen und bei Pellet- bzw. Scheitholz-



Typen der Wärmeerzeuger

lagen wieder. Hierbei wird der Heizwärmeverbrauch unter Berücksichtigung der Brennstoffmenge, des Energieinhalts und des Jahresnutzungsgrads der Heizungsanlage ermittelt. Eine präzise Verbrauchserfassung findet bei Stromdirektheizungen statt, bei denen über einen Stromzähler die elektrische Energie erfasst wird.

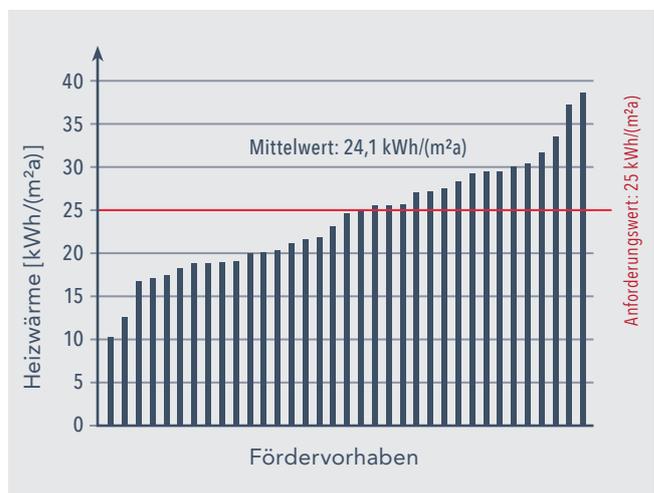
Die vorliegende Auswertung hat die Ermittlung des Heizwärmeverbrauchs für die untersuchten Gebäude zum Ziel. Da der Warmwasserverbrauch keinen entscheidenden Einfluss auf die energetische Qualität eines Gebäudes hat, bleibt dieser deshalb in der Auswertung unberücksichtigt. Je nach eingesetzter Messeinrichtung war deshalb erforderlich, dass der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitstellung abgezogen wird.

Da die Verbrauchswerte stark witterungsabhängig sind, können die erfassten Heizwärmeverbräuche nicht zwangsläufig als repräsentativ für den langjährigen Mittelwert des jeweiligen Standorts gelten. Somit wurde für die jeweiligen Betrachtungsjahre eine Witterungsberichtigung auf Grundlage der Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes vorgenommen. Dadurch werden die gemessenen Heizwärmeverbrauchswerte eher mit den berechneten Heizwärmebedarfswerten vergleichbar.

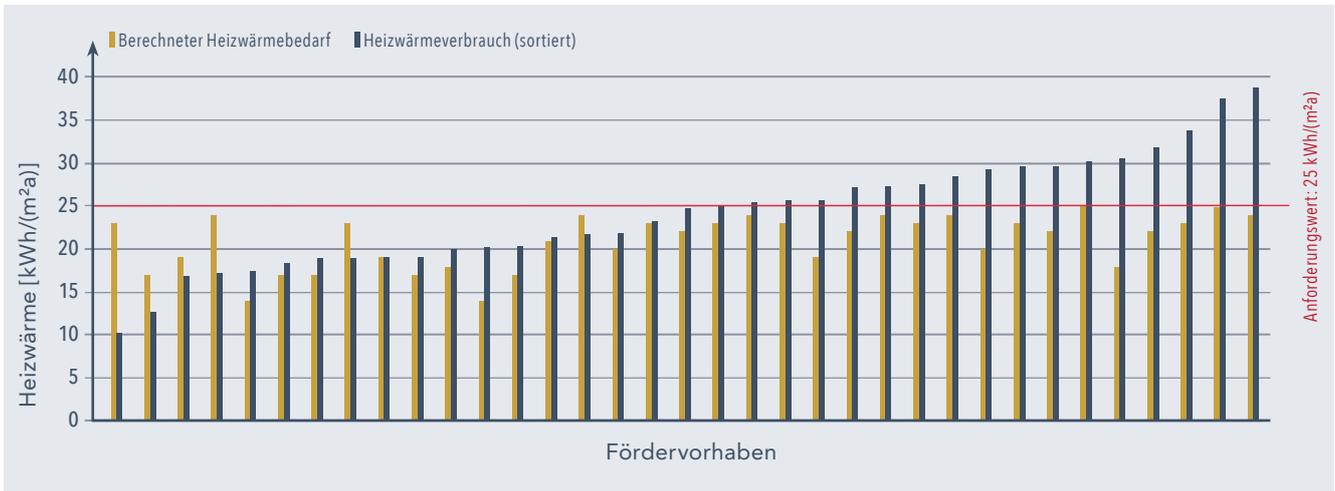
### Vergleich von Heizwärmeverbrauch und -bedarf

Die untenstehende Abbildung zeigt 35 ausgewertete Fördervorhaben, nach der Höhe ihres spezifischen Heizwärmeverbrauchs aufsteigend geordnet. Aus dieser Abbildung wird die Streuung der gemessenen spezifischen Verbrauchswerte ersichtlich, deren Mittelwert 24,1 kWh/(m²a) beträgt. Somit wurde im Mittel der spezifische energetische Anforderungswert aus dem Förderprogramm eingehalten.

Im Diagramm »Heizwärmeverbrauch und Heizwärmebedarf« (nächste Seite, oben) wird jeweils dem gemessenen mittleren Heizwärmeverbrauch der berechnete Heizwärmebedarf gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt, dass gegenüber den rechnerisch ermittelten Ergebnissen des Heizwärmebedarfs der überwiegende Teil der Gebäude durch einen etwas höheren tatsächlichen Heizwärmeverbrauch gekennzeichnet ist. Die Abweichungen vom Heizwärmebedarf betragen bis zu 14,8 kWh/(m²a), in einigen Fällen wurde der berechnete Heizwärmebedarf jedoch auch um bis zu 12,7 kWh/(m²a) unterschritten. Im Mittel wurde im Zuge der energetischen Berechnung der 35 ausgewerteten Fördervorhaben ein mittlerer Heizwärmebedarf in Höhe von 21,2 kWh/(m²a) nachgewiesen. Der absolute Mehrverbrauch gegenüber dem berechneten Bedarf beträgt im Mittel 3 kWh/(m²a) und ist somit gering.



Gemittelter gemessener Heizwärmeverbrauch



Heizwärmeverbrauch und Heizwärmebedarf

### Energetische Einordnung der geförderten Gebäude

Die unten links stehende Abbildung zeigt den Heizwärmeverbrauch der modernisierten Gebäude gegenüber dem Heizwärmebedarf von Neubauten nach den gesetzlichen Mindeststandards der Energieeinsparverordnung (EnEV). Es ist erkennbar, dass die mit Passivhauskomponenten modernisierten Gebäude einen weitaus geringeren Heizwärmeverbrauch aufweisen, als EnEV-Neubauten voraussichtlich benötigen würden.

Durch den Vergleich mit dem Heizwärmebedarf eines EnEV-Neubaus wird deutlich, dass die Schwankungen des Heizwärmeverbrauchs der geförderten Gebäude sehr viel weniger ins Gewicht fallen, als in der vorherigen Darstellung.

Noch deutlicher wird der Erfolg der Modernisierung bei einer Gegenüberstellung des Heizwärmeverbrauchs der Vorhaben mit typischen Energiekennwerten nicht modernisierter Gebäude aus den Baujahren der Objekte. Die Schwankungsbreiten fallen nun noch weniger ins Gewicht (Abbildung »Vergleich Heizwärmeverbrauch mit dem Gebäudebestand«).

### Heizwärmeverbrauch in Mehrfamilienhäusern

Auch für Mehrfamilienhäuser (MFH) kann die energetisch optimierte Modernisierung – insbesondere durch die finanzielle Unterstützung des Landes Hessen – eine lohnende Maßnahme zur Energie(kosten)einsparung darstellen. Eine Vielzahl verschiedener MFH wurde und wird mit passivhaustauglichen Komponenten energetisch modernisiert. Sämtlichen bisher ausgewerteten Objekten ist gemein, dass der in der Planungsphase berechnete Heizwärmebedarf mit geringfügigen Abweichungen nach der energetischen Modernisierung erreicht wird.

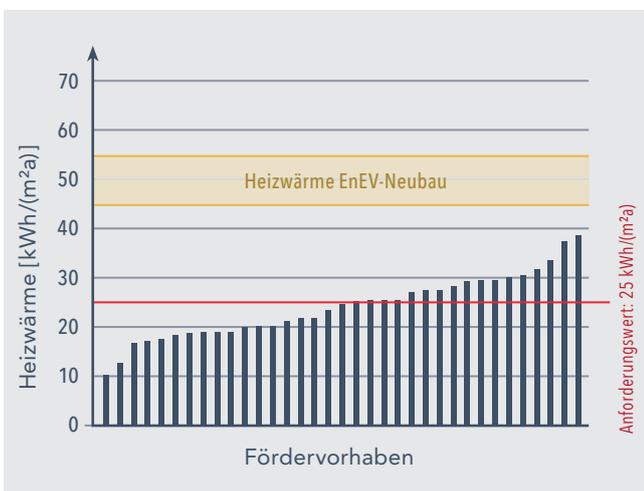
Einzelauswertungen von mehreren Wohnungen in einem einzelnen Gebäude zeigen aber auch die typischen Schwankungsbreiten um den Mittelwert bei statistischen Auswertungen. Die Abbildung auf Seite 19 »Heizwärmeverbrauch einzelner Wohnungen in einem MFH« verdeutlicht, dass trotz ähnlicher baulicher und anlagentechnischer Voraussetzungen wohnungsweise sehr unterschiedliche Ergebnisse auftreten. Hier werden die über drei Jahre gemittelten Heizwärmeverbräuche einzelner Wohnungen eines zum Passivhaus im Bestand modernisierten Mehrfamilienhauses mit 12 Wohneinheiten dargestellt.

### Dauerhaftigkeit eingesetzter Passivhauskomponenten

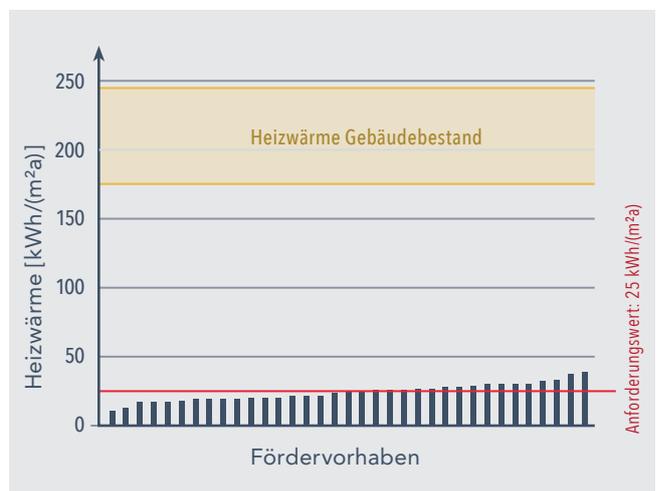
Um langfristig von der Energieeinsparung, dem Wohnkomfort und der Bauschadenfreiheit bei einer energetischen Modernisierung mit Passivhauskomponenten zu profitieren, ist die dauerhafte Funktionsfähigkeit der eingesetzten Baustoffe und Anlagentechnik erforderlich. Das Passivhaus Institut aus Darmstadt hat über den Zeitraum von 25 Jahren messtechnisch an dem ersten errichteten Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein nachgewiesen, dass die verbauten Passivhauskomponenten ihre Funktionsfähigkeit über die Jahre bewahrt haben.

Der Heizwärmeverbrauch stellt den wesentlichen Indikator für die thermische Qualität des Gebäudes dar. Die Untersuchungen belegen, dass der Heizwärmeverbrauch seit 1992 tatsächlich dem seinerzeit prognostizierten Wert entspricht.

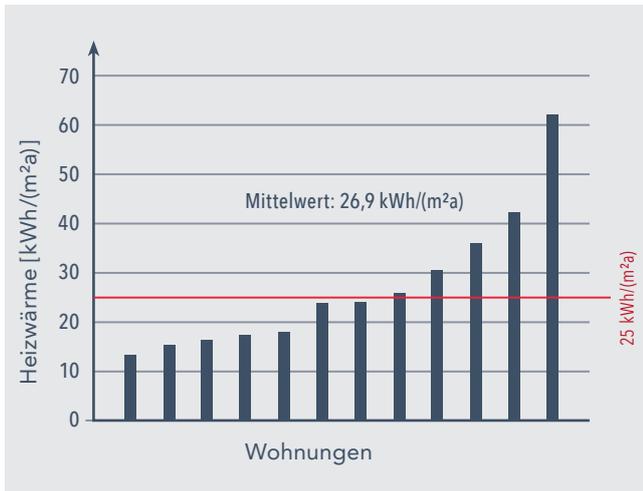
Eine Voraussetzung für diese sehr guten Ergebnisse ist der unveränderte Zustand der energierelevanten Bauteile. Für die messtechnische Zustandskontrolle wurden u.a. Dämmstoffproben aus den Hüllflächen entnommen und die Gebäudedichtheit geprüft. Die Dämmung der Außenwand und des Dachs ist



Vergleich Heizwärmeverbrauch mit dem EnEV-Neubau-Standard



Vergleich Heizwärmeverbrauch mit dem Gebäudebestand



Heizwärmeverbrauch einzelner Wohnungen in einem MFH

vollständig intakt und wirkungsvoll. Sie zeigt auch in der Festigkeit beste Werte. Die Luftdichtheit des Gebäudes ist heute genauso gut, wie sie 1992 messtechnisch festgestellt wurde. Dieses gute Ergebnis geht auch auf die kürzlich vorgenommene erstmalige Erneuerung der Gummidichtungen der Fensterflügel zurück. Auch die Effizienz der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlagen hat über den langen Gebäudebetrieb nicht nachgelassen und liefert unverändert gute Werte. Insgesamt ist keine energetisch relevante Veränderung zu erwarten, so dass die Bauteile auch in den kommenden Jahr(zehnt)en ihre energiesparende Wirkung bewahren werden. Die in der Grafik »Jährlicher Heizwärmeverbrauch des ersten Passivhauses« aufgetragenen Daten zeigen, dass mit dem Einsatz von Passivhauskomponenten die Energieeffizienz des Gebäudes dauerhaft erheblich gesteigert werden kann.

### Bewertung der Ergebnisse

Grundsätzlich ist festzustellen, dass der im Förderschwerpunkt »Energetische Modernisierung zum Passivhaus im Bestand« geforderte Heizenergiekennwert von 25 kWh/(m²a) in der Praxis erreicht und teilweise sogar unterschritten werden kann; die gemessenen Heizwärmeverbräuche belegen dies. Mehr als die Hälfte der betrachteten Vorhaben halten den Zielwert auch im tatsächlichen Betrieb ein, während er in den anderen Fällen meist nur geringfügig überschritten wird. Beim Vergleich des Heizwärmeverbrauchs zum berechneten Heizwärmebedarf ist die absolute Abweichung in kWh/(m²a) jeweils gering. Gegenüber den gesetzlichen energetischen Mindeststandards liefern alle mit passivhaustauglichen Komponenten modernisierten Gebäude energetisch deutlich bessere Ergebnisse. Im Ver-

gleich zu einem Neubau, der den Mindestanforderungen der EnEV entspricht, wird ein um den Faktor 2 bis 3 niedrigerer Heizwärmeverbrauch erreicht. Im Vergleich zu nicht wesentlich modernisierten Bestandsgebäuden aus den 50er und 60er Jahren kann sogar ein über 80 %–90 % niedrigerer Heizwärmeverbrauch erzielt werden.

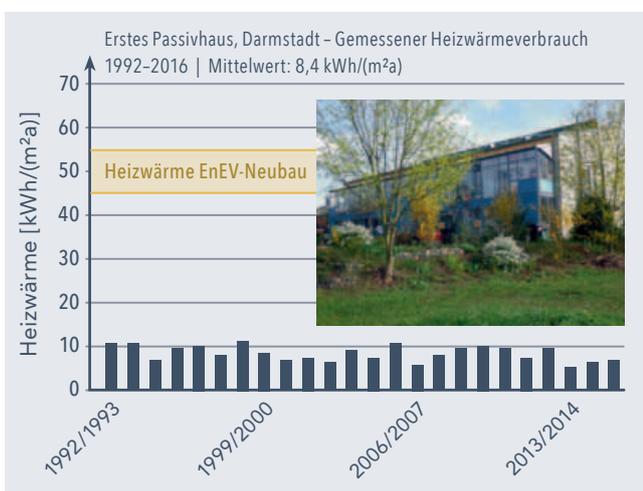
Die Abweichungen bei den einzelnen Vorhaben zwischen dem berechneten Heizwärmebedarf und dem gemessenen Heizwärmeverbrauch kann auf verschiedene (vorwiegend individuelle, d. h. nutzerspezifische) Gründe zurückgeführt werden. Die Abweichungen könnten durch die Anpassung der Parameter zur PHPP-Bilanzierung weiter untersucht werden. So könnten beispielsweise eine Anpassung der Raumtemperatur, des Lüftungsverhaltens oder der Personenbelegung an die tatsächlich anzutreffenden Bedingungen dazu führen, dass das Ergebnis dieser angepassten Berechnung noch besser den in der Praxis ermittelten Verbrauch abbildet.

Nutzer können den Energieverbrauch reduzieren, indem sie beispielsweise die solare Einstrahlung in der Heizperiode besser nutzen oder die vorliegenden Raumtemperaturen überprüfen und gegebenenfalls reduzieren. Dies bedeutet keinen Komfortverlust. Eine bessere Dämmung und eine hocheffiziente Wärmeschutzverglasung bewirken eine Erhöhung der Innenoberflächentemperaturen und führen somit zu einem Komfortgewinn.

Prinzipiell ist zu empfehlen, den Heizwärmeverbrauch zu erfassen und mit dem Verbrauch eines vergleichbaren Gebäudes (Typgebäude) zu vergleichen. Diese Einordnung hilft,

- im Fall eines nicht modernisierten Altbaus, die Energieeinsparpotenziale abzuschätzen, die insbesondere durch eine energetisch optimierte Modernisierung möglich sind;
- im Fall einer bereits durchgeführten energetischen Modernisierung den Erfolg der Maßnahmen zu kontrollieren
- das eigene Nutzerverhalten zu überprüfen und gegebenenfalls durch dessen Optimierung den Heizwärmeverbrauch und folglich auch die (Energie-)Kosten zu reduzieren.

Die energetisch optimierte Modernisierung mit der Nutzung von passivhaustauglichen Bauelementen führt zu einem hohen energetischen Gebäude-Standard. Der Heizwärmebedarf wird dadurch deutlich geringer als der eines Neubaus nach den geltenden gesetzlichen Mindestanforderungen, der Nutzerkomfort im Gebäude steigt. Einen finanziellen Anreiz, ein solches Modernisierungs-Vorhaben in Angriff zu nehmen, bietet die Förderung durch das Land Hessen. Die möglichen einzusetzenden Baustoffe sind im Hinblick auf Dämmung, Luftdichtheit und Schallschutz über Jahrzehnte erprobt, was auch für die eingesetzte Lüftungstechnik gilt. Die passivhaustauglichen Bauelemente können daher kosteneffizient eingesetzt werden.



Jährlicher Heizwärmeverbrauch des ersten Passivhauses



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Einfamilienhaus in Eppstein

Das Gebäude wurde 1964 als Zweifamilienhaus errichtet und im Zuge eines Eigentümerwechsels in ein Einfamilienhaus umgebaut. Dabei wurde der ehemalige Balkon durch einen neu errichteten Anbau aus Holz-Fertigteilen in das Gebäude integriert. Diese Erweiterung erfolgte außerhalb der Förderung durch das Land Hessen.

Das beheizte Gebäudevolumen umfasst das Erdgeschoss, das Obergeschoss sowie das nicht ausgebaute Dachgeschoss. Das Treppenhaus wurde bis zur neuen, gut gedämmten Kellertür zum unbeheizten Keller mit in die beheizte Hüllfläche einbezogen. Deshalb wurden dort die angrenzenden Innenwände und die Bodenplatte entsprechend gedämmt.

Zu Beginn der Modernisierung war das Gebäude nicht bewohnt, wurde dann aber im Verlauf des Umbaus bezogen. Die zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wurde im nicht ausgebauten Dachgeschoss untergebracht, wobei die Lüftungskanäle im Innenraum des Gebäudes montiert wurden.

Für die Wärmeversorgung werden ein Pelletkessel sowie eine Solarkollektoranlage eingesetzt, die im Sommer die Warmwasserversorgung vollständig übernehmen kann.

### Daten im Überblick

<b>Gebäudeadresse</b>	Mendelssohnstraße 2 65817 Eppstein
<b>Wohnungszahl</b>	1
<b>Wohnfläche</b>	325 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1964
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2010
<b>Förderbetrag</b>	19.355 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärmedämmung von</li> <li>– Außenwand</li> <li>– Satteldach</li> <li>– Kellerdecke</li> <li>– Treppenhaus im Keller</li> </ul>
	Fenster
	Haus- und Kellertür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	Pelletkessel 10 kW, 10 m <sup>2</sup> Kollektoranlage

### Einige Details der energetischen Modernisierung:

Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Polystyrol (EPS)	30 cm
Dach	Zellulose	48 cm
Kellerdecke	Polyurethan (PU)	14 cm
Bodenplatte	OSB-Dämmelement	16 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,84 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,53 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 91 %	

### Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf

<b>typisch für Gebäudetyp und Baujahr</b>	210 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>nach dieser Modernisierung</b>	25 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Lüftungskanal neben einem Kaminzug (vor Verkleidung)



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung in Fürth

Dieses Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung wurde 1956 errichtet. Im Jahr 2011 wurde es unter Verwendung von Passivhauskomponenten umfassend energetisch modernisiert und auf der Südwestseite um eine Dachgaube erweitert. Außerdem wurde die ehemals auskragende Betonplatte eines Balkons im Obergeschoss abgebrochen und durch eine thermisch getrennte Edelstahlkonstruktion mit Holzbelag ersetzt.

Das beheizte Gebäudevolumen umfasst das Erd- und Obergeschoss sowie das Dachgeschoss. Das Kellergeschoss ist unbeheizt, die Kellerdecke sowie das Treppenhaus der Kellertreppe wurden von unten gedämmt. Zur Dämmung der Außenwände wurde ein Wärmedämmverbundsystem aufgebracht. Im Dach wurde eine vorhandene, 10 cm starke Dämmschicht beibehalten und um weitere 20 cm verstärkt.

Die energetische Modernisierung wurde im bewohnten Zustand in einem Zeitraum von vier Monaten durchgeführt.

Ein raumluftunabhängiger Pelletofen im Wohnzimmer beheizt den Wohnbereich direkt über die Raumluft. Außerdem beheizt er über einen Wärmetauscher indirekt einen 600 l-Pufferspeicher im Kellergeschoss, der die Beheizung der übrigen Räume und die zentrale Warmwasserversorgung übernimmt.



Pelletofen im Wohnbereich

Daten im Überblick	
<b>Gebäudeadresse</b>	Freiherr-v.-Eichendorff-Str. 4 64658 Fürth (Odenwald)
<b>Wohnungszahl</b>	2
<b>Wohnfläche</b>	187 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1956
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2011
<b>Förderbetrag</b>	18.210 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	Wärmedämmung von – Außenwand – Satteldach – Kellerdecke
	Fenster
	Haus- und Kellertür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	Pelletofen 9 kW mit 600 l-Speicher

Einige Details der energetischen Modernisierung:		
Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Polystyrol (EPS)	30 cm
Dach	Polyurethan (PU)	20 cm
Kellerdecke	Polyurethan (PU)	10 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,77 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,90 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 89 %	

Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf	
typisch für Gebäudetyp und Baujahr	320 kWh/(m <sup>2</sup> a)
nach dieser Modernisierung	23 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Zweifamilienhaus in Fürth

Das Zweifamilienhaus aus dem Jahr 1965 wurde in den Jahren 2009 und 2010 umfassend energetisch modernisiert, ohne dass größere Umbauten im Gebäude vorgenommen wurden. Es war während der Baumaßnahme durchgehend bewohnt.

Den unteren Abschluss des beheizten Gebäudevolumens bilden die an der Unterseite wärmegegedämmte Kellerdecke sowie das Treppenhaus des Kellerabgangs.

Bei diesem Gebäude wurden die Lüftungskanäle zwischen dem zentralen Lüftungsgerät im Kellergeschoß und den einzelnen Räumen auf der bestehenden Außenwand verlegt und anschließend mit einem Wärmedämmverbundsystem überdämmt.

Das Schrägdach wurde auf den Sparren gedämmt und neu eingedeckt. Die gemeinsame Lüftungsanlage für beide Wohnungen und die Luft-Wasser-Wärmepumpe, die die Wärmeversorgung für die Raumheizung und die zentrale Warmwasserversorgung übernimmt, sind im Kellergeschoß untergebracht.



Dämmung der Dachgaube

Daten im Überblick	
<b>Gebäudeadresse</b>	Im Wiesental 18 64658 Fürth (Odenwald)
<b>Wohnungszahl</b>	2
<b>Wohnfläche</b>	219 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1965
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2009/2010
<b>Förderbetrag</b>	24.127 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	Wärmedämmung von – Außenwand – Satteldach – Kellerdecke
	Fenster
	Haustür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	Luft-Wasser-Wärmepumpe mit 300 l Speicher

Einige Details der energetischen Modernisierung:		
Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Polystyrol (EPS)	30 cm
Dach	Polyurethan (PU)	20 cm
Kellerdecke	Polyurethan (PU)	10 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,96 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,99 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 84 %	

Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf	
typisch für Gebäudetyp und Baujahr	210 kWh/(m <sup>2</sup> a)
nach dieser Modernisierung	17 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Einfamilienhaus in Heppenheim

Dieses Einfamilienhaus aus dem Jahr 1929 steht zusammen mit den Nachbargebäuden unter Ensembleschutz. Für die Modernisierung im Zuge eines Eigentümerwechsels bestand daher seitens der Denkmalschutzbehörde die Auflage, die Ansicht der der Straße zugewandten Gebäudeseiten beizubehalten. Um dies zu erreichen wurden im Bereich der Fenster und des Gebäudesockels Sandsteinelemente auf das Wärmedämmverbundsystem aufgebracht.

Außerdem mussten auf der Straßenseite Holz-Sprossenfenster verwendet werden. Zur Optimierung der Raumausnutzung im Dachgeschoss genehmigte die Behörde aber eine geringfügige Änderung der Dachgaubenform. Der Dachstuhl wurde erneuert und mit einer fast 60 cm starken Dämmschicht versehen.

Bei der Modernisierung wurde das Kellergeschoss in die beheizte Hülle integriert, u. a. wegen des offenen Treppenhauses. Dabei wurde der Boden im Kellergeschoss bis zu den Fundamenten aufgedrückt und bei fast unveränderter Raumhöhe mit einer Dämmschicht neu aufgebaut.

Die Modernisierung wurde im unbewohnten Zustand in einem Zeitraum von etwa fünf Monaten durchgeführt.

Daten im Überblick	
<b>Gebäudeadresse</b>	Neckarstraße 15 64646 Heppenheim
<b>Wohnungszahl</b>	1
<b>Wohnfläche</b>	206 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1929
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2011/2012
<b>Förderbetrag</b>	19.040 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärmedämmung von</li> <li>– Außenwand</li> <li>– Walmdach</li> <li>– Bodenplatte</li> </ul>
	Fenster
	Haustür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Warmwasserspeicher

Einige Details der energetischen Modernisierung:		
Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Polystyrol (EPS)	30 cm
Dach	Mineralfaser (MF)	48 cm
	Verbund-Dämmplatte	10 cm
Bodenplatte	Polystyrol (XPS)	16 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,77 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,92 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 83 %	

Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf	
typisch für Gebäudetyp und Baujahr	320 kWh/(m <sup>2</sup> a)
nach dieser Modernisierung	22 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Fenster nach der Modernisierung



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Reihenendhaus in Rodgau

Das Endhaus einer Zeile von vier Reihenhäusern aus dem Baujahr 1980 wurde von Ende 2010 bis zum Sommer 2011 umfassend energetisch modernisiert, ohne größere Änderungen am Gebäude vorzunehmen.

Die wärmegeämmte Hüllfläche umfasst das Erd-, Ober- und Dachgeschoss sowie einen Teil des Kellergeschosses. Dem entsprechend wurde im Kellergeschoss auch ein Teil der Innenwände von der kalten Seite wärmegeämmt.

Zur Vermeidung der Wärmebrücke wurde ein vorhandenes betoniertes Vordach über der Eingangstür abgebrochen und durch ein vorgesetztes, thermisch entkoppeltes Vordach ersetzt. Da die angebaute Garage zur Giebelwand hin keine eigene Außenwand besitzt, das Dach also nur dreiseitig gelagert war, konnte zwischen den Gebäudeteilen eine 30 cm breite Fuge geöffnet und das Wärmedämmverbundsystem an der Giebelwand durchgehend vom Boden bis zum Dachgeschoss vorgesetzt werden.

Die Wärmedämmung des Daches wurde bei aufgedoppelten Dachsparren überwiegend als Zwischensparrendämmung ausgeführt.

Die zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ist im Dachgeschoss untergebracht und kann von der Küche aus bedient werden.

Zur Wärmeversorgung für die Raumheizung und die Warmwasserversorgung wird bis auf weiteres der bereits vor der Modernisierung vorhandene Gas-Niedertemperaturkessel eingesetzt.



Wärmegeämmte Innenwände zum beheizten Kellerbereich

### Daten im Überblick

<b>Gebäudeadresse</b>	Am Mollischgraben 24 63110 Rodgau
<b>Wohnungszahl</b>	1
<b>Wohnfläche</b>	158 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1980
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2010/2011
<b>Förderbetrag</b>	12.100 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	Wärmedämmung von – Außenwand – Satteldach – Kellerdecke
	Fenster
	Haustür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	vorhandener Gas-Niedertemperaturkessel

### Einige Details der energetischen Modernisierung:

Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Polystyrol (EPS)	30 cm
Dach	Mineralfaser (MF)	40 cm
Kellerdecke/ Bodenplatte	Polyurethan (PU)	10 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,74 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,99 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 90 %	

### Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf

<b>typisch für Gebäudetyp und Baujahr</b>	170 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>nach dieser Modernisierung</b>	22 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Mehrfamilienhaus in Gießen

Dieses große Mehrfamilienhaus aus dem Baujahr 1964 mit 27 Wohnungen wurde in den Jahren 2010 und 2011 umfassend energetisch modernisiert. Neben der Wärmedämmung der Fassade, des Flachdachs und der Kellerdecke wurden alle Fenster ersetzt.

Die ehemals offenen Balkone erhielten eine großflächig zu öffnende Verglasung und können jetzt ganzjährig genutzt werden. Der zusätzliche Raum ist aber unbeheizt und zählt nicht zum beheizten Gebäudevolumen.

Trotz der nicht unerheblichen Belastung für die Mieter blieben die Wohnungen während der Baumaßnahme überwiegend bewohnt.

Jede Wohnung erhielt eine dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die in der abgehängten Decke des Wohnungsflures installiert wurde. Dadurch sind nur kurze Luftkanäle zu den einzelnen Räumen der Wohnung notwendig. Im Kellergeschoss wurde zur Begrenzung der Luftfeuchtigkeit eine feuchtegeregelte Abluftanlage installiert.

Die Beheizung des Gebäudes erfolgt auch nach der Modernisierung aus dem städtischen Fernwärmenetz.

Der in der Tabelle angegebene durchschnittliche Luftwechsel ergibt sich aus Blower-Door-Messungen in elf Wohnungen.



Lüftungsanlage in der abgehängten Decke (vor Verkleidung)

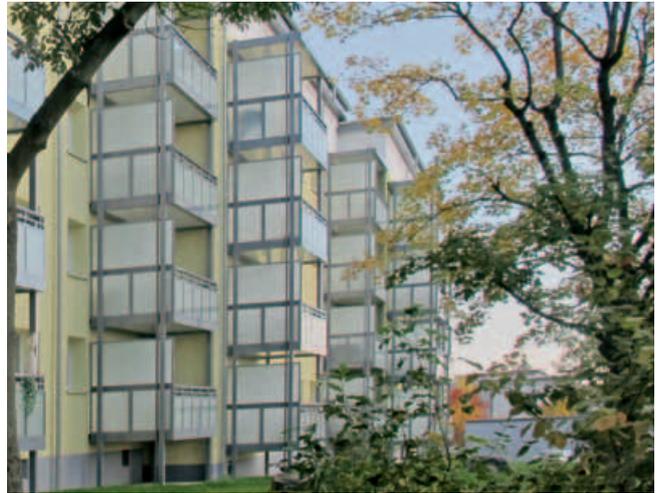
Daten im Überblick	
<b>Gebäudeadresse</b>	Trieb 1 35394 Gießen
<b>Wohnungszahl</b>	27
<b>Wohnfläche</b>	2.246 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1964
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2010/2011
<b>Förderbetrag</b>	158.800 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	Wärmedämmung von – Außenwand – Flachdach – Kellerdecke
	Fenster
	Haustür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	Fernwärme, Warmwasser dezentral elektrisch

Einige Details der energetischen Modernisierung:		
Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	EPS/Mineralfaser (MF)	30 cm
Dach	Polystyrol (EPS)/PU	30 cm
Kellerdecke	Polyurethan (PU)	16 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,76 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel (Mittelwert) n <sub>50</sub> = 0,69 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 77 %	

Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf	
typisch für Gebäudetyp und Baujahr	170 kWh/(m <sup>2</sup> a)
nach dieser Modernisierung	24 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Mehrfamilienhaus in Gießen

Der im Jahr 1964 errichtete Wohnblock aus drei Gebäuden mit jeweils acht Wohnungen wurde im unbewohnten Zustand umfassend energetisch modernisiert und die Ausstattung der Wohnungen wurde vollständig erneuert.

Vor der Wärmedämmung der Fassade wurden die auskragenden Balkone auf der Südseite zur Vermeidung der Wärmebrückenwirkung abgebrochen. Sie wurden nach der Dämmung der Fassade durch thermisch getrennte, frei stehende Balkontürme ersetzt.

Den oberen Abschluss der wärmedämmten Hülle bildet das Flachdach, das gegenüber dem Bestand verbreitert wurde, um die Wärmedämmung der Fassade zu überspannen. Den unteren Abschluss bildet die unterseitig gedämmte Kellerdecke.

Jede Wohnung erhielt eine dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die jeweils über der Küchenzeile montiert und wie ein Küchenschrank verkleidet wurde. Die Dachböden, die sich innerhalb der thermischen Hülle befinden, wurden ebenfalls jeweils mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgestattet.

Die in der Tabelle angegebenen Luftwechselraten wurden separat für die einzelnen Gebäude ermittelt.

Daten im Überblick	
Gebäudeadresse	Heinrich-Will-Straße 15–19 35396 Gießen
Wohnungszahl	24
Wohnfläche	1.539 m <sup>2</sup>
Baujahr	1964
Jahr der Modernisierung	2011/2012
Förderbetrag	125.142 €
Geförderte Maßnahmen	Wärmedämmung von – Außenwand – Flachdach – Kellerdecke
	Fenster
	Haustür
	Lüftungsanlage mit WRG
	Blower-Door-Messung
	Planungsmehrkosten
Wärme- und Warmwasserversorgung	Fernwärme

Einige Details der energetischen Modernisierung:		
Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Polystyrol (EPS)	30 cm
Dach	Polyurethan (PU)	30 cm
Kellerdecke	Polyurethan (PU)	16 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,78 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,47; 0,48; 0,59 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlage	Wärmerückgewinnungsgrad 85 %	

Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf	
typisch für Gebäudetyp und Baujahr	170 kWh/(m <sup>2</sup> a)
nach dieser Modernisierung	18 kWh/(m <sup>2</sup> a)



Bedienelemente der Lüftungsanlage



Gebäude vor der Modernisierung



Gebäude nach der Modernisierung

## Gesamtschule in Frankfurt

Das Schulgebäude und der Verwaltungstrakt wurden in den 1960er Jahren errichtet. Im Zuge der energetischen Modernisierung wurde der Schulkomplex aufgrund von zusätzlichem Raumbedarf baulich erweitert. Zudem wurden zwei der drei im Bestand offenen Innenhöfe überdacht und somit in das beheizte Gebäudevolumen integriert. Der Schulunterricht fand im Zeitraum der Modernisierung von Anfang 2011 bis Mitte 2013 in einem Containergebäude auf dem Schulgelände statt. Bei diesem Schulgebäude wurde der Wärmeschutz der Außenwand als vorgehängte Fassade mit einer Mineralfaserdämmung von 28 cm realisiert, die in zwei Lagen aufgebracht wurde. Die vorgehängte Fassade besteht aus kleinteiligen Keramikelementen, wodurch die bisherige Gestaltung des Gebäudes aufgegriffen wurde. Das Flachdach konnte uneingeschränkt mit Polystyrol gedämmt werden. Dagegen konnte lediglich ein Teil der Kellerdecke von unten gedämmt werden, während die Bodenplatte aus bautechnischen Gründen nicht nachträglich gedämmt werden konnte. Die Heizwärmegrundversorgung der Schule wird über die Zuluft der Lüftungsanlagen vorgenommen und überwiegend durch einen Pelletkessel bereitgestellt. Eine nächtliche freie Kühlung der Räume ist durch automatisch öffnende Flügel der passivhausgeeigneten Fenster möglich.

Das Modernisierungsvorhaben wurde vom Land Hessen aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.



Unterkonstruktion der Vorhangfassade mit Wärmedämmung

Daten im Überblick	
<b>Gebäudeadresse</b>	Gravensteiner Platz 2 60435 Frankfurt am Main
<b>Schüleranzahl</b>	ca. 750
<b>Energiebezugsfläche</b>	2.716 m <sup>2</sup>
<b>Baujahr</b>	1960er Jahre
<b>Jahr der Modernisierung</b>	2011–2013
<b>Förderbetrag</b>	343.321 €
<b>Geförderte Maßnahmen</b>	Wärmedämmung von – Außenwand – Flachdach – Kellerdecke (Pelletlagerraum) Fenster Außentüren Lüftungsanlagen mit WRG Blower-Door-Messung
<b>Wärme- und Warmwasserversorgung</b>	Pellet-Kessel 130 kW Reserve: Erdgas-Kessel

Einige Details der energetischen Modernisierung:		
Bauteil	Wärmedämmung	Stärke
Außenwand	Mineralfaser/ EPS	28 cm
Dach	Polystyrol (EPS)	40 cm
Kellerdecke (teilweise)	Polystyrol (EPS)	10 cm
Fenster	U <sub>w</sub> -Wert = 0,80 W/(m <sup>2</sup> K)	
Luftdichtheit	Luftwechsel n <sub>50</sub> = 0,59 h <sup>-1</sup>	
Lüftungsanlagen	Wärmerückgewinnungsgrad 78 %	

Energiekennwerte für den Heizwärmebedarf	
<b>vor dieser Modernisierung</b>	239 kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>nach dieser Modernisierung</b>	25 kWh/(m <sup>2</sup> a)



EUROPÄISCHE UNION:  
Investition in Ihre Zukunft  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



HESSEN



**Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Landesentwicklung**

Kaiser-Friedrich-Ring 75  
65185 Wiesbaden  
Telefon: 06 11 – 8 15-0  
[www.wirtschaft.hessen.de](http://www.wirtschaft.hessen.de)