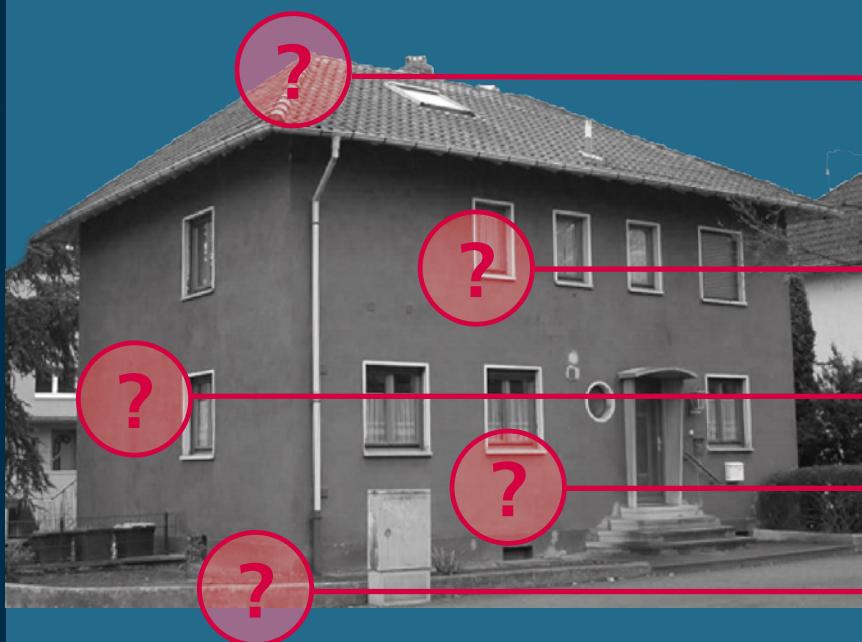


Eberhard Hinz | Andreas Enseling

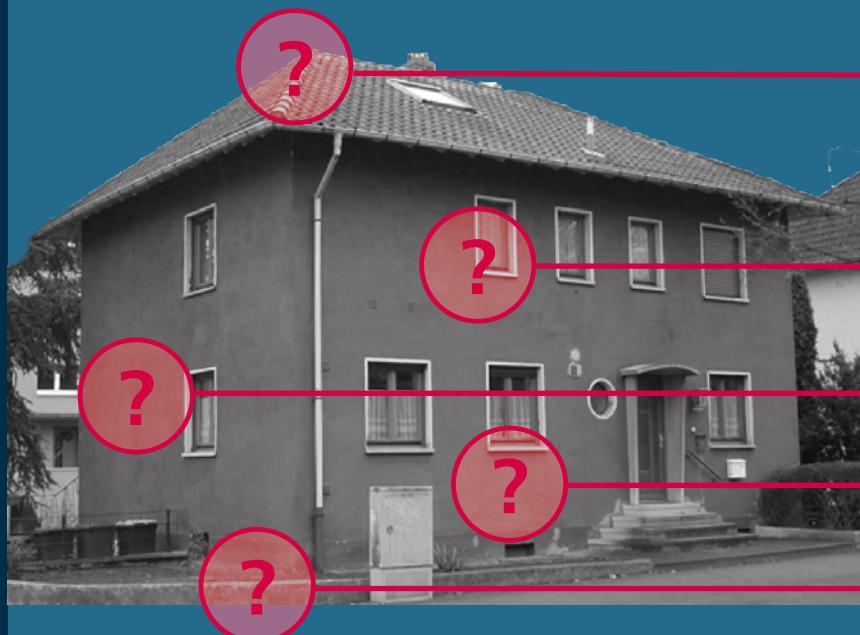
Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudemodernisierung

Unvereinbarer Widerspruch
oder eine Frage der Sichtweise?

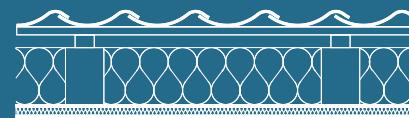


Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudemodernisierung

Unvereinbarer Widerspruch
oder eine Frage der Sichtweise?

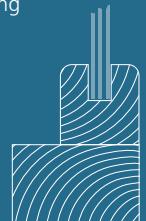


Steildach



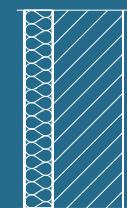
- mind. 20 cm nachträgliche Dämmung zwischen/unter den Sparren im Zuge eines Dachausbaus bzw. 30 cm auf zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung
- sorgfältige Planung und Ausführung der luftdichtenden Ebene
- Blower-Door-Test zur Qualitätssicherung

Fenster



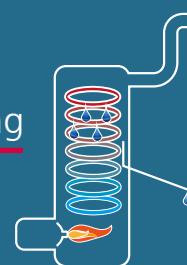
- 3-Scheiben-Wärmedämmverglasung im konventionellen Rahmen
- passivhaustaugliche Fenster

Außenwand



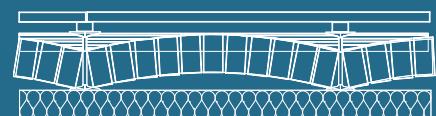
- mind. 15 cm Wärmedämmung auf Altplatz im Zuge einer ohnehin erforderlichen umfassenden Putzsanierung
- sorgfältige Vermeidung von Wärmebrücken

Heizung



- Modernisierung der Heizanlage mit einem Brennwertkessel in Verbindung mit einer solarthermischen Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Raumheizung
- Umstieg auf Wärmepumpensystem oder Heizsysteme auf Basis regenerativer Energieträger
- hydraulischer Abgleich

Keller



- mind. 10 cm Dämmung der Kellerdecke unterseitig
- mit oder ohne Schutz gegen mechanische Beschädigung

Eberhard Hinz | Andreas Enseling

Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudemodernisierung

Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudemodernisierung

Unvereinbarer Widerspruch
oder eine Frage der Sichtweise?

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-7388-0130-9

ISBN (E-Book): 978-3-7388-0131-6

Herstellung und Satz: Angelika Schmid

Umschlaggestaltung: Martin Kjer

Druck: Druckerei & Verlag Steinmeier GmbH & Co. KG, Deiningen

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2018

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon +49 7 11 9 70-25 00

Telefax +49 7 11 9 70-25 08

irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort der Autoren	7
1 Einleitung	9
1.1 Energietechnische Gebäudemodernisierung – ein zentraler Baustein der Klimaschutzpolitik	9
1.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit im Fokus der öffentlichen Diskussion	11
2 Die Basis – Baulicher Wärmeschutz und effiziente Anlagentechnik	13
2.1 Nachträgliche Wärmedämmung der Gebäudehülle	13
2.2 Energieeffiziente Anlagentechnik	19
3 Energieeinsparungen	25
3.1 Die Problematik der unzureichenden Datenbasis	25
3.2 Tools für die Datenaufnahme	26
3.3 Die Berechnung von Energiebilanzen	27
3.3.1 Statische und dynamische Energiebilanzprogramme	27
3.3.2 Die Energiebedarfsberechnung nach Energieeinsparverordnung (EnEV)	29
3.3.3 Die Energiebedarfsberechnung nach dem Energiepass Heizung/Warmwasser	30
3.3.4 Die Energiebedarfsberechnung nach dem Passivhaus-Projektierungs-Paket	32
3.4 Von der Schwierigkeit, den richtigen Wert zu treffen	33
3.5 Fazit	37
4 Kosten der energietechnischen Gebäude-modernisierung	39
4.1 Das Kopplungsprinzip	39
4.2 Studie »Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile«	40
4.2.1 Beispiel Wärmedämmverbundsystem	42
4.2.2 Zusammenfassung für weitere Bauteile und Maßnahmen	51
4.3 Fazit	58

5	Grundlegendes zum Thema Wirtschaftlichkeitsberechnung	59
5.1	Verfahren zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit	59
5.1.1	Statische und dynamische Verfahren	60
5.1.2	Amortisationszeit	60
5.1.3	Kapitalwert- und Annuitätenmethode	61
5.1.4	Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie	61
5.2	Wesentliche Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung	63
5.3	Weitere Kosten- und Erlöskategorien	66
5.4	Fazit	67
6	Wirtschaftlichkeit der energietechnischen Gebäudemodernisierung (mit Beispielrechnungen)	69
6.1	Gebäudesteckbrief IST	69
6.2	Maßnahmen und Kosten im Hausdatenblatt	71
6.3	Energietechnische Standards und Wirtschaftlichkeit	75
6.4	Wirtschaftlich oder nicht – die Bewertung der Maßnahmen	78
6.5	Deterministische Sensitivitätsanalyse	79
6.5.1	Kosten der energietechnischen Modernisierung (Regionalfaktor)	79
6.5.2	Einsparung Endenergie	81
6.5.3	Betrachtungszeitraum	83
6.5.4	Kalkulationszinssatz	84
6.5.5	Sonderfall vorzeitige Modernisierung	85
6.5.6	Heutiger Energiepreis	86
6.6	Ergebnisse unter Berücksichtigung der KfW-Effizienzhausförderung	89
6.7	Fazit	92
7	Der lange Weg zur Wirtschaftlichkeit	93
8	Schlusswort	97
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	99
	Quellenverzeichnis	101
	Stichwortverzeichnis	102

Vorwort der Autoren

Die Autoren des Buches sind als wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut Wohnen und Umwelt (IWU) seit vielen Jahren mit dem komplexen Thema der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden befasst. Diese zumeist interdisziplinären Forschungsarbeiten sind in Fragestellungen zur Thematik der Energieeffizienz auf der Ebene von Gebäuden oder auch von Quartieren mit unmittelbaren Bezügen zu den Themenbereichen Wohnen und Stadtentwicklung eingebettet. Entsprechend dem Gründungsauftrag des Instituts werden aus diesen Forschungsarbeiten politikbegleitende Handlungsempfehlungen insbesondere zur Verbesserung der Wohnverhältnisse ärmerer Haushalte und zum Klimaschutz abgeleitet.

Das IWU zeichnet sich als ein seit langem anerkanntes, außeruniversitäres Forschungsinstitut in Hessen aus, dessen Forschungsprojekte auf der gesamten räumlichen Bandbreite von lokalen Projekten bis hin zur Ebene europäischer Netzwerke bearbeitet werden. Dabei wirkt das IWU sowohl bei neuen technischen Lösungen zur Reduktion des Energieverbrauchs von Gebäuden als auch bei Entwicklung umfassender Gesamtstrategien mit und leistet so einen Beitrag zum Klimaschutz.

Vor diesem Hintergrund und aus der Erfahrung vieler Diskussionen um die Wirtschaftlichkeit energietechnischer Modernisierungen ist die Idee zu diesem Buch entstanden. Es ist der Versuch, vor allem der Zielgruppe privater Investoren die einerseits sehr kontrovers, andererseits häufig sehr verbissen geführte Diskussion um das Thema der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in selbstgenutzten Wohngebäuden verständlich zu erläutern. Es wird erklärt, warum den einen energiesparendes Bauen als nicht sinnvoll, den anderen aber eine als hoch rentable Investition in die Zukunft erscheint. Letztlich beantwortet dieses Buch aber nicht die Frage nach dem »Rechnet sich das alles?«, sondern lässt die Antwort offen. Stattdessen wird gezeigt: *Die Wirtschaftlichkeit gibt es nicht*. Angesichts der vielen Risiken, unter denen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden müssen, können die Ergebnisse lediglich *eine Entscheidungshilfe für oder gegen die energietechnische Modernisierungen* sein.

In diesem Sinne ist das Buch als eine Hilfe für Investoren zu verstehen, die vor einer Investitionsentscheidung stehen und durch die öffentliche Diskussion verunsichert sind. Das Buch erklärt die kontroverse Diskussion um die Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen und ermöglicht es, mit diesem Wissen die eigene Investitionsentscheidung abzusichern.

Darmstadt, Juni 2018

Dr. Eberhard Hinz

Dr. Andreas Enseling

Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)

1 Einleitung

1.1 Energietechnische Gebäudemodernisierung – ein zentraler Baustein der Klimaschutzpolitik

Unter Klimawissenschaftlern herrscht Konsens darüber, dass die hohen Emissionen klimawirksamer Spurengase wie Kohlendioxid (CO_2) oder Methan (CH_4) wesentlich zum Klimawandel beitragen. So werden in Deutschland gegenwärtig etwa 11,7 Tonnen CO_2 pro Kopf und Jahr – einschließlich Industrie und Verkehr – emittiert. Dies liegt etwa um einen Faktor 10 über den Grenzwerten, wie sie im Sinne eines langfristigen Klimaschutzes notwendig wären. Vor diesem Hintergrund ist es ein verbindlich erklärtes klimapolitisches Ziel der Bundesregierung, die CO_2 -Emissionen in Deutschland bis 2050 erheblich zu reduzieren.

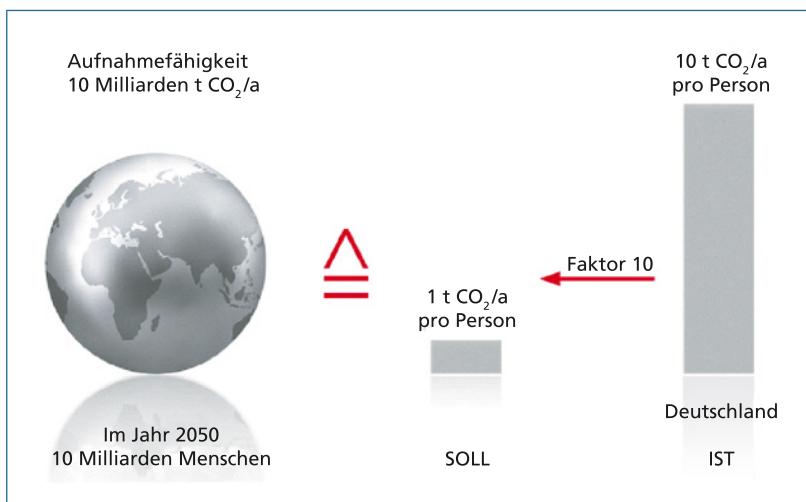


Abb. 1-1 Faktor 10 – die Herausforderung

Da in Deutschland etwa ein Drittel der klimarelevanten Emissionen im Gebäudebereich verursacht werden und hieran die Wohngebäude den entscheidenden Anteil haben, ist diesem Bereich besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Dies ist umso wichtiger, als Wohngebäude äußerst langlebige Wirtschaftsgüter darstellen und Fehlentscheidungen über viele Jahrzehnte nachwirken können.

Die klimapolitischen Vorgaben erfordern nicht nur, Energie klimaverträglicher bereitzustellen, sondern der Energieverbrauch als solcher muss erheblich reduziert werden. Damit kommt der energietechnischen Gebäudemodernisierung eine Schlüsselrolle in der Klimaschutzpolitik zu.

Neben der Modernisierung der Heizungsanlage spielt dabei die Wärmedämmung der Gebäudehülle eine zentrale Rolle: Durch umfassende energetische Modernisierungen kann der jährliche Verbrauch eines Altbaus aus dem deutschen Wohngebäudebestand von etwa 20 Litern Heizöl je m^2 Wohnfläche auf 7 Liter bzw. bei hochwertigen Modernisierungen auf bis zu 2 Liter Heizöl je m^2 Wohnfläche reduziert werden. Solche hochwertigen Modernisierungen mit passivhaustauglichen Komponenten werden der klimapolitischen Herausforderung »Faktor 10« gerecht. Die technischen Lösungen hierfür sind vorhanden und erprobt. Zudem sind solche hochwertigen Modernisierungen eine Voraussetzung dafür, den verbleibenden Restwärmebedarf eines Gebäudes über erneuerbare Energien decken zu können.

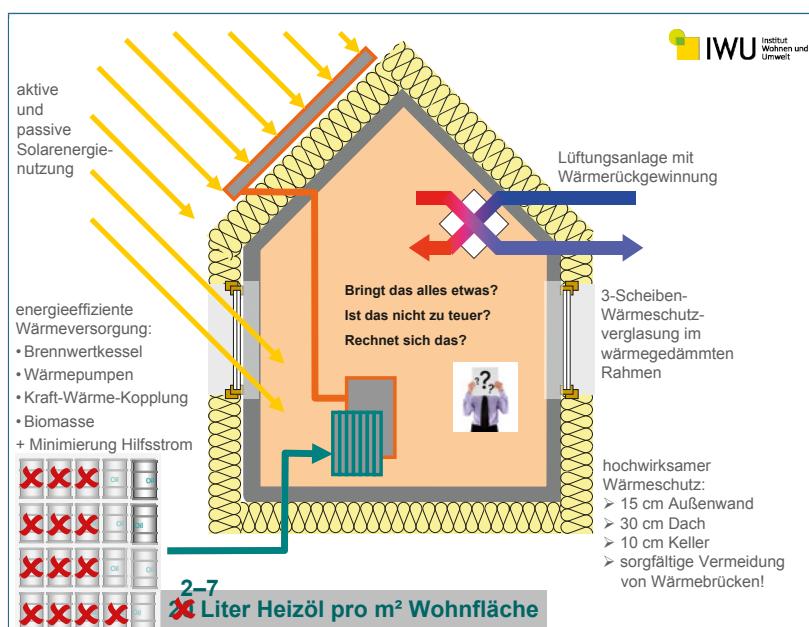


Abb. 1-2 Vom Altbau zum Energiesparhaus: technisch häufig kein Problem, aber rechnet sich das alles auch?

1.2 Kosten und Wirtschaftlichkeit im Fokus der öffentlichen Diskussion

Umfassende energietechnische Gebäudemodernisierungen erhöhen den Wohnkomfort der Bewohner und sparen langfristig natürliche Ressourcen und Geld. Ungeachtet dieser Vorteile und der klimapolitischen Erfordernisse werden immer wieder Diskussionen über die Sinnhaftigkeit solcher Gebäudemodernisierungen geführt. Dabei werden häufig drei zentrale Argumente ins Spiel gebracht:

- »Energietechnische Gebäudemodernisierung bringt weniger als erwartet.« Die Energieeinsparungen infolge der energietechnischen Gebäudemodernisierung werden häufig überschätzt, d. h., die tatsächlich resultierenden Energieeinsparungen sind deutlich kleiner als die vor der Modernisierung prognostizierten Energieeinsparungen.
- »Energietechnische Gebäudemodernisierung ist teurer als vermutet.« Die Kosten der energietechnischen Modernisierung sind in der Realität oft wesentlich höher, als in Beispielrechnungen angesetzt. Dies betrifft sowohl die Höhe der Vollkosten als auch die Höhe der anrechenbaren energiebedingten Mehrkosten.
- »Energietechnische Gebäudemodernisierung rechnet sich nicht.« Als Konsequenz aus den zuvor genannten Argumenten wird häufig abgeleitet, dass die Wirtschaftlichkeit der energietechnischen Gebäudemodernisierung grundsätzlich nicht gegeben ist oder nur in wenigen Ausnahmefällen (z.B. nur bestimmte Maßnahmen bei sehr schlechten Gebäuden) erreicht werden kann.

Die vorliegende Publikation analysiert die Kosten und die Wirtschaftlichkeit der energietechnischen Modernisierung aus der Perspektive von selbst nutzenden Gebäudeeigentümern. Dabei werden insbesondere die drei oben genannten Argumente aufgegriffen und im Licht der Wissenschaft diskutiert. Abschließend wird an Hand von beispielhaften Berechnungen für ein typisches Einfamilienhaus gezeigt: Die Wirtschaftlichkeit energietechnischer Modernisierungen gibt es nicht. Angesichts der vielen Risiken, unter denen entsprechende Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden müssen, können die Ergebnisse daher lediglich eine Entscheidungsgrundlage für oder gegen energietechnische Modernisierungen sein.

2 Die Basis – Baulicher Wärmeschutz und effiziente Anlagentechnik

Der Grundpfeiler für ein energieeffizientes Gebäude ist ein hochwirksamer Wärmeschutz, der das Gebäude möglichst lückenlos umschließt. Darüber hinaus kann eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung den Wärmebedarf weiter reduzieren. Dieser verbleibende niedrige Wärmebedarf kann durch eine effiziente Heiztechnik auch auf Basis regenerativer Energieträger gedeckt werden. Mit den heute am Markt verfügbaren Techniken ist es möglich, so den Endenergieverbrauch von Wohngebäuden im Bestand auf ein Zehntel zu senken. Damit dies gelingt, sind insbesondere bei der Altbaumodernisierung die sorgfältige Bauplanung und die Kontrolle der Bauausführung unverzichtbar.

Die sechs Elemente der energietechnischen Altbaumodernisierung

- hochwertiger Wärmeschutz aller Bauteile
- hochwertige Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung
- sorgfältige Reduktion/weitestgehende Vermeidung von Wärmebrücken
- kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- effiziente Heiztechnik mit Solarenergienutzung
- sorgfältige Bauplanung und Qualitätskontrolle

Energietechnische Modernisierungen erlauben aber nicht nur eine deutliche Reduktion des Energieverbrauchs und somit der Heizkosten. Mit dem verbesserten baulichen Wärmeschutz ist auch eine erhebliche Steigerung des thermischen Komforts in zuvor unzureichend gedämmten Gebäuden verbunden. Auch an sehr kalten Tagen bleiben die raumseitigen Oberflächen angenehm warm, Räume kühlen nicht mehr so schnell aus. Zudem wird die Gefahr von Oberflächenkondensat und Schimmelbildung durch den Wärmeschutz reduziert.

2.1 Nachträgliche Wärmedämmung der Gebäudehülle

Die einzelnen Maßnahmen zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes sind in einer Vielzahl von Publikationen beschrieben. Von daher werden diese Maßnahmen im Folgenden lediglich skizziert und ansonsten auf die vorliegenden Publikationen verwiesen. Für weitere Informationen sind z.B. die

Energiesparinformationen des Landes Hessen zu empfehlen, die als kostenfreier Download im Internet zur Verfügung stehen. In diesen Fachinformationen werden auf jeweils acht bis zwölf Seiten die einzelnen Maßnahmen der energietechnischen Modernisierung von Wohngebäuden verständlich vorgestellt. Einen umfassenden Überblick gibt auf 40 Seiten die Energiesparinformation Nr. 15 *Vom (K)althaus zum Energiesparhaus – Wissenswertes über die Energieeinsparung im Altbau*. Empfehlenswert ist zudem die Publikation *Modernisierung zum Passivhaus im Bestand – Konzepte der Altbaumodernisierung mit Passivhauskomponenten, realisierte Beispiele aus dem hessischen Förderprogramm [7]*. Tiefergehend informiert der Protokollband Nr. 39 *Schrittweise Modernisierung mit Passivhauskomponenten* aus dem »Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser« des Passivhaus Instituts Darmstadt.

Außenwand

In der Regel hat die Fassade den größten Flächenanteil an der Gebäudehülle und trägt bei freistehenden Einfamilienhäusern aus dem Gebäudebestand mit durchschnittlich ca. 40 % zu den Wärmeverlusten des Gebäudes bei. Entsprechend hoch ist die Bedeutung eines guten Wärmeschutzes. Durch die nachträgliche Dämmung der Fassade lassen sich der Energieverbrauch des Gebäudes und damit die Energiekosten deutlich zu senken.

- Für die Wärmedämmung von Außenwänden am weitesten verbreitet sind heute Wärmedämmverbundsysteme (WDVS). Diese seit mittlerweile vier Jahrzehnten bewährten Systeme bestehen aus Dämmstoffplatten (z.B. Mineralfaser, Hartschaum), die an die Außenwand geklebt und gegebenenfalls gedübelt werden. Als äußerer Witterungsschutz wird in der Regel ein Putzsystem (Armierungsgewebe, Putz) oder auch eine Riemchenverblendung verwendet. Ein Altplatz kann, soweit er tragfähig ist, erhalten bleiben.
- Eine Alternative zum Wärmedämmverbundsystem ist die hinterlüftete Vorhangsfassade. Sie besteht aus einer Unterkonstruktion (Holz- oder Alu-Profile), die auf der Außenwand befestigt wird. In die Zwischenräume der Unterkonstruktion wird Dämmstoff eingebracht. An der Unterkonstruktion wird die Außenverkleidung befestigt, wobei ein Luftspalt zwischen Dämmung und Verkleidung zur Hinterlüftung verbleibt. Ein Vorteil der hinterlüfteten Fassade ist, neben einem guten Schutz der Außenwand vor Witterungseinflüssen, die Vielzahl der gestalterischen Möglichkeiten, die sich durch die Auswahl der Außenverkleidung ergibt (Faserzementplatten, Holz, Schiefer, usw.). Auf der anderen Seite ist die Dicke des Gesamtaufbaus bei gleicher Dämmstoffdicke etwas höher als

beim Wärmedämmverbundsystem und es ergeben sich – bedingt durch den höheren Material- und Arbeitsaufwand – deutlich höhere Kosten.

- Bei Gebäuden mit zweischaligem Mauerwerk und dazwischen liegendem Luftspalt ist die Kerndämmung eine weitere Möglichkeit, den Wärmeschutz der Außenwand zu verbessern. Bei dieser Dämmmaßnahme wird weder die Außen- noch Innenansicht des Gebäudes verändert, wobei allerdings die Dämmstärke durch den Zwischenraum begrenzt ist.
- An Gebäuden mit erhaltenswerter Fassadengestaltung (Fachwerk, Ornamentierung usw.) ist eine Außendämmung häufig nicht möglich. Hier bietet sich die Innendämmung als Alternative an. Dabei sind die Dämmstärken auf Grund des Verlustes an Wohnfläche begrenzt.

Besonders im Gebäudebestand bestehen bisweilen Einschränkungen bezüglich der realisierbaren Dämmstärken. Gefragt sind hier hochwertige Dämmstoffe, bei denen die Wärmeleitfähigkeit durch ein Gas, das in den Dämmstoff-Hohlräumen eingeschlossen ist (z. B. CO₂), durch eine verringerte Wärmeleitung im Dämmstoff-»Skelett-Material« und durch Minderung der Wärmestrahlung innerhalb der Hohlräume des Dämmstoffs (z. B. durch Verwendung von Graphit) verringert wird.

Steildach

Das Dach ist von allen Bauteilen am stärksten den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Im Sommer können auf der äußeren Dachhaut Temperaturen von 60°C und mehr, im Winter von –20°C und weniger auftreten. Hohe Dämmstoffdicken sind im Dach also unbedingt zu empfehlen. Die Dämmung verhindert eine Überhitzung der Dachräume im Sommer und trägt deutlich zur Erhöhung des Wohnkomforts in Dachräumen bei. Für die nachträgliche Dämmung des Steildachs stehen grundsätzlich drei Möglichkeiten zur Verfügung, die auch kombiniert werden können.

- Das am häufigsten ausgeführte Dämmverfahren ist die Zwischen-Sparrendämmung. Raumseitig ist eine dampfbremsende und luftdichte Ebene vorzusehen (z. B. PE-Folie, verklebte Platten). Soll die raumseitige Schalung im Zuge der nachträglichen Dämmung nicht entfernt werden, kommen feuchteadaptive Dampfbremsen zum Einsatz, die auch von außen über die Sparren verlegt werden können.
- In Altbauten reicht die vorhandene Sparrenhöhe zumeist nicht aus, um einen hochwertigen Wärmeschutz zu realisieren. Hier hilft eine Aufdopplung der Sparren oder eine zusätzliche Dämmstofflage oberhalb der Sparren. Die Auf-Sparren-Dämmung kann bei bestehenden Gebäuden im Zuge einer Neueindeckung des Daches umgesetzt werden. Es gibt

verschiedene typgeprüfte Systeme. Auch hier ist eine Dampfbremse zu empfehlen, die gleichzeitig die Luftdichtigkeit sicherstellt. Schwierig ist bei der Aufsparrendämmung insbesondere der luftdichte Anschluss an die Außenwand. Hier müssen im Bereich der Sparrendurchdringung z. B. luftdichtende Manschetten eingesetzt werden.

- Die Unter-Sparren-Dämmung wird meist in Kombination mit der Dämmung des Sparren-Zwischenraums durchgeführt. Eine Dampfbremse ist erforderlich, die gleichzeitig die Luftdichtigkeit gewährleistet. Bei dieser Dämmweise muss eine Verkleinerung des Dachraumes in Kauf genommen werden.

Neben einem guten Wärmeschutz ist bei der Leichtbaukonstruktion Steildach besonderer Wert auf Luftdichtigkeit zu legen. Thermisch bedingt kann insbesondere im Winter warme und feuchte Raumluft bevorzugt von innen nach außen entlang vorhandener Leckagen durch die Konstruktion strömen und dabei unter Kondensatbildung abkühlen. Das führt nicht nur zu unbehaglicher Zugluft, sondern neben erhöhtem Heizenergieverbrauch auch zu Feuchteschäden insbesondere an der Holzkonstruktion. Von daher ist die Ausführung einer luftdichten Konstruktion eine grundlegende bautechnische Anforderung, die nicht primär an das energiesparende Bauen gebunden ist. Allerdings wird durch eine luftdichte Konstruktion zugleich das Entstehen unbehaglicher Zugluft unterbunden, unnötige Energieverluste werden vermieden, der Energieverbrauch und damit die Energiekosten werden gesenkt.

Oberste Geschossdecke

In Altbauten häufig vorzufinden sind Stahlbetondecken, auch heute noch häufig ungedämmt. Auch bei Kehlbalkendecken fehlt der Wärmeschutz. Dabei ist die nachträgliche Wärmedämmung kostengünstig und einfach auszuführen. Der Dämmstoff kann auf der Decke verlegt und/oder zwischen den vorhandenen Deckenbalken eingebracht werden. Um eine Durchströmung des Dämmstoffs mit kalter Luft zu verhindern, müssen die Fugen zwischen dem Dämmstoff und anschließenden Konstruktionen vermieden werden. Dämmplatten sollten deshalb mehrlagig mit versetzten Stößen verlegt werden und dicht am Boden anliegen. Die Begehbarkeit kann bei druckfestem Dämmstoff durch Bohlenstege oder Spanplatten erreicht werden. Für unebene Flächen mit vielen Durchdringungen bietet sich das Aufschüttungen von Perlite oder Zelluloseflocken an. Bei Schüttungen können begehbar Platten auf die vorhandenen Holzbalken bzw. auf eine Unterkonstruktion aufgelegt werden.

Kellerdecke

Vermeidbare Energieverluste durch die Kellerdecke in den in der Regel unbeheizten Keller gehen Hand in Hand mit unangenehm empfundener Fußkälte. Um diese Wärmeverluste zu reduzieren und die thermische Behaglichkeit der Räume im Erdgeschoss zu verbessern, können Dämmstoffplatten von unten an die Kellerdecke geklebt und bei nicht ausreichend tragfähigem Untergrund zusätzlich verdübelt werden. Kellerdecken sind in Altbauten häufig als Gewölbe- oder Kappendecken ausgeführt. Diese können unter Zuhilfenahme einer zusätzlichen Tragkonstruktion oder mit biegsamen Dämmplatten von unten gedämmt werden. Als Schutz vor mechanischer Beschädigung kann der Dämmstoff z.B. mit Gipskarton oder Holzwolle-Leichtbauplatten verkleidet werden. Alternativ können Verbundplatten eingesetzt werden.

Alternativ oder ergänzend zur Dämmung unter der Kellerdecke sowie in Gebäuden ohne Keller wird die Dämmsschicht von oben auf dem Erdgeschossboden aufgebracht. Diese Ausführung bietet sich an, wenn im Zuge einer umfassenden Modernisierung des Gebäudes der gesamte Fußboden ohnehin erneuert wird.

Fenster

Die früher weit verbreiteten einfachverglasten Fenster sind nur noch selten anzutreffen. Verbreitet sind dagegen Kastenfenster oder Verbundfenster mit zwei Scheiben im Holzrahmen oder die ab den 1970er Jahren eingebauten Fenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasungen in Rahmen unterschiedlicher Materialien. Ab etwa 1995 wurde die 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung beim Neubau und der Modernisierung zum Standard.

Bei üblichen Fenstergrößen beträgt der Rahmenanteil am Fenstereinbaumaß etwa 20 % bis 30 %. Die energietechnischen Eigenschaften des Rahmens sind daher wesentlich für die energietechnische Qualität des Fensters. Inzwischen sind energietechnisch hochwertige Fensterrahmen aus Holz, Holz-Alu-Verbund oder Kunststoff am Markt. Diese schlanken Rahmenkonstruktionen sind auch für die Modernisierung in Altbauten interessant.

Moderne Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen und energietechnisch hochwertigen Rahmen führen gegenüber alten Fenstern zu einer erheblichen Reduktion der Wärmeverluste und einem spürbaren Zugewinn an thermischer Behaglichkeit, unangenehme Zugluft am Fenster ist Vergangenheit. Solche energietechnisch hochwertigen Fenster drängen mit Macht auf den Markt und werden beim Neubau zunehmend Stand der Technik.

Wärmebrücken

Grundlegend für einen hochwertigen baulichen Wärmeschutz ist eine rundum geschlossene gleichwertige thermische Gebäudehülle. Insbesondere bei der energietechnischen Modernisierung von Altbauten kann dieses Prinzip jedoch häufig nicht vollständig realisiert werden.

- Ein typisches Beispiel ist die auskragende Betonplatte für z.B. im Eingangsbereich, an Balkonen, Vordächern oder Terrassen. Die nachträgliche Dämmung der Fassade kann an die Betonplatte lediglich angeschlossen werden. In der Folge wird die geschlossene thermische Gebäudehülle durch die auskragende Betonplatte durchstoßen. Es entsteht eine Wärmebrücke mit unter Umständen deutlich erhöhten Wärmeverlusten und entsprechend höherem Energieverbrauch.
- Typische Wärmebrücken entstehen bei der Innendämmung von Außenwänden im Bereich von einbindenden Innenwänden oder Decken. Auch hier kann das grundlegende Konstruktionsprinzip einer rundum geschlossenen gleichwertigen thermischen Gebäudehülle nicht eingehalten werden.
- In alten Rolladenkästen trennt lediglich eine dünne Sperrholzplatte die kalte Außenluft von der warmen Raumluft. Der Wärmeschutz eines solchen Rolladens entspricht etwa dem eines Isolierglasfensters aus den 1960er Jahren. Jeder Quadratmeter ungedämmter Rolladenkasten verursacht somit einen Energieverbrauch von ca. 20 Liter Heizöl oder 20 m³ Erdgas im Jahr. Die zusätzlichen Wärmeverluste über die Wärmebrücke Rolladenkästen können bei der nachträglichen Dämmung der Fassade somit zu einem deutlichen Energiemehrverbrauch führen. Zudem sind solche Rolladenkästen in der Regel auch undicht und damit Quelle unbekanntlicher Zugluft.
- Bei der energietechnischen Modernisierung von Altbauten ist immer auch der Anschluss der nachträglichen Dämmung der Fassade an die Dämmung im Steildach (Ortgang/Traufe) und an die Dämmung der Kellerdecke problematisch.

Daneben kann das Prinzip der rundum geschlossenen gleichwertigen thermischen Gebäudehülle auch durch unsachgemäße Bauausführung verletzt werden und im Sinne von Wärmebrücken zu erhöhten Wärmeverlusten führen.

- Ein Beispiel hierfür ist die unerwünschte Hinterströmung einer hochwertigen Dämmung der Fassade mit kalter Außenluft infolge einer unsachgemäß verlegten Wärmedämmung. Darüber hinaus kann diese

Hinterströmung der Dämmung auch zu unerwünschter Infiltration ins Gebäude führen, z.B. im Bereich einbindender Holzbalkendecken. Damit wird nicht nur die Effizienz der Wärmedämmung verringert, sondern es kommt zudem zu einem unkontrollierten und erhöhten Luftwechsel im Gebäude mit entsprechend erhöhtem Energieverbrauch.

Werden diese Wärmebrücken bei der energietechnischen Modernisierung nicht beachtet, kann eine rechnerisch ermittelte Energieeinsparung und damit eine erwartete Energiekosteneinsparung deutlich verfehlt werden. Es ist somit dringend geraten, im Kontext einer hochwertigen energietechnischen Modernisierung Wärmebrücken, soweit es mit vertretbarem baulichem Aufwand möglich ist, zu vermeiden. Dazu bedarf es einer detaillierten Planung, der sorgfältigen baulichen Ausführung und der Kontrolle.

2.2 Energieeffiziente Anlagentechnik

Der hohe Energiebedarf eines ungedämmten Altbau kann in der Regel nur über fossile Energieträger wie z.B. Gas oder Öl gedeckt werden. Selbstverständlich kann hier durch den Austausch einer alten gegen eine moderne neue Heizanlage mit Brennwertkessel deutlich Energie und Heizkosten eingespart werden. Ohne die nachträgliche Dämmung der Gebäudehülle wird jedoch ein großes Potenzial zur Energieeinsparung nicht genutzt. Zudem ist die nachträgliche Wärmedämmung der Gebäudehülle die Grundlage, den verbleibenden Wärmebedarf eines Gebäudes auch über regenerative Energieträger decken zu können. Von daher sind ein hochwertiger baulicher Wärmeschutz und eine energieeffiziente Anlagentechnik zwei Seiten einer Medaille.

Im Folgenden werden solche Maßnahmen zur Heizungsmodernisierung kurz beschrieben, die auch in den Berechnungen ab Kapitel 6 berücksichtigt werden. Einen umfassenderen Überblick zu energieeffizienten Heizanlagen geben z.B. die oben erwähnte Energiesparinformation Nr. 15 *Vom (K)altbau zum Energiesparhaus – Wissenswertes über die Energieeinsparung im Altbau* sowie der Protokollband Nr. 39 *Schrittweise Modernisierung mit Passivhauskomponenten* aus dem »Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser« des Passivhaus Instituts Darmstadt. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Fachpublikationen, die zum Teil als Download im Internet kostenfrei zur Verfügung stehen.

Gas- und Öl-Brennwertkessel

Der Einbau von Brennwerttechnik ist heute bei der Modernisierung von Heizanlagen üblich. Die Technologie ist ausgereift und funktioniert zuverlässig. Der besondere Vorteil von Brennwertkesseln ist, dass die Kesseltemperatur auf bis nahezu 40°C abgesenkt werden kann. Damit wird der Kesselwirkungsgrad, insbesondere beim Brennstoff Erdgas, gesteigert. Gleichzeitig werden die Schadstoffemissionen durch eine bessere Brennstoffnutzung verringert. Da in Altbauten Heizkörper in der Regel überdimensioniert sind, können die erforderlichen niedrigen Heizkreistemperaturen auch im Altbau gefahren werden. Dies gilt umso mehr für den Fall, dass die Modernisierung der Heizanlage mit einer nachträglichen Wärmedämmung des Gebäudes kombiniert wird.

Heizwert – Brennwert [8]

Die Begriffe »Brennwert« und »Heizwert« bezeichnen den Energieinhalt eines Brennstoffs. Dabei wird mit dem Heizwert nur das Wärmepotenzial angesprochen, das allein durch die Verfeuerung des Brennstoffs freigesetzt wird. In den Abgasen ist aber, je nach Wasserstoffgehalt des Brennstoffs, mehr oder weniger viel Wasserdampf enthalten. Bei der Kondensation dieses Wasserdampfes wird Wärme freigesetzt. Früher konnte dieses Potenzial in einer Heizanlage nicht genutzt werden. Daher bezog man den Wirkungsgrad von Heizkesseln auf den Heizwert. Mit der Brennwerttechnik ist es möglich, einen großen Anteil dieser Wärme durch Abkühlung der Abgase als »Brennwerteffekt« nutzbar zu machen. Die Angaben zu Wirkungs- und Nutzungsgrad von Kessel werden aber weiter auf den Heizwert bezogen und können aus diesem Grund bei Brennwertnutzung größer sein als 100 %.

Hydraulischer Abgleich

Die Energieeffizienz moderner Heiztechnik im Altbau lässt sich nur dann vollständig nutzen, wenn die Heizanlage eingeregelt ist. Dazu gehört unabdingbar auch der sogenannte hydraulische Abgleich. Mit diesem Verfahren wird sichergestellt, dass bei einer bestimmten Vorlauftemperatur jeder Heizkörper der Heizanlage genau mit der Wärmemenge versorgt wird, die zur Beheizung des Raums erforderlich ist und jeder Heizkörper im Rücklauf die gleiche Temperatur hat. Wird die Heizanlage nicht sorgfältig eingeregelt, so werden die Heizkörper unterschiedlich mit Wärme versorgt. Nahe am Kessel befindliche Heizkörper werden zu heiß, weiter entfernte werden nicht ausreichend warm. Die gesamte Regelung der Heizanlage funktioniert unzureichend.

Letztlich kann dies zu störenden Strömungsgeräuschen an Heizkörperventilen und zu ungenügend beizten Räumen führen. Der Stromverbrauch für die Heizungspumpe steigt an. Es entstehen unnötige zusätzliche Wärmeverluste im Leitungsnetz. Das häufigere Ein- und Ausschalten des Brenners führt zu unvollständiger Verbrennung mit erhöhten Emissionen und zu einem vorzeitigen Verschleiß der Heizanlage.

Holzpellet-Heizanlagen

Im Gegensatz zu den fossilen Brennstoffen Kohle, Öl und Erdgas, haben nachwachsende Brennstoffe wie Holz den Vorteil, dass sie sich in einem Kreislauf befinden. Das bei der Verbrennung entstehende Kohlendioxid wird von nachwachsenden Wäldern wieder aufgenommen. Problematisch bei der Nutzung von Holz als Brennstoff ist jedoch die Feinstaubentwicklung. Zudem können bei unvollständiger Verbrennung Schadstoffe wie Kohlenmonoxid oder polyzyklische Kohlenwasserstoffe entstehen. Vor diesem Hintergrund wurden Holzpellet-Heizkessel entwickelt. Die aus Sägespänen oder Holzmehl gepressten Pellets ermöglichen den Bau von Holzkesseln kleiner Leistung mit einem sehr kleinen Brennraum, der in kurzer Zeit optimale Verbrennungstemperaturen erreicht. Bei zentralen Pelletheizung sind maschinelle Förderanlagen mit Schnecken oder Druckluft üblich, die den Kessel aus dem Pelletlager heraus mit Brennstoff versorgen. Damit erreichen Pelletheizungen fast den gleichen Komfort wie Zentralheizungen mit Öl. Lediglich aus der in der Regel jährlich einmaligen Ascheentsorgung erwächst ein zusätzlicher Wartungsaufwand.

Elektro-Wärmepumpen

Vom Prinzip her funktionieren Wärmepumpen wie Kühlschränke. Hier wird die Wärme allerdings der Umwelt entzogen und im Gebäudeinneren als Heizwärme freigesetzt. In der Regel erfolgt der Antrieb einer Wärmepumpe entweder über einen Elektromotor (Elektrowärmepumpe) oder einen Verbrennungsmotor (Gasmotorwärmepumpe), seltener sind Absorptionswärmepumpen.

Bei einer elektrischen Kompressionswärmepumpe wird mit einer relativ kleinen Menge Strom das Temperaturniveau einer relativ großen Menge von Umweltwärme angehoben, so dass es für die Gebäudeheizung nutzbar ist. Wie viel an elektrischer Energie dazu gebraucht wird, ist davon abhängig, wie hoch der Temperaturunterschied zwischen der Wärmequelle und der benötigten Vorlauftemperatur ist. Letztlich sinkt der Wirkungsgrad mit ansteigendem Temperaturunterschied stark. Als Wärmequelle eignen sich von daher am ehesten Medien, die sich im Winter nicht oder nur wenig abkühlen.

- Gut geeignet ist das Grundwasser oder das Erdreich, das ganzjährig ein Temperaturniveau zwischen etwa 5 °C und 10 °C anbietet. Erschlossen werden kann diese Wärmequelle mittels eines Solekreislaufs in einer (vertikalen) Erdsonde oder in einem (horizontalen) Erdreichkollektor. Aufgrund der aufwändigen Verlegung (Bohrung bzw. Erdarbeiten) sind diese Wärmetauscher jedoch vergleichsweise teuer.
- Günstiger sind Luft-/Wasser-Wärmepumpen, die der Außenluft Wärme entziehen. Allerdings weisen diese Anlagen den wesentlichen Nachteil auf, dass die Leistungszahl mit fallender Außentemperatur stark absinkt. Bei besonders tiefen Temperaturen, also genau dann, wenn die meiste Heizenergie benötigt wird, muss die Anlage u.U. sogar abgeschaltet werden, um ein Vereisen zu verhindern. Vor diesem Hintergrund werden Luft-/Wasser-Wärmepumpen in der Regel über ein zweites Heizsystem, aus Kostengründen häufig elektrische Heizstäbe, abgesichert und somit als »bivalente Systeme« ausgeführt.

Auf welcher Temperatur die Wärmepumpe arbeiten muss, hängt aber auch von Wärmeschutzstandard des Gebäudes und der Größe der Heizflächen ab. Bei einem Gebäude mit Fußbodenheizung und hochwertigem Wärmeschutz liegt die Vorlauftemperatur bei etwa 30 °C, während ein Altbau mit kleinen Heizkörpern an kalten Tagen über 70 °C Vorlauftemperatur benötigt. Diese hohen Vorlauftemperaturen führen zu typischen Jahresarbeitszahlen zwischen 3,1 und 3,3 (Erdreich-Wärmepumpe) und 2,3 bis 2,6 (Luft-Wärmepumpe) bei ungedämmten Altbauten. Damit stößt ein erheblicher Teil dieser Elektro-Wärmepumpen mehr CO₂ aus als ein moderner Gas-Brennwertkessel. Elektro-Wärmepumpen im ungedämmten Altbau stellen somit keine Alternative zur konventionellen Heiztechnik dar.

Leistungszahl – Jahresarbeitszahl

Die Effizienz der Wärmepumpe hängt neben der Art des Antriebs vor allem von den Temperaturniveaus ab, auf denen Wärme aufgenommen und wieder abgegeben wird. Diese Effizienz einer Wärmepumpe wird beschrieben durch die Leistungszahl als das Verhältnis von Wärmeabgabeleistung der Wärmepumpe zur Aufnahmleistung der Wärmepumpe unter Normbedingungen. Entscheidend für die Bewertung einer Wärmepumpe im praktischen Betrieb ist jedoch die Jahresarbeitszahl als das Verhältnis der jeweiligen Jahreswerte. Elektrowärmepumpen können theoretisch Jahresarbeitszahlen von 5 erreichen. In der Praxis liegen die Werte jedoch eher in einem Bereich zwischen 2,0 und 3,5, je nach Wärmequelle und

Betriebsweise. Wird in der Praxis in größerem Umfang eine elektrische Nachheizung erforderlich, liegen die Jahresarbeitszahlen noch niedriger.

Wichtig ist, dass die angestrebte Effizienz nicht nur theoretisch, sondern auch im praktischen Betrieb erreicht wird. Da Wärmepumpen empfindlicher als andere Systeme auf Fehler bei der Installation und falsche Einstellungen reagieren, sollten zur Kontrolle der Effizienz separate Strom- und Wärmemengenzähler installiert werden.

Thermische Solaranlagen

Über thermische Solaranlagen (Sonnenkollektoren) lässt sich Sonnenenergie zur Erwärmung von Wasser nutzen. Als Kollektoren werden meistens Flachkollektoren oder Vakuum-Röhren-Kollektoren eingesetzt. Letztere sind teurer, weisen aber meist höhere Wirkungsgrade auf. Genauso wichtig wie effiziente Einzelkomponenten ist die Abstimmung der Komponenten untereinander. Mit einer richtig eingestellten Anlage kann für mindestens 3 Monate der Kessel abgeschaltet werden. Geheizt wird in dieser Zeit nicht, die Solaranlage übernimmt vollständig die Warmwasserbereitung. Über das Jahr kann eine solche thermische Solaranlage etwa 40 bis 60 % der für die Warmwasserbereitung erforderlichen Energie abdecken. Das spart Heizenergie, Strom und Abgase, die bei den Kaltstarts des Kessels besonders hoch sind.

Auch eine Unterstützung der Raumheizung im Altbau durch solarthermische Anlagen ist möglich. Das ist jedoch nur sinnvoll, wenn das Gebäude durch einen nachträglichen hochwertigen Wärmeschutz einen niedrigen Restwärmeverbrauch hat, dieser über Flächenheizungen mit niedrigen Vorlauftemperaturen gedeckt werden kann und die Kollektoren optimal ausgerichtet werden können, um die tiefstehende Wintersonne zu nutzen. Unter diesen optimalen Voraussetzungen können solare Deckungsgrade am Heizwärmeverbrauch von 10 % bis 20 % erreicht werden, ansonsten ist mit eher 1 % bis 3 % zu rechnen.

Lüftungsanlagen

Eine gute Luftqualität in Wohngebäuden erfordert einen dauerhaften und kontinuierlichen Luftwechsel, der über Lüftungsanlagen gewährleistet werden kann.

Bei zentralen Abluftanlagen wird mit Hilfe eines Ventilators Raumluft in der Regel aus Küche, Bad und Toilette abgesaugt und z.B. über das Dach ausgeblasen. Durch den damit verbundenen leichten Unterdruck im Gebäude strömt frische Außenluft über Zuluftventile in Schlaf- und Wohnräumen nach. Das Gebäude bzw. die Wohnung wird so dauerhaft und kontrolliert

durchströmt. Feuchtigkeit und Gerüche in den Ablufträumen werden direkt abgeführt und breiten sich nicht in die Wohnräume aus. Das System gewährleistet gute Raumluftqualität und steigert den Wohnkomfort.

Energieeinsparungen können durch Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erzielt werden. Bei solchen Systemen wird die Wärme mittels Wärmetauscher von der Abluft auf die Zuluft übertragen. Die Zuluft tritt so bereits vorgewärmt in die Räume ein. Erforderlich ist hierfür allerdings neben einem Abluft- auch ein Zuluftkanalnetz.

Der Nutzen der Wärmerückgewinnung ist umso größer, je mehr Wärme aus der Abluft auf die Zuluft übertragen wird. Wärmebereitstellungsgrade von über 80 % werden von hochwertigen Lüftungsanlagen erreicht.

3 Energieeinsparungen

In der Öffentlichkeit wird häufig das Argument vorgetragen, mit der energetischen Modernisierung würden die prognostizierten Energieeinsparungen bei Weitem nicht erzielt. Dagegen sprechen überzeugend die vielen realisierten und dokumentierten Bauvorhaben, in denen hohe Energieeinsparungen in der Praxis tatsächlich erzielt wurden (siehe z.B. [7] oder www.wirtschaft.hessen.de). Trotz dieser positiven Erfahrungen gilt: Die Abschätzung möglicher Energieeinsparpotenziale durch die energetische Modernisierung bestehender Gebäude stellt eine besondere Herausforderung dar, denn wesentliche energetische Kenngrößen liegen für Bestandsgebäude in der Regel nicht vor und müssen somit pauschalisiert angesetzt werden.

3.1 Die Problematik der unzureichenden Datenbasis

Statistisch abgesicherte und in einer einheitlichen Systematik durchgeführte Erhebungen zum gemessenen Endenergieverbrauch von Wohngebäuden und zu deren baulichem bzw. anlagentechnischem Zustand liegen für Deutschland nicht vor. Vielmehr gibt es verschiedene Studien, die Verbrauchskennwerte zwar postulieren, deren Güte jedoch kritisch zu beurteilen ist. Dies ist angesichts der Vielzahl von Einflussgrößen auf die Kennwertbildung nicht verwunderlich:

- Wird das Gebäude mit Wärme und Warmwasser vollständig zentral monovalent oder teilweise/vollständig bivalent versorgt?
- Wird das Gebäude ausschließlich zu Wohnzwecken genutzt oder liegt auch eine Sondernutzung vor?
- Wie wird der Einfluss von Leerstand in den Studien berücksichtigt?
- Ist der Abrechnungszeitraum sinnvoll und einheitlich definiert?
- Wie viele Abrechnungsperioden liegen zugrunde?
- Sind die Ergebnisse klimabereinigt?
- Auf welche Fläche werden die Verbrauchswerte bezogen?
- In welchem baulichen/anlagentechnischen Zustand ist das Gebäude?
- Wurden insbesondere energetische Teilmorden modernisierungen durchgeführt?

Unter Berücksichtigung – oder besser unter Vernachlässigung – vieler dieser Aspekte werden in vielen Studien Kennwerte gebildet, die einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen

haben, denn die möglichen Einsparungen werden auf Basis solcher Kennwerte ermittelt. Tatsächlich muss jedoch davon ausgegangen werden, dass schon bei deren Bestimmung eine hohe Unsicherheit bzw. große Streuung vorliegt. So ist z. B. auch vor Ort nicht ohne Weiteres erkennbar, in welcher energietechnischen Qualität eine eventuell nachträglich angebrachte Wärmedämmung ausgeführt wurde. Wird die Wärmedämmung infolge von Ausführungsmängeln rückseitig mit kalter Luft hinterströmt und so die Effektivität der Dämmung entscheidend verringert? Wie groß ist der tatsächliche Luftwechsel während der Heizperiode als Folge von undichten Anschlägen in der Gebäudehülle und der Lüftung über Fenster und Türen? Wie und in welchem Umfang werden einzelne Räume des Gebäudes in der Praxis tatsächlich beheizt?

3.2 Tools für die Datenaufnahme

Eine gewissenhafte Datenaufnahme ist daher die Grundlage für eine zuverlässige Berechnung möglicher Energieeinsparungen. Hier stellt die Deutsche Energie-Agentur (dena) mit der Reihe »Leitfaden Energieausweis« ein Handbuch für die detaillierte Datenerhebung und die Ausstellung von Energieausweisen für Fachleute zur Verfügung. Der erste Teil der Reihe beschreibt eine sinnvolle Vorgehensweise bei der Datenaufnahme als Basis für Energiebilanzberechnungen. Darüber hinaus werden praxisrelevante Tipps für die Datenaufnahme vor Ort gegeben.¹

Liegen die benötigten Daten zur Berechnung der Energiebilanz nur unzureichend vor, können diese über das sogenannte »Kurzverfahren Energieprofil« mit wenig Aufwand, aber hinreichender Genauigkeit, erhoben werden. Dabei umfasst die Datenaufnahme auch die Dokumentation zwischenzeitlich durchgeführter energietechnischer Maßnahmen sowie von gemessenen Verbrauchswerten. Das Kurzverfahren ist ein geeignetes, praxisnahe Tool zur Erfassung objektbezogener Daten für die energietechnische Analyse.²

1 Für weitergehende Informationen sei an dieser Stelle auf den genannten dena-Leitfaden verwiesen.

[<https://shop.dena.de/sortiment/detail/produkt/leitfaden-energieausweis-teil-1-energiebedarfsausweis-datenaufnahme-wohngebäude-download/>]

2 Weiterführende Informationen und eine Auflistung zu praktischen Anwendungen des Verfahrens sowie zur Umsetzung in Software-Lösungen finden sich unter www.iwu.de/forschung/energie/laufend/kurzverfahren-energieprofil/

3.3 Die Berechnung von Energiebilanzen

Es gibt nicht nur Unsicherheiten bei der Erhebung energierelevanter Daten in Bestandsgebäuden, auch in der Berechnung von Energieeinsparpotenzialen liegt eine besondere Problematik. So können durch den Einsatz ungeeigneter Energiebilanzverfahren unrealistisch hohe Energieeinsparpotenziale prognostiziert werden, die nach Durchführung der energiesparenden Maßnahmen in der Realität nicht erreicht werden. Was in der Folge bei den Investoren bleibt, ist das Gefühl, dass Wärmedämmung grundsätzlich nicht das hält, was vorher versprochen wurde. Das vorliegende Kapitel greift diese Problematik auf, indem zunächst die Grundlagen der Energiebilanzierung und gängige Verfahren der Energiebilanzberechnung dargestellt werden. Anschließend werden die Schwierigkeiten bei der Wahl der richtigen Parameter für die Energiebilanzberechnung analysiert.

Bei den Energiebilanzberechnungen stellen sich die spannenden Fragen, inwiefern berechnete Energiebedarfswerte gemessenen Verbrauchswerten entsprechen und ob die berechneten Einsparungen auch in der Praxis erzielt werden. Fakt ist: Sowohl die Unschärfe der baulichen (z. B. Wärmeleitfähigkeiten der Baumaterialien) und der anlagentechnischen (z. B. Effizienz der Heizkessel, Verluste über Rohrleitungen) als auch die der nutzerspezifischen Randbedingungen (Raumtemperaturen, Lüftungsverhalten, Nutzungsbedingungen, Leerstände etc.) bestimmen die Ergebnisse erheblich. Dazu kommen grundlegende Unterschiede aufgrund der Art der Energiebilanzierung.

3.3.1 Statische und dynamische Energiebilanzprogramme

Die physikalischen Grundlagen energierelevanter Prozesse in Gebäuden sind seit Langem bekannt und unstrittig. Alle Energiebilanzprogramme bauen darauf auf. Energiebilanzberechnungen mit entsprechenden Energiebilanzprogrammen sind heute ein alltägliches Planungsinstrument und bilden eine wesentliche Grundlage für die Planung energietechnischer Modernisierungen. Für die Bilanzierung stehen komplexe und vereinfachte Energiebilanzverfahren zur Verfügung, die sich grundlegend unterscheiden und zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen können. Die Verfahren können aufgrund ihres methodischen Ansatzes, in Bezug auf den Detaillierungsgrad und hinsichtlich ihrer Einsatzbereiche wie in Tabelle 3-1 dargestellt unterteilt werden.

Methode	Dynamische Simulation	Statische Simulation
Modell	Modellierung der physikalischen Prozesse im Detail, Abbildung des Zeitverlaufs der Energieströme	Abbildung zeitlich gemittelter Energieströme unter Annahme konstanter Randbedingungen (Klima, Nutzung)
Anwendungsbereiche	vor allem Wissenschaft und Forschung, Planung von Gebäuden mit hoher technischer Gebäudeausrüstung, Optimierung von Komponenten mit dynamischen Eigenschaften, Regelungsstrategien, Minimierung der sommerlichen Überhitzung, Maximierung der Tageslichtnutzung etc., Konzeption von Gebäuden mit minimalem Energieverbrauch, Abgleich von stationären Verfahren	Energiekennwert-Nachweis, Optimierung im Planungsaltag für Gebäude mit durchschnittlicher technischer Gebäudeausrüstung
Vorteile	hohe Genauigkeit, detailgetreue Abbildung, Einfluss aller relevanten Parameter systematisch bestimmbar	Einfachheit, Transparenz (Handrechenverfahren), wenige Ein- und Ausgabedaten, Beschränkung auf die wesentlichen Einflussgrößen, Anwendung schon im frühen Entwurfsstadium
Nachteile	hoher Aufwand für die Datenerhebung, evtl. Informationsüberfluss, hohe Kosten	kein zeitlicher Verlauf, Effekte dynamischer Prozesse (Heizungsregelung, Nacht-/Wochenendabsenkung, thermische Speicherfähigkeit etc.) nicht transparent, Berücksichtigung über Korrekturfaktoren

Tab.3-1 Dynamische und stationäre Energiebilanzverfahren im Vergleich

Sowohl dynamische als auch statische Energiebilanzverfahren haben ihre Berechtigung. Komplexe dynamische Verfahren erfordern einen hohen Detailierungsgrad mit einem entsprechend hohen Aufwand zur Datenerhebung. Damit können Gebäude mit ihren energie- und anlagentechnischen Eigenschaften sowie individuellen Nutzungsbedingungen differenziert

abgebildet werden. Es können in beliebig hoher zeitlicher Auflösung Energiebilanzen über definierte Zeiträume berechnet werden. Solche komplexen Energiebilanzverfahren werden vor allem im Rahmen von Forschungsvorhaben eingesetzt. Sie sind Grundlage für die Entwicklung von vereinfachten und zugleich physikalisch abgesicherten statischen Energiebilanzverfahren. Bei der ingenieurmäßigen Anwendung stellt die für dynamische Verfahren erforderliche umfangreiche Datenaufnahme ein großes praktisches Problem dar. Daher werden insbesondere bei der ingenieurmäßigen Bilanzierung von Wohngebäuden aus dem Bestand statische Energiebilanzverfahren eingesetzt, bei denen die Komplexität der Modellbildung vereinfacht ist. Dies führt zu einer verminderten Genauigkeit der Ergebnisse, die vor dem Hintergrund der ohnehin bestehenden Risiken bzgl. der Abbildung der energie- und anlagentechnischen Eigenschaften eines bestehenden Gebäudes jedoch vertretbar ist.

Im Folgenden werden drei statische Energiebilanzverfahren vorgestellt.

3.3.2 Die Energiebedarfsberechnung nach Energiesparverordnung (EnEV)

Die EnEV ist ein wichtiger Baustein der Energie- und Klimaschutzpolitik der Bundesregierung. Sie wurde erstmals 2002 als Zusammenfassung der bis dahin geltenden Wärmeschutzverordnung und der Heizungsanlagenverordnung erlassen und seitdem mehrfach novelliert. Aufgrund der Beschlüsse der Bundesregierung zum Energiekonzept und der Energiewende wurde die EnEV letztmalig zum 1. Januar 2016 fortgeschrieben. Sie definiert Mindestanforderungen an die energietechnische Qualität von Gebäuden, deren Erfüllung über ein vereinfachtes statisches Energiebilanzverfahren mit relativ leicht zu erfassenden Eingabedaten unter standardisierten Randbedingungen nachzuweisen ist.

EnEV – geeignet für den standardisierten öffentlich-rechtlichen Nachweis

Nach den Regelungen der EnEV wird ein öffentlich-rechtlicher Nachweis erstellt, bei dem es um die energietechnische Bewertung eines Gebäudes und nicht um die Bewertung der jeweiligen Nutzer im Zusammenspiel mit dem Gebäude geht. Die Berechnungen nach EnEV zielen folglich bewusst nicht darauf ab, ein einzelnes Gebäude unter Berücksichtigung der individuellen Nutzung möglichst genau abzubilden. Vielmehr ist das Ziel dieses standardisierten Ansatzes, die Vergleichbarkeit verschiedener Gebäude mit ihren energietechnischen Eigenschaften zu ermöglichen. Dieser metho-

dische Ansatz bildet somit die Grundlage dafür, Gebäude auf Basis des Energieausweises klassifizieren und damit unter standardisierten Rahmenbedingungen bzgl. ihrer energietechnischen Eigenschaften vergleichen zu können. Dieser Fokus – Klassifizierung im Energieausweis – rechtfertigt den Ansatz von standardisierten Rahmenbedingungen, hat aber seine Grenzen, wenn der Energieverbrauch eines einzelnen bestehenden Gebäudes unter individuellen Bedingungen abgebildet werden soll.

EnEV – ungeeignet für die Berechnung eines realistischen Energiebedarfs

Um zusätzlichen Aufwand zu sparen und da der Nachweis nach EnEV als öffentlich-rechtlicher Nachweis bei Modernisierungsmaßnahmen ohnehin geführt werden muss, werden in der Praxis immer wieder die Ergebnisse dieser Energiebilanzberechnungen unzulässigerweise als Basis für entsprechende Aussagen zu tatsächlichen Energieeinsparpotenzialen in einzelnen Gebäuden herangezogen. Durch die standardisierten Rahmenbedingungen sind Berechnungen auf der Grundlage der EnEV jedoch nicht geeignet für Analysen von Wohngebäuden im Bestand.

Eine Vielzahl von Studien belegt einen gegenüber dem berechneten Bedarf nach EnEV im Mittel signifikant geringeren gemessenen Energieverbrauch. In der Folge werden unrealistisch hohe Energieeinsparpotenziale ermittelt und letztlich Erwartungen in Bezug auf zukünftige Energieeinsparungen nicht erfüllt. Zudem besteht die Gefahr, vor dem Hintergrund (unrealistisch) großer Energieeinsparpotenziale Empfehlungen für die energietechnische Modernisierung zu formulieren, die sich in der Praxis als (wirtschaftlich) nicht sinnvoll erweisen.

3.3.3 Die Energiebedarfsberechnung nach dem Energiepass Heizung/Warmwasser

Eine Alternative zu den standardisierten Ansätzen nach EnEV sind statische Energiebilanzprogramme, die einen der EnEV ähnlichen einfachen Eingabedatensatz erfordern, bei denen jedoch die Rahmenbedingungen in plausiblen Grenzen variiert werden können, um letztlich berechnete Bedarfswerte an gemessene Verbrauchswerte angleichen zu können. Ein solches Verfahren ist der Energiepass Heizung/Warmwasser (EPHW).³ Die Berechnungen nach dem EPHW-Verfahren weichen im Wesentlichen durch die

3 Weitere Informationen zu dem Verfahren unter [2]

Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung und einer Nachabsenkung von den Algorithmen der EnEV ab.

Das EPHW-Verfahren wird in verschiedenen regionalen und branchenspezifischen Initiativen für die Energieberatung genutzt. Die nach diesem Verfahren berechneten Energiebedarfskennwerte stimmen im Vergleich zu den Ergebnissen nach EnEV deutlich besser mit gemessenen Energieverbrauchs-kennwerten überein, Energiesparpotenziale werden realistischer als nach EnEV abgeschätzt.

Räumliche und zeitliche Teilbeheizung/Nachabsenkung

In der Praxis werden einzelne Räume wie Schlafzimmer oder Flure in Wohnungen häufig nicht durchgehend beheizt oder die Raumsolltemperatur wird während des Tages, in der Nacht oder bei längerer Abwesenheit (Wochenende, Urlaub) abgesenkt. Daraus folgt eine Reduktion der mittleren Temperaturdifferenz zwischen dem beheizten Gebäude und der Umgebung über die Dauer der Heizperiode. Dieser Effekt wirkt sich prinzipiell umso stärker aus, je schlechter der Wärmeschutzstandard eines Gebäudes und je größer die Wohnungen selbst sind. Im EPHW wird dies über die räumliche und zeitliche Teilbeheizung des Gebäudes bzw. über eine Nacht- und Wochenendabsenkung berücksichtigt [3]. Aus diesem Ansatz resultieren im unsanierten Zustand mittlere Raumtemperaturen im Gebäude, die zum Teil deutlich unter der gewählten Raumsolltemperatur liegen. Die berechneten Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste im unsanierten Zustand sind entsprechend geringer.

Nach der umfassenden energetischen Modernisierung steigt die mittlere Raumtemperatur je nach energetischem Standard an. Über diese erhöhte mittlere Raumtemperatur werden die Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste der Gebäude im Zustand nach der Modernisierung berechnet. Damit wird der empirisch nachgewiesene Effekt höherer Raumtemperaturen nach einer energietechnischen Modernisierung im Energiebilanzmodell abgebildet. Die resultierende Energieeinsparung wird im Vergleich zur EnEV realistischer, d. h. niedriger, berechnet.

Abbildung 3-1 zeigt den empirisch ermittelten Einfluss der räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung und der Nachabsenkung in Abhängigkeit vom Wärmeschutzstandard auf die mittlere Raumtemperatur während der Heizperiode [3].

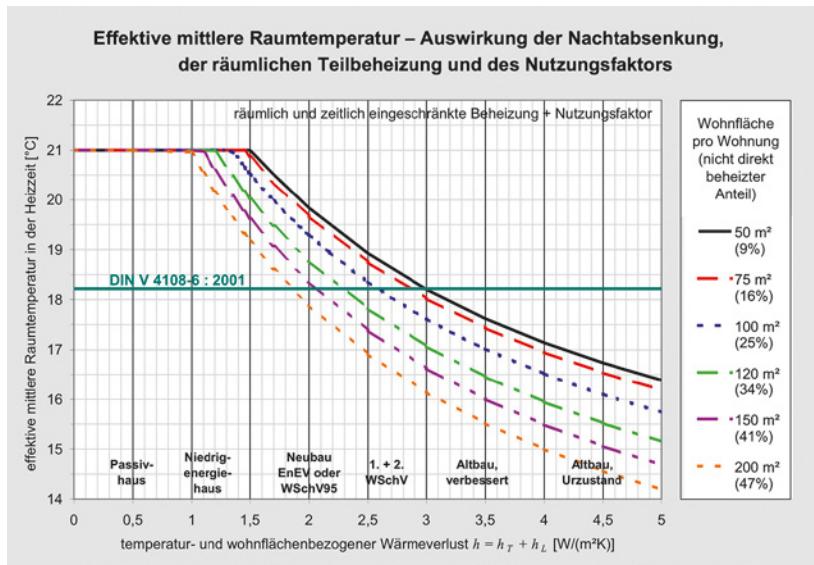


Abb. 3-1 Mittlere resultierende Raumtemperaturen in der Heizperiode bei zeitlich und räumlich eingeschränkter Beheizung und Nachabsenkung in Abhängigkeit vom Wärmeschutzstandard des Gebäudes [3]

In unsanierten Altbauten mit mangelndem Wärmeschutz erscheinen mittlere Raumtemperaturen während der Heizperiode unter Beachtung dieser Effekte zwischen sehr niedrigen 16 °C bis 18 °C durchaus realistisch, trotz einer gewählten Raumsolltemperatur von 21 °C. Mit verbessertem Wärmeschutzstandard, z. B. infolge einer energietechnischen Modernisierung, steigt die mittlere Temperatur im Gebäude an, bis sie letztlich beim Niedrigenergiehausstandard im Mittel etwa die Raumsolltemperatur erreicht. Diese Effekte sind empirisch nachgewiesen und müssen bei der energetischen Bilanzierung von Altbauten berücksichtigt werden, um mögliche Einsparpotenziale realistisch einschätzen zu können. In den Berechnungsalgorithmen nach EPHW ist das der Fall.

3.3.4 Die Energiebedarfsberechnung nach dem Passivhaus-Projektierungs-Paket

Das Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) eignet sich insbesondere für die Berechnung energetischer Kennwerte von Passivhäusern und ermöglicht im Planungsprozess die optimale Abstimmung zwischen der energietechnischen

Qualität der Gebäudehülle (baulicher Wärmeschutz, Fensterqualitäten, Verschattung) und der technischen Gebäudeausstattung (Heizung, Lüftung, Kühlung). Verglichen mit den EnEV-Berechnungen sind die Ergebnisse der Energiebilanzen nach dem PHPP als Grundlage für Wirtschaftlichkeitsberechnungen deutlich realitätsnäher.

Ergebnisse der Energiebedarfsberechnung sind u. a. der jährliche Heizwärmeverbrauch und die maximale Heizlast eines Gebäudes. Auf Basis der Energiebilanz und unter Berücksichtigung der Anlagentechnik wird zudem der jährliche Primärenergiebedarf (erneuerbar/nicht erneuerbar) errechnet. Diese Kennwerte bilden eine wesentliche Grundlage für die Auslegung der gesamten Anlagentechnik (Heizung, Kühlung, Lüftung) im Gebäude.

Das PHPP besteht aus einer Software (Excel-Datei mit verschiedenen Tabellenblättern, welche die jeweils relevanten Eingaben und Berechnungen für unterschiedliche Themenbereiche enthalten⁴) und einem dazugehörigen gedruckten Handbuch. Im Handbuch werden nicht nur die Rechenverfahren des PHPP erläutert, sondern auch weitere wichtige Merkpunkte für den Bau von Passivhäusern. Das PHPP-Handbuch ist zugleich eine umfassende Anleitung für die Planung von Passivhäusern.

3.4 Von der Schwierigkeit, den richtigen Wert zu treffen

Wesentliche Rahmenbedingungen zur Berechnung von Energiebilanzen, wie z. B. die tatsächlichen wärmetechnischen Eigenschaften der eingesetzten Baumaterialien im Altbau, die tatsächlichen Raumtemperaturen während der Heizperiode, das reale Lüftungsverhalten der Bewohner oder auch der individuelle Warmwasserverbrauch, sind im Detail in bestehenden Wohngebäuden häufig nur mit erheblichem Aufwand zu erfassen. In der Praxis können diese Rahmenbedingungen daher lediglich innerhalb plausibel erscheinender Grenzen abgeschätzt und bei der Bilanzierung entsprechend berücksichtigt werden. Gleichzeitig haben diese Rahmenbedingungen jedoch einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Energiebilanzberechnung, wie im Folgenden am Beispiel eines Einfamilienhauses dargestellt wird. Abbildung 3-2 zeigt die Ergebnisse von Energiebilanzberechnungen mit dem in Kapitel 3.3.3 vor gestellten Energiepass Heizung/Warmwasser unter Annahme unterschiedlicher plausibler Rahmenbedingungen.

4 Weitere Informationen siehe https://passipedia.de/planung/energieeffizienz_ist_berechenbar/energiebilanzen_mit_dem_phpp

- U-Wert Außenwand

Bei Altbauten ist die energietechnische Qualität der Bauteile der thermischen Hülle oft nicht genau bestimmbar. Zwar können Bauteile bestimmten Baupochen mit typischen energietechnischen Qualitäten zugeordnet werden, sofern diese noch im Zustand der Herstellung sind. Diese Zuordnungen sind jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. So können die energietechnischen Eigenschaften von z. B. Ziegeln schon aufgrund unterschiedlicher Materialdichten und Feuchten im Einzelfall ganz erheblich variieren. Für das in dieser Studie untersuchte Einfamilienhaus (siehe Kapitel 6) kann ein U-Wert für die Außenwand von $1,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als typisch angesehen werden. Je nach den wärmetechnischen Eigenschaften der Baumaterialien und der Wanddicke sind im konkreten Einzelfall aber auch U-Werte der ungedämmten Wand zwischen $1,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und $1,45 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durchaus realistisch. Allein aus dieser Unsicherheit kann der berechnete Endenergiebedarf des hier untersuchten Gebäudes realistisch zwischen $217 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $233 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ liegen (siehe Abbildung 3-2).

- Teildämmung der Außenwand

Die energietechnischen Eigenschaften von Altbauten sind zum Zeitpunkt einer Modernisierung häufig nicht mehr dieselben wie zum Zeitpunkt der Errichtung des Gebäudes, z. B. wenn zwischenzeitlich Teilmordenisierungen der Fassade erfolgten. Bei den in Abbildung 3-2 dargestellten Ergebnissen wurde angenommen, dass ausgehend von einer zunächst vollständig ungedämmten Außenwand eine Teilfläche von 50 % nachträglich gedämmt wurde. In den Berechnungen wurde die Dämmdicke von 1 cm bis 6 cm variiert. Eine solche Teildämmung der Außenwand in einem Bestandsgebäude lässt sich vergleichsweise einfach feststellen. Dennoch bleibt hier das Problem, die energietechnische Qualität des eingesetzten Dämmstoffs zu bestimmen, insbesondere für den Fall, dass die Maßnahme viele Jahre zurückliegt. Der berechnete Endenergiebedarf sinkt mit der Teildämmung der Fassade um nahezu $40 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ von $225 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ auf $186 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

- Mittlere Raumsolltemperatur während der Heizperiode

Ein zweiter wesentlicher Einflussfaktor auf das Ergebnis von Energiebilanzberechnungen ist die über die Heizperiode an der Heizung eingestellte mittlere Raumsolltemperatur. Für die in Abbildung 3-2 dargestellten Berechnungen für einen ungedämmten Altbau wurde diese in einem Bereich von vergleichsweise niedrigen 19°C bis zu durchaus üblichen 22°C variiert. Diese Bandbreite von 3°C führt zu Endenergiebedarfswerten zwischen $196 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $256 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die von den Nutzern des Gebäudes individuell eingestellte Raumsolltemperatur hat somit

einen erheblichen Einfluss auf den Endenergiebedarf. Gleichzeitig ist es in der Praxis schwierig, die mittlere Raumsolltemperatur für die Energiebilanzberechnung im Einzelfall realitätsnah und verlässlich zu bestimmen. Dies gilt umso mehr für den Fall teilbeheizter Einfamilienhäuser.

- Mittlerer Luftwechsel während der Heizperiode

Der mittlere Luftwechsel über die Heizperiode kann ohne aufwendige Messungen nicht bestimmt werden und muss daher letztlich pauschal angesetzt werden. Je nach Zustand und Lage des Gebäudes sowie den Gewohnheiten der Nutzer können hier in der Praxis Luftwechselraten von sehr niedrigen $0,2/\text{h}$ bis $0,5/\text{h}^5$ oder auch deutlich mehr durchaus plausibel sein. Wird ausschließlich dieser Parameter variiert, hat der Luftwechsel keinen sehr großen Einfluss auf den Endenergiebedarf, wie in Abbildung 3-2 dargestellt. Allerdings kann ein erhöhter Luftwechsel in Verbindung mit einer hohen Raumsolltemperatur zu einem sehr hohen Endenergiebedarf führen.

- Effizienz der Heizungsanlage

Nach der Planung sollte das hier berechnete Gebäude neben einer umfassenden Modernisierung der thermischen Gebäudehülle mit einer modernen und effizienten Heizungsanlage in Kombination mit einer thermischen Solaranlage zur Unterstützung der Raumheizung und Warmwasserbereitung ausgeführt werden. Angestrebt ist ein berechneter Endenergiebedarf von $69 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ nach der energietechnischen Modernisierung. Abbildung 3-2 zeigt die Effekte, die sich einstellen, wenn Teile der Heizungsanlage nicht optimal oder nicht wie geplant ausgeführt werden. Abweichungen zwischen Planung und Ausführung oder eine schlecht eingestellte Anlage lassen in diesem Beispiel den berechneten Bedarf von $69 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ auf fast $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ steigen. Der nach den Berechnungen angestrebte Bedarf wird um mehr als $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ bzw. um fast 30 % überschritten.

Dieses Beispiel aus dem Bereich der Anlagentechnik verdeutlicht den großen Einfluss einer sorgfältigen Planung und Ausführung der Maßnahmen. Wird auf entsprechende flankierende qualitätssichernde Maßnahmen verzichtet, kann ein angestrebtes Energieeinsparpotenzial deutlich verfehlt werden. Gleches gilt auch für die Planung und Ausführung von Maßnahmen an der thermischen Gebäudehülle.

5 Ein Luftwechsel von $0,5/\text{h}$ bedeutet, dass die Hälfte des Luftvolumens in einem Raum in einer Stunde ausgetauscht wird. Nahezu vollständig über diesen Austausch erfolgt zum einen der Abtransport von »verbrauchter Luft«, Luftschatstoffen und Feuchtigkeit und zum anderen die Versorgung mit Frischluft.

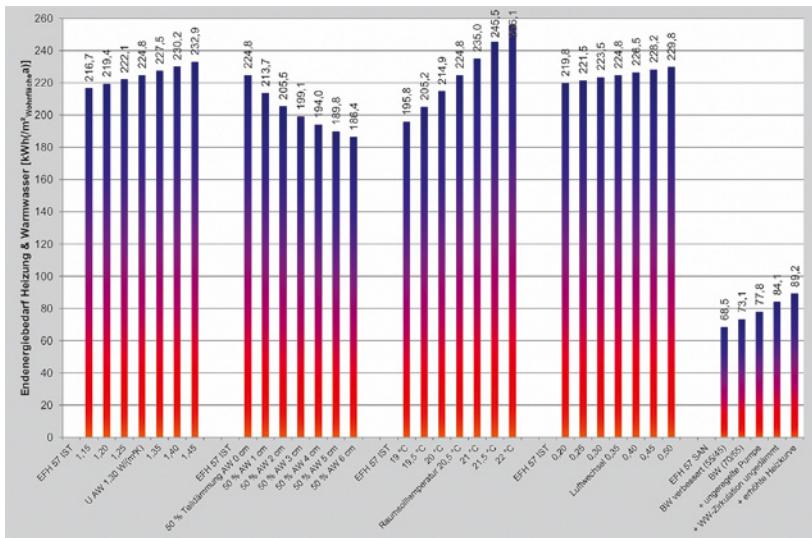


Abb. 3-2 Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser, Einfluss verschiedener Parameter auf den berechneten Bedarf

Die dargestellten Berechnungsergebnisse zeigen beispielhaft den großen Einfluss, den verschiedene Parameter auf die Ergebnisse von Energiebilanzen haben. Dabei überlagern sich die Effekte der einzelnen Parameter, sie können sich in ihrer Wirkung verstärken oder auch aufheben und in ihrem Zusammenwirken dazu führen, dass unter standardisierten Bedingungen berechnete Energiebedarfswerte und unter realistischen Bedingungen gemessene Energieverbrauchswerte ganz erheblich voneinander abweichen. Dies gilt sowohl für Altbauten als auch für energietechnisch modernisierte Gebäude. Entscheidend vor dem Hintergrund von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ist es, den über mehrere Jahre gemessenen Verbrauch eines Gebäudes vor einer geplanten energietechnischen Modernisierung zu erfassen und den berechneten Bedarf über die plausible Einstellung von Parametern an diesen gemessenen Verbrauch anzupassen, um für die Berechnungen von einem realistischen Endenergiebedarf ausgehen zu können. Auf dieser Basis lassen sich realistische Endenergieeinsparpotenziale abschätzen, die eine wesentliche Einflussgröße für Wirtschaftlichkeitsberechnungen darstellen.

3.5 Fazit

Viele realisierte Projekte zeigen, dass mit energietechnischen Modernisierungen in Altbauten erhebliche Energieeinsparpotenziale erschlossen werden können. Um solche Potenziale vor Durchführung der Maßnahmen abschätzen zu können, stehen Energiebilanzprogramme zur Verfügung. Dabei haben sowohl komplexe dynamische als auch vereinfachte statische Energiebilanzprogramme ihre Berechtigung. Allerdings steigen mit der Komplexität der Rechenalgorithmen der zeitliche Umfang und der Detaillierungsgrad der Modellbildung und gleichzeitig auch die Gefahr von Datenfehleingaben insbesondere bei der energietechnischen Bilanzierung von Bestandsgebäuden signifikant.

Der große Vorteil der Berechnungen nach statischen Energiebilanzverfahren wie der EnEV liegt in der vereinfachten Datenaufnahme. Darüber hinaus folgt aus den standardisierten Rahmenbedingungen des Verfahrens die unmittelbare Vergleichbarkeit der Ergebnisse bzgl. der energetischen Eigenschaften des Gebäudes und seiner Anlagentechnik mit anderen Gebäuden, denn bei dem Nachweis nach EnEV geht es um die energetische Bewertung des Gebäudes und nicht des Nutzerverhaltens. Die Konsequenz hieraus ist, dass eine Übereinstimmung des Energieverbrauchs eines bestehenden genutzten Gebäudes wohl eher zufällig mit dem unter Normbedingungen berechneten Bedarf nach EnEV übereinstimmt. Zur Abschätzung realistischer Energieeinsparpotenziale in bestehenden Gebäuden ist dieses Verfahren daher eher ungeeignet.

Eine Alternative zu den standardisierten Rahmenbedingungen nach EnEV ist der EPHW, der eine Anpassung der Rahmenbedingungen der Berechnungen in sinnvollen Grenzen ermöglicht. Die nach dem EPHW berechneten Energiebedarfskennwerte stimmen im Vergleich zu den Ergebnissen nach EnEV deutlich besser mit gemessenen Energieverbrauchswerten überein. Einsparpotenziale werden realistischer – d. h. geringer als bei den Berechnungen nach EnEV – abgeschätzt. Letztlich ist der EPHW ein gut geeignetes Verfahren, um mit ausreichender Genauigkeit bei vertretbarem Aufwand Energiebilanzen für Wohngebäude zu berechnen und auf dieser Basis abgeleitete Kennwerte wie z.B. Energiekosten oder Emissionen an Treibhausgasen abzuschätzen bzw. realistische Einsparpotenziale zu ermitteln.

Die rechnerische Abschätzung von Energieeinsparpotenzialen über Energiebilanzprogramme stellt insbesondere bei Altbauten eine besondere Herausforderung dar, denn wesentliche energietechnische Parameter liegen für Bestandsgebäude in der Regel nicht vor und müssen auf Basis von Tabellen- und Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Dabei können im Einzelfall die Parameter in großen Bandbreiten plausibel angesetzt werden. Erschwerend

kommt hinzu, dass sich einzelne Parameter in ihrem Zusammenwirken verstärken oder aber auch in ihrer Wirkung aufheben können.

Von daher bleibt als Fazit zu diesem Kapitel festzuhalten: Die Behauptung »Bringt weniger als erwartet« ist richtig, wenn unter falschen Voraussetzungen mit ungeeigneten Energiebilanzprogrammen gerechnet wird und zudem die Qualität der Umsetzung einer energietechnischen Modernisierung nicht gesichert wird. Eine sorgfältige Datenaufnahme, die Berechnungen mit einem geeigneten Energiebilanzverfahren, der Abgleich zwischen einem berechneten Bedarf und einem gemessenen Verbrauch und die Qualitäts sicherung bei der Planung und Ausführung einer energietechnischen Modernisierung sind dagegen grundlegende Voraussetzungen für eine realistische Abschätzung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen.

Dennoch verbleibt ein Risiko aus den Ergebnissen von Energiebilanzberechnungen. Dies gilt vor allem für die Bewertung von Einzelmaßnahmen, denn die energietechnischen Eigenschaften von einzelnen Bauteilen in Bestands gebäuden können in der Regel nur näherungsweise abgeschätzt werden. Gleichzeitig können diese mit einer Unsicherheit festgelegten Parameter das Ergebnis der Energiebilanzberechnung wesentlich beeinflussen, wie am Beispiel der Außenwand gezeigt wurde. Wird die Wirtschaftlichkeit einer Einzelmaßnahme in einem Bestandsgebäude diskutiert, muss dabei beachtet werden, dass die als Basis für die Energiebilanzberechnungen angesetzten wärmetechnischen Eigenschaften eines Bauteils oder die energietechnischen Eigenschaften einer Anlage nicht mit absoluter Sicherheit bestimmt werden können und somit auch das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit einer entsprechenden Unsicherheit behaftet ist.

4 Kosten der energietechnischen Gebäudemodernisierung

In der Presse und auch unter Fachleuten wird die These, die energietechnische Gebäudemodernisierung sei viel zu teuer, heftig und kontrovers diskutiert. Solche Aussagen werden durch Studien belegt, die zu entsprechend kontroversen Ergebnissen kommen.

Um diese scheinbar unvereinbaren Ergebnisse interpretieren zu können, ist eine detaillierte Dokumentation der Datengrundlagen und der Systematik der entsprechenden Studien unerlässlich, damit Angaben zu Kosten energiesparender Maßnahmen plausibel eingeordnet werden können. Fehlen diese Dokumentationen, wie in der Mehrzahl der in der Fachliteratur vorliegenden Studien, können die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über nicht nachvollziehbare Kostenansätze innerhalb eines weiten Spielraums und je nach Interessenslage wesentlich beeinflusst werden.

Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit ist es in jedem Fall, die Maßnahmen an ohnehin anstehende Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen zu koppeln. Diesem Grundsatz folgt auch die EnEV, die für bestimmte Bauteile »bedingte Anforderungen« an die energietechnische Modernisierung definiert. Für diese bedingten Anforderungen gilt, dass sie auf der Basis typischer Kosten und unter Beachtung des Kopplungsprinzips »wirtschaftlich vertretbar« sein müssen.

4.1 Das Kopplungsprinzip

Die Systematik der bedingten Anforderungen baut auf dem sogenannten Kopplungsprinzip auf. Dieses Prinzip besagt, ein Bauteil erst dann nachträglich energietechnisch grundlegend zu verbessern, wenn ohnehin eine Instandsetzung oder Modernisierung ansteht.

Ein Beispiel: Die Anforderung der EnEV an die nachträgliche energietechnische Modernisierung einer Außenwand greift nur unter den Prämissen, dass die Außenwand vor Modernisierung energietechnisch sehr schlecht ist ($UW > 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^6$) und gleichzeitig auch der Außenputz aus Gründen einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung großflächig erneuert werden muss. Dieser Grundgedanke entspricht dem Kopplungsprinzip »wenn schon, denn schon«.

6 Ein U-Wert von $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ oder schlechter ist typisch für nicht gedämmte Außenwände im Altbau.

Das Kopplungsprinzip gilt für die meisten Bauteile der thermischen Hülle und der Heizungsanlage. Ausnahmen sind die Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke, da bei beiden Bauteilen in der Regel über die Lebensdauer des Gebäudes keine Instandsetzung erforderlich ist.

Eine Konsequenz des Kopplungsprinzips ist die Aufteilung der Gesamtkosten der energietechnischen Modernisierung in »ohnehin erforderliche Kosten« und »energiebedingte Mehrkosten«. Diese Aufteilung ist entscheidend für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen, denn lediglich die energiebedingten Mehrkosten sollten in die Wirtschaftlichkeitsberechnung eingehen, da diese Instandsetzungskosten unabhängig von der energietechnischen Modernisierung ohnehin beim Hauseigentümer angefallen wären.

Diese Systematik birgt jedoch das Problem der detaillierten Zuordnung der anfallenden Kosten in sich: Welcher Anteil der gesamten Kosten z.B. für die nachträgliche Dämmung einer Fassade ist vor dem Hintergrund einer erforderlichen Instandsetzung ohnehin erforderlich und welcher Anteil entspricht den energiebedingten Mehrkosten, d.h. den Kosten, die zusätzlich durch die nachträgliche energetische Modernisierung entstehen? Wie hoch sind die energiebedingten Mehrkosten, wenn lediglich auf einem kleineren Teil der Fassade der Putz erneuert werden müsste, nun aber die gesamte Fassade nachträglich gedämmt wird?

4.2 Studie »Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile«

Zur Versachlichung dieser Diskussion wurden in [6] die Kosten energietechnischer Modernisierungen von Altbauten ausgewertet. Die Ergebnisse beruhen auf gewerkebezogenen Kostenfeststellungen an insgesamt 1 177 Wohngebäuden mit mehr als 60 Mio. € Investitionskosten. In der Studie erfolgt eine systematische Einteilung der Gesamtkosten von einzelnen Maßnahmen in ohnehin erforderliche Kosten und energiebedingte Mehrkosten vor dem Hintergrund der bedingten Anforderungen der EnEV. Die detaillierte Darstellung der Kostenstrukturen ermöglicht es darüber hinaus auch, von dieser Systematik abzuweichen und im Einzelfall die Zuordnung zu modifizieren. Auf Basis der abgerechneten Bauvorhaben liefert die Studie statistisch abgesicherte Kostenfunktionen für die Vollkosten und die energiebedingten Mehrkosten für folgende Maßnahmen zur energietechnischen Modernisierung von Wohngebäuden im Bestand:

- Außenwand: nachträgliche Dämmung mit Wärmedämmverbundsystem/Kerndämmung
- Steildach: nachträgliche Dämmung von außen zwischen bzw. auf den Sparren
- Flachdach: nachträgliche Dämmung oberseitig
- oberste Geschossdecke: nachträgliche Dämmung begehbar/nicht begehbar
- Kellerdecke zum unbeheizten Keller: unterseitig/oberseitig
- Fenster und Fenstertüren: 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, passivhaustaugliche Fenster
- Solaranlagen: als Einzelmaßnahmen, mit Kesselaustausch zur Unterstützung der Warmwasserbereitung, zur Heizungsunterstützung
- Heizungsanlagen: Gas-Brennwert, Öl-Brennwert, Pellet, Fernwärme, Heizungsperipherie
- Lüftungsanlagen mit/ohne Wärmerückgewinnung
- Energieberatung, Architektenleistungen, Gerüste

Über Regressionsanalysen wurden Kostenfunktionen für die Vollkosten und die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen abgeleitet. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde durch weitergehende statistische Auswertungen überprüft und abgesichert.

Mit den Kostenfunktionen können abgesicherte Schätzwerte für typische Vollkosten aus der Summe von ohnehin erforderlichen Kosten infolge einer erforderlichen Instandsetzung und energiebedingten Mehrkosten infolge einer daran gekoppelten energietechnischen Modernisierung (Kopplungsprinzip) bestimmt werden. Als zwei wesentliche Ergebnisse der Auswertungen kann festgehalten werden:

- In der Regel ist der unmittelbare Zusammenhang zwischen der energetischen Qualität einer Maßnahme und den abgerechneten Kosten gering. Das heißt, dass die Kosten der energiesparenden Maßnahmen offensichtlich wesentlich durch Faktoren bestimmt werden, die ursächlich nicht in Zusammenhang mit der Verbesserung der energietechnischen Qualität stehen.
- Die Streuung der Kosten ist in der Regel groß. Dies bedeutet, dass im konkreten Einzelfall die Kosten für die Maßnahmen deutlich über den »typischen Kosten« liegen können – aber auch deutlich darunter.

Diese beiden wesentlichen Ergebnisse der Studie belegen die Aussage, dass energiesparendes Bauen nicht unbedingt zu hohen Kosten führen muss und dass im Einzelfall die Kosten einer nachträglichen energietechnischen Modernisierung deutlich über oder auch unter den »typischen Kosten« liegen können. Dies entspricht der baupraktischen Erfahrung.

4.2.1 Beispiel Wärmedämmverbundsystem

In der genannten Studie werden zur Ermittlung der Vollkosten für Wärmedämmverbundsysteme alle Systemkomponenten sowie alle relevanten Nebenkosten wie z.B. die Baustelleneinrichtung, die Kosten für die Demontage und Montage neuer Außenfensterbänke mit Antidröhnbändern und gegebenenfalls Dämmkeilen unter den Fensterbänken, das Versetzen von Fall- und Standrohren und weitere Spenglerarbeiten, die als Konsequenz der Maßnahme erforderlich werden könnten, berücksichtigt. Erfasst werden auch die Kosten für eventuell erforderliche Verlängerungen von Dachüberständen im Bereich Ortgang/Traufe oder die Kosten für die Dämmung von Loggien.

Darüber hinaus werden die Kosten zur Vermeidung von Wärmebrückeneffekten wie z.B. der eventuell erforderliche Abbruch von Gartenmauern, das Versetzen von Hoftoren, das Abschlagen von Fensteranschlägen, das Absägen von Betonüberständen, das Abstemmen von Vordächern oder die Demontage und Montage von Geländern einberechnet.

Enthalten sind auch die Kosten für z.B. die Demontage/Montage von Fenstergittern, Markisen oder für neue Balkongeländer, der Anstrich von Dachüberständen, Balkondecken und Gesimsen, eventuell erforderliche Sockelabdichtungen und Sockelputz, alle Elektroinstallationen auf der Fassade sowie Erschwerniszulagen für z.B. Arbeiten über Kopf.

Nicht enthalten sind die Kosten für das Gerüst und die oberseitige nachträgliche Dämmung von Böden auf Balkonen und Loggien, die in der Studie separat ausgewertet wurden, sowie die Kosten für neue Balkonanlagen, die im Zuge einer Modernisierung z.B. als thermisch getrennte, vorgeständerte Konstruktionen errichtet werden.

Bauteil Außenwand – WDVS

- Berücksichtigte Kostenelemente

- Baustelleneinrichtung
- alle Systemkomponenten WDVS
- Sockelabdichtungen & Sockelputz
- Dämmung von Loggien, Fensterleibungen, Perimeter
- systemgerechte Außenfensterbänke
- Versetzen/Erneuern von Fall- & Standrohren
- Verlängerung von Dachüberständen
- Anstriche von Dachüberständen & Gesimsen
- Demontage/Montage Fenstergitter & Markisen
- alle Elektroinstallationen an der Fassade



- zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken

- Dämmung von Fensterbänken & Leibungen
- systemgerechte Montagezylinder
- Abbruch von Gartenmauern
- Herausbrechen von Fensteranschlägen
- Absägen von Betonüberständen
- Abstemmen und Ersetzen von Vordächern
- Anpassen bzw. Ersetzen von Balkongeländern
- Versetzen von Hoftoren



Abb. 4-1 Kostenelemente bei der nachträglichen Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS)

Punktwolken

In Abbildung 4-2 sind die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem mit den Dämmstoffen Polystyrol (Basis: n = 268 Kostenfeststellungen) und Mineralfaser (Basis: n = 49 Kostenfeststellungen) zu sehen. Die Vollkosten (brutto) der Maßnahmen [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] mit unterschiedlichen Dämmstoffen und Dämmdicken sind als Punktwolke dargestellt. Die Punktwolke zeigt die großen Unterschiede in Bezug auf die tatsächlich abgerechneten Kosten einer nachträglichen Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem: So wurden in der Praxis Kosten für eine 15 cm dicke Dämmung zwischen etwa 100 $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Fassade}}$ bis 190 $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Fassade}}$ abgerechnet.

Kostenfunktion

Abbildung 4-2 zeigt zudem die lineare Kostenfunktion der Formel $y(x) = a \cdot x + b$ für die Vollkosten eines Wärmedämmverbundsystems. Der erste Term der Kostenfunktion beschreibt als Steigung a die linear zuwachsenden Kosten je cm Dämmstoff [$\text{€}/\text{cm Dämmstoffdicke}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$]. Diese Kosten sind von der energietechnischen Qualität der Maßnahme (Dämmstoffdicke) abhängig. Die Konstante b [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] beschreibt die Fixkosten, die im

Zuge einer Modernisierung unabhängig von der Dämmstoffdicke anfallen. Ergänzend enthält Abbildung 4-2 auch die Kosten für den Dämmstoff und das Verkleben des Dämmstoffs auf der Fassadenfläche ohne weitere Nebenarbeiten oder Anschlüsse (n = 177).

Bestimmtheitsmaß

Im Ergebnis liefern Kostenfunktionen Schätzwerte. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese geschätzten Kosten tatsächlich zutreffen, hängt u.a. davon ab, wie sehr die Werte in der Punktwolke (tatsächliche Kosten) gestreut sind. Je linearer sich die Daten verhalten, desto genauer ist die ermittelte Kostenfunktion bzw. je stärker die Werte in der Punktwolke gestreut sind, desto geringer wird die Wahrscheinlichkeit, dass der nach Kostenfunktion errechnete Wert tatsächlich zutrifft.

In diesem Zusammenhang ist das Bestimmtheitsmaß R^2 der Funktion von Bedeutung. Das Bestimmtheitsmaß vergleicht die erwarteten Kosten (y -Werte nach Kostenfunktion) mit den tatsächlichen Kosten (y -Werte der Punktwolke) und kann die Werte 0 bis 1 annehmen. Besitzt das Bestimmtheitsmaß den Wert 1, besteht für die Stichprobe eine vollkommene Korrelation: Die nach der Kostenfunktion berechneten Kosten entsprechen den tatsächlichen Kosten. Ist das Bestimmtheitsmaß dagegen 0, ist die Kostenfunktion nicht geeignet, die tatsächlichen Kosten zu bestimmen. Übertragen auf die hier gegebene Thematik bedeutet dies: Es besteht kein Zusammenhang zwischen den geschätzten Kosten (y -Werte nach Kostenfunktion) und den tatsächlichen Kosten (y -Werte der Punktwolke).

Kostenfunktion – Wärmedämmverbundsystem

Die schwarze Gerade in Abbildung 4-2 beschreibt die gemeinsame Vollkostenfunktion für Wärmedämmverbundsysteme mit den Dämmstoffen Mineralfaser und Polystyrol, die in den ausgewerteten Projekten fast ausschließlich eingesetzt wurden. Danach ergeben sich für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung durchschnittliche spezifische Vollkosten von 139 €/m^2 Bauteil ohne Gerüst. Die von der Dämmdicke unabhängigen Grundkosten für das Wärmedämmverbundsystem betragen durchschnittlich $96,88 \text{ €/m}^2$ Bauteil. Die zuwachsenden Kosten betragen $2,81 \text{ €/cm Dämmstoff/m}^2$ Bauteil.

Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 \approx 0,12$. Damit besteht nur ein geringer unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem und der äquivalenten Dämmdicke. Das heißt, dass ein verbesserter energetischer Zustand mit höherer Dämmdicke nicht unmittelbar zu höheren Kosten führen muss, wie sich in der starken Streuung der Punktwolke deutlich zeigt.

Kostenfunktion – Dämmstoff in der Fläche

Als rote Punkte sind in Abbildung 4-2 auch die Kosten für den Dämmstoff inkl. Verkleben, Ausschäumen von Fugen sowie Schleifen des Dämmstoffs in der Fläche für die Dämmstoffe Polystyrol und Mineralfaser angegeben. Dies sind Arbeiten, die im Zuge einer energietechnischen Modernisierung immer anfallen. Die in Rot dargestellte Kostenfunktion hat einen Fixkostenanteil von $11,63 \text{ €/m}^2$ Bauteil und zuwachsende Kosten von $1,11 \text{ €/cm Dämmstoff/m}^2$ Bauteil. Diese Kosten sind deutlich geringer als die zuwachsenden Kosten für das Wärmedämmverbundsystem von $2,81 \text{ €/cm Dämmstoff/m}^2$ Bauteil. Da diese Arbeiten präziser definiert sind als die umfangreichen Maßnahmen für ein vollständiges Wärmedämmverbundsystem mit allen Komponenten, ist erwartungsgemäß auch das Bestimmtheitsmaß mit $R^2 \approx 0,22$ im Vergleich größer, wenn auch noch immer klein.

Vergleich der Kostenfunktionen

Die unterschiedliche Steigung der Kostenfunktion belegt die These, dass mit höherer Dämmdicke auch umfangreichere Nebenarbeiten erforderlich werden: Bei höheren Dämmdicken kommt es häufiger zu einer Verlängerung des Dachüberstandes oder es werden zunehmend Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken durchgeführt wie z.B. der Einsatz von systemgerechten Montagezylinern bis hin zum Abschneiden von Balkonen oder dem Abstemmen von Fensteranschlügen u.a.m. Diese Kosten sind in

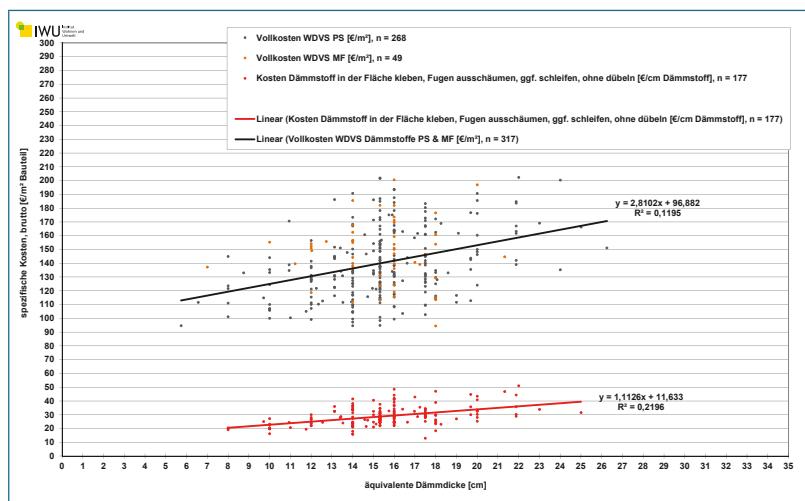


Abb.4-2 Spezifische Kosten und Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem

der Systematik der Studie dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet und zeigen sich in der großen Steigung der Kostenfunktion.

Einzelanalyse

Abbildung 4-2 zeigt eine starke Streuung der spezifischen Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem, die in den Gegebenheiten der jeweiligen Projekten begründet ist, wie anhand einiger Beispiele dargestellt wird:

- 17,5 cm Dämmung für 109 €/m² bei einem Zweifamilienhaus mit 250 m² Wohnfläche: In den detaillierten Kostenfeststellungen zu diesem Projekt sind keine kostensteigernden Nebenarbeiten für das Wärmedämm- system ausgewiesen. Zudem werden sehr niedrige Kosten von lediglich 12,88 €/m² Dämmstoff für das Kleben des Dämmstoffs (16 cm / WLG 032) in der Fläche angegeben. Damit erscheinen die sehr niedrigen spezifischen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem in diesem Fall plausibel.
- 12 cm Dämmung für 149 €/m² bei einem Einfamilienhaus mit 100 m² Wohnfläche: Die überdurchschnittlichen Kosten für die Dämmung der Außenwand dieses Einfamilienhauses lassen sich aus der Kostenfeststellung erklären: Im Rahmen der Vorarbeiten für die Dämmung wurden auf einer Fläche von 147 m² vorhandene Eternitplatten mit einer Mineral- faserdämmung zwischen einer Lattung abgebrochen und zu hohen Kosten entsorgt, da die asbesthaltigen Platten als Sondermüll eingestuft wurden.
- 15 cm Dämmung für 186 €/m² bei einem Gebäude mit 146 m² Wohnfläche und 191 m² gedämmter Fläche: Hier musste der Dachüberstand an Ortgang und Traufe verlängert werden. Zudem wurde die vorhandene Eingangsüberdachung abgerissen und im Zuge der Modernisierung durch eine neue Holz-Glas-Konstruktion ersetzt. Die Kosten für die neue Überdachung machten etwa 15 % der Gesamtkosten aus und trugen somit wesentlich zu den überdurchschnittlich hohen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem bei.
- 16 cm Dämmung für 172 €/m² bei einem Gebäude mit 255 m² Wohnfläche: In diesem Fall wurden über insgesamt 218 laufende Meter vorhandene Fensteranschläge zur Vermeidung von Wärmebrücken abgeschlagen bzw. abgeschnitten. Weiter wurden insgesamt 21 systemgerechte Montageplatten für die Verankerung von Lampen und Markisen montiert. Zudem waren die Kosten für das Verlegen und Dübeln (Thermodübel) des Dämmstoffs in der Fläche (MF, 16 cm, WLG 035) mit 48,5 €/m² (netto) relativ hoch. Die Summe dieser Maßnahmen begründet die relativ hohen spezifischen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem.

- 15 cm Dämmung für 138 €/m² bei einem Mehrfamilienhaus mit 1 069 m² Wohnfläche: An diesem Gebäude wurden im Bereich von Loggien umfangreiche Dämmerarbeiten mit hochwertigem Dämmstoff ausgeführt. Die relativ niedrigen Kosten für das Verlegen des Dämmstoffs auf der großen Fassadenfläche wurden durch die relativ hohen Kosten für die Dämmung der Loggien wieder ausgeglichen. In der Summe resultieren Kosten, die sehr nahe bei den mithilfe der Kostenfunktion ermittelten Kosten liegen.

Detailanalyse

Die Detailanalyse in Abbildung 4-3 zeigt die Zuordnung der Kostenanteile für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung. Sie umfasst die Kostenanteile, die im Zuge einer erforderlichen umfangreichen Sanierung der Fassade ohnehin entstehen, und jene, die zusätzlich aus dem Wärmedämmverbundsystem resultieren, sowie die Kosten für den Grundputz und die Armierung.

- Kosten aus ohnehin erforderlichen Maßnahmen zur Instandsetzung entstehen aus Vorarbeiten wie z.B. Abdecken von Flächen, Abschlagen des Alputzes bzw. Reinigen der Fassade, Herstellen eines tragfähigen Untergrundes sowie eventuell erforderliche Demontagen und Erneuerung von einzelnen Elementen wie Außenleuchten, Steckdosen, Briefkästen, Klingelanlagen und Ähnlichem. Dazu kommen Kosten für Spenglerarbeiten wie z.B. neue Balkongeländer, Fenstergitter oder neue Fallrohre. Zudem entstehen Kosten für den Deckputz im Sockelbereich und auf der Fassade und den Fensterlaibungen mit allen Nebenarbeiten und Zulagen. Als ohnehin erforderlich werden auch die Kosten für die Erneuerung von Vordächern angesehen.

Die in Abbildung 4-3 ausgewiesenen Kosten von durchschnittlich 46 €/m² Bauteil sind im Zuge einer baulichen Instandsetzung somit ohnehin erforderlich und weitgehend unabhängig von einer eventuell an diese Instandsetzung gekoppelte Modernisierung mit einem Wärmedämmverbundsystem.

- Zusätzliche Kosten für das Wärmedämmverbundsystem von durchschnittlich 62 €/m² Bauteil resultieren aus dem Dämmstoff (Material), dem Verlegen des Dämmstoffs (Kleben, Schäumen, Schleifen) sowie aus allen Nebenarbeiten für das Wärmedämmverbundsystem wie z.B. die Dämmung im Sockelbereich und im Bereich von Loggien oder Fensterlaibungen, den Sockelschienen, dem Dübeln des Dämmstoffs, aus eventuell erforderlichen Brandschutzausbildungen, systemgerechten Fensterbänken dem evtl. erforderlichen Verlängern von Dachüberständen sowie aus

Kostenstruktur

15 cm Wärmedämmverbundsystem im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung Vollkosten: 139 €/m² brutto

Kosten für ohnehin erforderliche Maßnahmen: 46 €/m²



Kosten für Grundputz & Armierung: 31 €/m²



Kosten für zusätzliche Maßnahmen WDVS: 62 €/m²

Dämmung auf der Fassade:
Dämmstoff kleben, Fugen ausschäumen, ggf. schleifen

20%

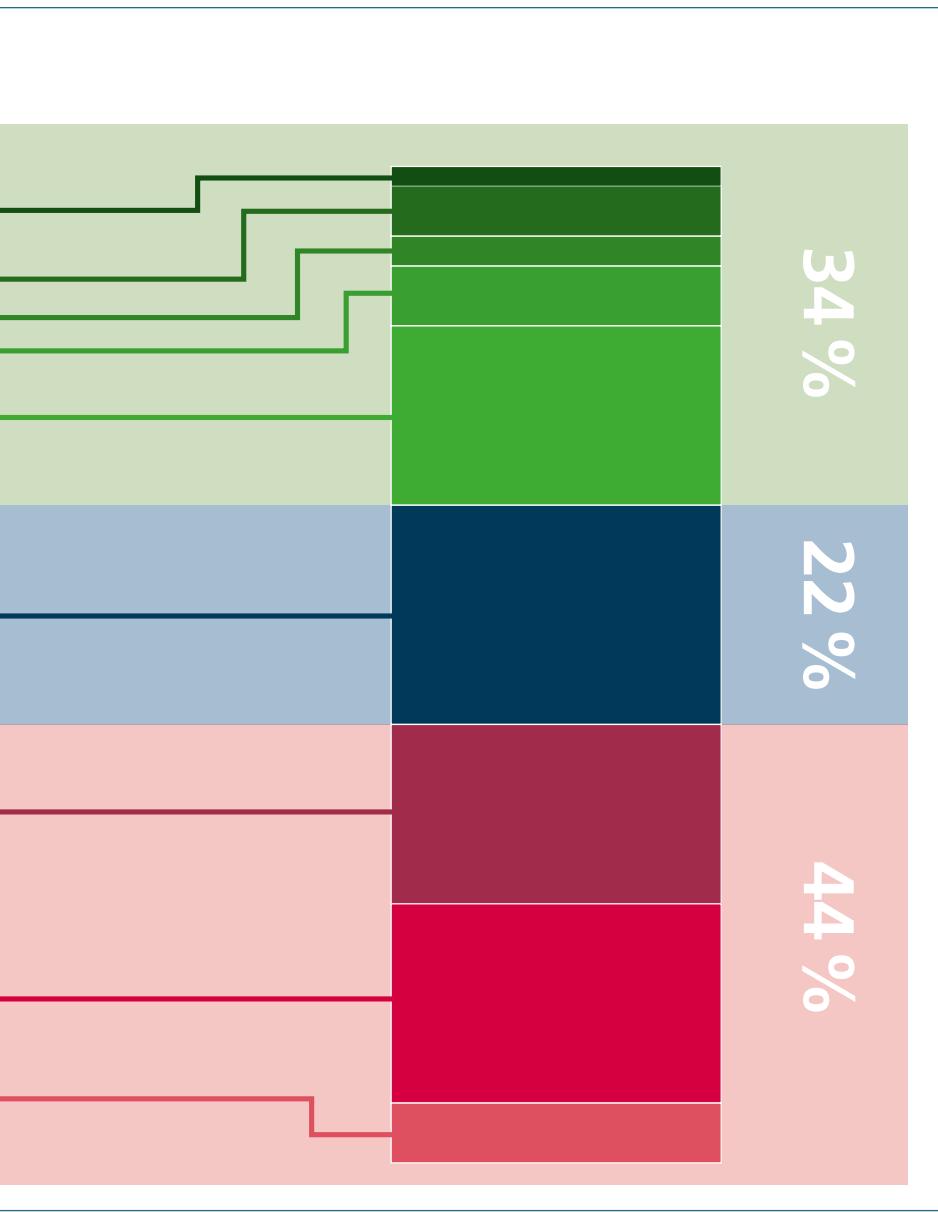
alle Dämmarbeiten für das WDVS:
Perimeter, Loggien, Fensterlaibungen,
Sockelschienen, Dübel,
alle Maßnahmen zur Vermeidung
von WB, Verlängerung von
Dachüberständen

18%

Brandschutzausbildung,
systemgerechte Fensterbänke

6%

Abb. 4-3 Kostenstruktur für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung bei der energietechnischen Modernisierung einer Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung (Stand 2015)



allen zusätzlichen Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken und Nebenarbeiten wie z.B. dem Verlängern von Elektroanschlüssen.

- Grundputz und Armierung: Sowohl für das Wärmedämmverbundsystem als auch bei einer umfangreichen Putzinstandsetzung ist ein Grundputz erforderlich, der bei der Putzinstandsetzung im Altbau in der Regel auch armiert sein muss. Die Auswertung der Kostenfeststellungen zu Wärmedämmverbundsystemen ergab durchschnittliche Kosten von 31 €/m² für einen armierten Grundputz auf Fassade und Fensterlaibungen.

Für einen entsprechenden armierten Grundputz im Altbau im Zuge einer Putzinstandsetzung liegen die Kosten laut den Auswertungen aus dem BKI-Kostenplaner zwischen 22 und 48 €/m² Bauteil. Der armierte Grundputz in der Altbausanierung ist damit häufig teurer als der armierte Grundputz für das Wärmedämmverbundsystem.

Unter Beachtung des Kopplungsprinzips im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung einer Fassade sind somit die Kosten für den armierten Grundputz für das Wärmedämmverbundsystem keine energiebedingten Mehrkosten, sondern Kosten, die ohnehin für die Instandsetzung der Fassade anfallen.

Kosten für zusätzliche Maßnahmen

Wird eine Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, entstehen mit jedem cm Dämmstoff zuwachsende energiebedingte Kosten von 2,81 €/cm^{Dämmstoffdicke}/m² Bauteil durch die Sockelschienen, den Dämmstoff, die Montageplatten, die Verdübelung, die eventuell erforderliche Vergrößerung von Dachüberständen und durch weitere energiebedingte Nebenarbeiten.

Aus den Kostenfeststellungen ließen sich zuwachsende Kosten für systemgerechte Fensterbänke mit unterschiedlichen Ausladungen und eventuell erforderliche Brandschutzausbildungen nicht ableiten. Im Mittel betragen diese Kosten jedoch 8,14 €/m² Bauteil. Hierbei handelt es sich um energiebedingte Mehrkosten. Hinzu kommen, entsprechend der Kostenfunktion, weitere Fixkosten von etwa 11,63 €/m² Bauteil für z.B. das Verkleben und gegebenenfalls das Ausschäumen von Fugen und das Schleifen des Dämmstoffs. In der Summe muss mit Fixkosten von 19,77 €/m² Bauteil für das Wärmedämmverbundsystem gerechnet werden.

Damit betragen die zuwachsenden energiebedingten Mehrkosten für eine nachträgliche Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem im Zuge einer ohnehin erforderlichen baulichen Instandsetzung 2,81 €/cm^{Dämmstoffdicke}/m² Bauteil bei einem äquivalenten Wärmeleitwert

von 0,035 W/(mK). Zusätzlich entstehen von der Dämmdicke unabhängige Fixkosten von 19,77 €/m²_{Bauteil}.

Kosten für ohnehin erforderliche Maßnahmen

Die EnEV koppelt die Anforderungen einer nachträglichen Dämmung der Außenwand an eine ohnehin erforderliche umfassende Instandsetzung der Fassade. Die in Abbildung 4-3 dargestellten Vorarbeiten wie die Herstellung eines tragfähigen Untergrundes, den Sockelputz, Anschlussleisten, Dichtbänder, das Aufbringen von Zierelementen, zusätzliche dekorative Arbeiten an Fensterfaschen, Farbanstriche und Farbtonzulagen oder die Demontage und Montage von Fenstergittern oder Geländern, Außenleuchten, Steckdosen und Briefkästen sind daher in erster Linie nicht energierelevant, sondern im Zuge der umfassenden Instandsetzung der Fassade ohnehin erforderlich. Dazu zählt auch die Erneuerung von Regenfallrohren im Rahmen der Instandsetzung alter Fassaden.

Kosten für Grundputz und Armierung

Wie oben dargestellt, entsprechen die Kosten für einen konventionellen Grundputz in etwa den Kosten für den armierten Grundputz im Wärmedämmverbundsystem.

Bei der nachträglichen Dämmung einer Fassade im Kontext einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung können diese Kosten somit gegeneinander verrechnet werden. Dies bedeutet: die Kosten für den armierten Grundputz im Wärmedämmverbundsystem sind keine zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten, sondern fallen im Zusammenhang mit der umfassenden Instandsetzung der Fassade ohnehin an.

Wird dagegen eine Fassade mit weitestgehend intaktem Putz vorzeitig nachträglich gedämmt, dann sind die Kosten für den armierten Grundputz im Wärmedämmverbundsystem als energiebedingte Mehrkosten anzusehen.

4.2.2 Zusammenfassung für weitere Bauteile und Maßnahmen

Für alle in Kapitel 4.2 genannten Bauteile und Maßnahmen liegen Kostenfunktionen und zum Teil Detailanalysen vor. Bei der Abgrenzung von energiebedingten Mehrkosten und ohnehin erforderlichen Kosten sind bei einigen Bauteilen Besonderheiten zu beachten:

- Nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke: Hier sind für Wirtschaftlichkeitsberechnungen die Vollkosten der Maßnahmen anzusetzen, da in der Regel an diesen Bauteilen keine Instandsetzung erforderlich ist.
- Austausch alter Fenster durch neue Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung: Diese Maßnahme stellt eine Modernisierung dar, da neue Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung den Wohnwert gegenüber dem vorherigen Zustand deutlich erhöhen. Allerdings erfüllen solche Fenster lediglich den heute üblichen Mindeststandard, schlechtere Fenster sind am Markt nicht mehr erhältlich. Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind daher unter Beachtung des Kopplungsprinzips für neue Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung keine energiebedingten Mehrkosten anzusetzen. Energiebedingte Mehrkosten entstehen jedoch beim Übergang von neuen Fenstern mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung zu energietechnisch hochwertigen Fenstern mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung.
- Modernisierung der Heizanlage: Eine moderne Heizanlage mit Brennwertkessel ist Stand der Technik und führt unter Beachtung des Kopplungsprinzips zu keinen energiebedingten Mehrkosten. Energiebedingte Mehrkosten entstehen jedoch, wenn die neue Heizanlage z. B. durch den Einbau einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung oder Heizungsunterstützung in ihrer Effizienz weiter verbessert wird.
- Nachträglicher Einbau von Lüftungsanlagen: Der nachträgliche Einbau von vergleichsweise einfachen Abluftanlagen in Wohngebäuden ist vor allem eine Maßnahme zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität. Solche Anlagen führen zu einer Verbesserung des Wohnkomforts, aber in der Regel nicht zu einer Energieeinsparung. Im Kontext von Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind daher die Kosten für Abluftanlagen nicht energierelevant. Energiebedingte Mehrkosten gegenüber diesen einfachen Abluftanlagen fallen dagegen für aufwendigere Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung an, die neben der hohen Raumluftqualität zusätzlich auch zu einer Energieeinsparung beitragen.

Zusammenfassend sind in Tabelle 4-1 die Koeffizienten der Kostenfunktionen aufgeführt. Die Koeffizienten für die Schätzwerte sind statistisch abgesichert und können innerhalb der genannten Geltungsbereiche genutzt werden. Folgende Hinweise sollten bei der Nutzung der Ergebnisse der Kostenstudie beachtet werden:

- Im Einzelfall werden die nach den Kostenfunktionen ermittelten typischen Kosten praktisch nie zutreffen. Vielmehr werden wahrscheinliche Kosten

in einem mehr oder weniger großen Bereich um diese typischen Kosten liegen. Daher wurden in der genannten Studie Koeffizienten zur Bestimmung von Kostenbereichen (Schätzwert, niedrige Kosten, hohe Kosten) angegeben, die realistisch erscheinen.

- Die Kostenfunktionen orientieren sich an einem durchschnittlichen Kostenniveau. Tatsächlich variieren die Preise jedoch regional zum Teil sehr stark. Dieser Einfluss muss bei der Nutzung der Kostenfunktionen über Regionalfaktoren berücksichtigt werden, die vom Baukosten-Informationszentrum (BKI) zur Verfügung gestellt werden.
- Der Preisstand der Kostenfunktionen ist das 1. Quartal 2015. Entsprechend der allgemeinen Baupreisentwicklung müssen die Kostenfunktionen angepasst werden. Den aktuellen Baupreisindex stellt das Statistische Bundesamt zu Verfügung.

Preisstand 1/2015		Schätzwert			
		a	b	a	b
Bezeichnung		[€/(m ² cm)]	[€/m ²]	[€/m ²]	[-]
Kostenfunktion		$I = (a x + b) [€/m2]$		$I = (a x ^b) [€/m2]$	
Haustür EFH		–	1 433	–	–
Haustür MFH		–	1 222	–	–
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH&MFH für F&Ft		–	–	658,86	-0,257
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft		–	–	472,33	-0,222
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft		–	–	413,45	-0,231
Vorbaurollladen, Kunststoff, Gurt		–	141	–	–
Vorbaurollladen, Kunststoff, Elektro		–	197	–	–
Vorbaurollladen, Alu, Gurt		–	182	–	–
Vorbaurollladen, Alu, Elektro		–	271	–	–
WDVS – Vollkosten		2,81	96,88	–	–
WDVS – energiebed. Mehrkosten		2,81	19,77	–	–
AW – Kerndämmung – Vollkosten		1,65	10,37	–	–
Keller, unterseitig, ohne Bekleidung		1,25	30,75	–	–
Keller, unterseitig, mit Bekleidung		1,55	54,25	–	–
Keller, oberseitig, Einblasen zwischen die Dielen		1,62	8,96	–	–
oberste Geschossdecke, begehbar		1,78	28,03	–	–
oberste Geschossdecke, nicht begehbar		1,06	3,72	–	–
Flachdach ohne Lichtkuppeln – Vollkosten		4,11	104,14	–	–
Flachdach mit Lichtkuppeln EFH – Vollkosten		4,11	118,16	–	–
Flachdach mit Lichtkuppeln MFH – Vollkosten		4,11	113,16	–	–
Flachdach – energiebedingte Mehrkosten		2,90	21,66	–	–
Steildach – Vollkosten		2,77	151,10	–	–
Steildach – energiebedingte Mehrkosten		2,37	11,31	–	–

	niedrige Kosten		hohe Kosten		Geltungsbereich	
	a	b	a	b	von	bis
	95 %	Schätzwert	95 %	Schätzwert	[m ² Bt]	
	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–
	613,63	–0,257	707,44	–0,257	0,8	8,5
	448,83	–0,222	497,05	–0,222	0,8	8,5
	389,62	–0,231	438,71	–0,231	0,8	8,5
	–	–	–	–	0,8	8,0
	–	–	–	–	0,8	8,0
	–	–	–	–	0,8	8,0
	–	–	–	–	0,8	8,0
	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]	
	2,81	83,65	2,81	110,11	8	25
	2,81	13,85	2,81	25,84	8	25
	–	–	–	–	4	10
	Schätzwert	50 %	Schätzwert	50 %	Dämmung [cm]	
	1,25	27,75	1,25	33,75	5	18
	1,55	49,20	1,55	59,30	5	18
	–	–	–	–	4	10
	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]	
	1,78	17,39	1,78	38,67	8	30
	1,06	2,31	1,06	5,13	8	30
	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]	
	4,11	74,46	4,11	133,82	6	34
	4,11	88,47	4,11	147,84	6	34
	4,11	83,48	4,11	142,85	6	34
	2,90	7,08	2,90	32,89	6	34
	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]	
	2,77	123,78	2,77	178,25	9	29
	2,37	3,47	2,37	18,08	9	29

– Fortsetzung siehe nächste Seite –

- Fortsetzung Tabelle -

Preisstand 1/2015	Schätzwert				
	a [€/(m ² cm)]]	b [€/m ²]	a [€/m ²]	b [-]	
Kostenfunktion	$I = (a x + b) [€/m2]$		$I = (a x ^b) [€/m2]$		
Steildachgauben EFH ohne Fenster	–	473	–	–	
Steildachgauben MFH ohne Fenster	–	350	–	–	
Dachflächenfenster EFH	–	1430	–	–	
Dachflächenfenster MFH	–	1435	–	–	
Gaskessel, Einzelmaßnahme	–	–	905,26	–0,518	
Ölkessel, Einzelmaßnahme	–	–	1202,60	–0,536	
Gas-/Ölkessel als Einzelmaßnahme	–	–	887,75	–0,506	
Pelletkessel, Einzelmaßnahme	–	–	2531,40	–0,587	
Fernwärme, Einzelmaßnahme	–	–	662,91	–0,487	
Solar für WW, Einzelmaßnahme	–	–	530,31	–0,499	
Solar für WW mit Gaskessel	–	–	1092,00	–0,489	
Solar für WW mit Ölkessel	–	–	1092,00	–0,489	
Solar für WW mit Pelletkessel	–	–	2102,10	–0,520	
Solar für WW&H, Einzelmaßnahme	–	–	1008,70	–0,453	
Solar für WW&H mit Gaskessel	–	–	1404,70	–0,449	
Solar für WW&H mit Ölkessel	–	–	1404,70	–0,449	
Solar für WW&H mit Pelletkessel	–	–	1996,30	–0,467	
Maßnahmen in der Heizungsperipherie	–	–	673,94	–0,533	
Hausanschluss Gas	–	–	163,09	–0,490	
Hausanschluss Fernwärme	–	–	558,74	–0,614	
Lüftungsanlage mit WRG, zentral	–	–	382,81	–0,364	
Lüftungsanlage mit WRG, dezentral	–	–	598,76	–0,584	
Abluftanlage, zentral	–	–	1068,20	–0,780	
Gerüste	–	–	75,64	–0,320	
Energieberatung	–	–	14,62	–0,339	
Architektenleistung	–	–	733,23	–0,599	

Tab. 4-1 Koeffizienten für die Kostenfunktionen (Schätzwerte, niedrige Kosten, hohe Kosten) sowie Geltungsbereiche [6]

	niedrige Kosten		hohe Kosten		Geltungsbereich		
	a	b	a	b	von	bis	
	–	–	–	–	–	–	
	–	–	–	–	–	–	
	–	–	–	–	–	–	
Schätzwert	50 %	Schätzwert	50 %	A Wf [m^2]			
777,92	-0,518	1053,45	-0,518	80	2000		
955,31	-0,536	1513,98	-0,536	80	1400		
777,65	-0,506	1013,44	-0,506				
1966,70	-0,587	3258,30	-0,587	80	400		
580,88	-0,487	756,53	-0,487	80	2500		
	420,22	-0,499	669,23	-0,499	100	2500	
	963,08	-0,489	1238,29	-0,489	100	2300	
	963,08	-0,489	1238,29	-0,489	100	2300	
	1528,97	-0,520	2890,18	-0,520	130	400	
	793,92	-0,453	1281,49	-0,453	100	800	
	1251,30	-0,449	1576,94	-0,449	100	1900	
	1251,30	-0,449	1576,94	-0,449	100	1900	
	1590,87	-0,467	2505,12	-0,467	100	400	
	460,77	-0,533	985,73	-0,533	80	2500	
	101,88	-0,490	261,09	-0,490	80	1800	
	421,31	-0,614	741,02	-0,614	80	2500	
				A Wf/WE [m^2]			
	302,67	-0,364	484,17	-0,364	50	400	
	338,02	-0,584	1060,62	-0,584	70	240	
	596,33	-0,780	1913,56	-0,780	60	240	
				A Wf [m^2]			
	67,10	-0,320	85,27	-0,320	50	2500	
	11,68	-0,339	18,29	-0,339	50	2500	
	598,70	-0,599	897,98	-0,599	50	2500	

4.3 Fazit

Das Thema der Kosten für zusätzliche energiesparende Maßnahmen an Wohngebäuden wird in der Fachwelt kontrovers diskutiert. Dabei geht es vor allem um die energiebedingten Mehrkosten, die je nach Interessenslage unterschiedlich angesetzt werden, gleichzeitig aber die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen wesentlich beeinflussen.

Diese fokussierte Diskussion um *die* Kosten energietechnischer Modernisierungen ist jedoch nicht zielführend, denn in der Praxis werden die Kosten der energiesparenden Maßnahmen wesentlich durch Faktoren bestimmt, die ursächlich nicht in Zusammenhang mit der Verbesserung der energietechnischen Qualität stehen. Zudem ist die Streuung der Kosten in der Regel groß. Dies wurde in diesem Kapitel am Beispiel der nachträglichen Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem gezeigt. Es ist jedoch sinnvoll, energietechnische Modernisierungen möglichst an ohnehin anstehende Instandsetzungen und Modernisierungen zu koppeln und so die energiebedingten Mehrkosten für die energietechnische Modernisierung zu reduzieren.

Als wesentliches Ergebnis bleibt festzuhalten: Die pauschale Behauptung, Energieeinsparung ist »teurer als vermutet« ist falsch. Vielmehr können die Kosten im Einzelfall in einem weiten Bereich streuen. Letztlich gibt es *die* Kosten einer energietechnischen Modernisierung nicht, sondern ein Kostenrisiko, das innerhalb einer plausibel erscheinenden Kostenspanne liegt. Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen als Entscheidungsgrundlage für oder gegen eine energietechnische Modernisierung müssen unter diesem Vorbehalt diskutiert werden.

5 Grundlegendes zum Thema Wirtschaftlichkeitsberechnung

Folgt man der betriebswirtschaftlichen Theorie, ist eine Maßnahme absolut betrachtet wirtschaftlich, wenn die Erlöse (Einnahmen) aus der Maßnahme die Aufwendungen (Ausgaben) für die Maßnahme übersteigen. Relativ betrachtet ist eine Maßnahme wirtschaftlich, wenn das Verhältnis zwischen Erlösen und Aufwendungen (ausgedrückt z. B. durch eine bestimmte Kennzahl) günstiger ist als bei einer alternativen Maßnahme.

Eine energietechnische Gebäudemodernisierung ist demnach absolut gesehen wirtschaftlich, wenn die Erlöse daraus größer sind als die aufzuwendenden Kosten. Für den selbst nutzenden Eigentümer bestehen die Erlöse in erster Linie aus den Energiekosteneinsparungen, die wesentlich durch die Höhe der Energieeinsparungen (vgl. Kapitel 3) bestimmt werden. Die Aufwendungen bestehen hauptsächlich aus den Investitionskosten bzw. den energiebedingten Mehrkosten (vgl. Kapitel 4). Die relative Wirtschaftlichkeit kann bei der energietechnischen Gebäudemodernisierung im Vergleich von Alternativen wie z. B. der Putzsanierung, der Dämmung der Außenwand mit 12 cm WDVS oder der Dämmung der Außenwand mit 24 cm WDVS erfolgen.

In der Frage nach der Wirtschaftlichkeit aus der Perspektive selbst nutzender Eigentümer können neben den Energieeinsparungen und den Investitionskosten jedoch noch weitere Rahmenbedingungen einen nicht unerheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben. Dazu zählen die Wahl des Verfahrens der Wirtschaftlichkeitsberechnung und damit zusammenhängend die Festlegung von bestimmten Rechenparametern sowie die Berücksichtigung weiterer Kosten- bzw. Erlöskategorien.

5.1 Verfahren zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit

Energietechnische Gebäudemodernisierungen sind in der Regel mit Kosten verbunden und zielen auf die Reduzierung zukünftig notwendiger finanzieller Aufwendungen. Unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet können sie daher als Investitionen bezeichnet werden. Dabei steht wie oben erwähnt die Wirtschaftlichkeit alternativ möglicher Investitionen im Mittelpunkt. Zur Entscheidungsfindung stellt die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie eine

Reihe von Verfahren zur Verfügung. Grundsätzlich lassen diese sich in statische und dynamische Verfahren unterteilen.⁷

5.1.1 Statische und dynamische Verfahren

Bekannte statische Verfahren der Investitionstheorie sind die Gewinnvergleichs- bzw. Kostenvergleichsrechnung, die Rentabilitätsvergleichsrechnung und die statische Amortisationsrechnung. Vorteile der statischen Verfahren sind in der einfachen Handhabung und im relativ geringen Informationsbedarf zu sehen. Allerdings bieten diese Verfahren in der Regel keine ausreichende Basis für die Beurteilung von Investitionsentscheidungen, weil es sich bei Energiesparinvestitionen im Gebäudebereich immer um Entscheidungsprobleme handelt, die mehrere Perioden betreffen. Bei deren Beurteilung müssen die zeitliche Struktur der Ein- und Auszahlungsreihen und entsprechende Zinseffekte berücksichtigt werden.

Das wesentliche Merkmal von dynamischen Verfahren ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mithilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt zu beziehen. Somit haben Einnahmen und Ausgaben nicht nur über ihren Betrag, sondern auch über den Zeitpunkt des Cashflows einen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis. Dies ist der entscheidende Vorteil gegenüber den statischen Verfahren. Zu den dynamischen Verfahren zählen zum Beispiel die Kapitalwert- und die Annuitätenmethode.

5.1.2 Amortisationszeit

Die häufig als Wirtschaftlichkeitskriterium verwendete Amortisationszeit kann sowohl statisch als auch dynamisch berechnet werden. In beiden Fällen ist sie als Wirtschaftlichkeitskriterium jedoch wenig geeignet, da sie die Nutzungsdauer der Investition nicht berücksichtigt, keine Aussagen über die Höhe der Gewinne bis bzw. nach Ablauf der Amortisationszeit macht und es daher beim Vergleich von Investitionsalternativen mit unterschiedlichen Nutzungsdauern zu falschen Schlussfolgerungen kommen kann. Vor diesem Hintergrund erfüllt das Kriterium Amortisationszeit kaum die Anforderun-

⁷ Im Folgenden werden diese Verfahren mit ihren Vor- und Nachteilen im Kontext der Bewertung energietechnischer Modernisierungen kurz beschrieben. Für weitergehende Informationen sei an dieser Stelle z.B. auf [Passivhaus Institut; »Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 42«; Darmstadt; 2013] verwiesen.

gen, die an Wirtschaftlichkeitsberechnungen für langfristige Investitionen im Gebäudebereich gestellt werden.

5.1.3 Kapitalwert- und Annuitätenmethode

Ein bekanntes dynamisches Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung ist die Kapitalwertmethode. Entscheidungsrelevant ist dabei der sogenannte *Kapitalwert*. Um ihn zu ermitteln, werden alle Zahlungen, die nach dem Investitionszeitpunkt anfallen, mit dem Kalkulationszinssatz (Diskontsatz) abgezinst. Man erhält so den Barwert der Aus- und Einzahlungsreihen, von dem die Anfangsinvestition abgezogen wird. Ist der so erhaltene Kapitalwert der Investition größer als Null, ist die Investition vorteilhaft. Bei mehreren Investitionsalternativen ist die Alternative mit dem höchsten Kapitalwert vorzuziehen.

Die Annuitätenmethode berücksichtigt als Entscheidungskriterium nicht die Höhe des Kapitalwerts, sondern die Höhe der sich daraus ergebenden *Annuität*. Die Annuität kann ermittelt werden, indem der Kapitalwert der Investition mit dem sogenannten Annuitätenfaktor multipliziert und so auf die einzelnen Nutzungsperioden der Investition verteilt wird. Bei gleichem Kalkulationszinssatz und gleicher Nutzungsdauer sind die Annuitätenmethode und die Kapitalwertmethode vollkommen äquivalent.

Eine Energiesparmaßnahme ist nach der Kapitalwert- bzw. Annuitätenmethode als wirtschaftlich anzusehen, wenn die barwertigen bzw. annuitätschen Energiekosteneinsparungen größer sind als die barwertigen bzw. annuitätschen Kosten (Investitionsmehrkosten gegenüber einer Referenz einschließlich eventueller Zusatzkosten für Wartung und Hilfsenergie). Der so ermittelte Kapitalwert bzw. die Annuität muss dann größer als null sein, d.h. es ergibt sich ein barwertiger bzw. annuitätscher Gewinn. Bei mehreren Investitionsalternativen ist die Alternative mit dem höchsten Kapitalwert bzw. der höchsten Annuität vorzuziehen.

5.1.4 Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie

Energiesparinvestitionen müssen sich stets an den Energiekosten, die ohne diese Maßnahmen angefallen wären, messen. Sie sind also immer im Vergleich zu den sonst entstehenden Energiekosten zu betrachten. Eine Maßnahme ist wirtschaftlich, wenn die gewünschte Energiedienstleistung durch sie nicht teurer erbracht wird als durch den alternativen Energiebezug ohne Durchführung der Maßnahme (einschließlich Zins und Tilgung für das ein-

gesetzte Kapital). In diesem Kontext kann auch das Beurteilungskriterium »Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie«, das grundsätzlich auf der Annuitätenmethode basiert, verwendet werden. Die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie (P_{ein}) können ermittelt werden, indem man die annuitätischen Kosten einer Energiesparmaßnahme (Kapitalmehrkosten gegenüber einer Referenz einschließlich eventueller jährlicher Zusatzkosten für Wartung und Hilfsenergie) durch die jährliche Energieeinsparung dividiert. Die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie werden mit dem mittleren zukünftigen Energiepreis P verglichen. Eine Energiesparmaßnahme kann unter den getroffenen Annahmen als wirtschaftlich bezeichnet werden, wenn die Kosten (der Preis) der eingesparten Kilowattstunde Endenergie kleiner sind als der mittlere zukünftige Energiepreis. Die Darstellung über die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie hat im Vergleich zur Berechnung des Kapitalwerts bzw. der Annuität die Vorteile, dass

- diese Kosten als Preisangabe unmittelbar mit dem tatsächlichen Energiepreis verglichen werden können und
- in die Berechnung von P_{ein} als Annahme über die zukünftige Entwicklung nur der Kalkulationszinssatz und eventuelle Preissteigerungen für Zusatzkosten eingehen, nicht aber die Energiepreissteigerung.

Dadurch ist die Unsicherheit über die Energiepreisentwicklung ausschließlich im mittleren zukünftigen Energiepreis als Vergleichsgröße enthalten. Dieser kann je nach Einschätzung des Investors variiert werden, ohne dass neue Berechnungen erforderlich sind. Allerdings sind beim Wirtschaftlichkeitskriterium »Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie« auch folgende Einschränkungen zu beachten:

- Das Kriterium liefert bei einem vorgesehenen Energieträgerwechsel keine sinnvollen Ergebnisse mehr. Es empfiehlt sich daher, bei einem Energieträgerwechsel die Kosten der substituierten Kilowattstunde Öl/Gas⁸ oder den Kapitalwert bzw. die Annuität als Wirtschaftlichkeitskriterium zu verwenden.
- Die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie sind nicht für den Vergleich von Alternativen unter Optimierungsgesichtspunkten geeignet. Die Variante mit den geringsten Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie ist nicht immer auch die wirtschaftlich optimale Variante, denn die insgesamt eingesparten Energiekosten hängen nicht nur von

8 nach [4]

P_{ein} , sondern auch von der Menge der eingesparten Energie ab. Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter Optimierungsgesichtspunkten (z.B. von selbst nutzenden Eigentümern) sollte daher der Kapitalwert bzw. die Annuität berechnet werden.

Das Kriterium der Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie unterliegt somit gewissen Einschränkungen. Dennoch wird dieses Kriterium wegen seiner Anschaulichkeit zur Beurteilung energiesparender Investitionen häufig herangezogen. Die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie können unmittelbar mit den Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie verglichen werden. Zudem sind die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie unabhängig von einem aktuellen Energiepreis oder einer künftigen Energiepreisentwicklung. Diese in der Vergangenheit stark volatilen Parameter bilden vielmehr den Vergleichsmaßstab zur Beurteilung der Sinnhaftigkeit der Maßnahme und können je nach Einschätzung des Investors ohne großen rechnerischen Aufwand verändert werden.

5.2 Wesentliche Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Neben dem Verfahren selbst haben normativ gesetzte Rahmenbedingungen einen maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Die für die Beurteilung von energiesparenden Maßnahmen im Wohngebäudebestand wesentlichen Rahmenbedingungen werden im Folgenden kurz erläutert.

- Betrachtungszeitraum
Energietechnische Gebäudeinvestitionen sind in der Regel langfristige Investitionen in langlebige Wirtschaftsgüter. Daher sollte bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung aus der Perspektive selbst nutzender Eigentümer der Betrachtungszeitraum ebenfalls langfristig angelegt sein und der durchschnittlichen technischen Lebensdauer der meisten Bauteile entsprechen. In Hinblick auf Wohngebäude sollte er mindestens 25 bis 30 Jahre betragen.
- Festlegung Real-/Nominalzins
Wirtschaftlichkeitsberechnungen können mit nominalen Preisen und Zinsen oder mit realen Preisen und Zinsen, d.h. inflationsbereinigt, durchgeführt werden. Für die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist es unerheblich, ob real oder nominal gerechnet wird. Ein Realansatz ist

manchmal zweckmäßig, um Schwankungen der allgemeinen Inflationsrate außer Acht zu lassen. Bei einem Realansatz muss man eine allgemeine Inflationsrate (z. B. 2 %/a gemäß der langfristigen Zielsetzung der Europäischen Zentralbank) festlegen und neben realen Preissteigerungsraten auch den Realzins verwenden. Wenn Inflationsrate und Zinsen gering sind, ist der Realzins in erster Näherung die Differenz zwischen dem nominalen Zinssatz und der Inflationsrate (z. B. 5 %/a – 2 %/a = 3 %/a).

- **Kalkulationszinssatz**

Der Kalkulationszinssatz bestimmt bei den dynamischen Verfahren der Investitionsrechnung, in welchem Maße zukünftige Energiekosteneinsparungen und zukünftige Kosten in die Berechnung einfließen. Ein hoher Kalkulationszinssatz gewichtet zukünftige Erlöse und Kosten weniger stark als ein niedriger und führt zu einer schlechteren Bewertung einer auf lange Frist angelegten energietechnischen Modernisierung. Er berücksichtigt somit eher kurzfristige Interessen. Der Kalkulationszinssatz kann sich an Finanzierungsbedingungen (Kosten für Eigen- und Fremdkapital) orientieren oder eine gewünschte Mindestverzinsung des Investors ausdrücken. Er ist zum Zeitpunkt der Berechnungen auf Basis verfügbarer Marktdaten festzulegen. Europäische Vorgaben zur Ermittlung des kostenoptimalen Niveaus von Energieeffizienzmaßnahmen sehen die Verwendung eines Kalkulationszinssatzes von 3,0 % real vor. Angesichts der anhaltenden Niedrigzinsphase können derzeit für selbst nutzende Eigentümer auch niedrigere Kalkulationszinssätze empfohlen werden (z. B. 2,0 % real). Studien und Forschungsarbeiten zur Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen im Wohngebäudebestand arbeiten teilweise mit deutlich unterschiedlichen Kalkulationszinssätzen.⁹ Diese unterschiedlichen normativen Vorgaben wirken sich signifikant auf das Ergebnis aus.

- **Heutiger Energiepreis**

Die Festlegung des heutigen Energiepreises als Ausgangsbasis hat einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der zukünftigen Energiekosten einsparungen. Das Problem ist, dass die Energiepreise einer sehr großen Volatilität unterliegen. Abbildung 5-1 zeigt am Beispiel des Energieträgers Heizöl die stark volatile Energiepreiseentwicklung: Ausgehend von etwa 4 Cent/kWh in 2003 stieg der Heizölpreis auf etwa 5 Cent/kWh bis Ende 2008 an, wobei im Jahr 2008 zwischenzeitlich ein Preisniveau von über 9,5 Cent/kWh erreicht wurde. Ab 2009 stieg der Heizölpreis innerhalb von zwei Jahren auf 8 Cent/kWh und lag danach für nahezu vier Jahre auf einem Niveau von 8 bis 9,5 Cent/kWh. Zur Überraschung der Experten begann im Oktober 2014 der rasante Preisverfall. Im Januar 2016 lag

⁹ Vgl. z. B. [4] und [5]

der Heizölpreis kurzzeitig unter 4 Cent/kWh und Ende September 2017 wieder bei etwa 6 Cent/kWh. Im Juni 2018 lag der Heizölpreis kurzzeitig bei 7,2 Cent/kWh. Für Wirtschaftlichkeitsberechnungen stellt sich somit die Frage, welcher »aktuelle« Energiepreis anzusetzen und mit welcher Energiepreisseigerungsrate zu rechnen ist.

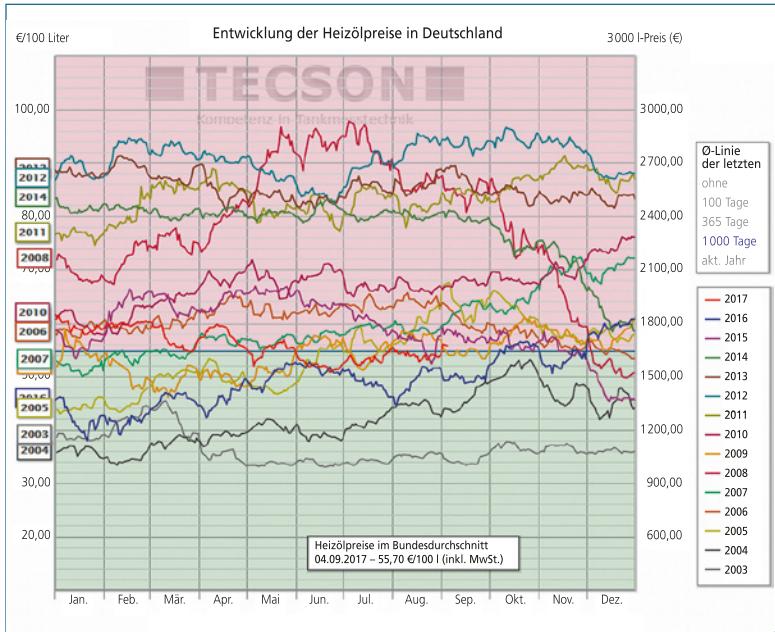


Abb. 5-1 Entwicklung der Heizölpreise in Deutschland: 2002 bis 2017 (brutto) [www.Tecson.de]

- Preisseigerungsraten

Neben einer Annahme zum heutigen Energiepreis muss in der Wirtschaftlichkeitsberechnung eine Annahme zur Entwicklung des zukünftigen Energiepreises der einzelnen Energieträger getroffen werden. Diese erfolgt in der Regel durch Festlegung einer jährlichen Steigerungsrate über den Betrachtungszeitraum ($x\%/\text{a}$). Auch wenn exakte Prognosen über die weitere Entwicklung der Energiepreise aufgrund der Vielzahl der Einflussfaktoren (z. B. Entwicklung des Angebots und der Nachfrage, politische Entwicklungen, Besteuerung, Spekulationen auf den Rohstoffmärkten) schwierig sind, besteht doch eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass es langfristig zu weiter steigenden Preisen für die fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas kommen wird. Es empfiehlt sich, dabei von einem mittleren

Energiepreisszenario auszugehen (z. B. Steigerungsrate 2,0 %/a real) und alternativ ein hohes und ein niedriges Energiepreisszenario zu betrachten (z. B. 3,0 %/a real und 1,0 %/a real).

Fakt ist: Energiepreise unterliegen einer sehr großen Volatilität und Energiepreisszenarien sind mit einer sehr großen Unsicherheit behaftet. Es scheint jedoch plausibel zu sein, dass die Preise für fossile Endenergieträger mittel- und langfristig weiter steigen werden. Dabei ist es letztlich dem Investor überlassen, an ein hohes oder ein niedriges Energiepreisszenario zu glauben. Und dieser Glaube hat selbstverständlich einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung und die Investitionsentscheidung.

5.3 Weitere Kosten- und Erlöskategorien

Neben den in Kapitel 4 diskutierten Investitionskosten für die energietechnische Modernisierung müssen für eine Bewertung der Maßnahmen weitere Kosten- und Erlöskategorien berücksichtigt werden.

- Kosten für Wartung und Instandhaltung

Durch den erstmaligen Einbau von neuen Komponenten der Anlagentechnik (z. B. Solar- oder Lüftungsanlagen) können zusätzlich Kosten für Wartung und Instandhaltung entstehen. Jährliche Kosten für Wartung und Instandhaltung können als Prozentsatz der Anfangsinvestition berücksichtigt werden. Anhaltspunkte für diese Werte sind in DIN EN 15459 zu finden.

- Ersatzinvestitionen

Ist der gewählte Betrachtungszeitraum länger als die Lebensdauer eines Bauteils, können Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden. Im Rahmen der Annuitätenmethode kann dies beispielsweise über einen Ersatzinvestitionsfaktor geschehen.

- Entsorgungskosten

Entsorgungskosten von Bauteilen können in der Wirtschaftlichkeitsberechnung optional berücksichtigt werden. Beim Austausch von Bauteilen werden die Kosten für die Demontage und den Abtransport (Bauschutt, alte Fenster, Kessel) und gegebenenfalls weitere Entsorgungskosten (Sondermüll) in den verwendeten Kostenfunktionen (siehe Kapitel 4) miteinbezogen.

- Restwerte

Ist der gewählte Betrachtungszeitraum kürzer als die Lebensdauer eines Bauteils, können Restwerte von einzelnen langlebigen Bauteilen am Ende

des Betrachtungszeitraums berücksichtigt werden. Sie lassen sich beispielsweise durch lineare Abschreibung ermitteln.

- Förderung

Die Förderung stellt eine weitere zusätzliche Erlöskategorie dar. Bei vielen Maßnahmen bzw. Maßnahmenpaketen der energietechnischen Gebäudemodernisierung ist grundsätzlich eine Förderung durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) möglich. Die KfW-Förderung wird derzeit wahlweise als direkter Zuschuss oder als zinsverbilligter Kredit mit Tilgungszuschuss gewährt. Der Barwert der investiven Förderung (zinsverbilligter Kredit etc.) kann prinzipiell berechnet werden. Daneben kann Förderung auch als konstante Einspeisevergütung (z. B. Photovoltaik, Biogas-BHKW) in die Wirtschaftlichkeitsberechnung einbezogen werden.

- Wertsteigerung der Immobilie (»green value«)

Eine Wertsteigerung durch die verbesserte energetische Qualität und den erhöhten thermischen Komfort eines Gebäudes kann im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung einkalkuliert werden. Dazu wird im Allgemeinen angenommen, dass die Immobilie am Ende des Betrachtungszeitraums verkauft wird. Der »green value« ist allerdings stark abhängig von Markt- und Standortfaktoren und daher schwer zu quantifizieren.

5.4 Fazit

Neben den Energieeinsparungen und den investiven Kosten bestimmen eine Vielzahl von weiteren Kosten- und Erlöskategorien die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Nicht zuletzt haben die Wahl des Verfahrens der Wirtschaftlichkeitsberechnung und die damit zusammenhängende Festlegung von wesentlichen Rechenparametern wie z. B. dem Kalkulationszinsatz oder der zukünftigen Energiepreisseigerung einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Berechnungen.

Pauschale Aussagen über die Wirtschaftlichkeit der energietechnischen Modernisierung sind aufgrund der vielen Unsicherheiten schwierig. Im Sinne der Wirtschaftlichkeit sind Investitionen in energiesparende Maßnahmen immer mit Chancen und Risiken verbunden. Notwendig sind einzelfallspezifische Wirtschaftlichkeitsberechnungen, die den Einfluss der verschiedenen Bestimmungsgrößen transparent machen. Aus diesem Grund wird im Folgenden eine Beispielberechnung für ein typisches Einfamilienhaus vorgestellt.

6 Wirtschaftlichkeit der energietechnischen Gebäudemodernisierung (mit Beispielrechnungen)

Energieeinsparung bringt weniger als erwartet und ist zu teuer: Diese Argumente gegen energietechnische Modernisierungen wurden in den ersten Kapiteln dieses Buches kritisch betrachtet. Weiter wurden in Kapitel 5 als Hinführung zu Kapitel 6 Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung vorgestellt. Nun wird der pauschalen Behauptung nachgegangen, energietechnische Modernisierungen würden »sich nicht rechnen«.

Dazu wird im ersten Teil ein typisches Einfamilienhaus aus dem bundesdeutschen Wohngebäudebestand mit seinen energietechnischen Eigenschaften vor einer geplanten Modernisierung mit dem »Gebäudesteckbrief IST« skizziert. Im zweiten Teil des Kapitels werden wesentliche energietechnische Eigenschaften des Gebäudes vor der Modernisierung, die geplanten Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten im Hausdatenblatt beschrieben. Damit sind das Gebäude und wesentliche Randbedingungen so weit bekannt, dass der Frage nachgegangen werden kann, ob sich die geplante energietechnische Modernisierung für das Gebäude unter den gesetzten Standardbedingungen nun rechnet oder nicht. Diese zentrale Frage wird im Schlussteil des Kapitels ausführlich erörtert. Dabei wird auch gezeigt, wie über die Wahl von Rahmenbedingungen das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung beeinflusst werden kann.

6.1 Gebäudesteckbrief IST

Basis für die folgenden Berechnungen ist ein energietechnisch nicht modernisiertes Einfamilienhaus (EFH) aus dem bundesdeutschen Wohngebäudebestand. Das frei stehende Haus mit 153 m² Wohnfläche wurde in den Jahren zwischen 1950 und 1957 errichtet. Es ist unterkellert, der Keller ist nicht beheizt. Das Steildach und die Fassade müssen nach ca. 60 Jahren Nutzung grundlegend instand gesetzt werden. Das Dachgeschoss ist ausgebaut und teilweise beheizt. Fassade, Dach und Keller wurden seit der Errichtung nicht nachträglich gedämmt. In den 1980er Jahren wurden die ursprünglich einfach verglasten Fenster durch Fenster mit Isolierverglasung ersetzt. Das Gebäude wird über einen ca. 25 Jahre alten Erdgas-Niedertemperaturkessel beheizt. Brenner und Heizungspumpe wurden zwischenzeitlich

ausgetauscht. Weitere energietechnische Modernisierungen wurden nicht vorgenommen.

Aufgrund der hohen Energiekosten werden lediglich die Küche, das Wohnzimmer und das Bad dauerhaft, die weiteren Räume dagegen zeitlich stark eingeschränkt, beheizt. Die gewünschte Raumsolltemperatur beträgt 21 °C. Aus der Teilbeheizung resultiert jedoch eine mittlere Raumtemperatur über die Heizperiode von nur 15,4 °C. Der unzureichende Wärmeschutz des Gebäudes und die niedrige mittlere Raumtemperatur aufgrund der sparsamen Beheizung führen zu einem sehr unbehaglichen Wohnklima während

Gebäudesteckbrief	
	
Modellgebäude	EFH 57 – IST
Bauepoche	1950–1957
Wohnfläche	153 m ²
Wohneinheiten	1
Keller	unbeheizt
Dachgeschoss	teilweise ausgebaut
Dachgeschoss	teilweise beheizt
Raumsolltemperatur während der Heizperiode	21,0 °C
mittlere Raumtemperatur während der Heizperiode	15,4 °C
spezifische Transmissionswärmeverluste	1,26 W/(m ² Hülk)
Endenergieverbrauch	229 kWh/(m ² Wohna)
Energieträger System 1: Erdgas, Deckungsanteile Heizung / WW	100 % 100 %
aktuelle Energiekosten inkl. HH-Strom	1,77 €/(m ² WohnMon)

Tab. 6-1 Gebäudesteckbrief Einfamilienhaus (EFH) im Istzustand vor der energetischen Modernisierung

der Heizperiode. In den kälteren und den feuchteren Räumen des Gebäudes kommt es zudem stellenweise zu Schimmelbildung im Bereich von Gebäudekanten und -ecken sowie hinter abgehängten Decken oder hinter Schränken an Außenwänden.

Trotz des sparsamen Umgangs mit Heizenergie beträgt der gemessene Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser $229 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{Wohnfläche})$ ^{a)}. Umgerechnet entspricht das einem Verbrauch von ca. 23 Litern Heizöl je m^2 Wohnfläche und Jahr für Heizung und Warmwasser bzw. ca. 3 500 Litern Heizöl pro Jahr.

6.2 Maßnahmen und Kosten im Hausdatenblatt

Für die umfassende Dokumentation des heutigen Zustands des Gebäudes sowie des Zustands nach der energietechnischen Modernisierung wurde das in Tabelle 6-2 dargestellte Hausdatenblatt entwickelt. Es zeigt wesentliche energietechnische Eingangsgrößen, die geplanten Maßnahmen mit den geschätzten Kosten sowie die Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen und ermöglicht so einen schnellen Überblick. Die einzelnen Daten werden in der folgenden Aufzählung kurz erläutert. Die Nummern der Aufzählung finden sich in Tabelle 6-2 wieder.

Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m²]	U-Wert vor Mod. [W/(m²K)]	Dämmung [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten: davon ... [€]	[€/m²Bt]	... energietechnische Modernisierung [€]	[€/m²Bt]	
AW – WDVS	WDVS auf Altplatz im Zuge einer ohnehin erforderlichen umfassenden Putzsanierung	210	1,30	15	0,20	32 500 35 200 38 100	168	14 500 15 700 17 000	75	
3WSV – EFH	3-Scheiben-Wärmedämschichtverglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	30	2,70		0,95	14 100 14 700 15 300	490	1 600 1 900 2 200	63	
Ht – EFH	Haustür inkl. Nebenanlagen wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	2	3,00		1,30	3 500 3 500 3 500	1 750	1 700 1 700 1 700	850	
St – außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neuerneuerung	50	1,20	22	0,14	11 500 12 800 14 200	256	3 400 3 800 4 200	76	
OG – n beg	Dämmung auf der obersten Geschossoberdecke, nicht begehbar, Entsorgung evtl. vorh. Dämmung	45	1,10	22	0,14	1 400 1 500 1 500	33	1 400 1 500 1 500	33	
K – ohne	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, ohne zusätzlichen Schutz gegen mechanische Beschädigung	80	1,20	10	0,25	3 900 4 200 4 400	53	3 900 4 200 4 400	53	
WB 003	WBV, reduziert durch Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken wie Energieberatung, Planung, Ausführung und Kontrolle (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	153	0,05		0,03	5 600 5 600 5 600	37	5 600 5 600 5 600	37	
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)				7	2 100 2 300 2 600	15	1 000 1 200 1 300	8	
Anlagentechnik vor Modernisierung										
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,35/h, nL50 = 3/h									
Heizung	System 1: Erdgas – Niedertemperaturkessel 70/55 °C, außerhalb therm. Hülle, Bj: 1987 bis 1994, Anteil: 100 % Übergabe: ThV2K, Verteilung: huV170UP, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: –	3								
Warmwasser	System 1: Erdgas – Niedertemperaturkessel, Bj: 1987 bis 1994, Anteil: 100 % Verteilung: St 2R, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: ibSu									
Anlagentechnik nach Modernisierung										
Abluft DC	einfache Abluftanlage, DC Ventilator, rechnerischer Luftwechsel: 0,5/h, nL50 = 1/h, zusätzliche Wartungskosten je Wohneinheit: 30 €/a					2 500 3 900 6 500				
Heizung Gas BW&Sol (WW&H)	System 1: Erdgas – Brennwertkessel verbessert 55/45 °C, außerhalb therm. Hülle, Bj: EnEV 2002, Anteil: 90 % System 3: Sonne – thermische Solaranlage zur Heizungsunterstützung, Bj: EnEV 2002, Anteil: 10 % Übergabe: ThV1K, Verteilung: huV155gP, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: –					19 100	7 800			
Warmwasser	System 1: Erdgas – Brennwertkessel verbessert, Bj: EnEV 2002, Anteil: 49 % System 3: Sonne – thermische Solaranlage zur Unterstützung der WW-Bereitung, Bj: EnEV 2002, Anteil: 51 % Verteilung: St 2R, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: SolSu (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Niedertemperaturkessels)					21 000	8 400	8		
Heizungsperipherie	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen					23 200	9 000			
zusätzliche Kosten										
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung/ Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückeberechnungen, Nachweise u. a.					4 800 5 900 7 200	9	2 600 3 100 3 900	...energietechnische Modernis.	
Alle Maßnahmen		Vollkos-ten davonenergi-technische Modernis.	Vollkos-ten davonenergi-technische Modernis.					
		[€/m²Wf]								
	niedrig	758	301	116 000		46 000				
	erwartet	791	314	121 000		48 000				
	hoch	830	327	127 000		50 000				

Tab. 6-2 Hausdatenblatt Einfamilienhaus: energietechnische Eigenschaften, geplante Maßnahmen und Kosten

Hinweis: Vergrößerte Tabelle, siehe hintere Umschlagklappe.

1. Foto des Gebäudes
2. Kennzeichnung der einzelnen Bauteile der thermischen Hülle des Gebäudes mit der Kurzbeschreibung der geplanten Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes, den einzelnen Bauteilflächen, dem U-Wert vor der geplanten Modernisierung (in Rot), der vorgesehenen Dämmdicke und dem U-Wert nach der geplanten Modernisierung.
3. Kurzbeschreibung der Anlagentechnik vor der geplanten Modernisierung (in Rot)
4. Kurzbeschreibung der Anlagentechnik (Heizung und Lüftung) nach der geplanten Modernisierung. Gleichzeitig mit der Modernisierung einer zentralen Heizanlage werden häufig auch Maßnahmen in der Heizungsperipherie umgesetzt. Dies kann die Erneuerung oder den erstmaligen Einbau von Wärmeverteilungen im Haus oder auch Maßnahmen in Bad/Küche bedeuten. Diese Kosten werden unter dem Begriff »Heizungsperipherie« dokumentiert.
5. Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen nach dem in Kapitel 3.3 beschriebenen Energiepass Heizung/Warmwasser:¹⁰ Für die Berechnungen wurden die Rahmenbedingungen der Energiebilanzberechnungen innerhalb plausibler Grenzen so festgelegt, dass der berechnete Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser dem im Gebäude über mehrere Jahre gemessenen Endenergieverbrauch entspricht. In der Grafik sind die erwarteten Endenergieeinsparungen in [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{Wohnfläche})$] bei der energietechnischen Modernisierung einzelner Bauteile bzw. der Anlagentechnik mit den unter Punkt 2 und Punkt 4 beschriebenen Maßnahmen dargestellt.
Die Abbildung zeigt, dass bei diesem Gebäude die größten Endenergieeinsparungen aus der nachträglichen Dämmung der Fassade mit einem 15 cm starken Wärmedämmverbundsystem und der Modernisierung der Heizungsanlage zu erwarten sind. Auffällig ist, dass der nachträgliche Einbau der Abluftanlage nach den Ansätzen der Berechnungen zu einem Anstieg des Endenergiebedarfs führt. Die Ursache hierfür ist vor allem der durch die Abluftanlage im Mittel höhere Luftwechsel im Gebäude zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität.
6. Erwartete Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten (in Grau) der baulichen Maßnahmen. Die Kostenkennwerte sind in der Regel auf die Bauteilfläche bezogen, bei den Wärmebrücken jedoch auf die Wohnfläche.

10 Das Verfahren weicht vor allem durch die Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung und den Ansatz eines reduzierten Luftwechsels bei Fensterlüftung von den Annahmen der EnEV ab.

7. Erwartete Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten (in Grau) für das Gerüst im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung. Die Kostenkennwerte sind auf die Wohnfläche bezogen.
8. Erwartete Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten (in Grau) für die Modernisierung der Heizungsanlage und die Lüftungsanlage
9. Erfasst sind auch Kosten für Architekten und Beratungsleistungen (in Grau), die im Zusammenhang mit der energietechnischen Modernisierung stehen.
10. Summe der erwarteten Vollkosten und der energiebedingten Mehrkosten (in Grau) für das gesamte Maßnahmenpaket. Die Kostenkennwerte sind auf die Wohnfläche bezogen.

Als Vollkosten werden alle Kosten für die energiesparenden Maßnahmen an der Gebäudehülle (Wärmedämmung und Fenster mit allen damit verbundenen Nebenkosten), eventuell erforderlichen zusätzlichen baulichen Aufwand und zusätzlichen Planungsaufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie die Kosten für die energierelevante Anlagentechnik (Heizung und Lüftung inkl. Kosten für Wartung und Betrieb) bezeichnet. Kosten für sonstige den Wohnwert verbessende Maßnahmen wie z. B. neue Balkone oder Wanddurchbrüche für neue Fenstertüren oder vergrößerte Fenster wurden nicht berücksichtigt. Die energiebedingten Mehrkosten werden unter der Prämisse des Kopplungsprinzips angesetzt (vgl. Kapitel 4.1).

In der Praxis erwachsen aus baulichen und anlagentechnischen Unwägbarkeiten oder auch aus der Kompetenz der eingebundenen Fachingenieure und der ausführenden Gewerke Kostenrisiken, die im Einzelfall zu erheblichen Kostenabweichungen führen können. Daher sind im Hausdatenblatt neben den erwarteten Kosten auch Kostenbereiche (niedrig/hoch) angegeben, die unter Berücksichtigung dieser Risiken als realistisch zu betrachten sind.

Bezug zu aktuellen Förderstandards der KfW

Die im Hausdatenblatt dargestellten einzelnen Maßnahmen zur energietechnischen Modernisierung erfüllen die technischen Mindeststandards zur Förderung von Einzelmaßnahmen durch die KfW nach dem Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren«, Stand 07/17. Das gesamte Maßnahmenpaket entspricht den Anforderungen der KfW an ein Effizienzhaus 85.

Die mögliche Förderung durch die KfW wird bei der Darstellung der Wirtschaftlichkeit in Kapitel 6.3 nicht berücksichtigt, da sich die Förderkriterien ändern können und nicht jeder Hauseigentümer zwingend einen KfW-Kredit in Anspruch nimmt. In Kapitel 6.6 wird dann der Einfluss der Förderung auf die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung untersucht.

6.3 Energietechnische Standards und Wirtschaftlichkeit

Abbildung 6-1 zeigt die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die in Tabelle 6-2 (Hausdatenblatt) dargestellten Maßnahmen.

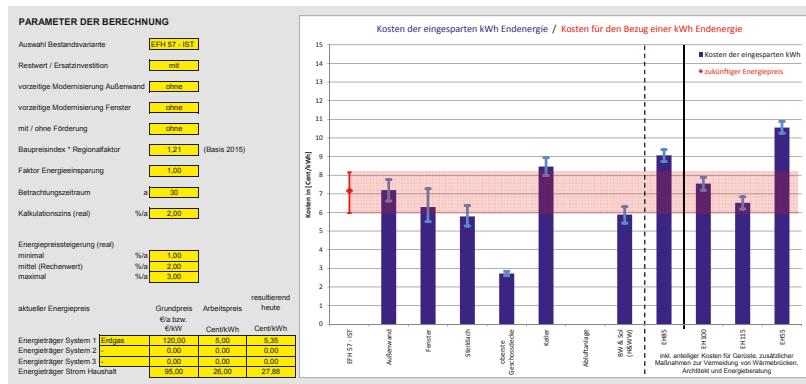


Abb.6-1 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Standardbedingungen

Da es sich bei dem betrachteten Gebäude um eine selbst genutzte Immobilie handelt, werden als relevantes Kriterium für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie herangezogen, die in der Abbildung als blaue Balken dargestellt sind. Je nach Ansatz der energiebedingten Mehrkosten (hohe, niedrige und erwartete energiebedingte Mehrkosten) aus der energietechnischen Modernisierung nach Tabelle 6-2, können diese plausibel in den mit den hellblauen Balken gekennzeichneten Bandbreiten liegen. Die Vergleichsgröße zur Beurteilung sind die mittleren Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie, die je nach erwarteter Energiepreisseiteigerung in dem mit dem flach liegenden roten Balken gekennzeichneten Bereich liegen können.

Zusätzlich sind in den gelb gefüllten Feldern im linken Teil der Abbildung die wesentlichen Randbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen aufgeführt. Diese Parameter bzw. Werte müssen vom Investor im Sinne von Standardwerten festgelegt werden. So wird hier unter Standardbedingungen mit Restwerten und Ersatzinvestitionen gerechnet. Entsprechend dem Kopplungsprinzip werden keine vorzeitigen energietechnischen Modernisierungen an der Fassade und den Fenstern durchgeführt. Die Maßnahmen werden ohne investive Förderung realisiert. Aufgrund der allgemeinen Baupreisentwicklung (Baupreisindex 1,1 gegenüber Stand 2015)

und regionaler Faktoren (Regionalfaktor 1,1) werden die Investitionskosten 21 % höher als nach den in Tabelle 4-1 dargestellten Kostenfunktionen (Stand 1. Quartal 2015) angesetzt. Vor dem Hintergrund der vorgesehenen zusätzlichen qualitätssichernden Maßnahmen wird von einer fachgerechten Planung und Ausführung ausgegangen und erwartet, dass die berechneten Endenergieeinsparungen in der Realität erreicht werden (Faktor Energieeinsparung = 1,00). Der Betrachtungszeitraum wird auf 30 Jahre, der Kalkulationszins auf 2,0 %/a (real) festgelegt.¹¹ Damit sind die wesentlichen Rahmenbedingungen zur Berechnung der Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie definiert. Unter diesen Rahmenbedingungen ergeben sich folgende Ergebnisse:

- Die Variante EFH57 – IST beschreibt das Gebäude im heutigen Zustand. Es werden keine energietechnischen Modernisierungen durchgeführt. Somit entstehen auch keine Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie.
- Für eine Abluftanlage fallen keine energiebedingten Mehrkosten an, da eine solche Lüftungsanlage im Wesentlichen als Beitrag zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität angesehen wird. Die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie sind entsprechend null.
- Für die weiteren Maßnahmen liegen die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie in der Regel zwischen 2,7 Cent/kWh für die nicht begehbar Dämmung der obersten Geschossdecke und etwa 8,7 bis 9,4 Cent/kWh für die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke.

Des Weiteren sind in Abbildung 6-1 die Kosten der eingesparten Kilowattstunde Endenergie für umfassende Gesamtmodernisierungen auf vier energietechnische Standards dargestellt. Bei diesen Standards sind gegenüber den Einzelmaßnahmen zusätzliche Kosten aus der energietechnischen Modernisierung für Gerüste, Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie für energierelevante Architektenleistungen und Energieberatungen berücksichtigt.

- EH 85: Dieser Standard resultiert aus der umfassenden energietechnischen Modernisierung des Gebäudes entsprechend den im Hausdatenblatt

11 Alle Berechnungsgrößen sind inflationsbereinigt (real), um von Schwankungen der allgemeinen Inflation abzusehen. Aufgrund der anhaltenden Niedrigzinsphase erscheint ein realer Kalkulationszins von 2 %/a auch für einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren angemessen. Die EU verpflichtet ihre Mitgliedsstaaten beim Nachweis der Wirtschaftlichkeit gesetzlicher Standards, einen realen Kalkulationszinssatz von 3 %/a zu verwenden [EC; 2012].

dargestellten Einzelmaßnahmen. Werden diese Maßnahmen realisiert, erreicht das Gebäude nach Modernisierung den KfW-Förderstandard Effizienzhaus 85 (Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren«, Stand 04/16). Ohne eine mögliche Förderung liegen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie hier zwischen 8,7 und 9,4 Cent/kWh.

- EH 100: Werden die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz gegenüber dem hochwertigen Standard EH 85 reduziert, erreicht das Gebäude nach der umfassenden Modernisierung den KfW-Förderstandard Effizienzhaus 100 (Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren«, Stand 04/16). Ohne Förderung liegen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie bei diesem Standard zwischen 7,2 und 7,9 Cent/kWh.
- EH 115: Wird zusätzlich auf die Unterstützung der Raumheizung durch die thermische Solaranlage verzichtet, wird lediglich der KfW-Förderstandard eines Effizienzhauses 115 (Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren«, Stand 04/16) erreicht. Ohne Förderung liegen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie in diesem Fall zwischen lediglich 6,2 und 6,9 Cent/kWh.
- EH 55: Wird das Gebäude entsprechend dem Standard EH 85 umfassend modernisiert und zusätzlich noch eine effiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in das Gebäude eingebaut, kann der KfW-Förderstandard eines Effizienzhauses 55 (Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren«, Stand 04/16) erreicht werden. Ohne Förderung liegen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie bei diesem hochwertigen energietechnischen Standard zwischen lediglich 10,2 und 10,9 Cent/kWh.

Für die Berechnung der Vergleichsgröße zur Bewertung der Maßnahmen, d.h. des Preises für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie, müssen heutige Preise für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie und realistisch erscheinende Prognosen für die zukünftige Energiepreissteigerung angesetzt werden. Ausgehend von einem heutigen Arbeitspreis von 5,00 Cent/kWh und einem Grundpreis von 120 €/a resultiert ein heutiger Preis von 5,35 Cent/kWh für den Bezug von Erdgas. Unter Berücksichtigung von Grund- und Arbeitspreis wurde für den Endenergieträger Strom mit einem heutigen Energiepreis von 27,88 Cent/kWh gerechnet. Für die Berechnungen wurde eine Energiepreissteigerung von 2 %/a (real), mindestens aber 1 %/a (real) und maximal 3 %/a (real) angesetzt. Unter diesen Rahmenbedingungen liegen die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie zwischen 6,0 und 8,2 Cent/kWh.

6.4 Wirtschaftlich oder nicht – die Bewertung der Maßnahmen

Rechnen sich die Maßnahmen oder rechnen sie sich nicht? Die in Abbildung 6-1 dargestellten Ergebnisse der Berechnungen für das frei stehende Einfamilienhaus zeigen ein sehr unterschiedliches Bild:

- Unter den gewählten normativen Rahmenbedingungen erweist sich die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke als sehr vorteilhaft.
- Unter Beachtung des Kopplungsprinzips erscheinen die nachträgliche Dämmung des Steildaches sowie die Modernisierung der Heizanlage selbst bei hohen Investitionskosten und einer gleichzeitig sehr niedrigen Energiepreissteigerung sinnvoll.
- Weiter ist die nachträgliche Dämmung der Fassade selbst bei hohen Investitionskosten als sinnvoll einzuschätzen, sofern die als wahrscheinlich angesehene Energiepreissteigerung von 2 %/a tatsächlich auch eintritt.
- Unter Beachtung des Kopplungsprinzips erscheint auch der Austausch der alten Fenster durch zeitgemäße Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen selbst bei vergleichsweise hohen Kosten für die Maßnahme vorteilhaft, sofern die erwartete Energiepreissteigerung von 2 %/a eintritt. Bei einer niedrigeren Energiepreissteigerung stellt sich die Maßnahme nur als sinnvoll dar, wenn sie zu vergleichsweise niedrigen Kosten realisiert werden kann.
- Die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke rechnet sich dagegen erst bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreissteigerung von 3 %/a.
- Die umfassende energietechnische Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 als Summe der oben beschriebenen Einzelmaßnahmen und unter anteiliger Berücksichtigung der Kosten für Gerüste, zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken und Architekten- und Energieberatungsleistungen (vgl. Tabelle 6-2) erscheint selbst bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreissteigerung ohne Förderung aus ökonomischer Sicht als nicht sinnvoll.
- Dagegen stellt sich der KfW-Effizienzhausstandard EH 100 ohne Förderung bei einer mittleren Energiepreissteigerung zwischen 2 %/a und 3 %/a als vertretbar dar.
- Der KfW-Effizienzhausstandard EH 115 erweist sich ohne Förderung schon bei einer mittleren Energiepreissteigung zwischen 1 %/a und 2 %/a als sinnvoll.
- Die hochwertige Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 55 erscheint dagegen ohne Förderung selbst bei einer als hoch einge-

schätzten Energiepreisseigerung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten als nicht ratsam.

Für die Berechnungen wurden Annahmen und Bandbreiten für die Entwicklung wesentlicher Rahmenbedingungen (Kostenansätze, Energiepreisseigerungen etc.) als Erwartungswerte definiert. Diese sind in Abbildung 6-1 in den gelben Feldern dargestellt. Unter der Voraussetzung, dass diese erwarteten Annahmen und Entwicklungen eintreten, geben die Abbildung 6-1 dargestellten Ergebnisse eine differenzierte Antwort auf die Frage, ob sich Maßnahmen zur energietechnischen Modernisierung lohnen oder nicht.

6.5 Deterministische Sensitivitätsanalyse

Risiken aus einer in der Realität möglichen mehr oder weniger großen Abweichung von den o.g. normativ gesetzten Rahmenbedingungen wurden bei der Bewertung der Ergebnisse bisher nicht berücksichtigt. Tatsächlich können unerwartete Abweichungen von normativ gesetzten Rahmenbedingungen das Ergebnis der Berechnungen jedoch erheblich beeinflussen. Zur Bewertung dieser Risiken werden daher im Folgenden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter Berücksichtigung unerwarteter, aber realistisch erscheinender Szenarien dargestellt. Dazu werden einzelne Rahmenbedingungen der Berechnungen geändert und der Einfluss dieser Änderungen auf das Ergebnis betrachtet. Diese Methodik wird als deterministisches Verfahren der Sensitivitätsanalyse bezeichnet.

6.5.1 Kosten der energietechnischen Modernisierung (Regionalfaktor)

Die Kosten bzw. die gezahlten Preise für energietechnische Modernisierungen können innerhalb Deutschlands je nach Standort erheblich voneinander abweichen. So können die Preise für Maßnahmen in städtischen Ballungsräumen in der Regel mehr oder weniger deutlich über (Beispiel Stuttgart, Würzburg, München: ca. 1,1- bis zu 1,4-fach) bzw. in strukturschwachen Regionen mehr oder weniger deutlich unter (Beispiel Sachsen-Anhalt: ca. 0,7- bis 0,8-fach) dem Bundesdurchschnitt liegen. Diese Effekte können in den Berechnungen über den Regionalfaktor abgebildet werden. Abbildung 6-2 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für einen

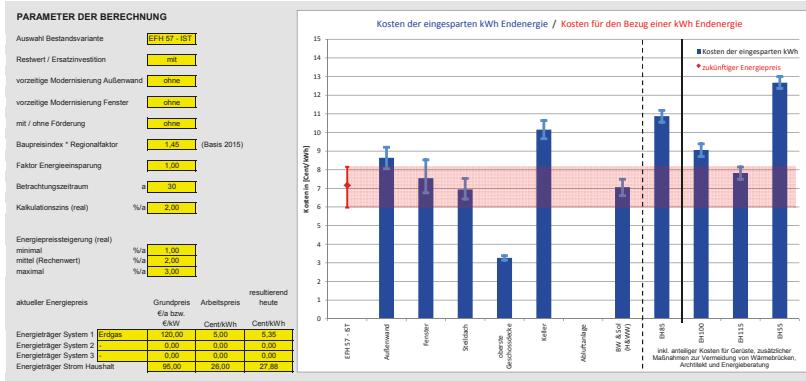


Abb. 6-2 Ergebnisse bei einem 20 % höheren Regionalfaktor

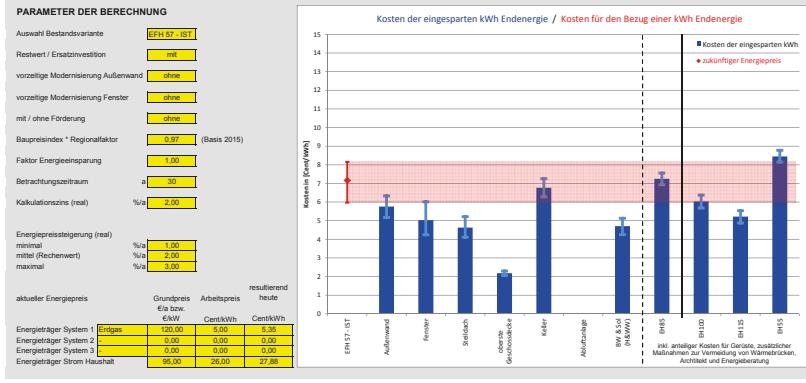


Abb. 6-3 Ergebnisse bei einem 20 % niedrigeren Regionalfaktor

Regionalfaktor von 20 % über dem normativ angesetzten Wert von 1,10 (Baupreisindex 1,1 · Regionalfaktor $(1,1 \cdot 120\%) = 1,45$).

- Wird das Gebäude unter Beachtung des Kopplungsprinzips auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 modernisiert, steigen die Kosten bei einem hohen Regionalfaktor für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie auf 10,6 bis 11,2 Cent/kWh. Damit erweist sich das Maßnahmenpaket selbst bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreissteigerung von im Mittel 3 %/a als ökonomisch nicht sinnvoll.
- Gleicher gilt für die Modernisierung auf den sehr hochwertigen KfW-Effizienzhausstandard EH 55 mit Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie von 12,3 bis 13,0 Cent/kWh.

- Der KfW-Effizienzhausstandard EH 100 kann zu Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie von 8,7 bis 9,4 Cent/kWh realisiert werden und erscheint damit auch unter Annahme einer hoch eingeschätzten Energiepreisseigerung von im Mittel 3 %/a ökonomisch nicht sinnvoll.
- Der KfW-Effizienzhausstandard EH 115 ist dagegen bei einer als wahrscheinlich angesehenen Energiepreisseigerung von im Mittel 3 %/a als ökonomisch sinnvoll zu betrachten.

Abbildung 6-3 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen für einen Regionalfaktor von 20 % unter dem normativ angesetzten Wert von 1,10 (Baupreisindex $1,1 \cdot \text{Regionalfaktor} (1,1 \cdot 80\%) = 0,97$). Gegenüber einem hohen Regionalfaktor verringern sich die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie bei einem niedrigen Regionalfaktor um etwa 3 bis 4 Cent/kWh:

- Unter Berücksichtigung des Kopplungsprinzips und ohne Förderung liegen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie beim KfW-Effizienzhausstandard EH 85 nun zwischen 6,9 und 7,6 Cent/kWh. Damit erscheint diese Modernisierung bei einer als realistisch eingeschätzten Energiepreisseigerung von 2 %/a als sinnvoll.
- Selbst bei einem niedrigen Regionalfaktor liegen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie beim KfW-Effizienzhausstandard EH 55 ohne Förderung noch zwischen 8,1 und 8,9 Cent/kWh und damit über den Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreisseigerung.

6.5.2 Einsparung Endenergie

In den Abbildung 6-4 und Abbildung 6-5 sind die Ergebnisse der Berechnungen für eine um 20 % höhere bzw. niedrigere Einsparung an Endenergie, als infolge der energietechnischen Modernisierung erwartet, dargestellt. Praktisch können diese realistischen Abweichungen von einer erwarteten Energieeinsparung durch ungeeignete Modellbildung, ungeeignete Berechnungsalgorithmen oder auch durch Abweichungen von der Planung bei der Ausführung entstehen. Aus den Abbildungen wird Folgendes ersichtlich:

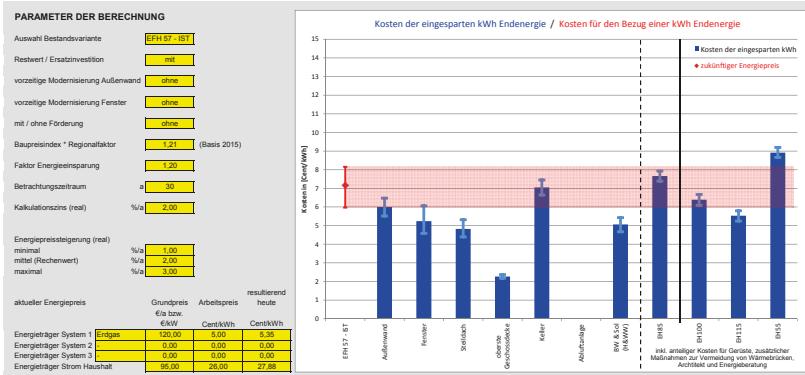


Abb. 6-4 Ergebnisse bei einer 20 % höheren Endenergieeinsparung als erwartet

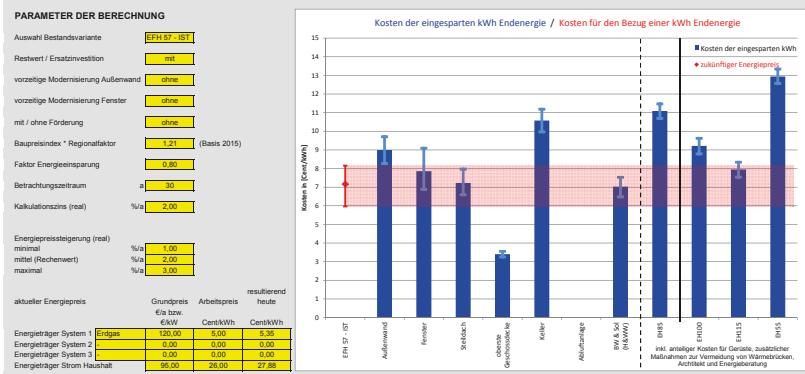


Abb. 6-5 Ergebnisse bei einer 20 % niedrigeren Endenergieeinsparung als erwartet

- Bei einer um 20 % größeren Endenergieeinsparung als erwartet sinken die Kosten für die eingesparte Kilowattstunde Endenergie bei der Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 unter Beachtung des Kopplungsprinzips auf 7,4 bis 8,0 Cent/kWh. Damit erscheint dieser energietechnische Standard bei einer mittleren Energiepreissteigerung zwischen 2 und 3 %/a ohne Förderung als ökonomisch vorteilhaft.
- Dagegen stellt sich die Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 55 ohne Förderung aus wirtschaftlicher Sicht weiterhin als nicht sinnvoll dar.
- Wird jedoch die angestrebte Endenergieeinsparung bei der Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 deutlich verfehlt (Abbildung 6-5), steigen die Kosten für das Einsparen einer kWh auf 10,7

bis 11,5 Cent/kWh. Die umfassende energietechnische Modernisierung ist damit ökonomisch nicht sinnvoll.

- Der energietechnisch vergleichsweise niedrige KfW-Effizienzhausstandard EH 85 erscheint erst unter Berücksichtigung einer als hoch eingeschätzten Energiepreisseigerung ökonomisch sinnvoll.

6.5.3 Betrachtungszeitraum

Abbildung 6-6 zeigt die Ergebnisse der Berechnungen unter Annahme eines kürzeren Betrachtungszeitraums. Da für die Berechnungen Restwerte am Ende des Betrachtungszeitraums bzw. auch Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden, wirkt sich die Modifikation des Betrachtungszeitraums nicht wesentlich auf die Kosten zum Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie aus.

Dagegen hat der Betrachtungszeitraum einen deutlichen Einfluss auf die mittleren Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie als Vergleichswert zur Abschätzung der Vorteilhaftigkeit der Maßnahmen. Gegenüber dem normativ gesetzten Betrachtungszeitraum von 30 Jahren verringern sich die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie von 6,0 bis 8,2 Cent/kWh auf lediglich 5,8 bis 7,2 Cent/kWh bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.

- Durch den verkürzten Betrachtungszeitraum und die damit verbundenen niedrigeren mittleren Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie erscheint lediglich die energietechnische Modernisierung auf den

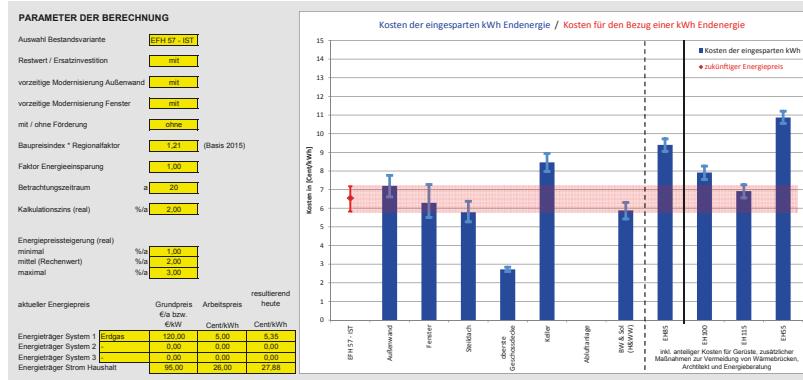


Abb.6-6 Ergebnisse bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren

KfW-Effizienzhausstandard EH 115 ökonomisch vertretbar, sofern eine als eher hoch eingeschätzte Energiepreissteigerung zwischen 2 und 3 %/a vorausgesetzt wird.

- Alle weiteren KfW-Effizienzhausstandards stellen sich dagegen aus wirtschaftlicher Sicht als nicht vorteilhaft dar.

6.5.4 Kalkulationszinssatz

In Kapitel 5.2 wurden wesentliche Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung vorgestellt, darunter auch der Kalkulationszinssatz. Um den Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf das Ergebnis der Berechnung zu veranschaulichen, wurde für die in Abbildung 6-7 dargestellten Ergebnisse der Kalkulationszinssatz von 2 %/a (real) unter Standardannahmen auf 4 %/a (real) angehoben.

- Die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie steigen bei der Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 bei einem Kalkulationszinssatz von 4 %/a von 8,7 bis 9,4 Cent/kWh auf 11,0 bis 12,0 Cent/kWh.
- Bei der Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 115 steigen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie von ursprünglich 6,2 bis 6,9 Cent/kWh durch den angehobenen Kalkulationszinssatz auf 7,8 bis 8,7 Cent/kWh. Damit erscheint dieser Standard, der bei einem Kalkulationszinssatz von 2 %/a noch wirtschaftlich war, selbst bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreissteigerung wirtschaftlich nicht mehr sinnvoll.

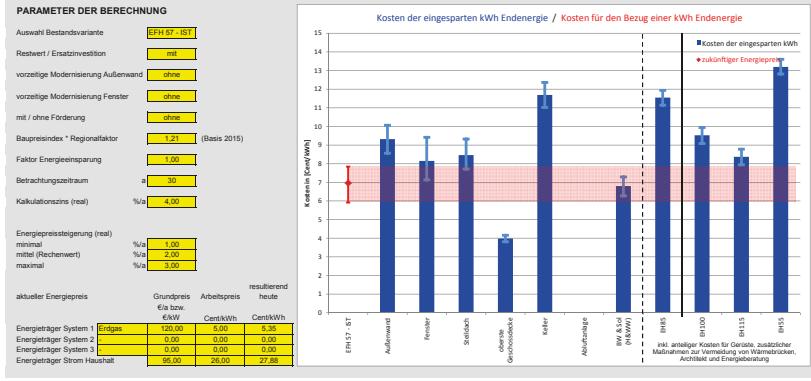


Abb. 6-7 Ergebnisse bei einem Kalkulationszins von 4 %/a

Die Anhebung des Zinses führt in der Berechnung dazu, dass weiter in der Zukunft liegende Erlöse und Kosten das Ergebnis der Berechnung weniger stark beeinflussen. Somit führt ein hoher Kalkulationszinssatz zu höheren Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie. Gleichzeitig verringert der höhere Kalkulationszinssatz die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie, sodass letztlich ein hoher Kalkulationszinssatz systematisch zu einer schlechteren Bewertung einer auf lange Frist angelegten energietechnischen Modernisierung führt.

6.5.5 Sonderfall vorzeitige Modernisierung

Die Kosten energietechnischer Modernisierungen werden nicht nur durch den Standort beeinflusst. Wie in Kapitel 4 am Beispiel der nachträglichen Dämmung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem gezeigt, spielt auch der Zeitpunkt der Modernisierung eine wesentliche Rolle. Wird aufgrund einer vorzeitigen Modernisierung vom Kopplungsprinzip abgewichen, sind die energierelevanten Kosten gegenüber dem Kopplungsprinzip höher anzusetzen. Für die in Abbildung 6-8 dargestellten Ergebnisse wurden folgende Annahmen getroffen:

- Bei der Modernisierung mit einem Wärmedämmverbundsystem mit 22 cm Dämmung wurde unter der Prämisse der vorzeitigen Modernisierung ein Restwert von 30 €/m² Fassade für einen im Wesentlichen intakten Grundputz mit Armierung berücksichtigt. Die energiebedingten Kosten für die vorzeitige nachträgliche Dämmung der Fassade steigen entsprechend um den gleichen Betrag.
- Für die vorhandenen alten Fenster mit 2-Scheiben-Isolierverglasung wurde zudem ein Restwert von 40 €/m² Bauteil angesetzt. Entsprechend erhöhen sich die energiebedingten Mehrkosten für die Modernisierung mit neuen Fenstern um den gleichen Betrag.

Diese vorzeitigen Modernisierungen führen unter Berücksichtigung der Restwerte der modernisierten Bauteile zu einer deutlich veränderten Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen.

- Durch die vorzeitige Modernisierung der Fassade und somit unter Missachtung des Kopplungsprinzips steigen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie von 6,6 bis 7,8 Cent/kWh auf 9,6 bis 10,8 Cent/kWh.

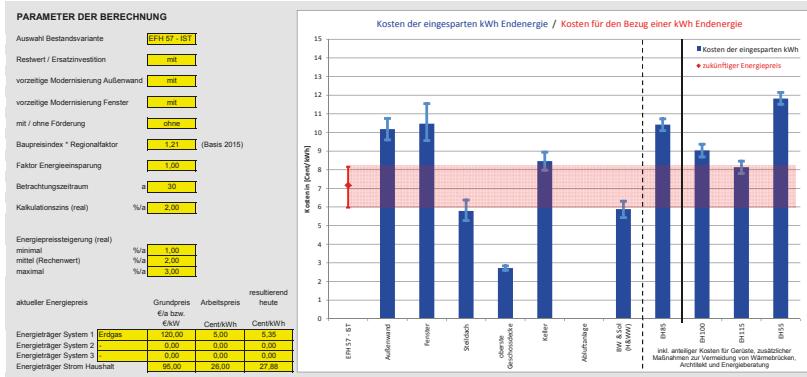


Abb. 6-8 Ergebnisse bei vorzeitiger Modernisierung der Fassade und der Fenster

- Bei den Fenstern steigen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie von 5,5 bis 7,3 Cent/kWh unter Beachtung des Kopplungsprinzips auf 9,6 bis 11,6 Cent/kWh bei einem vorzeitigen Austausch.

Eine energietechnische Modernisierung bei einem intakten Altplatz der Fassade oder bei intakten Fenstern erscheint somit in diesem Beispiel unter den gewählten sonstigen normativen Rahmenbedingungen selbst bei einer hoch angesetzten Energiepreissteigerung ökonomisch nicht vorteilhaft.

- Für die umfassende Modernisierung des Gebäudes auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 steigen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie von 8,7 bis 9,4 Cent/kWh unter Beachtung des Kopplungsprinzips auf 10,2 bis 10,8 Cent/kWh bei einer vorzeitigen Modernisierung. Das Maßnahmenpaket wäre somit selbst bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreissteigerung wirtschaftlich nicht sinnvoll.
- Unter der Prämisse der vorzeitigen Modernisierung erscheint dagegen der KfW-Effizienzhausstandard EH 115 aus ökonomischer Sicht ohne Förderung vertretbar, sofern die als eher hoch eingeschätzte Energiepreissteigerung tatsächlich eintritt.

6.5.6 Heutiger Energiepreis

Die bisher untersuchten Einflussgrößen auf Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wirken sich ausschließlich bzw. vorwiegend auf die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie aus und nicht bzw. weniger auf

die Vergleichsgröße zur ökonomischen Bewertung der Maßnahmen, die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie. Dieser Maßstab zur ökonomischen Bewertung energietechnischer Modernisierungen wird ganz erheblich davon bestimmt, welcher »heutige« Energiepreis den Berechnungen zugrunde gelegt wird. Das Problem ist: Der »heutige« Energiepreis unterliegt starken Schwankungen. Vor diesem Hintergrund wurde in Kapitel 5.2 die Problematik angesprochen, normativ einen heutigen Energiepreis als Basis für die Berechnungen anzusetzen.

Um den großen Effekt in Bezug auf die ökonomische Bewertung energietechnischer Modernisierungen zu zeigen, wurde für die in den Abbil-

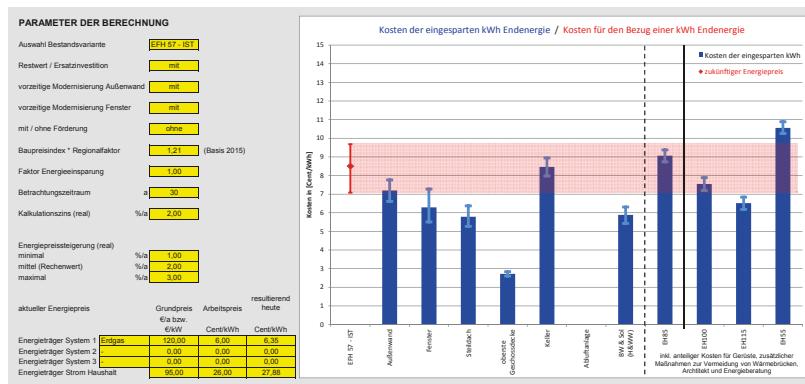


Abb. 6-9 Ergebnisse bei einem heutigen Arbeitspreis für Erdgas von 6,00 Cent/kWh

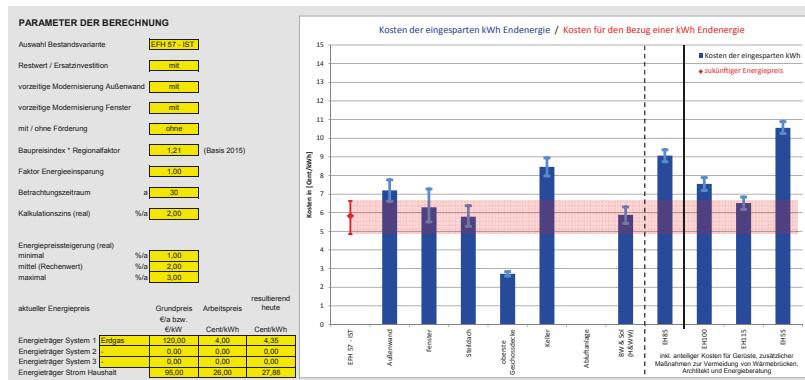


Abb. 6-10 Ergebnisse bei einem heutigen Arbeitspreis für Erdgas von 4,00 Cent/kWh

dung 6-7 und Abbildung 6-8 dargestellten Ergebnisse der stark volatile heutige Arbeitspreis für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie um 1 Cent/kWh gegenüber dem normativ gesetzten Wert von 5,0 Cent/kWh nach oben und nach unten variiert.

- Ausgehend von einem heutigen Arbeitspreis von 6,0 Cent/kWh für Erdgas (vgl. Abbildung 6-9) liegen die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie je nach Energiepreisseigerung zwischen 7,1 und 9,7 Cent/kWh. Damit erscheint die umfassende energietechnische Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 85 bei einer Energiepreisseigerung zwischen 2 und 3 %/a ohne Förderung ökonomisch sinnvoll.
- Dagegen wäre die Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 55 selbst bei einer als hoch eingeschätzten Energiepreisseigerung weiterhin als nicht wirtschaftlich anzusehen.

Deutlich abweichend ist das Ergebnis der Berechnungen bei Annahme eines niedrigen heutigen Arbeitspreises von lediglich 4,0 Cent/kWh (vgl. Abbildung 6-10).

- Ausgehend von diesem niedrigen heutigen Arbeitspreis liegen die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie je nach Energiepreisseigerung zwischen 4,8 und 6,7 Cent/kWh. Damit erscheint lediglich die umfassende energietechnische Modernisierung auf den KfW-Effizienzhausstandard EH 115 sinnvoll, wenn von einer als eher hoch eingeschätzten Energiepreisseigerung von 3 %/a ausgegangen wird.
- Hochwertigere energietechnische Modernisierungen stellen sich unter dieser Voraussetzung dagegen als ökonomisch nicht sinnvoll dar.

6.6 Ergebnisse unter Berücksichtigung der KfW-Effizienzhausförderung

Die bisher dargestellten Ergebnisse wurden ohne Berücksichtigung einer investiven Förderung errechnet. Für die dargestellten Standards der Modernisierung werden jedoch Investitionszuschüsse nach dem Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren« der KfW (Stand 07/2017) gewährt. Die investive Förderhöhe orientiert sich dabei an den Vollkosten der energietechnischen Modernisierungen. Bei der Effizienzhausförderung steigt zudem der Beitrag der investiven Förderung mit dem verbesserten Effizienzhausstandard.¹² Die investive Förderung kann für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit prinzipiell auf zwei Arten berücksichtigt werden:

- Man kann argumentieren, dass es das Ziel der investiven Förderung ist, die Wirtschaftlichkeit der energierelevanten Maßnahmen zu verbessern. Folglich ist die investive Förderung vollständig den energiebedingten Mehrkosten anzurechnen, die entsprechend reduziert werden. Dieser Ansatz ist insofern konsequent, als dass die energietechnischen Modernisierungen unter Beachtung des Kopplungsprinzips durchgeführt werden. Das heißt, Maßnahmen zur Instandhaltung bzw. Instandsetzung stehen ohnehin an. Diese ohnehin erforderlichen Maßnahmen der Instandsetzung sind jedoch nicht das Ziel der Förderpolitik.

Wie die in Abbildung 6-11 dargestellten Ergebnisse zeigen, sinken die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie durch diese Art der Berücksichtigung der Förderung sehr deutlich. Alle Einzelmaßnahmen sowie die Modernisierungen auf die Effizienzhausstandards lassen sich für Kosten unter 5 Cent je eingesparter Kilowattstunde Endenergie realisieren. Die einzige Ausnahme stellt die nachträgliche unterseitige Dämmung der Kellerdecke dar.

- Es lässt sich aber auch argumentieren, dass die energiebedingten Mehrkosten der energietechnischen Maßnahmen sich nicht von den Vollkosten der Maßnahmen trennen lassen, denn letztlich müssen diese Vollkosten von den Investoren gezahlt werden. In der Folge darf die investive Förderung nur anteilig im Verhältnis der energiebedingten Mehrkosten zu den Vollkosten einer Maßnahme bei der ökonomischen Bewertung berücksichtigt werden. Unter dieser Prämisse ergeben sich die in Abbildung 6-12 dargestellten Ergebnisse.

¹² Informationen zu den Förderdetails enthält das KfW-Merkblatt »Bauen, Wohnen, Energie – Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss, Programm 430«

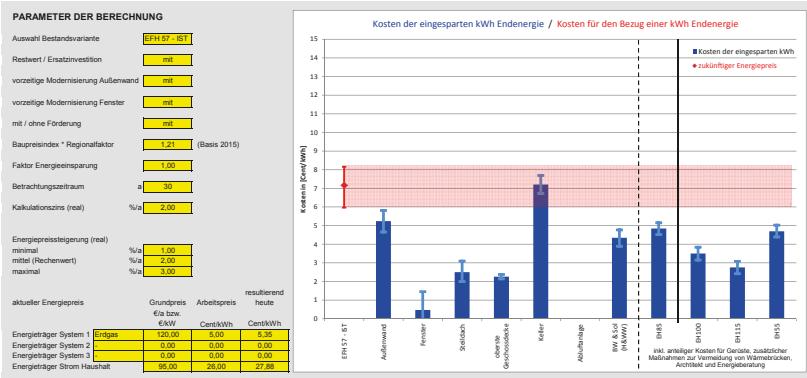


Abb. 6-11 Ergebnisse bei Berücksichtigung einer Förderung entsprechend dem KfW-Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss«, sofern der Zuschuss vollständig mit den energiebedingten Mehrkosten verrechnet wird

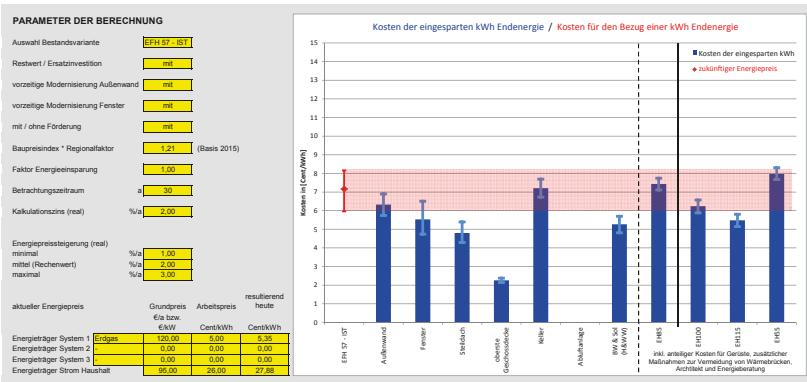


Abb. 6-12 Ergebnisse bei Berücksichtigung einer Förderung entsprechend dem KfW-Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss«, sofern der Zuschuss den energiebedingten Mehrkosten nur anteilig angerechnet wird

Alle Einzelmaßnahmen lassen sich mit Kosten von weniger als 7,8 Cent je eingesparter Kilowattstunde Endenergie realisieren und erscheinen damit bei einem mittleren Preis für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie von 6,0 bis 8,0 Cent/kWh ökonomisch sinnvoll. Der Standard Effizienzhaus 85 kann zu Kosten von etwa 7,2 bis 8,0 Cent/kWh realisiert werden und liegt damit im Bereich des mittleren Energiepreises. Somit erweist sich auch dieser Standard als sinnvoll. Dadurch, dass die anteilige investive Förderung der KfW mit verbessertem energietechnischem Standard deutlich ansteigt, lässt sich das Effizienzhaus 55 zu vergleichsweise

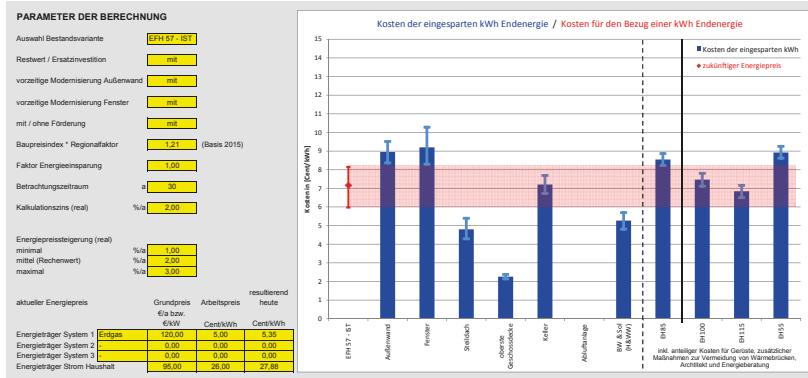


Abb. 6-13 Ergebnisse bei Berücksichtigung einer Förderung entsprechend dem KfW-Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss« unter der Prämisse einer vorzeitigen Modernisierung von Fassade und Fenstern, sofern der Zuschuss den energiebedingten Mehrkosten anteilig angerechnet wird

niedrigen Mehrkosten von 7,8 bis 8,2 Cent je eingesparter Kilowattstunde Endenergie realisieren. Dieser hochwertige energietechnische Standard wird folglich bei einer erwarteten Energiepreisseitigerung von 3 %/a wirtschaftlich sinnvoll, obwohl die investive Förderung lediglich anteilig den energiebedingten Mehrkosten angerechnet wird.

Einen Sonderfall stellt das in Abbildung 6-13 dargestellte Ergebnis dar. Wie bei den Berechnungen in Abbildung 6-12 wurde die investive Förderung hier den energiebedingten Mehrkosten lediglich anteilig angerechnet. Zudem wurde davon ausgegangen, dass die energietechnische Modernisierung der Fassade und der Fenster vorzeitig durchgeführt wurde. Vom Prinzip der Kopplung energietechnischer Modernisierungen an ohnehin anstehende Maßnahmen der Instandsetzung bzw. Instandhaltung wurde somit abgewichen. Folglich wurden die energierelevanten Mehrkosten für diese Berechnungen um 30 €/m² Bauteil für die Fassade und um 40 €/m² Bauteil für die Fenster höher angesetzt (gleiche Ansätze wie in Kapitel 6.5.5 vorgestellt). Unter diesen Annahmen steigen die Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie bei der Fassade und den Fenstern auf 8,2 bis 10,2 Cent. Damit erscheinen diese Einzelmaßnahmen selbst bei einer hoch eingeschätzten Energiepreisseitigerung ökonomisch nicht sinnvoll. Die Kosten für die Effizienzhausstandards 85 und 55 sind vergleichbar, liegen aber höher als die erwarteten Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie, selbst bei einer hoch eingeschätzten Energiepreisseitigerung. Lediglich die Effizienz-

hausstandards 100 und 115 erweisen sich unter der Prämisse der vorzeitigen Modernisierung der Fenster und der Fassade als ökonomisch sinnvoll.

6.7 Fazit

Die nähere Betrachtung der hier vorgestellten Wirtschaftlichkeitsberechnungen und der Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass die insbesondere bei der energietechnischen Modernisierung von Altbauten unvermeidlichen und großen Unsicherheiten bei der Wahl von Rahmenbedingungen für die Berechnungen in der Realität zu einer großen Abweichung von erwarteten Ergebnissen führen können. Hinzu kommt, dass sich Effekte gegenseitig aufheben oder aber auch verstärken können. So können energietechnische Modernisierungen auch bei einer niedrigen Energiepreissteigerung ökonomisch sinnvoll sein, sofern die Maßnahmen kostengünstig realisiert werden, denn der Effekt niedriger Energiepreissteigerungen wird durch den Effekt niedriger Kosten für die Maßnahmen ausgeglichen. Andererseits wird eine niedrige Energiepreissteigerung in Kombination mit hohen Kosten der Maßnahmen dazu führen, dass sich die energietechnische Modernisierung wirtschaftlich nicht mehr lässt.

Für die ökonomische Bewertung der energietechnischen Modernisierungen ist es von großer Relevanz, diese an ohnehin anstehende Arbeiten zur Instandhaltung oder Instandsetzung zu koppeln. Das gilt insbesondere für die Fassade und für die Fenster. Die Beachtung des Kopplungsprinzips verbessert die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahmen erheblich.

Damit bleibt als Fazit festzuhalten: Wirtschaftlichkeitsanalysen energietechnischer Modernisierungen sind eine wichtige Entscheidungsgrundlage für oder gegen entsprechende Investitionen. Die Wirtschaftlichkeit einer energietechnischen Modernisierung gibt jedoch es nicht. Damit kann die pauschale Behauptung, energietechnische Modernisierungen würden sich nicht rechnen, nicht gehalten werden. Die hier dargestellten Ergebnisse für ein typisches, nicht modernisiertes Einfamilienhaus aus dem Wohngebäudebestand in Deutschland zeigen vielmehr, dass selbst bei dem aus Sicht der Autoren sehr niedrigen heutigen Energiepreis und bei gleichzeitig hohen Investitionskosten umfassende energietechnische Modernisierungen ohne Förderung ökonomisch sinnvoll sein können. Berücksichtigt man zusätzlich die aktuelle KfW-Effizienzhausförderung, erscheinen selbst die hochwertigen energietechnischen Modernisierungen auf den KfW-Effizienzhausstandard 55 ökonomisch vertretbar.

7 Der lange Weg zur Wirtschaftlichkeit

Die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden häufig als *das* Kriterium bei der Bewertung energiesparender Maßnahmen herangezogen. Dabei kommen Fachleute immer wieder zu völlig unterschiedlichen Ergebnissen: Für die einen ist energiesparendes Bauen über die Mindestanforderungen der EnEV hinaus eine Kostenfalle, für die anderen sind die ordnungsrechtlichen Anforderungen aus der EnEV nur der erste kleine Schritt hin zum Passivhaus. Was bleibt, ist die große Verwirrung. Ergibt es denn nun Sinn, den Weg zum Passivhaus weiterzugehen oder ist energiesparendes Bauen das Ende allen Bauens? Mit diesem Buch sollte etwas Licht ins Dunkel der Wirtschaftlichkeit gebracht werden, denn es ist letztlich ein langer und unsicherer Weg zur Wirtschaftlichkeit als ein Kriterium zur Bewertung energiesparender Investitionen.

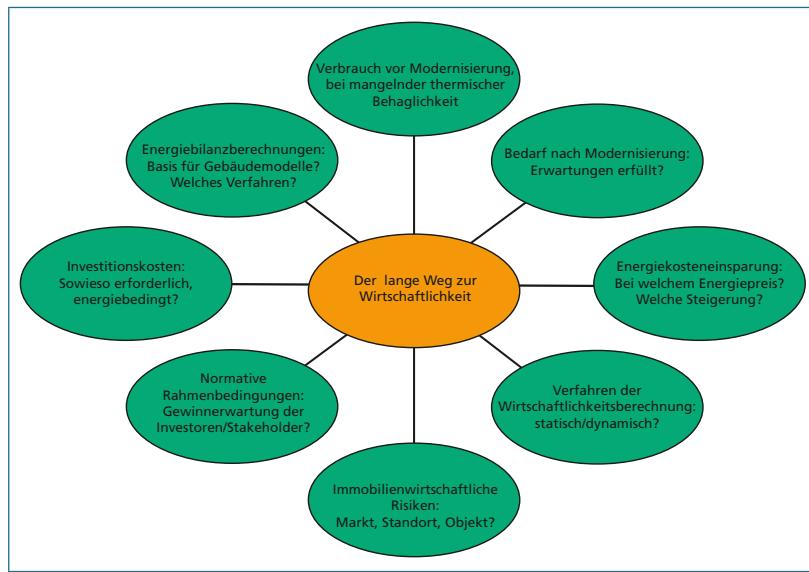


Abb. 7-1 Der lange Weg zur Wirtschaftlichkeit

- Die wirtschaftliche Bewertung einer energietechnischen Modernisierung von Altbauten beginnt mit der häufig schon schwierigen Dokumentation des Verbrauchs vor der Modernisierung. Durch den Fokus auf eine wirtschaftliche Bewertung wird vergessen, dass sich bei nicht modernisierten Altbauten infolge des mangelnden Wärmeschutzes trotz des

hohen Energieverbrauchs für die Beheizung der Gebäude im Winter ein unbehagliches Wohnklima einstellt. Durch die energietechnische Modernisierung wird die thermische Behaglichkeit im Gebäude bei einem deutlich verringerten Energieverbrauch erheblich verbessert. Dieser Effekt – ein deutlich verbessertes Wohnklima bei niedrigerem Energieverbrauch – wird in Wirtschaftlichkeitsberechnungen in der Regel nicht berücksichtigt.

- Energiebilanzberechnungen als eine wesentliche Grundlage für Wirtschaftlichkeitsberechnungen bauen auf unterschiedlichen Energiebilanzverfahren auf, die sich in Art und Detaillierungsgrad zum Teil erheblich unterscheiden und von daher zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Dieser Themenkomplex wurde in Kapitel 3.3 des vorliegenden Buches behandelt.
- Des Weiteren müssen für Energiebilanzberechnungen Gebäude als physikalische Modelle abgebildet werden. Diese Modellbildung ist jedoch nicht ohne Tücken und stellt insbesondere bei Altbauten eine Herausforderung dar, denn wesentliche energietechnische Daten liegen bei Altbauten in der Regel nicht vor und müssen daher geschätzt werden. Diesem Themenkomplex ist Kapitel 3.4 dieses Buches gewidmet.
- Auf Basis von Energiebilanzen wird der Energiebedarf nach einer geplanten Modernisierung berechnet. Vor dem Hintergrund der bestehenden Unsicherheiten bei der Modellbildung und bei der Berechnung der Energiebilanz stellt sich die Frage, ob der Energiebedarf nach Modernisierung und damit die angestrebte Energieeinsparung im Einzelfall tatsächlich erreicht werden. Im Fazit zu Kapitel 3 wird diese Frage beantwortet: Die Behauptung »Energietechnische Gebäudemodernisierung bringt weniger als erwartet« ist richtig, wenn unter falschen Voraussetzungen mit ungeeigneten Energiebilanzprogrammen gerechnet und zudem die Qualität der Umsetzung einer energietechnischen Modernisierung nicht gesichert wird. Die sorgfältige Datenaufnahme, die Berechnungen mit einem geeigneten Energiebilanzverfahren, der Abgleich zwischen einem berechneten Bedarf und einem gemessenen Verbrauch und die Qualitätssicherung bei der Planung und Ausführung einer energietechnischen Modernisierung sind grundlegende Voraussetzungen für eine realistische Abschätzung der Wirtschaftlichkeit.
- Vor dem Hintergrund des aktuellen baulichen und anlagentechnischen Zustands des jeweiligen Gebäudes müssen Maßnahmen zur energetischen Modernisierung definiert und die damit verbundenen Investitionskosten bzw. Investitionsmehrkosten abgeschätzt werden. In der Praxis unterliegen diese Kosten einer großen Bandbreite. Gleichzeitig wird an dieser Stelle häufig schon die Behauptung »Energietechnische Gebäude-modernisierung ist teurer als vermutet« aufgestellt. In Kapitel 4.2 wird

dieses pauschale Argument gegen energietechnische Modernisierungen entkräftet, aber: Energieeinsparung kann tatsächlich zu teuer sein, wenn mit dem Ziel der Energieeinsparung intakte Fenster vorzeitig ausgetauscht werden oder eine Fassade ohne größeren Instandsetzungsbedarf vorzeitig energietechnisch modernisiert wird.

- Für die ökonomische Bewertung ist es also wichtig, den Zeitpunkt der energietechnischen Modernisierung an ohnehin anstehende Instandsetzungsmaßnahmen zu koppeln. In Kapitel 4.2 wird am Beispiel der nachträglichen Dämmung einer Fassade gezeigt, wie unter Beachtung des Kopplungsprinzips die zusätzlichen Kosten für die energietechnische Modernisierung deutlich reduziert werden können.
- Aus der erwarteten Energieeinsparung und der erwarteten Energiepreisentwicklung werden als realistisch erachtete Energiekosteneinsparungen berechnet oder ehrlicher gesagt: Es wird versucht, dies zu tun, denn die Energiepreisentwicklungen sind stark volatil (vgl. Kapitel 5.2). Dementsprechend groß sind die Unsicherheiten in Bezug auf zukünftige Energiepreisentwicklungen.
- Über ein geeignet erscheinendes Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung wird der Ertrag aus energietechnischen Modernisierungen mit den zusätzlichen Aufwendungen ins Verhältnis gesetzt. Dabei können bereits die unterschiedlichen methodischen Ansätze zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.
- Das Ergebnis der Berechnungen ist eine ökonomische Kenngröße, die es im Vergleich zu alternativen Investitionsstrategien zu bewerten gilt. Da in diesem Buch das Thema der Wirtschaftlichkeit aus Sicht eines Investors in einer selbst genutzten Immobilie betrachtet wird, ist diese ökonomische Kenngröße die »Kosten für das Einsparen einer Kilowattstunde Endenergie«, die mit einer Alternative, den »Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie«, verglichen werden.
- In Kapitel 6.5.6 wurde gezeigt, dass die Kosten für den Bezug einer Kilowattstunde Endenergie stark vom angesetzten heutigen Energiepreis abhängen, der starken Schwankungen unterliegt. Energietechnische Modernisierungen in Wohngebäuden können daher stets nur unter dem großen Vorbehalt stark volatiler Energiepreise bewertet werden, deren Entwicklung über viele Jahre im Voraus abgeschätzt werden muss.
- Letztlich müssen wesentliche Rahmenbedingungen der Berechnungen normativ entsprechend den subjektiven Einschätzungen des Investors festgelegt werden. In Kapitel 6 wurde gezeigt, wie grundlegend diese subjektiven Einschätzungen das Ergebnis von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beeinflussen können.

Die Wirtschaftlichkeit gibt es somit nicht. Folglich ist auch die enge Fokussierung auf eine ökonomische Kenngröße als alleiniges Kriterium für oder gegen energietechnische Modernisierungen nicht zielführend. Mehr noch: Bei energietechnischen Modernisierungen geht es um Entscheidungen, die einerseits vor dem Hintergrund vielfältiger immobilienwirtschaftlicher Risiken, andererseits vor dem Hintergrund des subjektiven Selbstverständnisses und der Lebenssituation des Investors gefällt werden müssen. Hier spielen z.B. individuelle finanzielle Rahmenbedingungen, aber auch sogenannte weiche Faktoren wie familiäre Ansprüche, langfristige Ziele aus der Nutzung des Gebäudes oder auch persönliche Erfahrungen oder die Erfahrungen Bekannter aus der Modernisierung von Altbauten eine wichtige Rolle. Dies können ermutigende oder auch abschreckende Berichte aus der Bauphase sein. In diesem Zusammenhang ist auch das Vertrauen des Investors in die Planung und Beratung sowie die Kompetenz der ausführenden Firmen von großer Relevanz für oder gegen eine Investitionsentscheidung.

Darüber hinaus können auch ästhetische Gesichtspunkte oder Ansprüche an eine moderne zeitgemäße Architektur entscheidend sein, die energietechnische Modernisierung eines Gebäudes an seine umfassende bauliche und architektonische Aufwertung zu koppeln. Zu einer modernen zeitgemäßen Architektur gehört auch der spürbar verbesserte Wohnkomfort durch ein angenehmes Raumklima nach der energietechnischen Modernisierung.

Eine auf die Wirtschaftlichkeit fokussierte Diskussion über die Sinnhaftigkeit energietechnischer Modernisierungen vernachlässigt diese weichen Faktoren, die in der Realität neben den Ergebnissen der ökonomischen Bewertung energietechnischer Modernisierungen Investitionsentscheidungen wesentlich beeinflussen können bzw. sollten.

8 Schlusswort

Unter Klimaforschern herrscht Konsens darüber, dass die hohen Emissionen klimarelevanter Spurengase wie Kohlendioxid oder Methan wesentlich zum Klimawandel beitragen. Folgerichtig ist die energietechnische Gebäudemodernisierung ein zentraler Baustein der Klimaschutzpolitik in Deutschland, denn hierzulande wird etwa ein Drittel der klimarelevanten Emissionen im Gebäudebereich verursacht. Dabei ist diese Klimaschutzpolitik kein Selbstzweck, sondern der sich abzeichnende Klimawandel verändert das Leben der Menschen weltweit grundlegend: Ernteausfälle, Wasserknappheit, Landverluste, Stürme und Überflutungen als unmittelbare Folgen des Klimawandels können zu großen Flüchtlingsströmen und politischen Umbrüchen führen, die sich auch auf das Leben in Europa auswirken werden oder bereits auswirken. Klimaschutzpolitik ist somit kein (wirtschafts-)politischer Selbstzweck, sondern eine gesellschaftspolitische Aufgabe, der sich nicht nur politische Mandatsträger, sondern auch Investoren als Teil der Gesellschaft stellen müssen.

Dabei ist und bleibt die Frage »Rechnet sich das alles?« selbstverständlich von zentraler Bedeutung. Mit diesem Buch wurde jedoch gezeigt: Die eine, pauschale Wirtschaftlichkeit gibt es nicht. Angesichts der vielen Risiken, unter denen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen durchgeführt werden, können die Ergebnisse lediglich *eine* Entscheidungsgrundlage für oder gegen energietechnische Modernisierungen sein.

Vor dem Hintergrund der gesellschaftspolitischen Aufgabe des Klimaschutzes liegt es von daher nahe, bei ähnlichen Ergebnissen der ökonomischen Bewertung vorzugsweise hochwertige energietechnische Modernisierungen zu realisieren, zumal für die energietechnische Gebäudemodernisierung gilt: Die erforderlichen technischen Lösungen sind vorhanden und vielfach erprobt, auch für energietechnische Modernisierungen bis hin zum Standard des Passivhauses. Zudem werden flankierend umfangreiche Beratungsangebote mit dem Ziel der Qualitätssicherung bei Planung und Ausführung angeboten. Da die energietechnische Gebäudemodernisierung ein zentrales Element der Klimaschutzpolitik in Deutschland ist, werden die Beratungsleistungen und technischen Lösungen, vor allem aber auch die umfassende energietechnische Modernisierung von Gebäuden, durch Programme der KfW gefördert. So geht Energieeffizienz auch günstig.

Damit erscheint die eingangs formulierte Herausforderung »Faktor 10« realisierbar: den durchschnittlichen Verbrauch von etwa 20 Litern Heizöl je m² Wohnfläche und Jahr in bundesdeutschen Altbauten auf 2 bis 7 Liter in

energietechnisch modernisierten Gebäuden wirtschaftlich und gesellschaftspolitisch vertretbar zu reduzieren.

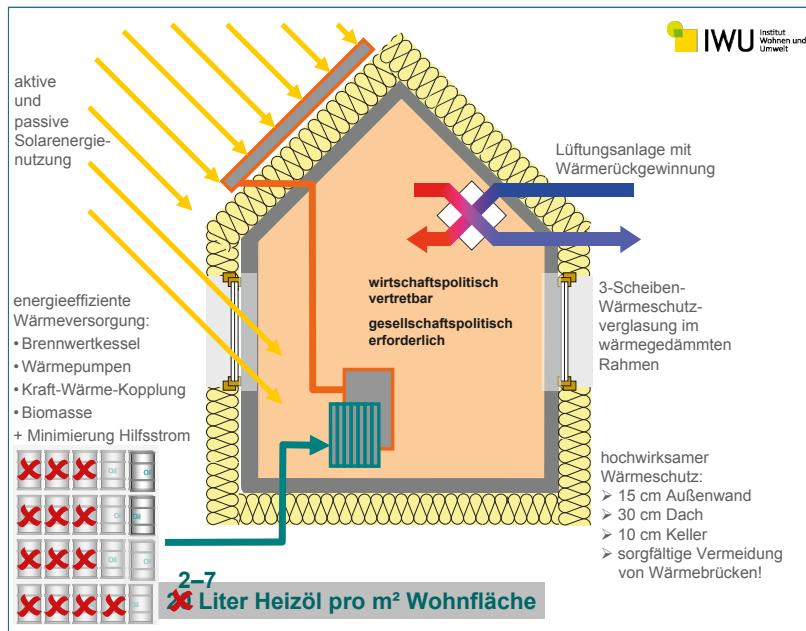


Abb. 8-1 Vom Altbau zum Energiesparhaus: wirtschaftlich vertretbar und gesellschaftspolitisch erforderlich!

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1-1	Faktor 10 – die Herausforderung	Seite 9
Abb. 1-2	Vom Altbau zum Energiesparhaus: technisch häufig kein Problem, aber rechnet sich das alles auch?	Seite 10
Abb. 3-1	Mittlere resultierende Raumtemperaturen in der Heizperiode bei zeitlich und räumlich eingeschränkter Beheizung und Nachabsenkung in Abhängigkeit vom Wärmeschutzstandard des Gebäudes [Loga; 1999]	Seite 32
Abb. 3-2	Endenergiebedarf Heizung und Warmwasser, Einfluss verschiedener Parameter auf den berechneten Bedarf	Seite 36
Abb. 4-1	Kostenelemente bei der nachträglichen Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS)	Seite 43
Abb. 4-2	Spezifische Kosten und Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem sowie mit einer nachträglichen Kerndämmung	Seite 45
Abb. 4-3	Kostenstruktur für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung bei der energietechnischen Modernisierung einer Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung (Stand 2015)	Seite 48–49
Abb. 5-1	Entwicklung der Heizölpreise in Deutschland: 2002 bis 2017 (brutto) [www.Tecson.de]	Seite 65
Abb. 6-1	Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Standardbedingungen	Seite 75
Abb. 6-2	Ergebnisse bei vergleichsweise hohem Regionalfaktor	Seite 80
Abb. 6-3	Ergebnisse bei vergleichsweise niedrigen Regionalfaktor	Seite 80
Abb. 6-4	Ergebnisse bei einer 20 % höheren resultierenden Endenergieeinsparung	Seite 82
Abb. 6-5	Ergebnisse bei einer 20 % niedrigeren resultierenden Endenergieeinsparung	Seite 82
Abb. 6-6	Ergebnisse bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren	Seite 83
Abb. 6-7	Ergebnisse bei einem Kalkulationszins von 4 %/a	Seite 84

Abb. 6-8	Ergebnisse bei vorzeitiger Modernisierung der Fassade und der Fenster	Seite 86
Abb. 6-9	Ergebnisse bei einem heutigen Arbeitspreis für Erdgas von 6,00 Cent/kWh	Seite 87
Abb. 6-10	Ergebnisse bei einem heutigen Arbeitspreis für Erdgas von 4,00 Cent/kWh	Seite 87
Abb. 6-11	Ergebnisse bei Berücksichtigung einer Förderung entsprechend dem KfW-Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss«, sofern der Zuschuss vollständig mit den energiebedingten Mehrkosten verrechnet wird	Seite 90
Abb. 6-12	Ergebnisse bei Berücksichtigung einer Förderung entsprechend dem KfW-Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss«, sofern der Zuschuss anteilig den energiebedingten Mehrkosten angerechnet wird	Seite 90
Abb. 6-13	Ergebnisse bei Berücksichtigung einer Förderung entsprechend dem KfW-Förderprogramm »Energieeffizient Sanieren – Investitionszuschuss« unter der Prämisse einer vorzeitigen Modernisierung von Fassade und Fenstern, sofern der Zuschuss anteilig den energiebedingten Mehrkosten angerechnet wird	Seite 91
Abb. 7-1	Der lange Weg zur Wirtschaftlichkeit	Seite 93
Abb. 8-1	Vom Altbau zum Energiesparhaus: wirtschaftlich vertretbar und gesellschaftspolitisch erforderlich!	Seite 98

Tab. 3-1	Dynamische und stationäre Energiebilanzverfahren im Vergleich	Seite 28
Tab. 4-1	Koeffizienten für die Kostenfunktionen (Schätzwerte, niedrige Kosten, hohe Kosten) sowie Geltungsbereiche [Hinz; 2015]	Seite 54–57
Tab. 6-1	Gebäudesteckbrief Einfamilienhaus (EFH) im Istzustand vor der energietechnischen Modernisierung	Seite 70
Tab. 6-2	Hausdatenblatt Einfamilienhaus: energietechnische Eigenschaften, geplante Maßnahmen und Kosten	Seite 72 s. a. hintere Umschag-klappe!

Quellenverzeichnis

- [1] Commission Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012; supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) by establishing a comparative methodology framework for cost optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements
- [2] Institut Wohnen und Umwelt GmbH – IWU – (Hrsg.): IMPULS-PROGRAMM Hessen: Energiepass Heizung und Warmwasser. Darmstadt, 1997
- [3] Tobias Loga; Claus Kahlert; Matthias Laidig; Gerhard Lude: Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung. Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Bilanzverfahren; IVWU, Darmstadt, 1999
- [4] Feist, Wolfgang (Hrsg.): Ökonomische Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen. Passivhaus Institut Darmstadt, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Protokollband Nr. 42, 2013
- [5] Institut für Wärme und Oeltechnik e. V. – IWO – (Hrsg.); Pfnür, Andreas; Müller, Nikolas: Energetische Gebäudesanierung in Deutschland. Studie Teil II: Prognose der Kosten alternativer Sanierungsfahrpläne und Analyse der finanziellen Belastungen für Eigentümer und Mieter bis 2050. Bericht des Forschungscenter Betriebliche Immobilienwirtschaft (FBI). Darmstadt, 2013
- [6] Institut Wohnen und Umwelt GmbH – IWU – (Hrsg.); Hinz, Eberhard: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energietechnischen Modernisierung von Altbauten. Endbericht. 2015. URL: www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/15_08_10_Kostenstudie_Bericht_-_Barrierefrei_-_neu.pdf
- [7] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (Hrsg.): Modernisierung zum Passivhaus im Bestand. Konzept der Altbaumodernisierung mit Passivhauskomponenten. Realisierte Beispiele aus dem hessischen Förderprogramm, Wiesbaden, 2017
- [8] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung (Hrsg.): Effiziente Wärmeversorgung. Ratgeber für Eigentümer von Wohngebäuden. Wiesbaden: 2006 (S. 41)

Stichwortverzeichnis

- 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 17
3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 17
- A**
- Abgleich, hydraulisch 20
 - Abluftanlage 23
 - Abrechnungsperiode 25
 - Abrechnungszeitraum 25
 - Amortisationsrechnung 60
 - Amortisationszeit 60
 - Anlagentechnik 19
 - Annuitätenmethode 60
 - Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser 14
 - Aufdopplung 15
 - Auf-Sparren-Dämmung 15
- B**
- Baupreisindex 53
 - Bedarf 30
 - Behaglichkeit, thermisch 94
 - Bestimmtheitsmaß 44
 - Betonplatte, auskragend 18
 - Betrachtungszeitraum 63
 - Brennwert 20
 - Brennwertkessel 20
- C**
- Cashflow 60
- D**
- Datenaufnahme 26
 - Detaillierungsgrad 28
- E**
- Elektro-Wärmepumpe 21
 - Emissionen 9
 - Endenergieverbrauch 25
 - Energieausweis 26
 - Energiebedarf 27
 - Energieberatung 41
 - Energiebilanz 27
- F**
- Faktor 10 10
 - Feuchteschäden 16
 - Fixkosten 43
 - Flachdach 41
 - Förderung 67
- G**
- Gebäudesteckbrief 69
 - Geschossdecke, oberste 16
 - green value 67
- H**
- Hausdatenblatt 71
 - Heizperiode 34
 - Heizungsanlage 35
 - Heizungsperipherie 73
 - Heizwert 20
 - Holzpellet-Heizanlage 21
- I**
- Innendämmung 15
 - Investitionstheorie 60
- J**
- Jahresarbeitszahl 22

K

- Kalkulationszinssatz 64
- Kapitalwertmethode 60
- Kehlbalkendecke 16
- Kellerdecke 17
- Kenngroße, ökonomisch 95
- Kennwert 25
- Kerndämmung 15
- KfW-Effizienzhausförderung 89
- Klimawandel 9
- Komfort, thermisch 13
- Kopplungsprinzip 39
- Kosten 39
 - eingesparte Kilowattstunde
Endenergie 61
 - ohnehin erforderlich 40
 - typisch 52
 - Wartung und Instandhaltung 66
- Kostenbereich 74
- Kostenfeststellung 50
- Kostenfunktion 40
- Kostenkennwert 74
- Kostenrisiko 58
- Kostenstruktur 40
- Kurzverfahren Energieprofil 26

L

- Leerstand 25
- Leistungszahl 22
- Leitfaden Energieausweis 26
- Luftdichtigkeit 16
- Lüftungsanlage 23
 - mit Wärmerückgewinnung 24
- Lüftungsverhalten 33
- Luftwechsel 35

M

- Maßnahmen, Wohnwert verbessernnde 74
- Mehrkosten, energiebedingt 40
- Modellbildung 37
- Modernisierung, vorzeitige energietechnische 75

N

- Nachtabsenkung 31
- Nachweis, öffentlich-rechtlich 29
- Nebenkosten 42
- Nominalzins 63
- Nutzerverhalten 37

O

- Oberflächenkondensat 13

P

- Passivhaus 93
- Passivhauskomponente 14
- Passivhaus-Projektierungs-Paket (PHPP) 32
- Preissteigerungsrate 65
- Primärenergiebedarf 33
- Punktfolke 43

Q

- Qualitätssicherung 38

R

- Rahmenbedingung, standardisiert 37
- Randbedingung, nutzerspezifisch 27
- Raumluftqualität 52
- Raumtemperatur 33
- Realzins 63
- Regionalfaktor 53
- Restwert 66
- Risiko 38
 - immobilienwirtschaftlich 96
- Rollladenkasten 18

S

- Schimmelbildung 13
- Sensitivitätsanalyse, deterministisch 79
- Simulation
 - dynamisch 28
 - statisch 28
- Solaranlage, thermisch 23
- Stahlbetondecke 16
- Standardbedingung 69
- Steildach 15

T

- Teilbeheizung 31
- Teilmodernisierung 34

U

- Unter-Sparren-Dämmung 16

V

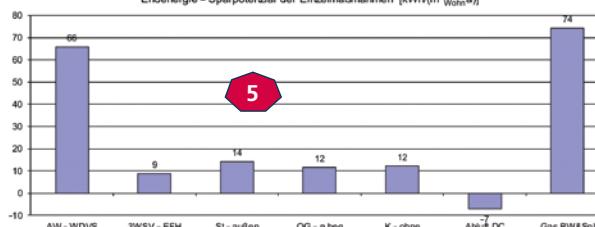
- Verbrauch 27
- Verbrauchskennwert 25
- Vorhangfassade, hinterlüftet 14

W

- Wärmebrücke 18
- Wärmemedämmverbundsystem 14
- Warmwasserverbrauch 33
- weiche Faktoren 96
- Wertsteigerung 67
- Wirtschaftlichkeit 59
- wirtschaftlich vertretbar 39
- Wohnklima 94
- Wohnkomfort 11

Z

- Zinseffekt 60
- Zugluft 16
- Zwischen-Sparren-Dämmung 15

		<p style="text-align: center;">Endenergie - Sparpotenzial der Einzelmaßnahmen [kWh/(m² Wohnfläche)]</p> 														
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil	U-Wert vor Mod.	Dämmung	U-Wert neu	Vollkosten: davon ... (brutto)	... energietechnische Modernisierung									
		[m²]	[W/(m²K)]	[cm]	[W/(m²K)]	[€]	[€/m²Bt]	[€]	[€/m²Bt]							
AW – WDVS	WDVS auf Altputz im Zuge einer ohnehin erforderlichen umfassenden Putzsanierung	210	1,30	15	0,20	32500 35300 38100	168	14500 15700 17000	75							
3WSV – EFH	3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)	30	2,70	2	0,95	14100 14700 15300	490	1600 1900 2200	63							
Ht – EFH	Haustür inkl. Nebenarbeiten wie Sprechanlagen, Briefkästen etc.	2	3,00		1,30	3500 3500 3500	1750	1700 1700 1700	850							
St – außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung	50	1,20	22	0,14	11500 12800 14200	256	3400 3800 4200	76							
OG – n beg	Dämmung auf der obersten Geschossdecke, nicht begehbar, Entsorgung evtl. vorh. Dämmung	45	1,10	22	0,14	1400 1500 1500	33	1400 1500 1500	33							
K – ohne	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, ohne zusätzlichen Schutz gegen mechanische Beschädigung	80	1,20	10	0,25	3900 4200 4400	53	3900 4200 4400	53							
WB 003	WBV, reduziert durch Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken wie Energieberatung, Planung, Ausführung und Kontrolle (Kostenkennwert bez. auf m² Wohnfläche)	153	0,05		0,03	5600 5600 5600	37	5600 5600 5600	37							
Gerüst	Kosten für die Gerüsterstellung im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung (Kostenkennwert bezogen auf Wohnfläche)	7	2100 2300 2600	15	1000 1200 1300	8										
Anlagentechnik vor Modernisierung																
Lüftung	Fensterlüftung, rechnerischer Luftwechsel: 0,35/h, nL50 = 3/h															
Heizung	System 1: Erdgas – Niedertemperaturkessel 70/55 °C, außerhalb therm. Hülle, Bj: 1987 bis 1994, Anteil: 100 % Übergabe: ThV2K, Verteilung: huVi70uP, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: –	3														
Warmwasser	System 1: Erdgas – Niedertemperaturkessel, Bj: 1987 bis 1994 , Anteil: 100 % Verteilung: St 2R, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: ibSu															
Anlagentechnik nach Modernisierung						[€]		[€]								
Abluft DC	einfache Abluftanlage, DC Ventilator, rechnerischer Luftwechsel: 0,5/h, nL50 = 1/h, zusätzliche Wartungskosten je Wohneinheit: 30 €/a				2500 3900 6500											
Heizung Gas BW&Sol (WW&H)	System 1: Erdgas – Brennwertkessel verbessert 55/45 °C, außerhalb therm. Hülle, Bj: EnEV 2002, Anteil: 90 % System 3: Sonne – thermische Solaranlage zur Heizungsunterstützung, Bj: EnEV 2002, Anteil: 10 % Übergabe: ThV1K, Verteilung: huVi55gP, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: –	4	19100 21000 23200		7800 8400 9000	8										
Warmwasser	System 1: Erdgas – Brennwertkessel verbessert, Bj: EnEV 2002, Anteil: 49 % System 3: Sonne – thermische Solaranlage zur Unterstützung der WW-Bereitung, Bj: EnEV 2002, Anteil: 51 % Verteilung: St 2R, Bj: 1950er bis 1970er Jahre, nachträglich gedämmt, Speicherung: SolSu (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Niedertemperaturkessels)															
Heizungs-peripherie	Zusätzliche nicht energiebedingte Modernisierungsmaßnahmen im Bereich der Wärmeverteilung, für neue Heizkörper, Kaltwasserleitungen und Armaturen				4900 7200 10500											
zusätzliche Kosten																
Architekt	Kosten für Architektenleistungen im Rahmen der umfassenden energietechnischen Modernisierung/ Kosten für Energieberatungen, Förderanträge, Wärmebrückeberechnungen, Nachweise u.ä.				4800 5900 7200	9	2600 3100 3900									
Alle Maßnahmen				Vollkos-ten davon ...		Vollkos-ten davon energie-technische Modernis.								
				[€/m²Wf]		[€]		[€]								
		niedrig	758			301	116000									
		erwartet	791			314	121000									
		hoch	830			327	127000									
Tab. 6-2 Hausdatenblatt Einfamilienhaus: energietechnische Eigenschaften, geplante Maßnahmen und Kosten (vergrößerte Tabelle)																

Die Autoren

Dr.-Ing Eberhard Hinz

Leitung von Pilot- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der energietechnischen Bestandssanierung, Durchführung von Fortbildungs- und Informationsvorhaben (Impulsprogramm) sowie kommunales Energiemanagement, seit 1998 beschäftigt er sich im IWU mit der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden und der nachhaltigen Entwicklung von Wohnungsunternehmen.

Dr. Andreas Enseling

studierte Volkswirtschaftslehre mit den Schwerpunkten Umweltökonomie und Wirtschaftsgeschichte, ist seit 2000 am IWU tätig und beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Energiesparmaßnahmen im Gebäudebereich sowie strategischen Managementsystemen für Wohnungsunternehmen.

Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudemodernisierung

Unvereinbarer Widerspruch oder eine Frage der Sichtweise?

»Rechnet sich denn das eigentlich alles?«, mag sich mancher Gebäudebesitzer angesichts der Kosten für energietechnische Modernisierungen fragen. Ist energiesparendes Bauen eine hochrentable Investition in die Zukunft oder nicht sinnvoll?

Vor diesem Hintergrund und aus der Erfahrung vieler kontroverser Diskussionen um die Wirtschaftlichkeit energietechnischer Modernisierungen ist dieses Buch entstanden. Die Autoren wenden sich in erster Linie an private Investoren und erläutern auf verständliche Weise das Thema der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in selbstgenutzten Wohngebäuden.

Das Buch ist als eine Hilfe für Investoren zu verstehen, die vor einer Investitionsentscheidung stehen und durch die öffentliche Diskussion um die Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen verunsichert sind. Das Buch vermittelt das Wissen, die kontroverse Diskussion um die Wirtschaftlichkeit zu verstehen und die eigene Investitionsentscheidung abzusichern.

Die Autoren des Buches sind als wissenschaftliche Mitarbeiter im Institut Wohnen und Umwelt (IWU) seit vielen Jahren mit dem komplexen Thema der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden befasst.



Fraunhofer IRB Verlag