



Bericht 2011.

dena-Sanierungsstudie.

Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer  
Modernisierung in selbstgenutzten  
Wohngebäuden.

Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“.

**dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“.**



**Autoren:**

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Christian Stolte (Bereichsleitung)

Heike Marcinek (Projektleitung)

Henning Discher



Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)

Eberhard Hinz

Dr. Andreas Enseling

Gefördert durch:



Mit freundlicher Unterstützung von:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Berlin, 26. März 2012

Wir danken dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), der BASF SE und dem Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) für die langjährige Unterstützung und konstruktive Zusammenarbeit in der Projektlaufzeit.

## Inhaltsverzeichnis.

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
1.1	Mit gutem Beispiel voran: Das dena-Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“ .....	8
1.2	Wissenschaftliche Begleitforschung. ....	8
1.3	Datengrundlage und Systematik der Studie. ....	9
1.4	Differenzierte Kostenbetrachtung. ....	11
1.4.1	Untersuchte Sanierungsstandards. ....	12
1.5	Zusammenfassung und Fazit. ....	12
<b>2</b>	<b>Entwicklung der Modellgebäude</b> .....	<b>15</b>
2.1	Baualtersklassen. ....	15
2.2	Gebäudematrix. ....	16
2.3	Auswertung der Datenbank - Detaillerggebnisse.....	16
2.4	Spezifische Transmissionswärmeverluste. ....	17
2.5	Anlagentechnik. ....	19
2.6	Einordnung des berechneten Energiebedarfs. ....	20
<b>3</b>	<b>Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen</b> . ....	<b>24</b>
3.1	Energiebilanzverfahren.....	24
3.2	Untersuchte energetische Standards. ....	25
3.3	Spezifische Transmissionswärmeverluste. ....	27
3.4	Primär- und Endenergiebedarf, CO <sub>2</sub> -äquivalente Emissionen. ....	29
<b>4</b>	<b>Kostendefinition und -auswertung</b> .....	<b>31</b>
4.1	Datenbasis – systematische Auswertung abgerechneter Projekte. ....	31
4.2	Kostendefinition.....	32
4.2.1	Vollkosten. ....	32
4.2.2	Energieeffizienzbedingte Mehrkosten.....	32
4.2.3	Sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen.....	33
4.3	Kostenauswertung. ....	34
4.3.1	Vollkosten der ausgewerteten Effizienzhaus-Standards.....	34
4.3.2	Energieeffizienzbedingte Mehrkosten der Maßnahmenpakete. ....	34
4.3.3	Abgleich mit den Angaben der Projektteilnehmer.....	36

<b>5</b>	<b>Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung.</b>	<b>38</b>
5.1	Mehrertragsansatz.	38
5.2	Allgemeine Grundlagen.	38
5.3	Kapitalwertmethode.	40
5.4	Annuitätenmethode – Kosten der eingesparten kWh Endenergie.	41
5.5	Grenzen der ökonomischen Bewertung.	42
<b>6</b>	<b>Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen.</b>	<b>44</b>
6.1	Grundlagen und Rahmenbedingungen.	44
6.2	Energiekosteneinsparung und erforderlicher Break-Even ohne Förderung.	45
6.3	Kosten der eingesparten kWh Endenergie.	47
6.4	Kosten und Refinanzierung der energieeinsparenden Maßnahmen mit Förderung.	49
<b>7</b>	<b>Anlagen.</b>	<b>53</b>
	Anlage 1 – Tabellenblätter.	53
	Anlage 2 – Hausdatenblätter.	54
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis.</b>	<b>55</b>

#### Tabellennachweis.

Tabelle 1: Nomenklatur der Modellgebäude	16
Tabelle 2: Energetische Standards.	25
Tabelle 3: Beschreibung der Maßnahmenpakete	27
Tabelle 4: Beispiel	31
Tabelle 5: Berechnete durchschnittliche Vollkosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten	36
Tabelle 6: Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen	45

## Abkürzungen.

a	Jahr
$A_N$	Gebäudenutzfläche in Quadratmeter gemäß Energieeinsparverordnung
$CO_2$	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
$€/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \cdot \text{Mon})$	Euro je Quadratmeter Wohnfläche und Monat
EFH	Einfamilienhäuser; Kurzbezeichnung gemäß Gebäudetypologie Deutschland (1)
EnEV	Energieeinsparverordnung (Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden)
GMFH	Große Mehrfamilienhäuser; Kurzbezeichnung gemäß Gebäudetypologie Deutschland (1)
$H_T$	Transmissionswärmekoeffizient
HH	Hochhäuser; Kurzbezeichnung gemäß Gebäudetypologie Deutschland (1)
K	Kelvin
$\text{kg}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \cdot \text{a})$	Kilogramm je Quadratmeter Wohnfläche und Jahr
kWh	Kilowattstunde
kWh/a	Kilowattstunde pro Jahr
$\text{kWh}/\text{m}^2$	Kilowattstunde je Quadratmeter
$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	Kilowattstunde je Quadratmeter und Jahr
$\text{kWh}/(\text{m}^2_{AN} \cdot \text{a})$	Kilowattstunde je Quadratmeter Gebäudenutzfläche und Jahr
$\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \cdot \text{a})$	Kilowattstunde je Quadratmeter Wohnfläche und Jahr
$\text{kWh}/\text{m}^3$	Kilowattstunde je Kubikmeter
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
$\text{m}^2$	Quadratmeter
MFH	Mehrfamilienhäuser; Kurzbezeichnung gemäß Gebäudetypologie Deutschland (1)
NEH	Niedrigenergiehaus
U	Wärmedurchgangskoeffizient

$V_e$	Beheiztes Gebäudevolumen
$W/(m^2 \cdot K)$	Watt je Kelvin und Quadratmeter
$W/(m^2_{Hüll} \cdot K)$	Watt je Kelvin und Quadratmeter Hüllfläche
WRG	Wärmerückgewinnung
WSchV	Wärmeschutzverordnung

## 1 Einleitung.

Die Rahmenbedingungen im Gebäudebereich haben sich durch die seit Jahren stark steigenden Endenergiepreise drastisch verändert. Die hohen Energiekosten stellen für die Eigentümer und Nutzer von Gebäuden ein wachsendes finanzielles Problem dar. Finanzmittel, die für nachhaltige Investitionen eingesetzt werden könnten, werden für den Bezug von Energie bereitgestellt.

Ein Großteil der rund 18 Millionen Wohngebäude in Deutschland wurde vor 1978 und damit vor dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet. Zur Erreichung der Klimaschutzziele ist im Gebäudebereich demnach die energetische Modernisierung der bestehenden Gebäude entscheidend.

In kaum einem anderen Bereich schaffen Investitionen einen so vielfachen Nutzen: Vermietbarkeit und Betrieb der Immobilie sind langfristig gesichert und der Wert des Gebäudes steigt. Gelder, die ansonsten für den Import von Energieträgern ins Ausland wandern, werden in Deutschland investiert und stärken damit die hiesige Wirtschaft. Für den Nutzer bewirkt die Steigerung der Energieeffizienz einen höheren Wohnstandard, eine größere Unabhängigkeit von Energiepreissteigerungen und langfristig eine Erhöhung des frei verfügbaren Einkommens. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden gesenkt und somit wird für die nachkommenden Generationen ein wertvoller Beitrag zum Erhalt einer lebenswerten Umwelt geleistet.

Trotzdem besteht bei Gebäudeeigentümern große Zurückhaltung, in die energetische Gebäudesanierung zu investieren. Dabei ist das Energieeinsparpotenzial enorm: Allein 35 Prozent der Endenergie werden in Deutschland zur Beheizung, Warmwasserversorgung und Beleuchtung von Gebäuden benötigt.

Die dena hat mit ihren Modellvorhaben gezeigt, dass der Energiebedarf in der Bestandssanierung im Einzelfall um bis zu 85 Prozent gesenkt werden kann. Im Durchschnitt unterschreiten die Gebäude im dena-Modellvorhaben die jeweils gültige Energieeinsparverordnung um 50 Prozent und sind damit erheblich besser als vergleichbare Neubauten.

Trotzdem gibt es noch Vorbehalte gegenüber energieeffizientem Bauen und Sanieren. Dies ist u. a. auf die hohe Komplexität der Bauvorhaben, auf mangelndes Vertrauen in ein hochwertiges Ergebnis, die notwendigen Investitionskosten und auf die Intransparenz des Marktes zurückzuführen. Für die Zukunft gilt es, die Markthemmnisse gezielt abzubauen und die Chancen energieeffizienter Sanierungen zu nutzen, denn immerhin steht in den nächsten 20 Jahren bei fast der Hälfte aller Wohnhäuser in Deutschland eine Sanierung an. Bei einem Bestand von 40,2 Millionen<sup>1</sup> Wohnungen entspricht das rund einer Million zu sanierenden Wohnungen pro Jahr.

---

<sup>1</sup>Statistisches Bundesamt. Gebäude und Wohnungen. Wiesbaden, 2010.

## 1.1 Mit gutem Beispiel voran: Das dena-Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“.

Dass die energieeffiziente Modernisierung von Bestandsgebäuden funktioniert, hat die dena im Rahmen des Modellvorhabens „Niedrigenergiehaus im Bestand“ in den vergangenen sieben Jahren an rund 350 Wohngebäuden gezeigt: Bundesweit wurden Gebäude mit innovativen und marktgängigen Techniken energetisch so modernisiert, dass sie bis zu 85 Prozent Energie einsparen.

Rund 185 der Wohngebäude sind bereits fertiggestellt. Im Schnitt unterschreiten diese die Anforderungen an vergleichbare Neubauten um über 50 Prozent.

Insgesamt sind mehr als 6.400 Wohneinheiten auf

mehr als 300.000 Quadratmetern Fläche Teil des Projekts. Etwa 30 Prozent dieser Gebäude gehören der Wohnungswirtschaft, 30 Prozent sind im Besitz von Vermietern und 40 Prozent gehören Ein- und Zweifamilienhausbesitzern. Die Gebäude waren in der Regel stark sanierungsbedürftig und wurden grundlegend energieeffizient saniert. Für diese Studie wurden u. a. die Kostendaten der selbst genutzten Wohngebäude aus dem dena-Modellvorhaben ausgewertet und den Energiekosteneinsparungen gegenübergestellt.



## 1.2 Wissenschaftliche Begleitforschung.

Die Erzeugung von Nachahmungseffekten durch Wissenstransfer sowie Informations- und Motivationskampagnen und die Qualifizierung von Fachleuten sind wichtige Bestandteile des Modellvorhabens.

Die Basis für den Wissenstransfer schafft die wissenschaftliche Begleitforschung, die zwei vorrangige Ziele verfolgt:

- 1) Den Gewinn praktischer Erfahrungen zu den am Markt verfügbaren Techniken und ihren Kosten sowie die Entwicklung konkreter Handlungsempfehlungen daraus.
- 2) Den Gewinn wissenschaftlicher Grundlagen und Basisdaten, die in die Definition neuer Förderstandards und die Gesetzgebung einfließen können.

Die Forschungsergebnisse der vergangenen Projektphasen sind in die stetige Weiterentwicklung der Modellvorhaben eingeflossen. Mit der vorliegenden Studie soll ein weiterer Meilenstein im Rahmen des Know-how-Transfers gesetzt werden. Die Erfahrungen aus den Modellvorhaben werden in diesem Rahmen

hinsichtlich der baulichen und technischen Maßnahmen, der Kosten, der Wirtschaftlichkeit und der Energieeinsparung untersucht und bewertet.<sup>2</sup>

Ziel war es, auf Basis der Erfahrungen aus dem Projekt übertragbare Handlungsempfehlungen für sinnvolle Maßnahmen zur energetischen Optimierung des selbst genutzten Wohngebäudebestands zu entwickeln. Folgende zentrale Fragestellungen wurden dabei formuliert:

- Welche energetischen Standards sind in der Breite praxistauglich?
- Zu welchen Vollkosten bzw. energieeffizienzbedingten Mehrkosten sind die Maßnahmen realisierbar?
- Wie stellt sich die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen dar?
- Welche Förderanforderungen ergeben sich aus den Erfahrungen?

Im Teil 1 der dena-Sanierungsstudie (1) wurde Ende 2010 die Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in vermieteten Mehrfamilienhäusern der typischen Gebäude des Modellvorhabens systematisch untersucht. Der hier vorliegende Teil 2 betrachtet in Ergänzung dazu ausschließlich die Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in selbst genutzten Einfamilienhäusern der typischen Gebäude des Modellvorhabens. Die Gebäude im Modellvorhaben sind typischerweise stark sanierungsbedürftig. Die Ergebnisse sind in diesem Zusammenhang zu interpretieren, da der Zustand vor der Sanierung einen erheblichen Einfluss darauf hat, welcher Anteil der energieeffizienzbedingten Kosten zu den Vollkosten zählt und den Energiekosteneinsparungen gegenübergestellt werden kann.

### 1.3 Datengrundlage und Systematik der Studie.

Für die Erstellung der Studie wurden die Daten der fertiggestellten Einfamilienhäuser aus dem dena-Modellvorhaben „Niedrigenergiehaus im Bestand“ aufgearbeitet und anonymisiert ausgewertet. Neben den allgemeinen Angaben zu Gebäudegröße, Wohnfläche, Istzustand der Gebäude und energetischen Kenndaten wurden die abgerechneten Baukosten aus den Handwerkerrechnungen einzelner Projekte einbezogen. Als weitere wichtige Auswertungsgrundlagen dienten die Berichte des Instituts für Wohnungswesen, Immobilienwirtschaft, Stadt- und Regionalentwicklung (InWIS) aus den Jahren 2006 bis 2008 (2), (3).

Um eine gute Übertragbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen und die von den Projektteilnehmern übermittelten Daten zu verifizieren, wurden alle Berechnungen bezogen auf die Wohnfläche<sup>3</sup> durchgeführt und folgende Schritte in der vorliegenden Auswertung festgelegt:

- Bildung von Typengebäuden als Vertreter der im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Gebäude und Zuordnung der Daten zu diesen Typen.

---

<sup>2</sup>Die Berechnungen wurden Ende des Jahres 2009 auf Basis der Anforderungen der EnEV 2009 durchgeführt. Detaillierte Angaben hierzu finden sich in Kapitel 4.

<sup>3</sup>Gemäß § 19 (2) EnEV ist die Nutzfläche  $A_N$  um den Faktor 1,2 bzw. 1,35 größer als die Wohnfläche. Die Energiebedarfs- und Verbrauchswerte aus Berechnungen gemäß EnEV werden auf die Nutzfläche bezogen (z. B. 225 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnfläche·a) entsprechen 187,5 kWh/(m<sup>2</sup>  $A_N$ ·a)). Abweichend von den Berechnungsmethoden der EnEV wurden in der vorliegenden Untersuchung die Verbrauchswerte auf die Wohnfläche bezogen, um die Vergleichbarkeit mit den Mietkosten je Quadratmeter Wohnfläche sicherzustellen.

- Zusammenstellung der energetischen Kennwerte und Bildung von Durchschnittswerten für den baulichen und anlagentechnischen Istzustand und sanierten Zustand je Typengebäude.
- Plausibilitätsprüfung der berechneten Durchschnittswerte (z. B. U-Werte,  $H_T$ -Werte) mit Erfahrungswerten unter anderem aus der deutschen Gebäudetypologie und Anpassung bei unplausibel erscheinenden Abweichungen.
- Berechnung des Primärenergiebedarfs und der Transmissionswärmeverluste anhand des öffentlich-rechtlichen Nachweises, um die gesetzlichen Grenzwerte und die Förderbedingungen der Bundesförderung schlüssig abbilden zu können.
- Berechnung des Endenergiebedarfs und der Energieeinsparung für die Maßnahmenpakete in den Hausdatenblättern nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ des IWU (Monatsverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10), um die Energiebedarfskennwerte besser mit gemessenen Energieverbrauchskennwerten vergleichbar zu machen und die Energiesparpotenziale realistischer abzubilden.
- Abgleich der berechneten Energiebedarfswerte mit gemessenen Verbrauchswerten aus dem bundesweiten Heizspiegel (4).
- Bewertung der Praxistauglichkeit der Maßnahmen auf Basis der gewonnenen Erfahrungen aus Workshops und Teilnehmerbefragungen, die während der Projektbegleitung vom InWis durchgeführt worden sind.
- Trennung der Investitionskosten in ohnehin erforderliche Instandhaltungskosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten auf Basis systematisch ausgewerteter Kostenfeststellungen (5).
- Berechnung der Energiekosteneinsparung unter Beachtung der besonderen Gegebenheiten im Altbaubestand: Bisherige Auswertungen von Verbrauchsdaten zeigen, dass in unsanierten Gebäuden die mittleren Raumtemperaturen in der Regel durch Teilbeheizungen unter der nach EnEV rechnerisch zu berücksichtigen Temperatur liegen. Gleichzeitig steigt erfahrungsgemäß die mittlere Raumtemperatur nach einer energetischen Sanierung an. Dieser Effekt ist in der vorliegenden Studie bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigt worden.
- Gegenüberstellung der Investitionen in energierelevante Maßnahmen mit der Energiekosteneinsparung.
- Vergleich der Ergebnisse aus den Wirtschaftlichkeitsberechnungen unter Berücksichtigung einer Förderung aus Mitteln der KfW Förderbank und ohne Berücksichtigung der Förderung.

## 1.4 Differenzierte Kostenbetrachtung.

Bei der Sanierung von Gebäuden fallen Kosten unterschiedlicher Kategorien an. Es werden drei Kostenkategorien unterschieden:

- 1) **Wohnwertverbessernde Maßnahmen:** Kosten, die den Wohnwert einer Immobilie verbessern, fallen zum Beispiel für eine Badsanierung, den Bau eines Fahrradkellers oder die Gestaltung von Außenanlagen an. Diese Maßnahmen werden häufig mit einer energetischen Sanierung kombiniert, haben aber naturgemäß nichts mit der Energieeffizienz des Gebäudes zu tun und werden damit nicht in dieser Studie betrachtet.
- 2) **Instandsetzungskosten:** In der Regel wird mit der energieeffizienten Sanierung das Gebäude auch instand gehalten. Instandhaltungskosten sind Kosten zur Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung des funktionsfähigen Zustands des Gebäudes. Dazu zählen zum Beispiel eine Putzerneruerung, die bei schadhaftem Putz erforderlich wird, oder auch die Erneuerung eines alten Heizkessels bei Ausfall des Brenners.
- 3) **Energieeffizienzbedingte Mehrkosten:** Die energieeffizienzbedingten Mehrkosten sind die Kosten, die gegenüber einer ohnehin anstehenden Instandsetzungsmaßnahme anfallen. Ist beispielsweise der Putz erneuerungsbedürftig und wird mit der Fassadensanierung eine Dämmung aufgebracht, so zählen die Kosten für die Dämmschicht, inklusive aller Nebenkosten wie Fensterbankerweiterung, evtl. Verlängerung Dachauskragung, etc. zu den energieeffizienzbedingten Mehrkosten.

In vorliegender Studie wurden nur die energieeffizienzbedingten Mehrkosten untersucht und den Energiekosteneinsparungen gegenübergestellt. Der Gebäudeeigentümer muss bei einer Sanierung darüber hinaus in der Regel die zusätzlichen Kosten für Instandhaltung und wohnwertverbessernde Maßnahmen finanzieren.

Der Kostenauswertung wurden neben den Kosten aus den dena-Modellvorhaben die Kostenfeststellungen aus dem KfW CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm zugrunde gelegt, die das Institut Wohnen und Umwelt im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) erstellt hat. Die Kostenstrukturen sind detailliert in Kapitel 4 beschrieben.

### 1.4.1 Untersuchte Sanierungsstandards.

Als Basis der Studie wurden insgesamt sechs sogenannte „Modellgebäude“ aus den Angaben der Projektteilnehmer entwickelt. Diese Gebäude sind in ihrem Istzustand vor der Modernisierung typisch für die im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Bauvorhaben und sind die Grundlage der Energiebilanzberechnungen (siehe auch Kapitel 2). Für diese Modellgebäude wurden Sanierungsmaßnahmen erarbeitet, die sich an den Erfordernissen der EnEV 2009 und der verschiedenen Effizienzhaus-Standards (Effizienzhaus 100 bis Effizienzhaus 55) orientieren. Die Effizienzstandards wurden mit weitestgehend am Markt eingeführten Produkten und Techniken berechnet, damit eine Übertragbarkeit der Ergebnisse gesichert ist. Dieses Vorgehen unterscheidet sich bewusst vom Ansatz des dena-Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“, bei dem u. a. auch an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit stehende innovative Technologien mit entsprechend höheren Kosten in den Markt eingeführt wurden.

Das IWU hat als ein Ergebnis dieser Studie energetisch wirksame Maßnahmenpakete für Ein- und Zweifamilienhäuser im selbst genutzten Wohnbaubestand mit durchschnittlichen Sanierungskosten erarbeitet und auf Typengebäude unterschiedlicher Baualtersklassen bezogen. Mit dieser Zusammenfassung und Typenbildung wird eine Vereinheitlichung vorgenommen, die dem Fachplaner eine Übertragung auf eigene Projekte erlaubt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in den Tabellen in Anlage 1 und den Hausdatenblättern in Anlage 2 dieser Studie veröffentlicht.

## 1.5 Zusammenfassung und Fazit.

Die in diesem Fazit getroffenen Aussagen gelten für selbst genutzte Einfamilienhäuser, die bisher gegenüber dem Zustand der Errichtung energetisch nicht wesentlich modernisiert wurden und bei denen zudem ein hoher Instandsetzungsbedarf besteht. Diese Voraussetzungen treffen für die geförderten Gebäude aus dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ zu und sind auf ca. 25 Prozent der Ein- und Zweifamilienhäuser in Deutschland übertragbar<sup>4</sup>.

### Fazit.

*Die energetische Sanierung von selbst genutzten Einfamilienhäusern rechnet sich bei Gebäuden, die ohnehin instand gesetzt werden müssen. Das bedeutet, dass die Kosten der Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz über die eingesparten Energiekosten finanziert werden können. Voraussetzung ist, dass die energetischen Maßnahmen mit sowieso anstehenden Modernisierungs- und Instandhaltungsarbeiten gekoppelt werden. Außerdem sind eine gute Planung, Ausführung und Bewertung des Gebäudes notwendig.*

---

<sup>4</sup> Grundlage: Daten von über 7.500 Energieverbrauchsausweisen, die der dena vorliegen. Die Studie zur Verbrauchsdatenauswertung in Wohngebäuden, die die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel zusammen mit Haus & Grund 2009 Grund erstellt hat, kommt sogar zu der Aussage, dass Gebäude mit vergleichbaren Verbrauchswerten über 60 Prozent der Einfamilienhäuser repräsentieren (6).

Bezogen auf die einzelnen Effizienzhaus-Standards heißt das:

**Bis zum energetischen Standard Effizienzhaus 70 können sanierungsbedürftige Einfamilienhäuser mit Instandsetzungsrückstau kostenneutral saniert werden.**

Bei heutigen Energiepreisen zahlt ein Eigentümer 8 Cent für eine Kilowattstunde Energie<sup>5</sup>. Wenn er sein Haus zum Effizienzhaus 70 saniert, reduziert er den Energiebedarf deutlich und spart damit für jede nicht genutzte Kilowattstunde diese 8 Cent ein. Das deckt bei allen untersuchten Gebäudetypen und Baualtersklassen die Kosten für die energetische Sanierung: Für das Effizienzhaus 70 fallen im Durchschnitt für eine eingesparte Kilowattstunde knapp 7,1 Cent Sanierungskosten an. Der Eigentümer kann die energetischen Sanierungsmaßnahmen also komplett über die Energieeinsparung finanzieren.

**An der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit: Der hocheffiziente Sanierungsstandard Effizienzhaus 55.**

Die Sanierung zum Effizienzhaus 55 steht derzeit an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit. Bei allen betrachteten Gebäudetypen und Baualtersklassen sind die Sanierungskosten und die Einsparungen in etwa gleich hoch. Besonders wirtschaftlich ist die Sanierung zum Effizienzhaus 55 für Einfamilienhäuser der 1970er Jahre: Hier fallen für eine eingesparte Kilowattstunde 7,7 Cent Sanierungskosten an. Dem gegenüber steht der aktuelle Energiepreis von 8 Cent pro Kilowattstunde. Die Sanierung zum Effizienzhaus 55 kann also bei diesem Gebäudetyp auch komplett über die Energieeinsparung gedeckt werden.

Für die vorliegende Studie gilt:

Die Energiebilanz-Berechnungen zur Ermittlung des Primärenergiebedarfs  $Q_p$  sowie der spezifischen Transmissionswärmeverluste  $H'_T$  basieren auf dem Schema der EnEV 2009. Das Verfahren des öffentlichen Nachweises wurde verwendet, um die gesetzlichen Grenzwerte und die Förderkonditionen der KfW schlüssig abbilden zu können. Abweichend davon wurde für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen der Endenergiebedarf nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ des IWU gerechnet. Damit werden die Energiesparpotenziale durch die energiesparenden Maßnahmen im Vergleich zur Berechnung nach EnEV 2009 geringer abgebildet (siehe Kapitel 2).

- Gleichzeitig verbessert die hochwertige energetische Modernisierung die thermische Behaglichkeit in den Gebäuden erheblich. Die mittlere Raumtemperatur während der Heizperiode steigt von gut 16 °C auf über 19 °C. Die Raumluftqualität ist durch den Einsatz der Lüftungsanlage deutlich verbessert. Letztlich erhöht der hervorragende energetische Standard den Wert der Immobilie. Die Investitionen in diesen hochwertigen Standard erscheinen damit weniger risikoreich im Vergleich zum unsanierten Zustand und können somit auch vor diesem Hintergrund als vorteilhaft angesehen werden.

---

<sup>5</sup>Stand: 1. Quartal 2012, Mittelwert Heizöl (9 Cent/kWh) und Gas (7 Cent/kWh).

- Die für diesen hochwertigen energetischen Standard erforderlichen Sanierungsmaßnahmen sind praxistauglich und auch im Rahmen eines Breitenförderprogramms umsetzbar. Allerdings bestehen immer noch Vorbehalte gegen einzelne Komponenten des energiesparenden Bauens, insbesondere gegenüber Lüftungsanlagen. Darüber hinaus wiesen die Projektteilnehmer des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ auf den zusätzlichen Aufwand für die sorgfältige Planung, die Bildung von Bauteams und die verstärkte Qualitätskontrolle vor Ort im Zuge der hochwertigen energetischen Modernisierung hin.
- Trotz der sehr guten ökonomischen Bewertung erscheint die hohe Förderung für den Effizienzhaus-55-Standard wichtig, um die offensichtlich noch vorhandene Skepsis gegenüber einzelnen Komponenten abzubauen und die Investoren bei der qualitativ hochwertigen Planung und Ausführung zu unterstützen.
- Der Effizienzhaus-55-Standard führt gegenüber den Mindestanforderungen der EnEV, Anlage 1, Tabelle 3, zu einer weiteren Reduzierung der CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen um 40 Prozent bei Einsatz fossiler Energieträger. Tatsächlich können die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen noch deutlich stärker reduziert werden, wenn bei diesen Gebäuden auf regenerative Energieträger umgestellt wird.

## 2 Entwicklung der Modellgebäude.

Als Basis der Studie wurden insgesamt sechs sogenannte „Modellgebäude“ aus den Angaben der Projektteilnehmer entwickelt. Diese Gebäude sind in ihrem Istzustand vor der Modernisierung typisch für die im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Bauvorhaben und die Grundlage der Energiebilanzberechnungen. Alle wesentlichen energetischen Kenndaten der Modellgebäude im Zustand vor und nach der Modernisierung sind anschaulich in den Hausdatenblättern im Anhang 2 zusammengefasst.

### 2.1 Baualtersklassen.

Die Modellgebäude wurden entsprechend der deutschen Gebäudetypologie in sechs Baualtersklassen unterschieden, deren Zeiträume bestimmten Bauepochen zugeordnet wurden. Die Einteilung in Baualtersklassen orientiert sich an historischen Einschnitten, den Zeitpunkten statistischer Erhebungen und den Veränderungen der Bauvorschriften.

vor 1919	Gebäude aus der Epoche bis zum Ende des Ersten Weltkriegs.
1919 bis 1948	Weimarer Republik und Nachkriegszeit.
1949 bis 1957	Gründung der Bundesrepublik und Wiederaufbau: In diesen Jahren wurden aufgrund angespannter Materialmärkte, niedriger Anforderungen in Bauvorschriften und des hohen Wohnungsbedarfs häufig qualitativ einfache Baukonstruktionen mit geringen Materialstärken gebaut. Bis 1956 erlaubte die Mauerwerks-DIN beispielsweise 11,5 cm dünne tragende Wände in Wohngebäuden bis zu zwei Geschossen. Diese DIN wurde 1956 geändert, die Mindeststärke erhöhte sich auf 17,5 cm. Die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach DIN 4108 wurden nicht immer eingehalten.
1958 bis 1968	Wirtschaftswunder, wirtschaftlicher Aufschwung: Die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz nach DIN 4108 wurden in diesen Jahren im Allgemeinen eingehalten. Am Ende dieses Zeitraums steht die Gebäude- und Wohnungszählung 1968 mit umfangreichem Datenmaterial zur Gebäudestruktur.
1969 bis 1978	Die erste Ölkrise führt dazu, dass die ergänzenden Bestimmungen zur DIN 4108 im Allgemeinen übertroffen wurden.
1979 bis 1983	Die 1977 eingeführte 1. Wärmeschutzverordnung zeigt bei den ersten Wohngebäuden dieser Baualtersklasse ihre Auswirkungen.
1984 und später	Die 1984 in Kraft getretene 2. Wärmeschutzverordnung zeigt sich deutlich im Wärmeschutzstandard der Gebäude dieser Baualtersklasse. Gebäude ab 1984 wurden in der vorliegenden Studie nicht untersucht, da solche Gebäude im Projekt nicht gefördert wurden.

## 2.2 Gebäudematrix.

Mit den Unterscheidungsmerkmalen Baualter und Gebäudetyp erhält man sechs Modellgebäude. Diese Gebäude können in Bezug auf ihre energetischen Eigenschaften vor der Modernisierung typisch für die im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Bauvorhaben angesehen werden. Die im Folgenden benutzte Nomenklatur dieser Modellgebäude setzt sich zusammen aus der Kennzeichnung für den Gebäudetyp und der Baualtersklasse, z. B. „EFH48“ für ein Einfamilienhaus aus der Baualtersklasse 1919 bis 1948.

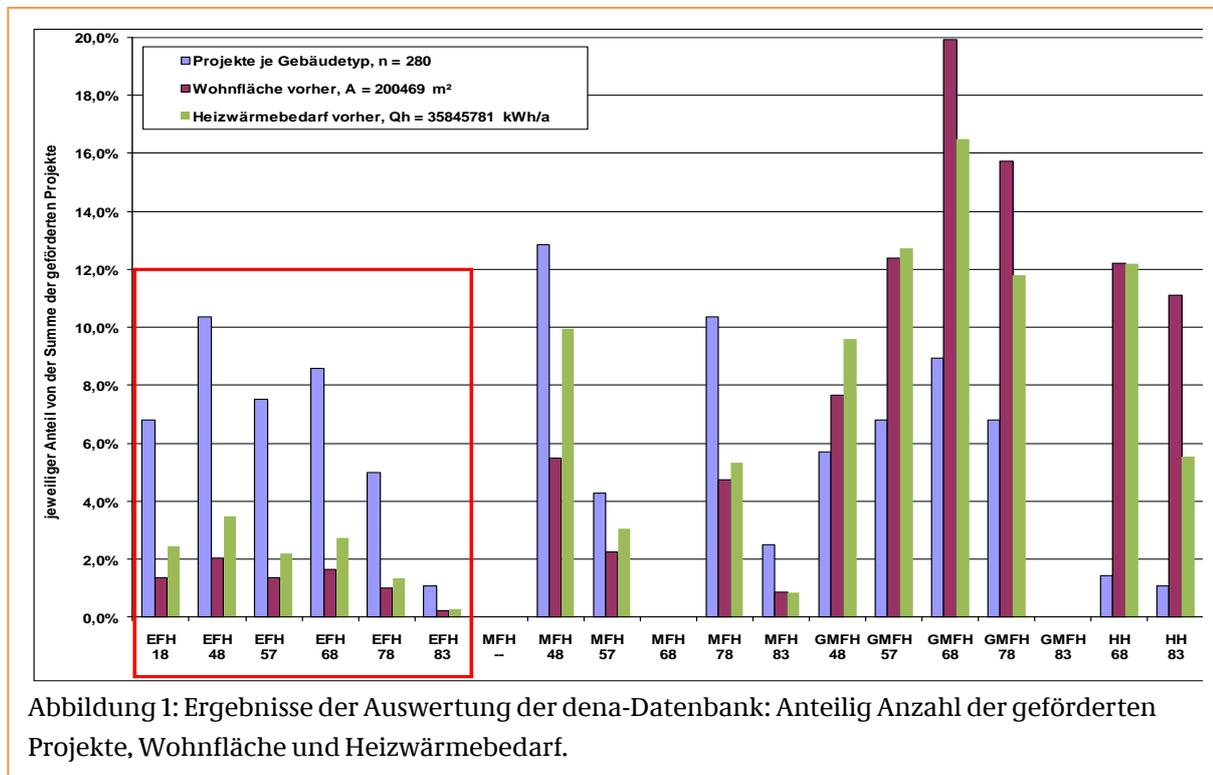
Nomenklatur	Einfamilienhäuser
EFH18	vor 1919
EFH48	1919 – 1948
EFH57	1949 – 1957
EFH68	1958 – 1968
EFH78	1969 – 1978
EFH83	1979 – 1983

Tabelle 1: Nomenklatur der Modellgebäude.

Die durchschnittlichen Wohnflächen der einzelnen Modellgebäude ergeben sich aus den Angaben der Projektteilnehmer. Die mittleren U-Werte der einzelnen Bauteile der thermischen Hülle wurden in der Regel ebenfalls auf Basis der Angaben der Projektteilnehmer bestimmt. Die jeweiligen Flächen der Bauteile der thermischen Gebäudehülle wurden für jedes Modellgebäude mit dem „Kurzverfahren Energieprofil“ (7) ermittelt.

## 2.3 Auswertung der Datenbank – Detailergebnisse.

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Auswertung der dena-Datenbank mit der Zuordnung zu den Modellgebäuden. Der Datensatz umfasst insgesamt 280 Projekte mit vollständig vorliegenden Unterlagen. Die gesamte Wohnfläche beträgt etwa 200.000 m<sup>2</sup>. Rot umrandet sind die in dieser Studie untersuchten Gebäude: Das Modellgebäude „EFH18“ repräsentiert z. B. etwa 7 Prozent der insgesamt geförderten Anzahl von Projekten (mit vollständig vorliegenden Unterlagen). Bezogen auf die geförderte Wohnfläche sind dies jedoch nur etwa 1,5 Prozent. Diese Gebäude tragen zu etwa 2,5 Prozent zum gesamten Heizwärmebedarf aller geförderten Gebäude bei.



## 2.4 Spezifische Transmissionswärmeverluste.

Die spezifischen Transmissionswärmeverluste sind ein Kriterium für den energetischen Zustand der Gebäudehülle. Abbildung 2 zeigt die auf Basis der Angaben der dena-Datenbank ermittelten spezifischen Transmissionswärmeverluste der Gebäude aus den jeweiligen Baualtersklassen im Zustand vor bzw. nach der energetischen Modernisierung sowie im Vergleich der Modellgebäude.

Abbildung 2 zeigt z. B.: Die Einfamilienhäuser aus der Baualtersklasse 1919 bis 1948 („EFH48“) haben nach Angaben der Projektteilnehmer im Mittel spezifische Transmissionswärmeverluste von 1,42 W/(m<sup>2</sup><sub>Hüll</sub>K) vor und 0,27 W/(m<sup>2</sup><sub>Hüll</sub>K) nach der Modernisierung.

Wie die Auswertung zeigt, war der energetische Zustand vor der Modernisierung der Gebäude ungenügend. Insbesondere die Gebäude vor dem Ersten Weltkrieg erscheinen nach den Angaben der Projektteilnehmer sehr schlecht, während sich der energetische Zustand vor der Modernisierung über die Baualtersklassen langsam verbessert. Bei den Gebäuden aus der Baualtersklasse 1979 bis 1983 zeigt sich die Wirkung der damals neu eingeführten Wärmeschutzverordnung.

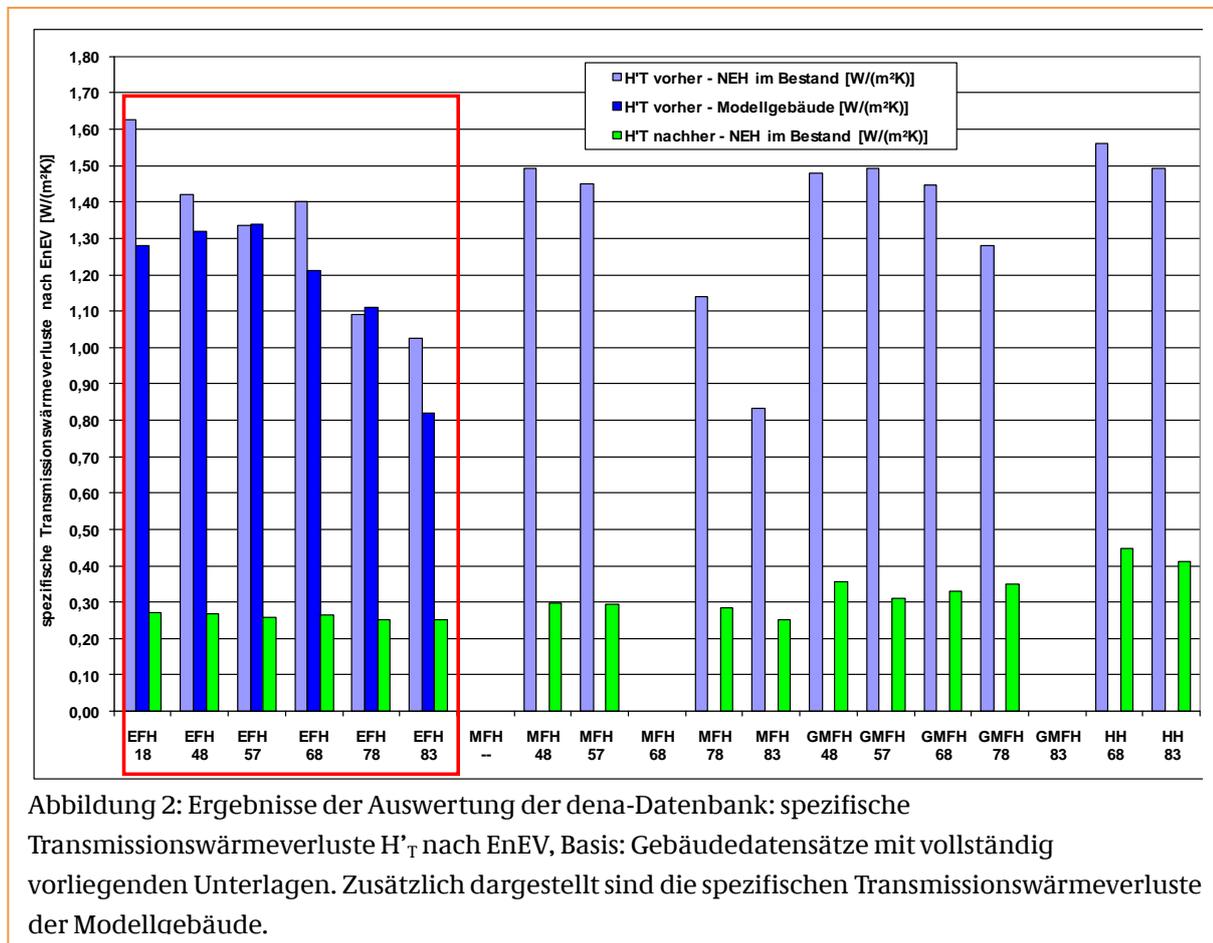


Abbildung 2 zeigt auch die auf Basis der Modellgebäude ermittelten spezifischen Transmissionswärmeverluste in den jeweiligen Baualtersklassen im Zustand vor der energetischen Modernisierung: Z. B. hat das Modellgebäude „EFH48“ spezifische Transmissionswärmeverluste von 1,32  $W/(m^2_{Hüll}K)$  vor der energetischen Modernisierung und ist damit um 0,10  $W/(m^2_{Hüll}K)$  besser als die aus den Angaben der Projektteilnehmer berechneten spezifischen Transmissionswärmeverluste der entsprechenden Gebäude aus der dena-Datenbank. Die Abweichung ergibt sich aus unterschiedlichen U-Werten entsprechend der Datenbank und der Rechenwerte. Die Werte der Datenbank erschienen für dieses Gebäude zum Teil unplausibel hoch und führen in den Energiebilanzberechnungen rechnerisch zu sehr hohen Energiebedarfswerten.

Auffällig ist die deutliche Differenz zwischen den auf Basis der Angaben der Projektteilnehmer berechneten mittleren spezifischen Transmissionswärmeverlusten von 1,63  $W/(m^2_{Hüll}K)$  für die Gebäude „EFH18“ und dem Modellgebäude „EFH18“ mit 1,28  $W/(m^2_{Hüll}K)$ . Da ein Modellgebäude als freistehendes Einfamilienhaus mit derart schlechten energetischen Eigenschaften unter der Annahme einer annähernd zeitgemäßen

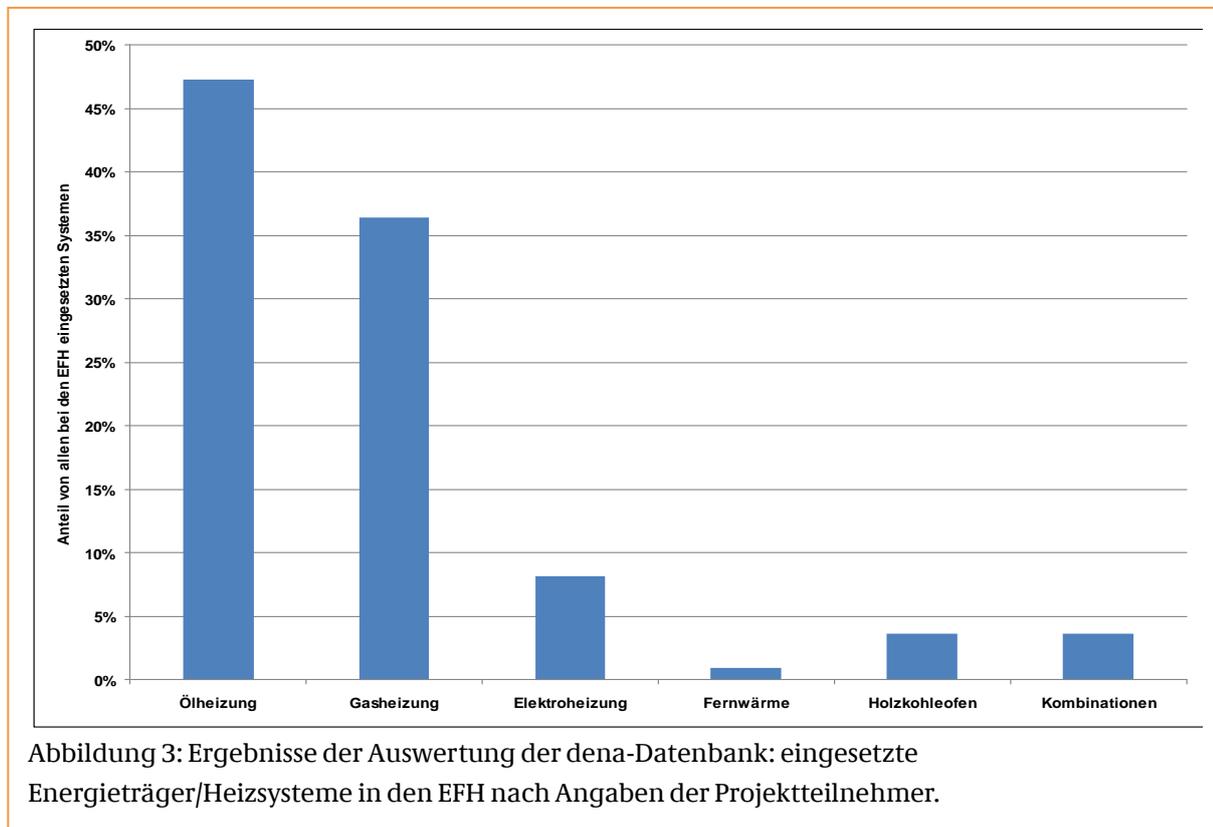
Beheizung zu extrem hohen berechneten Energiebedarfswerten führen würde, wurden die U-Werte der Bauteile gegenüber den Angaben der Projektteilnehmer reduziert. Nach dieser Korrektur ergeben sich realistische Energiebedarfswerte für das Modellgebäude als Basis für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

Auffällig ist auch die Abweichung zwischen den auf Basis der Angaben der Projektteilnehmer berechneten mittleren spezifischen Transmissionswärmeverlusten von  $1,03 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{Hüll}}\text{K})$  für die Gebäude „EFH83“ und dem Modellgebäude „EFH83“ mit  $0,82 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{Hüll}}\text{K})$ . Wie oben dargestellt, wurden in der Baualtersklasse ab 1979 lediglich 1 Prozent der Einfamilienhäuser (entsprechend 3 Projekte) gefördert. Die Projektdatenbasis für das Modellgebäude „EFH83“ ist somit unzureichend für eine Auswertung. Die Angaben der Projektteilnehmer wurden daher auch für dieses Modellgebäude so korrigiert, dass sich niedrigere Energiebedarfswerte für das Modellgebäude im unsanierten Zustand ergeben.

## 2.5 Anlagentechnik.

Nach den Angaben der Projektteilnehmer erfolgte die Warmwasserbereitung in den EFH vor der Modernisierung zu etwa 62 Prozent ( $n = 68$ ) zentral und zu 38 Prozent ( $n = 42$ ) dezentral. Nach der Modernisierung wurde das Warmwasser fast ausschließlich zentral erzeugt. Dabei wurde die Warmwasserbereitung nach der Modernisierung in 62 Prozent ( $n = 68$ ) der Projekte durch Solarthermie unterstützt.

Abbildung 3 zeigt den Anteil der eingesetzten Energieträger bzw. Heizsysteme bei den geförderten EFH vor der Modernisierung. Demnach wurden die Gebäude vor der Modernisierung zu über 80 Prozent ( $n = 92$ ) über eine Öl- bzw. Gasheizung und jeweils zu knapp 4 Prozent über Kombinationen verschiedener Wärmeerzeugersysteme ( $n = 4$ ) oder dezentrale Holzkohleöfen ( $n = 4$ ) beheizt. Zu etwa 8 Prozent ( $n = 9$ ) wurden dezentrale Elektroheizungen eingesetzt.



Die Auswertung zeigt einen typischen Zustand der Heizanlagentechnik vor der Modernisierung, wie er erfahrungsgemäß häufig für Altbauten mit Instandsetzungsrückstau vorzufinden ist. Die Heizungsanlagen waren nach Angaben der Projektteilnehmer vor der Modernisierung in einem schlechten bis sehr schlechten Zustand und wurden bei allen Projekten komplett erneuert. Lüftungsanlagen sind vor der Modernisierung nur in Ausnahmefällen und dann nur als „sanierungsbedürftige Abluftanlagen“ vorhanden.

## 2.6 Einordnung des berechneten Energiebedarfs.

Bei den Energiebilanzberechnungen stellt sich natürlich die Frage, inwiefern die berechneten Einsparungen auch in der Praxis erzielt werden. Dies ist im Einzelfall nicht klar zu beantworten, da sich sowohl die Unschärfe der baulichen (z. B. Wärmeleitfähigkeiten der Baumaterialien), der anlagentechnischen (z. B. Verluste von Rohrleitungen), aber auch der nutzerspezifischen Randbedingungen (Raumtemperaturen, Lüftungsverhalten etc.) überlagern. Einige erste Hinweise auf den statistischen Zusammenhang und systematische Abweichungen zwischen dem Bedarf und dem gemessenen Verbrauch energetisch nicht sanierter Altbauten finden sich z. B. in (8), (9), (10). Die Untersuchungen zeigen gegenüber dem berechneten

Bedarf systematisch einen geringeren gemessenen Energieverbrauch. Die Abweichung ist für größere Mehrfamilienhäuser geringer als für Einfamilienhäuser.

Da im gesetzlichen Nachweis nach EnEV mit Normrandbedingungen für Klima und Nutzungsbedingungen gerechnet wird, die nicht empirisch abgeleitet sind, ist das Vorhandensein einer solchen systematischen Abweichung durchaus plausibel. Umfangreichere statistische Untersuchungen zur genaueren Quantifizierung für unterschiedliche Gebäudegruppen im Hinblick auf die EnEV 2009 stehen allerdings noch aus, sodass hierzu keine abschließenden Aussagen getroffen werden können.

Systematisch gemessene Verbrauchswerte für dezentral beheizte Wohngebäude, zudem noch mit einer sehr inhomogenen Anlagenstruktur, wie sie in der Praxis in unsanierten Altbauten vorzufinden ist, liegen somit nicht vor. Dies gilt auch für die meisten der im Rahmen des Niedrigenergiehaus-Projekts geförderten Projekte. Dennoch muss ein Abgleich der berechneten Bedarfswerte mit gemessenen Verbrauchswerten erfolgen. Als Maßstab wird dazu in dieser Studie der sogenannte „Heizspiegel“ herangezogen. Dieser enthält eine systematische Auswertung gemessener Energieverbrauchswerte sowohl auf kommunaler als auch auf bundesweiter Ebene.

### **Heizspiegel.**

Grundlage für die Tabellen sind die Heizdaten von mehr als einer Million zentral beheizter Ein- und Mehrfamilienhäuser, die im Rahmen eines Heizspiegels veröffentlicht sind (4). Ein Teil dieser Daten entstammt von Messdienstfirmen. Diese Verbrauchsdaten werden über die Postleitzahl und den Gemeindegemeinschaftsschlüssel der einzelnen Kommune oder dem Kreis zugeordnet und nach den Energieträgern Heizöl, Erdgas und Fernwärme getrennt analysiert.

Das Ergebnis sind Aussagen über die statistische Verteilung der Heizdaten für Gebäude unterschiedlicher Größe. Für vier Gebäude-Größenklassen werden zunächst die jeweiligen Mittelwerte berechnet. Danach werden für diese Gebäude-Größenklassen die oberen und unteren 10-Prozent-Grenzen ermittelt und so die Gebäude mit „günstigem“ und „zu hohem“ Heizenergieverbrauch vom restlichen Bestand der im Heizspiegel abgebildeten Gebäude mit „mittlerem“ und „erhöhtem“ Verbrauch getrennt ausgewiesen.

Ein wesentlicher Schwachpunkt der Datenbasis ist, dass keine weiteren Aussagen zur energetischen Qualität der Gebäudehülle oder der Anlagentechnik vorliegen. Die unmittelbare Zuordnung von Verbrauchsdaten zu energetischen Kenngrößen eines konkreten Gebäudes ist somit nicht möglich. Die These für die hier vorliegende Studie ist jedoch, dass Gebäude, deren thermische Hülle und deren Heizanlagentechnik in einem schlechten Zustand sind, sich als Gebäude mit erhöhtem, bzw. zu hohem Energieverbrauch im Heizspiegel wiederfinden. Diese Gebäude sind mit dem Zustand der Gebäude aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ vor der Modernisierung vergleichbar.

## Prinzip der Heizspiegel-Methodik im Diagramm.

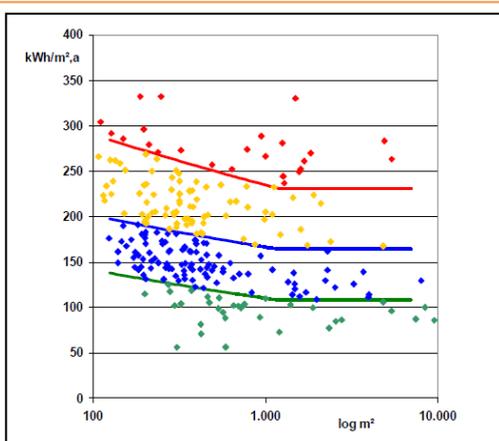


Abbildung 4: Methodik der Einordnung in Heizspiegel-Klassen (4).

Die grüne, blaue und rote Kurve trennen die vier Heizspiegel-Klassen voneinander. Ab einer Gebäudefläche von 1.200 m<sup>2</sup> werden die Kurven linearisiert, weil Verbrauchsunterschiede auf Basis eines unterschiedlichen Außenflächen-Volumenverhältnisses von dieser Gebäudegröße an nicht mehr nachweisbar sind.

### Berechnung der Heizspiegel-Tabelle eines Jahres: Heizenergieverbrauch.

Die Verbrauchsdaten für einen Heizspiegel liegen nicht nur für das konkrete Jahr vor, für das der Heizspiegel erstellt werden soll, sondern für mehrere Jahre. Daher werden diese Daten mithilfe der Gradtagszahlen des Deutschen Wetterdienstes (Klimadaten) auf den Heizspiegel-Zeitraum umgerechnet. Hierbei wird eine derzeitige Verbrauchsminderung im Wohngebäudebestand von etwa einem Prozent je Jahr berücksichtigt.

Im Ergebnis entsteht so die (jahresspezifische) Tabelle mit dem Heizenergieverbrauch einer Kommune; einer Region bzw. bundesweit.

### Berechnung der Heizspiegel-Tabelle eines Jahres: Heizkosten.

Die Tabelle mit den Heizkosten baut auf der Tabelle mit dem Heizenergieverbrauch auf. Zur Umrechnung werden diese Heizenergie-Verbrauchsdaten (Energieverbrauch des konkreten Jahres je m<sup>2</sup> Wohnfläche, differenziert nach Gebäudegröße und Energieträger) mit den durchschnittlichen örtlichen Brennstoffpreisen dieses Jahres multipliziert. Daraus ergeben sich die Brennstoffkosten des entsprechenden Jahres. Da sich die Preise für Erdgas und Fernwärme in der Regel nur einmal im Quartal ändern, werden bei Fernwärme und Erdgas die jährlichen Brennstoffkosten aus den Brennstoffkosten der Quartale zusammengesetzt. Bei den Brennstoffpreisen wird zusätzlich nach den vier Gebäude-Größenklassen differenziert.

Die so errechneten Brennstoffkosten je m<sup>2</sup> Wohnfläche eines konkreten Jahres werden zusätzlich um die Heiznebenkosten ergänzt. Heiznebenkosten bestehen aus dem Betriebsstrom für Brenner und Pumpen, aus Wartungskosten, Messdienstkosten und Kosten der Kaminreinigung. Falls die Geräte zur Verbrauchserfassung gemietet sind, umfassen die Messdienstkosten zusätzlich die Kosten der Gerätemiete. Auch hier wird nach den drei Energieträgern unterschieden, da die Heiznebenkosten von Fernwärme, Erdgas und Heizöl signifikant verschieden sind. Schließlich werden die Heizkosten durch Addition von Brennstoff- und Heiznebenkosten errechnet (4).

### **Ableich zwischen „Bedarf“ (Modellgebäude) und „Verbrauch“ (Heizspiegel).**

Diese gemessenen und nach Heizspiegel in der obersten Klasse eingeordneten Verbrauchswerte zentral beheizter Wohngebäude bilden den Maßstab, an dem die hier entwickelten Modellgebäude eingeordnet werden.

Der aus dem bundesweiten Heizspiegel ermittelte Heiz-Endenergieverbrauch für die hier untersuchten zentral beheizten kleinen Wohngebäude bis maximal 250 m<sup>2</sup> Wohnfläche, die mit einer Öl- bzw. Gasheizung ausgestattet sind, beginnt mit Verbrauchswerten von 215 bzw. 238 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea). Hinzu kommen entsprechend der Angaben nach Heizspiegel 30 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) Endenergieverbrauch für Warmwasser. In der Summe sind dies 245 bzw. 268 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser.

Der aus den Energiebilanzen berechnete Endenergiebedarf der zwei öl- und vier gasbeheizten Modellgebäude ist in den jeweiligen Hausdatenblättern dargestellt. Im Mittel resultiert für diese Gebäude ein Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser von 239 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) (siehe Abbildung 7). Damit bilden die Modellgebäude im Mittel den Zustand energetisch ungenügender Gebäude gut ab, die nach dem Heizspiegel am Übergang von Gebäuden mit einem „erhöhten“ zu einem „zu hohen“ Energieverbrauch liegen. Diese Modellgebäude entsprechen baulich dem Zustand der Gebäude aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ vor Modernisierung.

Entsprechend den Daten der dena aus über 7.500 Energieverbrauchsausweisen mit einem Gesamtenergieverbrauch von ca. 590 TWh ist die energetische Einordnung auf ca. 25 Prozent des Gebäudebestands übertragbar. Die Studie zur Verbrauchsdatenauswertung in Wohngebäuden, die die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel zusammen mit Haus & Grund 2009 erstellt hat, kommt sogar zu der Aussage, dass Gebäude mit vergleichbaren Verbrauchswerten über 60 Prozent der Einfamilienhäuser repräsentieren (6).

### **3 Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen.**

Im Folgenden werden die Grundlagen der Energiebilanzberechnungen und die Ergebnisse für verschiedene Maßnahmenpakete zusammenfassend dargestellt. Die Energiebilanzen wurden nach zwei verschiedenen Verfahren gerechnet.

#### **3.1 Energiebilanzverfahren.**

Für die Berechnung der Energiebilanz wurde das Verfahren nach der EnEV 2009 verwendet. Grundlage sind die DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 in Verbindung mit DIN V 4701-12 und PAS 1027. Das Verfahren des öffentlich-rechtlichen Nachweises wurde verwendet, um die Referenzgebäude nach EnEV als Grundlage für die Förderkonditionen der KfW schlüssig abbilden zu können.

Parallel dazu wurde der Endenergiebedarf nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ des IWU (Heizperiodenverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10) gerechnet. Die nach diesem Verfahren berechneten Energiebedarfskennwerte stimmen im Vergleich zu den Ergebnissen nach ENEC deutlich besser mit gemessenen Energieverbrauchskennwerten überein; Energiesparpotenziale werden geringer als nach EnEV abgeschätzt. Diese Berechnungsergebnisse sind daher auch Grundlage der Darstellungen in allen folgenden Abbildungen sowie in den Hausdatenblättern.

Die Berechnungen nach dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ weichen im Wesentlichen an zwei Stellen deutlich von den Algorithmen der EnEV 2009 ab:

#### **Räumliche und zeitliche Teilbeheizung.**

In der Praxis werden einzelne Räume wie Schlafzimmer oder Flure in Wohnungen häufig nicht durchgehend beheizt oder die Raum-Solltemperatur 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. Die Effekte wirken sich prinzipiell umso stärker aus, je schlechter der Wärmeschutzstandard eines Gebäudes und je größer die Wohnungen selbst sind. In den Energiebilanzberechnungen werden diese Effekte über eine räumliche und zeitliche Teilbeheizung des Gebäudes bzw. über eine Nacht- und Wochenendabsenkung berücksichtigt (11).

Durch diesen Ansatz haben die Modellgebäude im unsanierten Zustand durchschnittlich eine mittlere Raumtemperatur der Wohnfläche des Gebäudes von lediglich 16,2 °C. Über diese mittlere Raumtemperatur werden die Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste der Gebäude im unsanierten Zustand berechnet. Nach der umfassenden energetischen Modernisierung steigt die mittlere Raumtemperatur auf über 19 °C an, je nach energetischem Standard. Über diese erhöhte mittlere Raumtemperatur werden die Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste der Gebäude im Zustand nach Modernisierung berechnet. Damit wird der empirisch nachgewiesene Effekt höherer Raumtemperaturen nach der energetischen Modernisierung im

Energiebilanzmodell abgebildet. Die resultierende Energieeinsparung wird im Vergleich zur EnEV realistischer, d. h. niedriger berechnet.

### Reduzierter Luftwechsel.

Der mittlere Luftwechsel unter der Annahme der Fensterlüftung ist auf 0,3 /h reduziert. Verschiedene Studien legen die Vermutung nahe, dass die Fensterlüftung in der Praxis regelmäßig zu Luftwechseln führt, die wohnungshygienischen Anforderungen nicht genügen. So kommt auch eine aktuelle Studie des PHI zu dem Schluss, dass sich in Wohnungen mit Fensterlüftung im „Kernwinter“ ein Außenluftwechsel zwischen 0,18 h-1 (untere Abschätzung) und 0,33 h-1 (obere Abschätzung) einstellt. In den Wohnungen mit kontrollierter Lüftung wurde ein mittlerer Luftwechsel von 0,48 h-1 bestimmt (12). Diese und vergleichbare Erfahrungen aus anderen Studien sind in den Energiebilanzberechnungen berücksichtigt: Für die Gebäude wurde im Zustand vor der Modernisierung ein mittlerer Luftwechsel von 0,3 h-1 (Fensterlüftung) angesetzt und für die Varianten mit Lüftungsanlage ein mittlerer Luftwechsel von 0,5 h-1. Die Abluftanlage führt in den Modellrechnungen somit zu einem höheren Endenergiebedarf nach der Modernisierung – bei allerdings deutlich verbesserter, zeitgemäßer Raumlufthygiene.

## 3.2 Untersuchte energetische Standards.

Die zu untersuchenden energetischen Standards wurden aus den Anforderungen der EnEV 2009 bzw. in Anlehnung an die vorgegebenen aktuellen Förderstandards der KfW aus dem Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ abgeleitet. Dementsprechend wurden folgende energetische Standards vorab definiert, aus denen sich entsprechenden Einzelmaßnahmen ergeben:

Ist	Typische Modellgebäude aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ im Zustand vor der energetischen Modernisierung.
EnEV 140	Primärenergiebedarf und spezifische Transmissionswärmeverluste nach EnEV max. 40 Prozent über den Anforderungen des Referenzgebäudes.
EnEV Bauteil	Bauteilbezogene Anforderungen der EnEV 2009 nach Anlage 3, Tabelle 1. Zusätzlich wird die Heizanlage modernisiert und eine Abluftanlage berücksichtigt.
EnEV Referenz	Primärenergiebedarf und spezifische Transmissionswärmeverluste entsprechend dem Referenzgebäude nach EnEV 2009.
Effizienzhaus 100	Primärenergiebedarf entsprechend dem Referenzgebäude, spezifische Transmissionswärmeverluste max. 15 Prozent über dem Referenzgebäude nach EnEV.
Effizienzhaus 85	Primärenergiebedarf max. 85 Prozent des Referenzgebäudes, spezifische Transmissionswärmeverluste max. 100 Prozent des Referenzgebäudes nach EnEV.
Effizienzhaus 70	Primärenergiebedarf max. 70 Prozent des Referenzgebäudes, spezifische Transmissionswärmeverluste max. 85 Prozent des Referenzgebäudes nach EnEV.
Effizienzhaus 55	Primärenergiebedarf max. 55 Prozent des Referenzgebäudes, spezifische Transmissionswärmeverluste max. 70 Prozent des Referenzgebäudes nach EnEV.

Tabelle 2: Energetische Standards.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in den folgenden Abbildungen jeweils zusammenfassend die Mittelwerte aus allen sechs Modellgebäuden zu jedem energetischen Standard dargestellt. Die Ergebnisse der Energiebilanzberechnungen sind im Detail in den Hausdatenblättern im Anhang 2 dokumentiert.

In den folgenden Abbildungen werden die berechneten Maßnahmenpakete wie folgt benannt:

### Varianten mit fossilem Energieträger.

<b>IST</b>	Ergebnisse aus den Berechnungen mit den Modellgebäuden im Istzustand (vor Modernisierung).
<b>EnEV 140</b>	Überschreitung des Jahres-Primärenergiebedarfs und der spezifischen Transmissionswärmeverluste des Referenzgebäudes nach EnEV 2009 um max. 40 Prozent.
<b>EnEV Bauteil</b>	Ergebnisse aus den Berechnungen mit den bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV nach Anlage 3, Tabelle 1 bei Umsetzung aller dort definierten Anforderungen. Zusätzlich besitzen die Modellgebäude eine Abluftanlage und eine Brennwert-Heizanlage mit einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung wie das Referenzgebäude auch.
<b>EnEV Referenz</b>	Ausführung entsprechend dem Referenzgebäude nach EnEV 2009.
<b>Effizienzhaus 100 WS + WRG - Sol</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-100-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das sich weitestgehend an den Anforderungen des jeweiligen Referenzgebäudes orientiert, allerdings mit einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung anstelle einer Abluftanlage, dafür ohne Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung.
<b>Effizienzhaus 100 entspr. Referenz</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-100-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das sich weitestgehend an den Anforderungen des jeweiligen Referenzgebäudes orientiert.
<b>Effizienzhaus 85 + WRG – Sol</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-85-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das sich weitestgehend an den Anforderungen des jeweiligen Referenzgebäudes orientiert, jedoch mit einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) anstelle einer Abluftanlage, dafür ohne Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung.
<b>Effizienzhaus 85 + WS</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-85-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das sich weitestgehend an den Anforderungen des jeweiligen Referenzgebäudes orientiert, jedoch mit etwas verbessertem baulichen Wärmeschutz.
<b>Effizienzhaus 70 + WS + WRG - Sol</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-70-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das gegenüber dem Referenzgebäude einen verbesserten baulichen Wärmeschutz aufweist sowie einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung anstelle einer Abluftanlage, dafür ohne Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung.
<b>Effizienzhaus 70 + WS + WRG + Sol(H)</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-70-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das gegenüber dem Referenzgebäude einen verbesserten baulichen Wärmeschutz aufweist sowie einer effizienten Lüftungsanlage mit WRG anstelle einer Abluftanlage und einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Raumheizung.
<b>Effizienzhaus 55 + WS + WBV + WRG</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-55-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das in Bezug auf den baulichen Wärmeschutz nahezu Passivhausstandard erreicht. Der Wärmebrückenverlust-Koeffizient ist auf 0,03 W/(m <sup>2</sup> K) reduziert. Die Gebäude werden mit einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung ausgeführt.
<b>Effizienzhaus 55 + WS + WBV + WRG + Sol(Heiz)</b>	Einhaltung der Effizienzhaus-55-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das in Bezug auf den baulichen Wärmeschutz nahezu Passivhausstandard erreicht. Der Wärmebrückenverlust-Koeffizient ist auf 0,03 W/(m <sup>2</sup> K) reduziert. Die Gebäude werden mit einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sowie einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Raumheizung ausgeführt.

**Varianten mit Holz als Energieträger.**

Effizienzhaus 70 + WRG + Reg - Sol	Einhaltung der Effizienzhaus-70-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das gegenüber dem Referenzgebäude einen verbesserten baulichen Wärmeschutz aufweist sowie eine effiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung anstelle einer Abluftanlage. Die Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung entfällt. Anstelle der Öl-/Gasheizung aus dem Referenzgebäude werden die Gebäude mit einer Pelletheizung versorgt.
Effizienzhaus 55 + WS + WBV + Reg - Sol	Einhaltung der Effizienzhaus-55-Anforderung mit einem Maßnahmenpaket, das gegenüber dem Referenzgebäude einen erheblich verbesserten baulichen Wärmeschutz aufweist. Der Wärmebrückenverlustkoeffizient ist auf 0,03 W/(m <sup>2</sup> K) reduziert. Anstelle der Öl-/Gasheizung aus dem Referenzgebäude werden die Gebäude mit einer Pelletheizung versorgt. Die Gebäude werden ohne Solaranlage errichtet.

**Sonstiges.**

DB ist	Entsprechend der Angaben der Projektteilnehmer (Auswertung der Datenbank).
DB - nach Mod	Ergebnisse der Auswertungen auf Basis der Angaben der Projektteilnehmer.

Tabelle 3: Beschreibung der Maßnahmenpakete.

**3.3 Spezifische Transmissionswärmeverluste.**

Abbildung 5 zeigt die spezifischen Transmissionswärmeverluste nach EnEV für die verschiedenen Varianten, jeweils berechnet auf Basis der Angaben der Projektteilnehmer bzw. gemittelt über die sechs Modellgebäude für die unterschiedlichen energetischen Standards.

Im Zustand vor der Modernisierung betragen die spezifischen Transmissionswärmeverluste für die geförderten realen Gebäude (EFH), berechnet nach den Angaben der Projektteilnehmer, im Mittel 1,32 W/(m<sup>2</sup> HüllK) und nach der Modernisierung im Rahmen des NEH-Projektes 0,26 W/(m<sup>2</sup> HüllK).

Die spezifischen Transmissionswärmeverluste der Modellgebäude vor der Modernisierung (im Istzustand) betragen im Mittel dagegen lediglich 1,17 W/(m<sup>2</sup> HüllK) und sind damit deutlich niedriger als nach den Angaben der Projektteilnehmer.

Modellgebäude mit spezifischen Transmissionswärmeverlusten von im Mittel 1,32 W/(m<sup>2</sup> HüllK) würden zu sehr hohen berechneten Energiebedarfswerten führen und damit zu unrealistischen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Daher wurden die spezifischen Transmissionswärmeverluste so (nach unten) korrigiert, dass realistisch erscheinende Energiebedarfswerte ermittelt wurden.

In Abbildung 5 sind die Kennzeichnungen der Varianten zu fünf energetischen Standards rot umrandet. Es zeigt sich, dass die bauteilbezogenen Anforderungen nach EnEV zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen wie die Anforderungen des Referenzgebäudes. Bei den höherwertigen energetischen Standards können je nach Ausführung der Anlagentechnik die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz durchaus variieren. Dies zeigt sich in den zum Teil deutlich unterschiedlichen spezifischen Transmissionswärmeverlusten bei gleichem energetischen Standard.

Zusätzlich enthält Abbildung 5 auch die Ergebnisse der Varianten mit Holz als Endenergieträger (grüner Rahmen). Diese Varianten spielen eine Sonderrolle, weil durch den regenerativen Energieträger die Anforderungen an den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes sehr leicht erfüllt werden können. In der Konsequenz kann der Aufwand für sonstige Anlagentechnik deutlich reduziert werden. Dies kann im Vergleich zu den fossil beheizten Varianten zu deutlich abweichenden Ergebnissen führen, sodass diese „regenerativen“ Varianten separiert betrachtet und im Folgenden nicht weiter diskutiert werden.

Zur leichteren Interpretation der vielen Ergebnisse sind in Abbildung 6 die spezifischen Transmissionswärmeverluste für die verschiedenen energetischen Standards und Varianten nochmals gemittelt dargestellt: Um das Effizienzhaus-100-Niveau mit spezifischen Transmissionswärmeverlusten von etwa  $0,39 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{Hüll}}\text{K})$  zu erreichen, entsprechen die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz in etwa den EnEV-Anforderungen. Das Effizienzhaus-85- bzw. Effizienzhaus-70-Niveau erfordert jeweils einen etwas verbesserten Wärmeschutz mit entsprechend reduzierten spezifischen Transmissionswärmeverlusten. Beim Effizienzhaus-70-Niveau liegen die spezifischen Transmissionswärmeverluste bei  $0,32 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{Hüll}}\text{K})$ .

Der Schritt weiter in Richtung Passivhaus mit dem Effizienzhaus 55 erfordert dagegen einen deutlich verbesserten baulichen Wärmeschutz. Die spezifischen Transmissionswärmeverluste liegen bei etwa  $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{Hüll}}\text{K})$ . Die geförderten Gebäude aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ erreichen im Mittel nach der Modernisierung dieses sehr hochwertige Niveau.

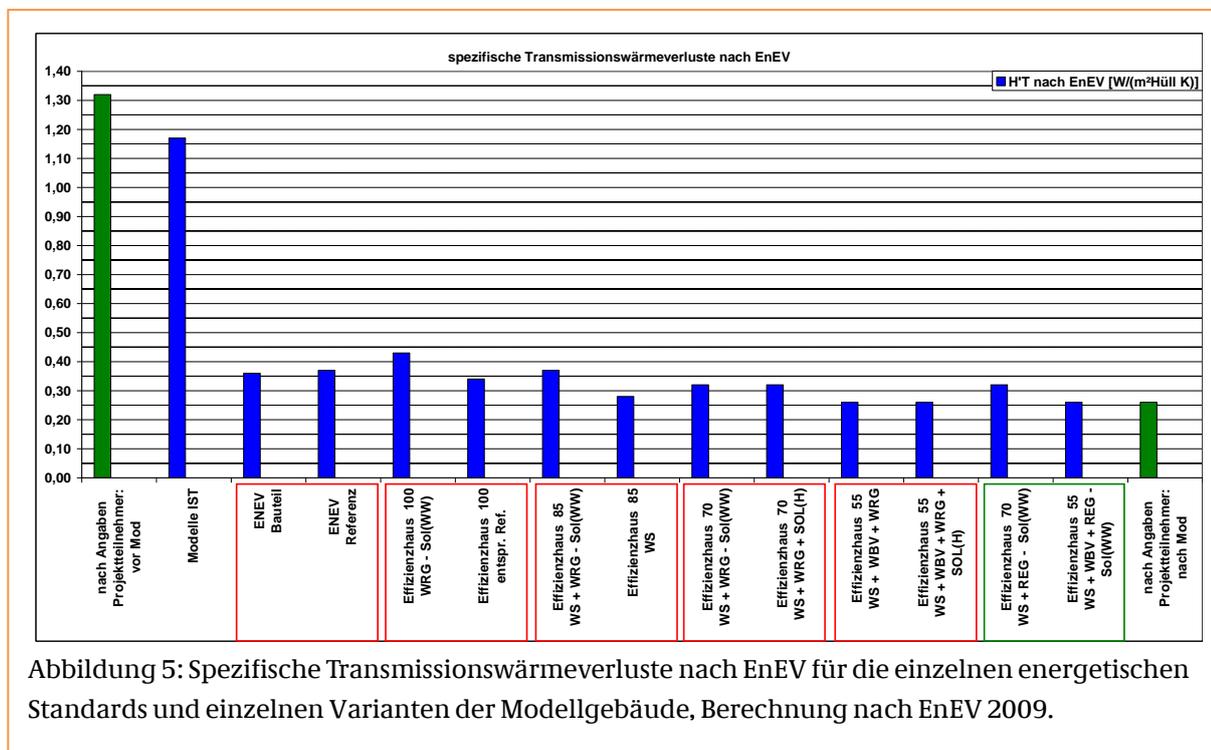


Abbildung 5: Spezifische Transmissionswärmeverluste nach EnEV für die einzelnen energetischen Standards und einzelnen Varianten der Modellgebäude, Berechnung nach EnEV 2009.

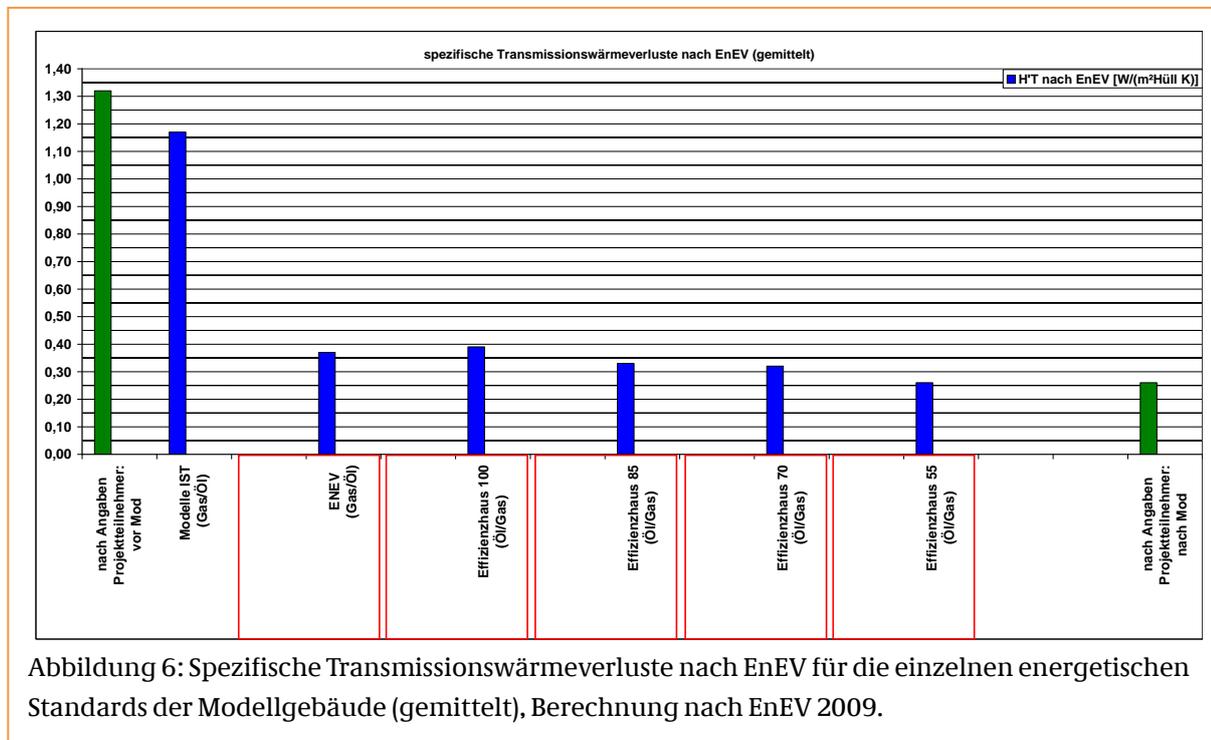


Abbildung 6: Spezifische Transmissionswärmeverluste nach EnEV für die einzelnen energetischen Standards der Modellgebäude (gemittelt), Berechnung nach EnEV 2009.

### 3.4 Primär- und Endenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen.

Abbildung 7 zeigt den berechneten Primär- sowie Endenergiebedarf sowie die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen für die verschiedenen Varianten. Die Werte sind auf die Wohnfläche bezogen und nicht auf die Gebäudenutzfläche A<sub>N</sub> nach EnEV.

Im Mittel betragen der Primärenergiebedarf für die sechs öl-/gasbeheizten Modellgebäude im Zustand vor der Modernisierung 277 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) und der Endenergiebedarf 239 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea). Die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen betragen 73 kg/(m<sup>2</sup> Wohnflächea). Entsprechend der Qualität der energetischen Modernisierung werden diese Werte für die fossil beheizten Gebäude ganz erheblich reduziert.

Zur leichteren Interpretation der Ergebnisse sind in Abbildung 8 Ergebnisse für die verschiedenen Varianten wiederum gemittelt dargestellt: Die EnEV-Anforderungen und die Anforderungen aus dem Effizienzhaus-100-Niveau führen wieder zu vergleichbaren Ergebnissen: Der gemittelte Primärenergiebedarf beträgt etwa 120 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea), der Endenergiebedarf beträgt etwa 95 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea). Bis zum Effizienzhaus-70-Niveau mit einem Primärenergiebedarf von gemittelt 96 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) und einem Endenergiebedarf von 68 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) werden die Werte um etwa zwei Drittel gegenüber den Gebäuden im Istzustand reduziert. Der Schritt zum fossil beheizten Effizienzhaus-55-Gebäude mit einem Primärenergiebedarf von 74 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) und einem Endenergiebedarf von 48 kWh/(m<sup>2</sup> Wohnflächea) bringt eine weitere deutliche Einsparung.

dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden.

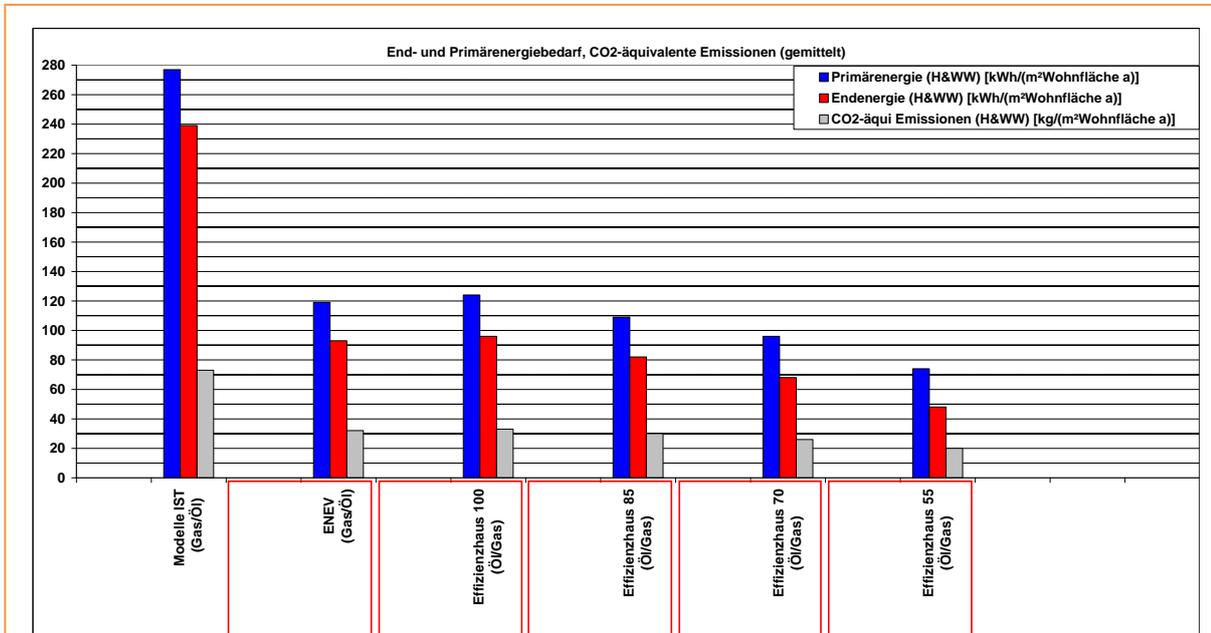


Abbildung 8: End- und Primärenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen für die einzelnen energetischen Standards der Modellgebäude (gemittelt), nach (13).

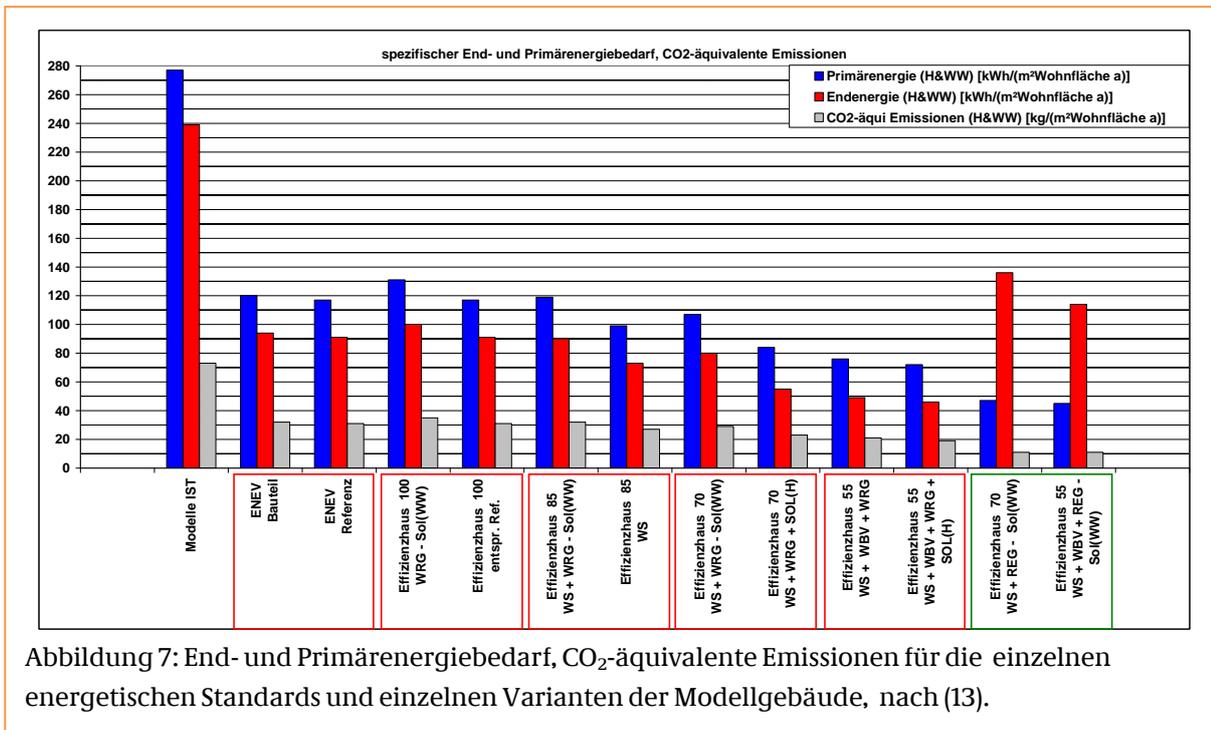


Abbildung 7: End- und Primärenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen für die einzelnen energetischen Standards und einzelnen Varianten der Modellgebäude, nach (13).

## 4 Kostendefinition und -auswertung.

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die Vollkosten und energieeffizienzbedingten Mehrkosten für die verschiedenen Varianten. Diese Kosten sind in den Hausdatenblättern im Anhang zusammenfassend dargestellt.

### 4.1 Datenbasis – systematische Auswertung abgerechneter Projekte.

Die Studie orientiert sich in Bezug auf die berechneten Gebäude möglichst weitgehend an den Angaben der Teilnehmer aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“. Im Einzelnen nachvollziehbare und ausreichend differenzierte Kostenfeststellungen zu den geförderten Maßnahmen sind jedoch in der dena-Datenbank nicht vollständig enthalten. Die Investitionskosten wurden daher aus einem aktuellen Forschungsvorhaben des BBSR übernommen, in dem Vollkosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten energiesparender Maßnahmen in der energetischen Wohngebäudesanierung auf Basis entsprechender Kostenfeststellungen systematisch ermittelt wurden (5). Tabelle 5 zeigt beispielhaft die Vollkosten und energieeffizienzbedingten Mehrkosten verschiedener Maßnahmen zur energetischen Modernisierung im Wohngebäudebestand.

Beispiel	äquiv. Dämmdicke [cm]	Vollkosten [€/m <sup>2</sup> Bauteil]	energiebedingte Mehrkosten [€/m <sup>2</sup> Bauteil]	
Außenwand WDVS (PS & MF)	15	124	51	
Kellerdecke, Dämmung von unten, mit Bekleidung	8	52	52	
Steildach Anm: 19 cm äquiv. = 14 cm Zwischen + 10 cm Aufsparrendämmung	19	224	42	
oberste Geschossdecke - begehbar	20	64	64	
oberste Geschossdecke - nicht begehbar	20	24	24	
	U <sub>w</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]			
2-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, Alu Randverbund	1,25 bis 1,30	290 bis 340		
3-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, "warme Kante"	0,90 bis 1,00	340 bis 390	50	
	Wohnfläche je Gebäude [m <sup>2</sup> ]	Vollkosten [€/m <sup>2</sup> Wohnfläche]	Vollkosten [€]	energiebedingte Mehrkosten [€]
Gas	144	54	7821	
Öl	144	64	9258	
Pellet	144	134	19313	11491
Solar (WW)	144	37	5333	5333
Gas/Öl & Solar (WW)	144	92	13222	5400
Pellet & Solar (WW)	144	158	22784	14963
Solar (WW&H)	144	110	15838	15838
Gas/Öl & Solar (WW&H)	144	142	20469	12647
Pellet & Solar (WW&H)	144	182	26217	18396
Zum Vergleich: RLT mit WRG > 80 %, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m <sup>2</sup> )	144	51	7399	4861
Zum Vergleich: Abluft, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m <sup>2</sup> )	144	18	2538	

Tabelle 4: Beispiel: Kosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten (brutto) für energiesparende Maßnahmen für ein Wohngebäude mit 144 m<sup>2</sup> Wohnfläche mit zwei Wohneinheiten.

## 4.2 Kostendefinition.

### 4.2.1 Vollkosten.

Als „Vollkosten“ werden im Folgenden alle Instandsetzungskosten einschließlich der Kosten für die energiesparenden Maßnahmen an der Gebäudehülle (Wärmedämmung/Fenster mit allen damit verbundenen Nebenkosten), eventuell erforderlicher zusätzlicher baulicher Aufwand, zusätzlicher Planungsaufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie die Kosten der energierelevanten Anlagentechnik (Heizung/Lüftung) bezeichnet.

#### Beispiel Außenwand – Wärmedämmverbundsystem (WDVS).

Vollkosten für ein Wärmedämmverbundsystem beziehen sich auf die Kosten einschließlich aller Systemkomponenten sowie auf alle relevanten Nebenarbeiten wie z. B. die Baustelleneinrichtung, die Kosten für die Demontage und Montage neuer Außenfensterbänke mit Antidröhnbändern und gegebenenfalls Dämmkeilen unter den Fensterbänken, dem Versetzen von Fall- und Standrohren und weiterer Spenglerarbeiten, die als Konsequenz aus der Maßnahme erforderlich werden könnten. Erfasst sind auch die Kosten für eventuell erforderliche Verlängerungen von Dachüberständen im Bereich Ortgang oder Traufe.

Berücksichtigt sind darüber hinaus Kosten zur Vermeidung von Wärmebrückeneffekten wie z. B. der eventuell erforderliche Abbruch von Gartenmauern, das Versetzen von Hoftoren, das Abschlagen von Fensteranschlagen, das Absägen von Betonüberständen, das Abstemmen von Vordächern oder die Demontage von Geländern, sofern diese Kosten anfallen.

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

Nicht enthalten sind die Kosten für das Gerüst und die oberseitige nachträgliche Dämmung von Böden auf Balkonen. Die Kosten für die Dämmung der Loggien sind dagegen in den Vollkosten enthalten.

### 4.2.2 Energieeffizienzbedingte Mehrkosten.

Energieeffizienzbedingte Mehrkosten entstehen aus zusätzlichen Aufwendungen für energiesparende Maßnahmen, die über eine ohnehin anstehende bauliche bzw. anlagentechnische Instandsetzung bzw. Modernisierung hinausgehen.

### **Beispiel Außenwand – Wärmedämmverbundsystem (WDVS).**

Kosten aus der ohnehin erforderlichen Instandsetzung entstehen aus Vorarbeiten wie dem Abdecken von Flächen, dem Abschlagen des Altputzes bzw. dem Reinigen der Fassade, dem Herstellen eines tragfähigen Untergrunds sowie eventuell erforderlicher Demontagen und Erneuerungen von einzelnen Elementen wie Außenleuchten, Steckdosen, Briefkästen, Klingelanlagen und Ähnlichem. Dazu kommen Kosten für Spenglerarbeiten für z. B. neue Fallrohre, Balkongeländer oder Fenstergitter. Zudem entstehen Kosten für den Grund- bzw. Armierungsputz sowie den Deckputz auf der Fassade und den Fensterleibungen mit allen Nebenarbeiten und Zulagen. Diese Maßnahmen und die damit verbundenen Kosten sind im Zuge einer umfassenden Instandsetzung der Fassade ohnehin erforderlich und weitgehend unabhängig von einer eventuell an diese Instandsetzung gekoppelten Modernisierung mit einem Wärmedämmverbundsystem. Diese Kosten zählen zu den Instandhaltungskosten.

Die energieeffizienzbedingten Mehrkosten resultieren aus den Sockelschienen, dem Dämmstoff, allen oben genannten Maßnahmen zur Verringerung von Wärmebrückeneffekten, der Verdübelung, eventuell erforderlicher Brandschutzausbildung, systemgerechten Fensterbänken sowie einer eventuell erforderlichen Vergrößerung von Dachüberständen und kleinerer Nebenarbeiten wie z. B. das Versetzen von Elektroanschlüssen. Diese Kosten werden im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen berücksichtigt und sind im Einzelnen in den Hausdatenblättern ausgewiesen.

#### **4.2.3 Sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen.**

Wir gehen in der Studie davon aus, dass sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen im Zuge einer aufwendigen Modernisierung ohnehin durchgeführt werden, und zwar nicht bedingt aus den Anforderungen der EnEV, sondern aus den Komfortansprüchen der heutigen Zeit. Damit können diese Kosten nicht ursächlich im Zusammenhang mit der EnEV diskutiert werden. Bei den Vollkosten sind daher die Kosten für sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen wie Aus- und Umbauten (Wohnflächenerweiterungen), neue Wohnungsgrundrisse, Sanitäreinrichtungen, Eingangsbereiche, Kellereinbauten, Außenanlagen, Elektroinstallationen innerhalb des Hauses oder ähnliches nicht enthalten, da sie in der Regel nicht primär energierelevant sind. Gleiches gilt auch für die Kosten aus dem nachträglichen Einbau eines zentralen Warmwasser- und Wärmeverteilsystems und von Heizkörpern.

Die Modellgebäude wurden mit einer Abluftanlage als Standardmaßnahme gerechnet. Diese resultiert aus zeitgemäßen Anforderungen an die Raumluftqualität. Die damit verbundenen Kosten sind in den Hausdatenblättern (Anhang 2) dargestellt und werden den Vollkosten der Maßnahmenpakete zugeordnet. Die Kosten für die Anlagen werden allerdings nicht als energierelevante Mehrkosten angesetzt und somit in den unten dargestellten Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht berücksichtigt.

### 4.3 Kostenauswertung.

#### 4.3.1 Vollkosten der ausgewerteten Effizienzhaus-Standards.

Die auf Basis der ausgewerteten Kostenfeststellungen ermittelten Vollkosten für die Modernisierung der Modellgebäude auf EnEV- bzw. Effizienzhaus-100-Standard betragen im Mittel ca.  $400 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  (vgl. Abbildung 10). Das Effizienzhaus-85-Niveau lässt sich im Mittel zu Kosten von  $430 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  erreichen. Der Effizienzhaus-70-Standard erfordert dagegen mit im Mittel ca.  $470 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  schon deutlich höhere Kosten. Bedingt durch den sehr guten baulichen Wärmeschutz und den hohen baulichen und planungstechnischen Aufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie die sehr hochwertige Ausführung im Detail erfordert im Mittel einen Aufwand von etwa  $540 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  für das Niveau eines (fossil) beheizten Effizienzhaus-55-Gebäudes.

Eine Ausnahme bilden die mit Biomasse beheizten Gebäude: Durch die sehr günstigen Primärenergiekennwerte der regenerativen Energieträger werden die primärenergieseitigen Anforderungen der verschiedenen Niveaus leicht erfüllt. Dadurch kann der Aufwand zur Verbesserung des Wärmeschutzes etwas reduziert werden. Darüber hinaus kann zur Erreichung eines vergleichbaren Effizienzhausstandards auch auf die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung verzichtet werden. Allerdings erfordert die Heizanlage deutlich höhere Kosten im Vergleich zum fossil beheizten Gebäude. In der Summe ergeben sich dadurch ähnliche Vollkosten wie für die fossil beheizten Gebäude (vgl. Abbildung 9) bei einem höheren Energiebedarf und damit auch zu erwartenden höheren Energiekosten.

Die Auswertung der Datensätze zeigt, dass das Effizienzhaus-55-Niveau im Vergleich zum Effizienzhaus-100-Niveau mit Mehrkosten von lediglich  $140 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  erreicht wird.

#### 4.3.2 Energieeffizienzbedingte Mehrkosten der Maßnahmenpakete.

Wie zuvor erläutert, sind unter Beachtung des Kopplungsprinzips die energieeffizienzbedingten Mehrkosten der Maßnahmenpakete im Vergleich zu den Vollkosten deutlich geringer: Für das Effizienzhaus-100-Niveau betragen die energieeffizienzbedingten Mehrkosten ca.  $115 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  und steigen bis zum Niveau des Effizienzhaus-55-Gebäudes überproportional auf ca.  $250 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  an (vgl. Abbildung 10). Dies erscheint vor dem Hintergrund des erhöhten Aufwands für diese hochwertigen Gebäude plausibel. Insgesamt ist der Anteil der energieeffizienzbedingten Mehrkosten jedoch gering. Dabei muss beachtet werden, dass die Berechnungen im Rahmen des Kopplungsprinzips unter folgenden Prämissen durchgeführt wurden:

- Die Kosten von etwa  $15 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  bis  $25 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  für dezentrale Abluftanlagen in Einfamilienhäusern werden zwar bei den Vollkosten berücksichtigt; diese Kosten werden jedoch nicht als energieeffizienzbedingte Mehrkosten berücksichtigt. Die Abluftanlage ist vielmehr eine Maßnahme zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität und dient nicht zur Energieeinsparung. Energieeffizienzbedingte Mehrkosten entstehen dagegen durch den Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

- Auch der Ersatz eines alten Niedertemperatur-Kessels durch einen neuen Brennwertkessel (verbessert) wird als Maßnahme angesehen, die im Zuge einer Modernisierung der Heizanlage ohnehin durchgeführt wird und somit keine energieeffizienzbedingten Mehrkosten verursacht. Mehrkosten im Vergleich zu einem Austausch mit einem Niedertemperatur-Kessel werden daher nicht berücksichtigt. Energieeffizienzbedingte Mehrkosten entstehen jedoch durch den Einsatz von Solaranlagen.
- Auch der Austausch vorhandener Fenster durch neue Standardfenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung ( $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ ) verursacht nach der vorliegenden Studie keine energieeffizienzbedingten Mehrkosten, weil nennenswert schlechtere Fenster praktisch am Markt nicht mehr angeboten werden. Energieeffizienzbedingte Mehrkosten entstehen allerdings beim Übergang auf hochwertigere Verglasungen (3-Scheiben) in konventionellen Rahmen bis hin zu passivhaustauglichen Fenstern.

	Vollkosten	Energieeffizienzbedingte Mehrkosten
Effizienzhaus 100	400	115
Effizienzhaus 55	540	250

Tabelle 5: Berechnete durchschnittliche Vollkosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten.

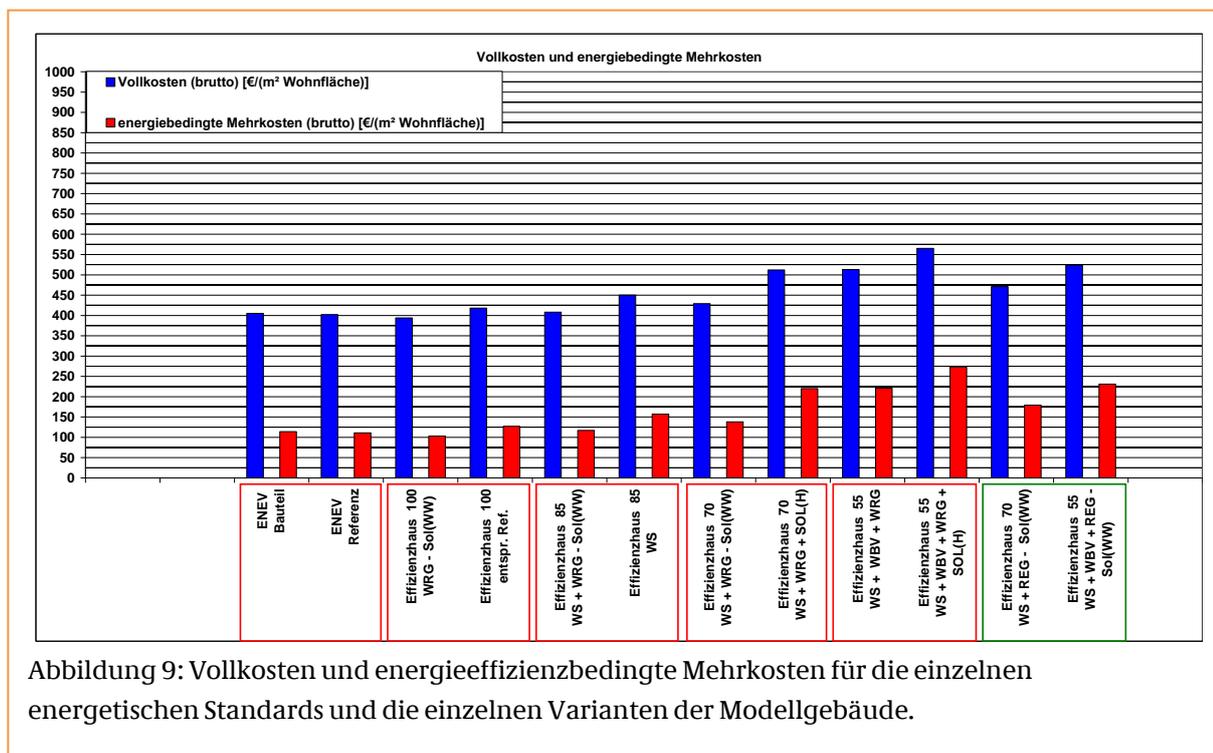


Abbildung 9: Vollkosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten für die einzelnen energetischen Standards und die einzelnen Varianten der Modellgebäude.

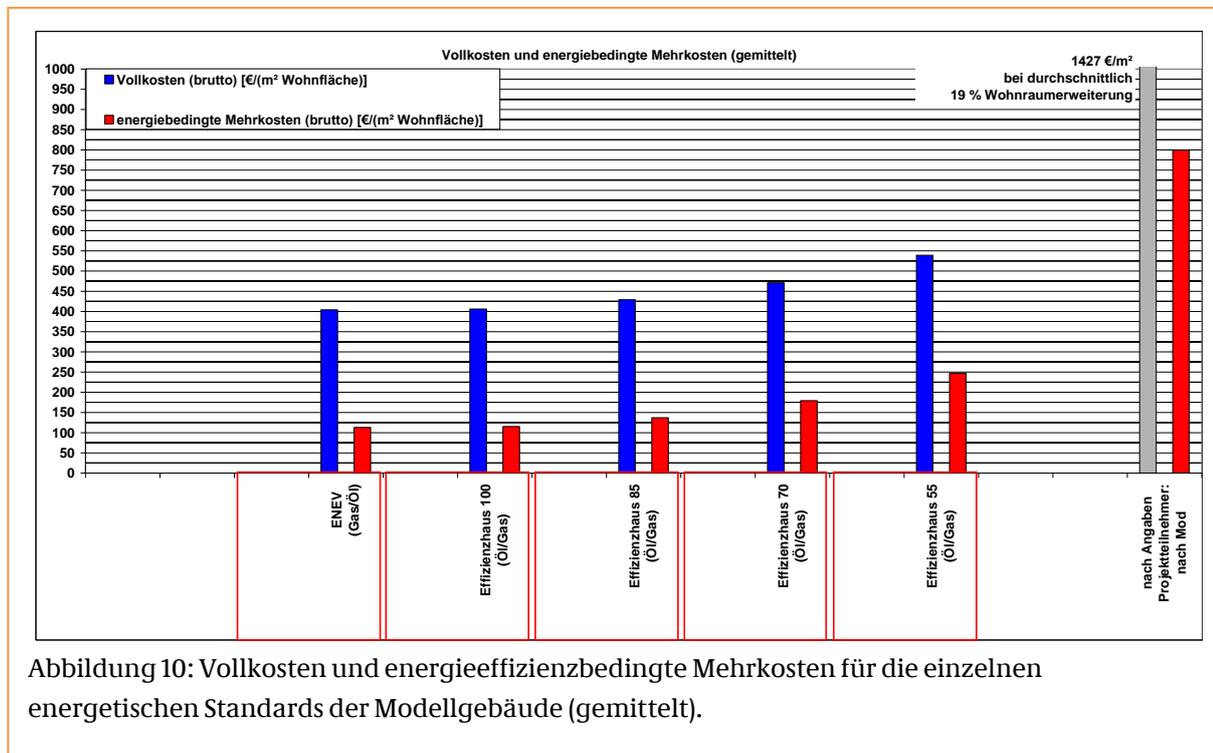


Abbildung 10: Vollkosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten für die einzelnen energetischen Standards der Modellgebäude (gemittelt).

#### 4.3.3 Abgleich mit den Angaben der Projektteilnehmer.

Auffällig im Vergleich zu den dargestellten Ergebnissen der Berechnungen sind die sehr hohen mittleren Gesamtbaukosten von im Mittel über 1400 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche und die energieeffizienzbedingten Mehrkosten von im Mittel 800 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche nach Angaben der Projektteilnehmer. Die Projektteilnehmer erreichen mit diesen Kosten in der Regel das Effizienzhaus-55-Niveau.

Nach den Auswertungen dieser Studie betragen die Vollkosten für das Effizienzhaus-55-Niveau dagegen weniger als 550 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Dies ist noch deutlich weniger als die von den Projektteilnehmern genannten energieeffizienzbedingten Mehrkosten von im Mittel 800 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Diese hohe Diskrepanz lässt sich qualitativ auf mehrere Ursachen zurückführen:

- Nach den Angaben der Projektteilnehmer wurde, bezogen auf die Wohnfläche vor Modernisierung, die Wohnfläche insgesamt um 19 Prozent erweitert. Das heißt, die Gebäude wurden deutlich ausgebaut. Es ist zu vermuten, dass die damit verbundenen Kosten den Vollkosten zugerechnet wurden.<sup>6</sup>
- Die Durchsicht der vorliegenden Kostenfeststellungen zu den im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Mehrfamilienhäusern (1) legt den Schluss nahe, dass

<sup>6</sup> Werden die Vollkosten auf die Wohnfläche nach Modernisierung bezogen, sinken die Vollkosten auf etwa 1200 €/m<sup>2</sup> und die energieeffizienzbedingten Mehrkosten auf etwa 700 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche nach Modernisierung.

allgemeine wohnwertverbessernde Maßnahmen zum Teil als energierelevant abgerechnet werden. Dies gilt prinzipiell auch für die Einfamilienhäuser.

- Die von den Projektteilnehmern genannten Vollkosten der energierelevanten Maßnahmen für unterschiedliche energetische Standards unterliegen einer sehr starken Streuung. Nach Auswertungen von InWis nimmt die Streuung umso mehr zu, je mehr der EnEV(2007)-Standard unterschritten wird. Die entsprechende Regressionsanalyse ergibt einen Determinationskoeffizienten von  $R^2 = 0,071$ , d. h. dass lediglich 7 Prozent der Beobachtungswerte durch die Regression erklärt werden können (siehe auch in (5)). Im Allgemeinen werden Determinationskoeffizienten in sozialwissenschaftlichen Forschungsprojekten von mindestens 0,2 als gerade noch ausreichend angesehen (3).
- Nicht zuletzt wurden in einzelnen Projekten bewusst zum Teil innovative Systeme und Technologien eingesetzt, um diese an der Schwelle der Markteinführung stehenden Lösungen weiter zu erproben und die Markteinführung zu unterstützen. Ziel war dabei nicht das möglichst kosteneffiziente Erreichen eines bestimmten energetischen Niveaus, sondern das Erproben neuer Techniken und Lösungen. So wurden einzelne Pilotprojekte genutzt, um verschiedene Wärmeschutzsysteme und Anlagentechniken zu testen und miteinander zu vergleichen, was teilweise zu verhältnismäßig hohen Kosten geführt hat. Andererseits konnten erhebliche Kostenreduktionen durch eine enge Zusammenarbeit mit Herstellern in den Projekten der Pilotphase erzielt werden, da die Hersteller Möglichkeiten sahen, eine Marktöffnung zu erreichen und dafür wichtige Referenzen aufzubauen. Außerdem erhofften sich die Hersteller eine Rückmeldung für die Produktentwicklung, die auf Erfahrungen aus dem Einsatz gestützt sind (9). Für die Projektteilnehmer bedeutet dies gegenüber der energetischen Modernisierung mit „Standardlösungen“ – wie sie Basis dieser Studie sind – in der Regel einen erheblich größeren Aufwand in Planung, Ausführung und auch in Bezug auf die Kosten der energiesparenden Maßnahmen.

Es sei aber an dieser Stelle nochmals betont, dass die im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Maßnahmen Modellcharakter haben. Der Aufwand der Projektteilnehmer und die damit verbundenen Kosten dürfen und müssen vernünftigerweise relativ hoch sein, weil teilweise neue Techniken und Konzepte umgesetzt worden sind und der Aufwand der Umsetzung bei am Markt noch nicht etablierten Maßnahmen in der Regel höher ist als die Umsetzung bereits in der Breite erprobter Maßnahmen.

Im Vergleich und in Abgrenzung zu dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ basieren die hier untersuchten Maßnahmenpakete auf weitestgehend erprobten Techniken, wobei Abluftanlagen, Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, Brennwertkessel und Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung als solche angesehen werden. Dazu zählt auch ein ingenieurmäßig vernünftig geplanter und ausgeführter baulicher Wärmeschutz mit einem verbleibenden Wärmebrückenverlust-Koeffizienten von  $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  nach Modernisierung. Dies gilt bis zum Effizienzhaus-70-Niveau. Derzeit noch unübliche Lösungen erfordert das Effizienzhaus-55-Niveau. Dieser erhöhte Aufwand ist allerdings in den Berechnungen berücksichtigt und zeigt sich auch in der Darstellung der Kosten.

## 5 Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Zur leichteren Interpretation werden in diesem Kapitel die Grundlagen der hier vorliegenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Detail dargestellt und abschließend in einer Tabelle zusammengefasst.

### 5.1 Mehrertragsansatz.

Bei den vorliegenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird der Mehrertragsansatz verwendet. Dabei wird der durch die Energiesparmaßnahmen erzielte Mehrertrag den Mehrkosten gegenübergestellt, die bei Anwendung des Kopplungsprinzips durch die zusätzlichen Energiesparmaßnahmen verursacht wurden. Bei den betrachteten sechs Modellgebäuden handelt es sich um selbst genutzte Wohngebäude. Aus Investorensicht besteht somit der Mehrertrag aus der resultierenden Energiekostensparnis nach der energetischen Modernisierung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude.

### 5.2 Allgemeine Grundlagen.

Bei Entscheidungen über die Wirtschaftlichkeit einzelner Investitionen spricht man in der Betriebswirtschaftslehre von einer sogenannten Wahlentscheidung. Sie beinhaltet die Bewertung von Investitionen anhand bestimmter vom Investor vorher festgelegter Kriterien (z. B. einer Mindestrendite) und den Vergleich von Investitionsalternativen. Zur Bewertung von Investitionen stellt die betriebswirtschaftliche Investitionstheorie eine Reihe von Verfahren zur Verfügung, die sich grundsätzlich in statische und dynamische Verfahren unterteilen lassen.

#### Statische Verfahren.

Zu den statischen Methoden der Investitionsrechnung zählen die Gewinn- und die Rentabilitätsvergleichsrechnung und die Kostenvergleichsrechnung. Ein häufig angewandtes statisches Verfahren ist das der „statischen Amortisationszeit“. Vorteile der statischen Verfahren bestehen in der einfachen Handhabung und im relativ geringen Informationsbedarf.

Statische Verfahren der Investitionsrechnung berücksichtigen die zeitliche Struktur der Zahlungen über den Betrachtungszeitraum nicht. Hierzu zählen neben den Betriebskosten für z. B. Lüftungsanlagen und gegebenenfalls den Erlösen aus z. B. einer Energiekosteneinsparung oder erhöhten Mieteinnahmen auch periodisierte Investitionszahlungen, die Zinsen auf das in der Investition durchschnittlich gebundene Kapital (Kapitaldienst), oder auch Zinseszinsseffekte u. a. m.

Vielmehr werden Kosten, die über einen langen Zeitraum mit jährlich unterschiedlichen Beträgen anfallen, ökonomisch gleich gewichtet. Gerade für Energiesparmaßnahmen im Gebäudebereich, bei denen die wirtschaftlichen Effekte über die gesamte Nutzungsdauer – i. d. Regel über Jahrzehnte – entstehen, führt dies zu einer erheblichen Verzerrung der Ergebnisse: Der Wert einer Anfangsinvestition wird systematisch

überschätzt, Energiekosteneinsparungen über den Betrachtungszeitraum werden systematisch unterschätzt.

Wendet man statische Methoden an, so kann man nur dann einigermaßen sicher sein, tatsächlich Alternativen zu vergleichen, wenn sich die Energiesparinvestitionen weder in ihrem Kapitaleinsatz (Investitionskosten), in ihren Energiekosteneffekten, noch in ihrer Nutzungsdauer voneinander unterscheiden. Dies wird in der Realität aber selten der Fall sein. Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Energiesparinvestition eignen sich statische Verfahren daher nicht.

Ein Beispiel:

- Eine Investition mit kurzer Amortisationszeit schneidet bei den statischen Verfahren grundsätzlich am besten ab. So mag die Nachrüstung eines einfach verglasten Fensters mit einer Folie eine Amortisationszeit von drei Jahren haben, der Ersatz durch ein neues Fenster dagegen 20 Jahre. Die Investitionsentscheidung ist somit eindeutig: Die Folie ist klar im Vorteil! Aber schon auf den ersten Blick erscheint dieses Ergebnis zumindest fragwürdig: Hält die Folie überhaupt drei Jahre? Und ist nicht über die Lebensdauer des Fensters die Energiekosteneinsparung durch den verbesserten Wärmeschutz deutlich größer als die Anfangsinvestition für das Fenster? Und ist über einen längeren Zeitraum betrachtet dieser mögliche Gewinn im Vergleich zur geringen Investition in die Folie (und deren periodische Erneuerung) bei nur geringer Energiekosteneinsparung nicht größer als bei dem Fenster?
- Diese zentrale Frage der ökonomischen Bewertung bleibt unbeantwortet, da die Amortisationszeit definitionsgemäß keine Aussage über den Gewinn, das eigentlich ökonomische Vergleichskriterium, trifft: Die Gewinnphase beginnt ja erst nach Ablauf der Amortisationszeit.
- Die Amortisationszeit kann aber auch länger sein als die Nutzungsdauer: Für unser Beispiel heißt dies: Die Folie zerreißt nach zwei Jahren. In diesem Fall ist die Investition nicht wirtschaftlich und das Ergebnis völlig irreführend. Das eingesetzte Kapital kann gar nicht zurückgezahlt werden, denn die Ersatzinvestition steht schon vor Ablauf der Amortisationszeit an. Die Investition ist also nicht mit einem Gewinn, sondern mit einem Verlust verbunden, der über die Amortisationszeit aber nicht ausgewiesen wird. Das Fenster mit 20 Jahren Amortisationszeit und einem möglichen Gewinn ist keine Alternative zu einer Maßnahme, die offensichtlich unwirtschaftlich ist.
- Die Höhe eines Gewinns oder eines Verlusts muss also bekannt sein, um Investitionsalternativen vergleichen zu können. Da dieser aber über die Amortisationszeit nicht ausgewiesen wird, ist das Verfahren prinzipiell ungeeignet, Investitionsalternativen zu vergleichen.

### **Dynamische Verfahren.**

Das wesentliche Merkmal von dynamischen Verfahren ist es, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Zahlungen mit Hilfe der Zinseszinsrechnung auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt ab- oder aufzudiskontieren. Somit haben Einnahmen und Ausgaben nicht nur über ihren Betrag, sondern auch über den Zeitpunkt des Cashflows einen Einfluss auf das Ergebnis. Dies ist der entscheidende Vorteil

gegenüber den statischen Verfahren. Zu den dynamischen Verfahren zählen die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode und die interne Zinsfußmethode. In dieser Studie wird sowohl auf die Kapitalwertmethode (5) als auch auf die Annuitätenmethode zurückgegriffen.

### 5.3 Kapitalwertmethode.

Um den Kapitalwert einer Investitionsalternative zu ermitteln, werden alle Zahlungen, die nach dem Investitionszeitpunkt anfallen, mit dem Kalkulationszinssatz abgezinst. Man erhält so den Barwert der Aus- und Einzahlungsreihen, von dem die Anfangsinvestition subtrahiert wird. Mit der Kapitalwertmethode wird geprüft, ob in einer Investition zumindest der gewählte Kalkulationszinssatz steckt und die Investition somit vorteilhaft ist (Kapitalwert  $> 0$  bei der Beurteilung einer Investition).

Die Investitionskosten werden für Bauteile und technische Anlagen aus den entsprechenden Kostenfunktionen ermittelt und sind in den Hausdatenblättern dokumentiert. Die Kapitalkosten ergeben sich aus den Investitionen abzüglich eventueller Zuschüsse und Förderungen, multipliziert mit dem entsprechenden Annuitätsfaktor. Als Kapitalzinssatz wird je nach Finanzierung der Zinssatz für Eigenkapital oder für Fremdkapital festgelegt. Bei Mischfinanzierung wird der gewichtete Mittelwert der Annuitäten gebildet. Der Betrachtungszeitraum ist die maximale Nutzungsdauer. Für Investitionen mit kürzerer Nutzungsdauer ist zu den Investitionskosten zum Anfangszeitpunkt der Barwert der Ersatzinvestition nach Ablauf der Nutzungsdauer zu addieren. Dieser hängt vom Kalkulationszins, der erwarteten Preissteigerung für die entsprechende Anlage sowie von der Nutzungsdauer und dem Betrachtungszeitraum ab. Die gesamten Investitionskosten einschließlich der späteren Ersatzinvestitionen können durch Multiplikation der anfänglichen Investitionskosten mit einem entsprechenden Faktor ( $> 1$ ) ermittelt werden.

#### Break-Even.

In dieser Studie wird für die einzelnen Varianten die Energiekostensparnis [ $\text{€}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{Mon})$ ] berechnet, die erforderlich ist, um unter Beachtung der ökonomischen Mindestanforderungen des Eigentümers die zusätzlichen energiesparenden Investitionen über den Betrachtungszeitraum gerade zu erwirtschaften. Untersucht wird also der „Break-Even“ für den Investor mit einem Kapitalwert gleich Null.

Die dazu erforderlichen Parameter wie energieeffizienzbedingte Mehrkosten, Finanzierungsbedingungen sowie Renditeerwartungen und Betrachtungszeiträume können verlässlich abgeschätzt werden. Vereinfachend werden dabei Ersatzinvestitionen nicht berücksichtigt.

Aus Sicht eines Selbstnutzers besteht der Mehrertrag aus der Energiekostensparnis nach der energetischen Modernisierung im Vergleich zu dem energetisch nicht modernisierten Gebäude [ $\text{€}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}\text{Mon})$ ]. Als Vergleichsmaßstab zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird in den Hausdatenblättern daher zusätzlich die zu erwartende Energiekosteneinsparung im Jahr der Maßnahme ausgewiesen. Ist diese Energiekostensparnis größer als der Break-Even, rechnen sich die zusätzlichen Maßnahmen bereits bei heutigen Energiepreisen.

Die aus der Break-Even-Anforderung erforderlichen Energiekosteneinsparungen für die untersuchten Einzelmaßnahmen sowie für die Maßnahmenpakete sind in den Hausdatenblättern im Anhang 2 im Einzelnen dokumentiert.

#### 5.4 Annuitätenmethode – Kosten der eingesparten kWh Endenergie.

Bei der Annuitätenmethode werden die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ ( $P_{\text{ein}}$ ) als Beurteilungskriterium verwendet. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie ergeben sich, indem man die annuitätischen Kosten  $K$  für die zusätzlichen energiesparenden Maßnahmen durch die jährliche Energieeinsparung dividiert:

$$P_{\text{ein}} = K / (E_{\text{Endenergieverbrauch vor Sanierung}} - E_{\text{Endenergieverbrauch nach Sanierung}}) \text{ [Cent/kWh]}$$

Die Kosten  $P_{\text{ein}}$  der eingesparten kWh Endenergie werden mit dem mittleren zukünftigen Preis  $P$  für den Bezug einer kWh Endenergie verglichen. Eine Energiesparmaßnahme kann unter den getroffenen Annahmen dann als wirtschaftlich bezeichnet werden, wenn die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie kleiner sind als die Kosten für den Bezug einer kWh Endenergie. Beim Kriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ ist dabei der über die gesamte Nutzungsdauer (z. B. eines Gebäudes) erwartete mittlere Energiepreis  $P$  entscheidungsrelevant.

Die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der zusätzlichen energiesparenden Investitionen über die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ hat mehrere Vorteile:

- Der Preis für die eingesparte kWh Endenergie kann unmittelbar mit dem tatsächlichen Energiepreis verglichen werden.
- In die Berechnung von  $P_{\text{ein}}$  gehen als Annahme über die zukünftige Entwicklung nur die Kapitalmarktzinsen und eventuelle Preissteigerungen für Zusatzkosten ein, aber nicht die relativ unsicher abzuschätzende Energiepreissteigerung. Dadurch ist die Unsicherheit über die Energiepreisentwicklung ausschließlich im mittleren zukünftigen Energiepreis enthalten. Dieser kann je nach Einschätzung variiert werden, ohne dass neue Berechnungen erforderlich sind.
- Mit dem Preis pro eingesparter kWh Endenergie als Beurteilungskriterium können nicht nur unterschiedliche Varianten einer Maßnahme (z. B. Dämmstoffdicken), sondern auch Alternativen aus völlig unterschiedlichen Bereichen (z. B. aus den Bereichen Dämmung und Versorgungstechnik) verglichen werden.

Das Beurteilungskriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ eignet sich insbesondere dann zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit einer Investition, wenn die Energiekosteneinsparungen vom Investor tatsächlich als Einnahmestrom realisiert werden können. Dies gilt vor allem im selbst genutzten Wohnungsbau. Das Kriterium erlaubt allerdings keine Aussage über die Rentabilität verschiedener Maßnahmen. Es zeigt jedoch, ob bestimmte Investitionen in energiesparende Maßnahmen vorteilhafter sind als der Bezug von Endenergie.

Sowohl die Kosten der eingesparten kWh Endenergie sowie als Vergleichswert der über den Betrachtungszeitraum mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie sind für die untersuchten Einzelmaßnahmen und Maßnahmenpakete in den Hausdatenblättern im Anhang dokumentiert.

## 5.5 Grenzen der ökonomischen Bewertung.

Die Frage, ob sich eine Investition „rechnet“, ist ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Beurteilung von energiesparenden Maßnahmen und stellt eine zentrale Frage bei der Investitionsentscheidung dar. Eine Fixierung auf rein ökonomische Kriterien ist jedoch bedenklich, da Grenzen bei Wirtschaftlichkeitsrechnungsverfahren beachtet werden müssen:

- Wirtschaftlichkeitsrechnungen können keine exakten Werte für zukünftige Kosten und künftige Nutzen von Investitionen liefern, da alle Aussagen mit Unsicherheiten behaftet sind (z. B. Festlegung Kalkulationszins, Energiepreise, Energiepreissteigerung, ...). Nur innerhalb einer gewissen „Bandbreite“ kann durch eine Wirtschaftlichkeitsrechnung überhaupt eine verlässliche Aussage getroffen werden.
- Die unterschiedlichen methodischen Ansätze zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit können zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Insbesondere entstehen durch unterschiedliche Nutzungsdauern der Investitionsalternativen und auch durch das Vernachlässigen von Ersatzinvestitionen bzw. Restwerten Verzerrungen beim Vergleich der verschiedenen Methoden.
- Häufig kann bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen keine Entscheidung zwischen unterschiedlichen Investitionsalternativen getroffen werden, da die Ergebnisse für verschiedene Alternativen oft so nah nebeneinander liegen, dass das Wirtschaftlichkeitskriterium allein keine vernünftige Entscheidung erlaubt. Insbesondere ist dies häufig bei der Bestimmung „optimaler“ Investitionskennwerte, z. B. der „optimalen Dämmstoffdicke“ der Fall: Das Kostenoptimum ist oft extrem flach ausgebildet. Angesichts der bei der Berechnung einfließenden Unsicherheiten gibt es einen ganzen Bereich „relativ optimaler“ Maßnahmen, unter denen nun eine Entscheidung nach anderen als wirtschaftlichen Kriterien vorzunehmen ist.
- Ästhetische Gesichtspunkte, die Finanzierbarkeit einer Modernisierung, aber auch Komfort- oder Repräsentationswünsche sowie eingespielte Abläufe beim Investor sind häufig entscheidende Kriterien bei Investitionsentscheidungen. Diese können jedoch nur schwer, u. U. überhaupt nicht in eine Wirtschaftlichkeitsberechnung eingearbeitet werden.

### Subjektive Kriterien.

Darüber hinaus gibt es „subjektive“ Kriterien, die neben der Wirtschaftlichkeit von großer Wichtigkeit sind:

- Komforterhöhungen (z. B. angenehmeres Raumklima, bequemere Bedienung), die sich meist nicht oder nur schwer finanziell quantifizieren lassen.
- Sicherheitspunkte (z. B. höhere Versorgungssicherheit durch höhere eigene Reserven an Energieträgern).

- Umweltkriterien (z. B. geringere Emission und damit Schutz der menschlichen Gesundheit und der betroffenen Ökosysteme).
- Wertsteigerungen (z. B. Erhalt und Konservierung von Bausubstanz, künstlerische Gestaltung).
- Soziale Auswirkungen (z. B. Verbesserung des Wohnumfelds, Schaffung von Vorbildern, die zur Nachahmung anregen).
- u. a. m.

### **Volkswirtschaftliche Kriterien.**

Unterwirft man verschiedene Investitionsalternativen volkswirtschaftlichen Kriterien, so müssen die Bewertungen nicht immer zu den gleichen Ergebnissen wie die betriebswirtschaftliche Untersuchung kommen. Z. B. ist bei betriebswirtschaftlicher Kostengleichheit zwischen einer Variante mit hohen Energiekosten (z. B. durch Bezug von Heizöl) und einer Variante mit hohen Kapitalkosten (z. B. durch Dämmung der Außenwand) bei gleicher Energiedienstleistung volkswirtschaftlich die letzte Alternative sehr viel wünschenswerter, da die entstehenden Kosten in diesem Fall vollständig der nationalen Wirtschaft zu Gute kommen, während sie im ersten Fall größtenteils für importierte Rohstoffe ausgegeben werden müssen. Gleichzeitig werden durch die Energieeinsparung die Kohlendioxid-Emissionen reduziert, sodass ökologische und volkswirtschaftliche Aspekte durchaus im Einklang miteinander stehen. Ein zusätzlicher positiver Effekt auf den Arbeitsmarkt entsteht darüber hinaus ebenfalls.

### **Fazit.**

*Letztlich stellen betriebswirtschaftliche Kostenrechnungen nur **ein** Kriterium bei der Entscheidung für eine (energetische) Modernisierung dar. Weitere finanziell nicht quantifizierbare Entscheidungsfaktoren wie Komforterrhöhung sowie volkswirtschaftliche und ökologische Kriterien müssen bei der Investitionsentscheidung im Einzelfall ebenfalls berücksichtigt werden.*

## 6 Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen.

Zum besseren Verständnis und zum leichteren Vergleich mit anderen Studien sind die wesentlichen Grundlagen und Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen für die im Folgenden dargestellten Ergebnisse einleitend zu diesem Kapitel in Tabelle 6 zusammengefasst.

### 6.1 Grundlagen und Rahmenbedingungen.

#### Modellgebäude

- Grundlage der Berechnungen sind sechs EFH-Modellgebäude aus sechs Baualtersklassen, die weitgehend aus den Angaben der Projektteilnehmer entwickelt wurden. Die Modellgebäude sind vor der Modernisierung zentral über einen Gas- bzw. Öl-Niedertemperaturkessel außerhalb der thermischen Hülle beheizt.

#### Energiebilanzen

- Die Berechnung erfolgt mit dem Leitfaden „Energiebewusste Gebäudeplanung“ (Heizperiodenverfahren, Randbedingungen in Anlehnung an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10). Das Verfahren weicht u. a. vor allem durch die Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Teilbeheizung des Gebäudes und dem Ansatz eines reduzierten Luftwechsels bei Fensterlüftung von den Annahmen der EnEV 2009 ab.

#### Energiekennwerte

- Aus den Energiebilanzberechnungen ergeben sich für die vollständig unsanierten Modellgebäude Endenergiekennwerte, die nach den Auswertungen zum „Heizspiegel“ im Übergangsbereich vom „erhöhten“ zum „zu hohen“ Endenergieverbrauch liegen. Nach der vollständigen Modernisierung auf KfW-Effizienzhaus-55-Niveau liegen die Endenergiekennwerte für Heizung und Warmwasser bei etwa  $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ Wohnfläche} \cdot \text{a})$ . Dies entspricht etwa auch dem Niveau der vorliegenden gemessenen Verbrauchswerte aus den im dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Projekten.

#### Vollkosten und energieeffizienzbedingte Mehrkosten

- Als „Vollkosten“ werden alle Kosten für die energiesparenden Maßnahmen an der Gebäudehülle (Wärmedämmung & Fenster mit allen damit verbundenen Nebenkosten), eventuell erforderlicher zusätzlicher baulicher Aufwand, zusätzlicher Planungsaufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie die Kosten der energierelevanten Anlagentechnik (Heizung und Lüftung) bezeichnet (KG300 und 400). Kosten für sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen sind nicht berücksichtigt. „Energieeffizienzbedingte Mehrkosten“ sind alle Kosten, die über eine reine bauliche oder anlagentechnische Instandsetzung hinausgehen.
- Vereinfachend werden keine Ersatzinvestitionen über den Betrachtungszeitraum oder Restwerte nach Ablauf des Betrachtungszeitraums berücksichtigt. Es wird zudem vereinfachend angenommen, dass sich aus den Maßnahmen keine zusätzlichen oder reduzierten Kosten für die laufende Instandhaltung gegenüber den unsanierten Gebäuden ergeben.<sup>7</sup>

<sup>7</sup> In der Studie werden sowohl evtl. entstehende Wartungskosten (beispielsweise für neu eingebaute Lüftungsanlagen) als auch für wegfallende Wartungskosten (beispielsweise für wegfallende Öl- oder Gaskessel) nicht berücksichtigt, damit die Komplexität der Berechnung begrenzt wird. Es wird davon ausgegangen, dass viele andere Faktoren eine größere Rolle spielen für die Kosten und Wirtschaftlichkeit einer Sanierungsmaßnahme, die pauschal gar nicht berücksichtigt werden können. So hat die Kostenauswertung gezeigt, dass viele Faktoren einen Einfluss auf die Preisbildung haben, die nicht im direkten Zusammenhang mit der Energieeffizienz der Maßnahme stehen müssen. So bestimmen z. B. Angebot und Nachfrage den Preis, die Qualität von Ausschreibungen kann die Kosten beeinflussen oder einfach die Vorliebe des Handwerkers für ein System oder gegen ein anderes, etc.

<b>Wirtschaftlichkeitsberechnungen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Bei den vorliegenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen wird der Mehrertragsansatz verwendet. Dabei wird der durch die Energiesparmaßnahmen erzielte Mehrertrag den energieeffizienzbedingten Mehrkosten gegenübergestellt, die durch die zusätzlichen Energiesparmaßnahmen verursacht wurden. Bei den betrachteten sechs Modellgebäuden handelt es sich um selbstgenutzte Wohngebäude: Aus Investorensicht besteht somit der Mehrertrag aus der resultierenden Energiekostensparnis nach der energetischen Modernisierung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Dynamische Verfahren</li> </ul>	Kapitalwertmethode und Annuitätenmethode
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aktueller Energiepreis (Gas / Öl / Pellet / Mittelwert Gas/Öl)</li> </ul>	6,00 / 7,00 / 4,70 / 6,66 Cent/kWh
<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiepreissteigerung</li> </ul>	2 / 3 / 4 Prozent/a (real)
<ul style="list-style-type: none"> <li>Betrachtungszeitraum</li> </ul>	25 Jahre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Kalkulationszins</li> </ul>	4,6 Prozent (real)
<ul style="list-style-type: none"> <li>aus: Weighted Average Cost of Capital</li> </ul>	20 Prozent Eigenkapital zu 3 Prozent - 80 Prozent Fremdkapital zu 5 Prozent

Tabelle 6: Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen.

## 6.2 Energiekosteneinsparung und erforderlicher Break-Even ohne Förderung.

Die zu erwartenden Energiekosteneinsparungen im Jahr der Maßnahme sowie der jeweilig erforderliche Break-Even zur Refinanzierung der Maßnahmen (ohne Förderung) sind detailliert in den Hausdatenblättern (Anlage 2) dargestellt. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse für die Maßnahmenpakete der einzelnen Varianten, Abbildung 12 stellt die fünf verschiedenen energetischen Standards gemittelt dar.

Wie Abbildung 12 zeigt, beträgt die zu erwartende Energiekostensparnis für die Variante EnEV (d. h. Einhaltung der bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV, Anlage 3, Tabelle 1 sowie zusätzlich neue BW-Heizanlage mit solar unterstützter Warmwasserbereitung und Abluftanlage) im Jahr der Maßnahme durchschnittlich  $0,82 \text{ €}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \text{ Monat})$  – bei heutigen Energiepreisen von 6,0 Cent/kWh für Erdgas und 7 Cent/kWh für Heizöl. Unter der Annahme einer Energiepreissteigerung von 2 Prozent/a (real) über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren resultiert eine mittlere Energiekostensparnis von  $1,02 \text{ €}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \text{ Monat})$ . Die erforderliche Break-Even-Energiekosteneinsparung beträgt lediglich  $0,58 \text{ €}/(\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}} \text{ Monat})$ .

Wie Abbildung 12 weiter zeigt, liegen die erforderlichen Break-Even-Einsparungen bei heutigen Energiepreisen für alle Varianten unter der zu erwartenden Energiekostensparnis außer bei der Effizienzhaus 55-Variante. Aus Sicht der Selbstnutzer erscheint die energetische Modernisierung entsprechend den Mindestanforderungen der bauteilbezogenen Anforderungen der EnEV nach Anlage 3, Tabelle 1 im Vergleich zu den anderen Standards somit sehr vorteilhaft: Der erforderliche Break-Even ist deutlich niedriger als die zu erwartende Energiekosteneinsparung und somit mit scheinbar geringem Risiko realisierbar. Die Maßnahmen sind gut darstellbar, weil bereits durch diese Mindestanforderungen der EnEV,

Anlage 3, Tabelle 1 (in Verbindung mit einer neuen Heizanlage/Abfuftanlage) im Vergleich zu unsanierten Gebäuden der Primär- und Endenergiebedarf sowie die CO<sub>2</sub>-äquivalenten Emissionen um über 60 Prozent reduziert werden (vgl. Abbildung 7). Zudem sind die damit verbundenen Maßnahmen auf der Baustelle sehr einfach umzusetzen.

Jede weitere Erhöhung des Effizienzstandards führt dazu, dass die Differenz zwischen dem Break-Even und der zu erwartenden Energiekosteneinsparung immer geringer wird. Beim Effizienzhaus 55-Standard ist schließlich der Break-Even mit 1,27 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche Monat) auf Grund der überproportional gestiegenen energieeffizienzbedingten Mehrkosten bei heutigen Energiepreisen nicht mehr durch die zu erwartende Energiekosteneinsparung von 1,06 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche Monat) auszugleichen. Wird aber eine moderate Energiepreissteigerung von lediglich 2 Prozent/a real angenommen, beträgt die Energiekostensparnis 1,33 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche Monat) und entspricht somit etwa dem Break-Even.

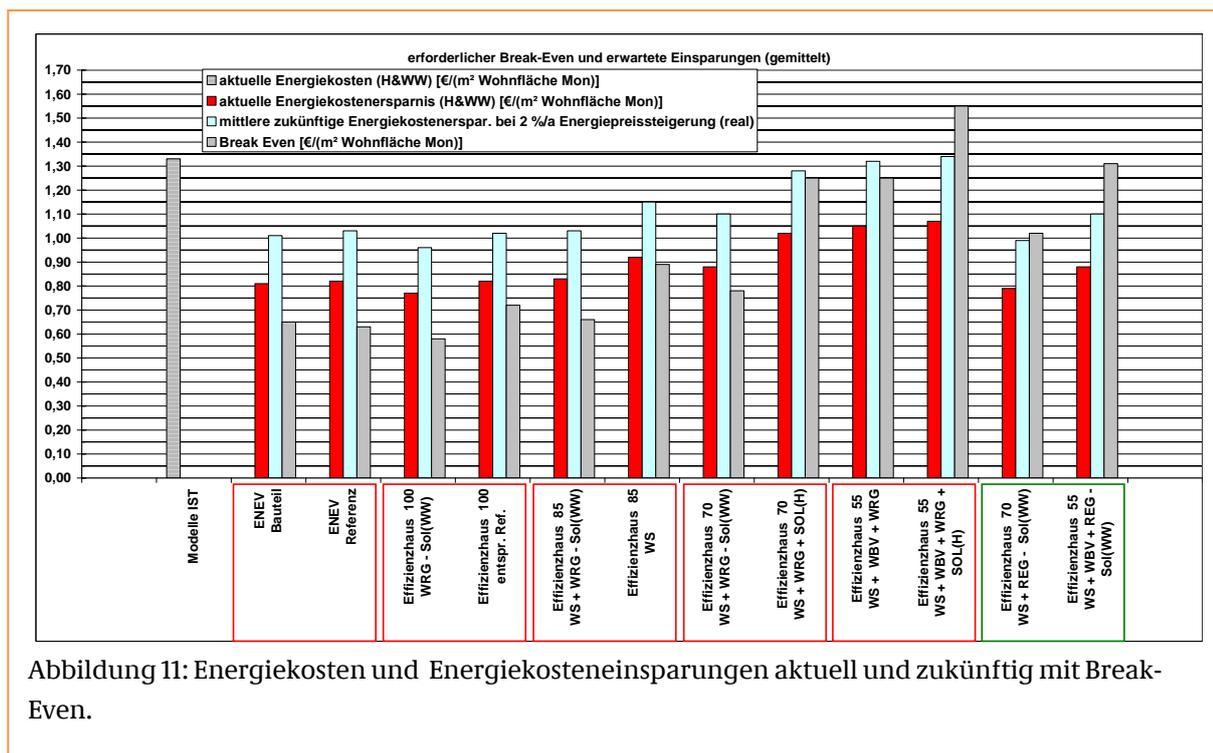


Abbildung 11: Energiekosten und Energiekosteneinsparungen aktuell und zukünftig mit Break-Even.

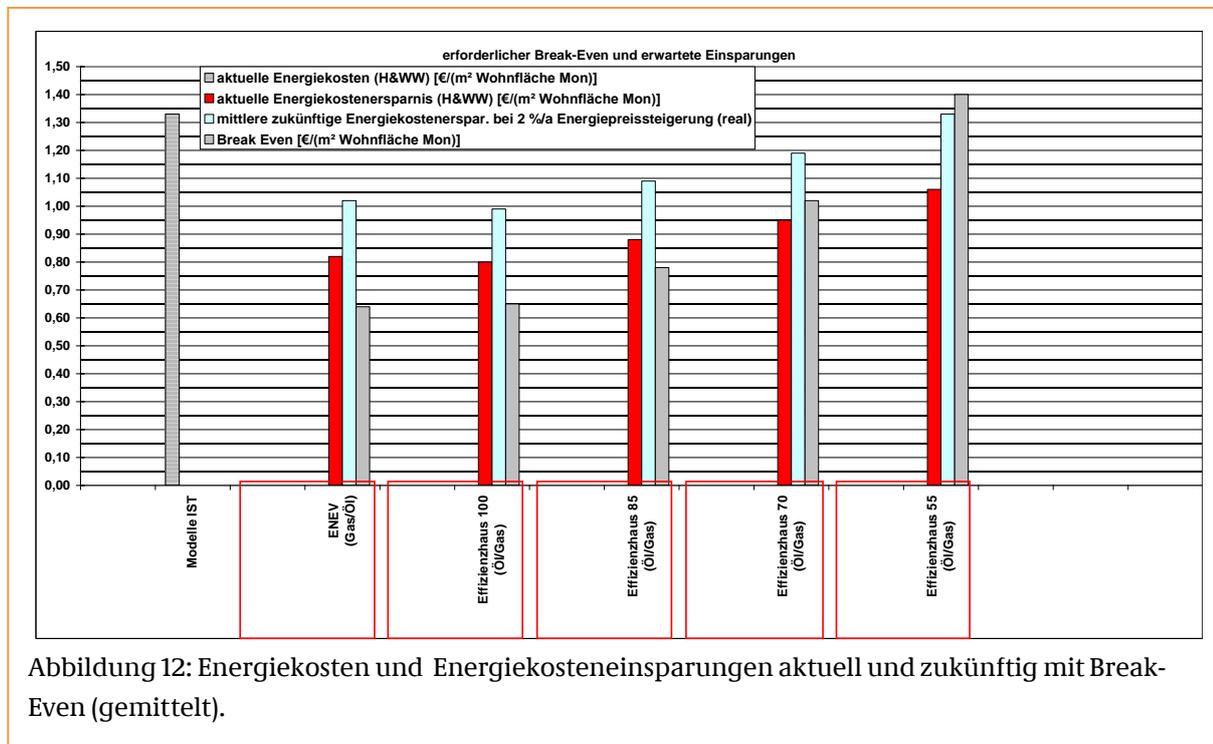


Abbildung 12: Energiekosten und Energiekosteneinsparungen aktuell und zukünftig mit Break-Even (gemittelt).

### 6.3 Kosten der eingesparten kWh Endenergie.

In Abbildung 13 sind die Kosten der eingesparten kWh Endenergie sowie als Vergleichskriterium die Kosten für den Bezug einer kWh Endenergie für die Maßnahmenpakete dargestellt. In Abbildung 14 sind die entsprechenden Werte gemittelt dokumentiert.

Für die vier gasversorgten und zwei ölbeheizten Gebäude ergibt sich im Mittel ein aktueller Energiepreis von 6,66 Cent/kWh. Sowohl die Mindestanforderungen der EnEV 2009 (d. h. Einhaltung der bauteilbezogenen Mindestanforderungen nach EnEV, Anlage 3, Tabelle 1 sowie zusätzlich neue BW-Heizanlage mit solarunterstützter Warmwasserbereitung und Abluftanlage) als auch der KfW-Effizienzhaus-100-Standard kann zu Kosten von ca. 5,5 Cent/kWh realisiert werden. Für den KfW-Effizienzhaus-85-Standard steigen die Kosten auf etwa 6,0 Cent/kWh.

Die Kosten für den KfW-Effizienzhaus-70-Standard betragen etwa 7,1 Cent/kWh und liegen somit nur wenig über den heutigen Kosten für den Bezug einer kWh Endenergie von 6,66 Cent/kWh. Bei heutigen Energiepreisen erscheint dieser Standard damit als nicht vorteilhaft. Geht man jedoch von 2 Prozent/a Energiepreissteigerung (real) aus, dann beträgt der mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie ca. 8,3 Cent/kWh. Unter Annahme dieser moderaten Energiepreissteigerung ist der Bezug einer kWh somit teurer als die Investition in den verbesserten energetischen Standard. Die energetische Modernisierung erscheint vorteilhaft.

Die Kosten für den KfW-Effizienzhaus-55-Standard betragen etwa 8,9 Cent/kWh und liegen somit deutlich über den heutigen Kosten für den Bezug einer kWh Endenergie. Geht man von 3 Prozent/a Energiepreiserhöhung (real) aus, dann beträgt der mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie ca. 9,4 Cent/kWh. Unter Annahme dieser Energiepreiserhöhung ist der Bezug einer kWh somit teurer als die Investition in den verbesserten energetischen Standard. Die energetische Modernisierung erscheint bei Annahme dieser Energiepreiserhöhung vorteilhaft.

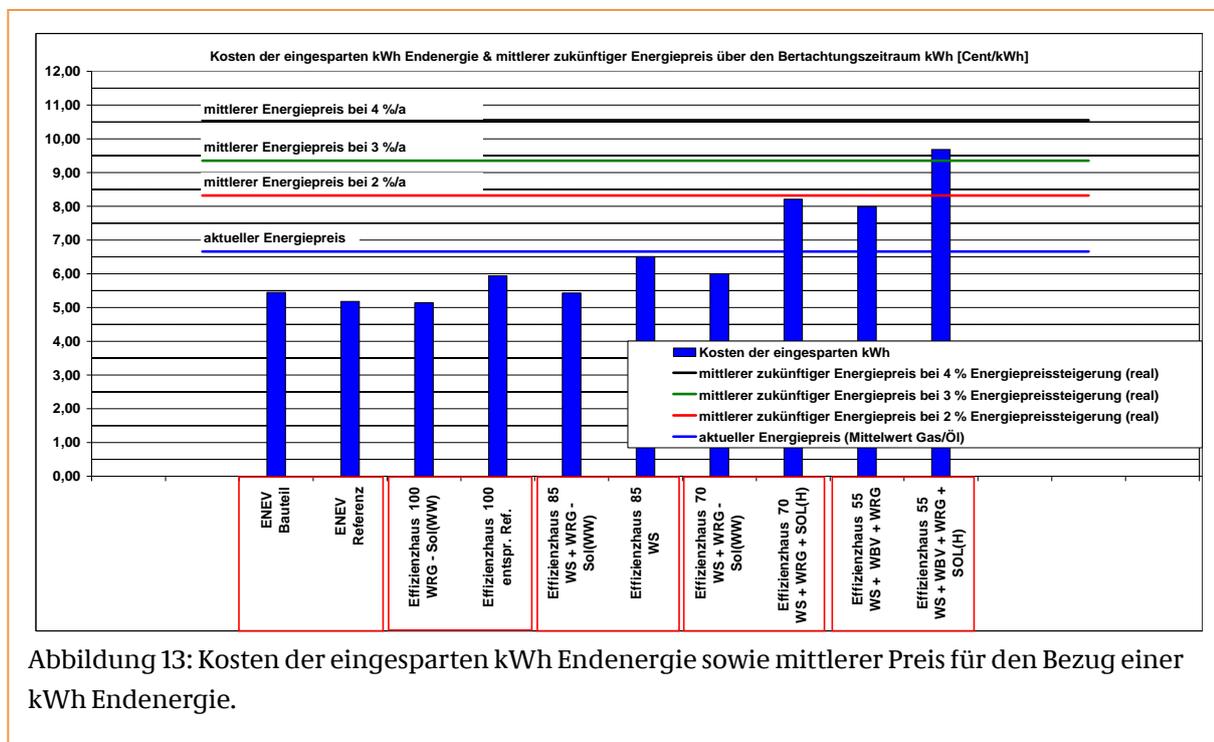
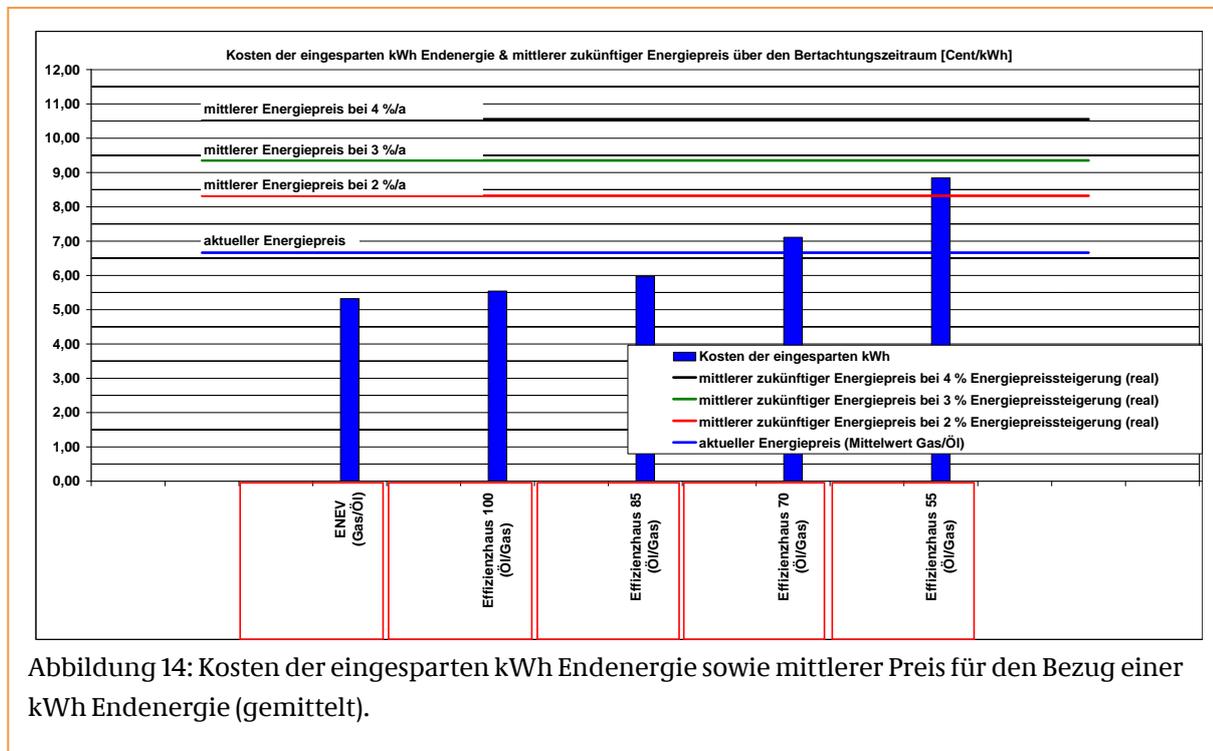


Abbildung 13: Kosten der eingesparten kWh Endenergie sowie mittlerer Preis für den Bezug einer kWh Endenergie.



#### 6.4 Kosten und Refinanzierung der energieeinsparenden Maßnahmen mit Förderung.

Die Ergebnisse der Berechnungen unter Berücksichtigung einer Förderung sind in den Abbildungen 15 und 16 wiederum aus Gründen der Übersichtlichkeit gemittelt dargestellt. Die Abbildungen zeigen die Vollkosten der energiesparenden Maßnahmen für die jeweiligen energetischen Standards, die über die Energiekostensparnis, über eine mögliche Förderung und aus Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsrücklagen refinanziert werden müssen.

##### Vollkosten.

Die Vollkosten für die Modernisierung der Gebäude auf Effizienzhaus-100-Standard betragen 400 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche (Abbildungen 15 und 16). Bedingt durch den sehr guten baulichen Wärmeschutz und den zusätzlichen Aufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken sowie die sehr hochwertige Ausführung im Detail erfordert das Niveau eines (fossil) beheizten Effizienzhaus-55-Gebäudes einen deutlich höheren Aufwand von 540 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Kosten steigen somit um 140 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche (vgl. auch Abbildung 10).

### Barwert der eingesparten Energiekosten.

Der Barwert der eingesparten Energiekosten errechnet sich aus den jährlichen Einsparungen über den Betrachtungszeitraum unter Beachtung einer durchschnittlichen Energiepreissteigerung im Vergleich zum energetisch nicht modernisierten Gebäude.

#### ▪ Bei heutigen Energiepreisen.

In Abbildung 15 ist eine jährliche Energiepreissteigerung von 0 Prozent (real) angenommen. Der Barwert der eingesparten Energiekosten beträgt beim Effizienzhaus-100-Standard  $140 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  und steigt beim (fossil) beheizten Effizienzhaus-55-Gebäude auf  $188 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  an.

#### ▪ Bei einer Energiepreissteigerung von 2 Prozent/a real.

In Abbildung 16 ist eine jährliche Energiepreissteigerung von 2 Prozent (real) angenommen. Der Barwert der eingesparten Energiekosten beträgt beim Effizienzhaus-100-Standard  $176 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  und steigt beim (fossil) beheizten Effizienzhaus-55-Gebäude auf  $235 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  an.

### Barwert der KfW-Förderung.

Es wird unterstellt, dass die hier untersuchten Varianten mit einem Effizienzhaus-Kredit aus dem Programm „Energieeffizient Sanieren“ gefördert werden können. Hinsichtlich des Kredits wurden aktuelle Konditionen (Stand: November 2010: Zinssatz 2,68 Prozent, Laufzeit 20 Jahre, 3 tilgungsfreie Anlaufjahre, Zinsbindungsfrist 10 Jahre) angenommen. Für die Variante Effizienzhaus 100 wird zusätzlich ein Tilgungszuschuss von 5,0 Prozent des Zusagebetrags, d. h. auf die energieeffizienzbedingten Vollkosten, gewährt (KfW-Effizienzhaus 100, Bezug: EnEV 2009). Für die Variante Effizienzhaus 85 wird ein Tilgungszuschuss von 7,5 Prozent des Zusagebetrags gewährt (KfW-Effizienzhaus 85, Bezug: EnEV 2009). Für die Varianten Effizienzhaus 70 und Effizienzhaus 55 wird ein Tilgungszuschuss von 10,0 bzw. 12,5 Prozent des Zusagebetrags gewährt.

Um die Förderung zu bewerten, wird jeweils der Barwert der Zinsverbilligung einschließlich des Tilgungszuschusses berechnet. Der Barwert des Förderkredits entspricht damit einem (fiktiven) direkten Zuschuss zu Beginn des Betrachtungszeitraums. Neben den Konditionen der KfW-Kredite beeinflussen der Zinssatz eines alternativen Hypothekendarlehens ohne Zinsverbilligung (Kalkulationszinssatz) sowie der angenommene Zinssatz nach Ende der Zinsbindung die Höhe des Barwerts des Förderkredits. Im vorliegenden Fall wird angenommen, dass ein alternatives Hypothekendarlehen zu einem Zinssatz von 4,6 Prozent aufgenommen werden kann. Nach Ablauf der Zinsbindung von 10 Jahren wird das KfW-Darlehen ebenfalls mit 4,6 Prozent verzinst.

Wie in den Abbildungen 15 und 16 dargestellt, beträgt der Barwert der KfW-Förderung je nach Förderstandard  $175 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  bis  $240 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ .

## Refinanzierungslücke.

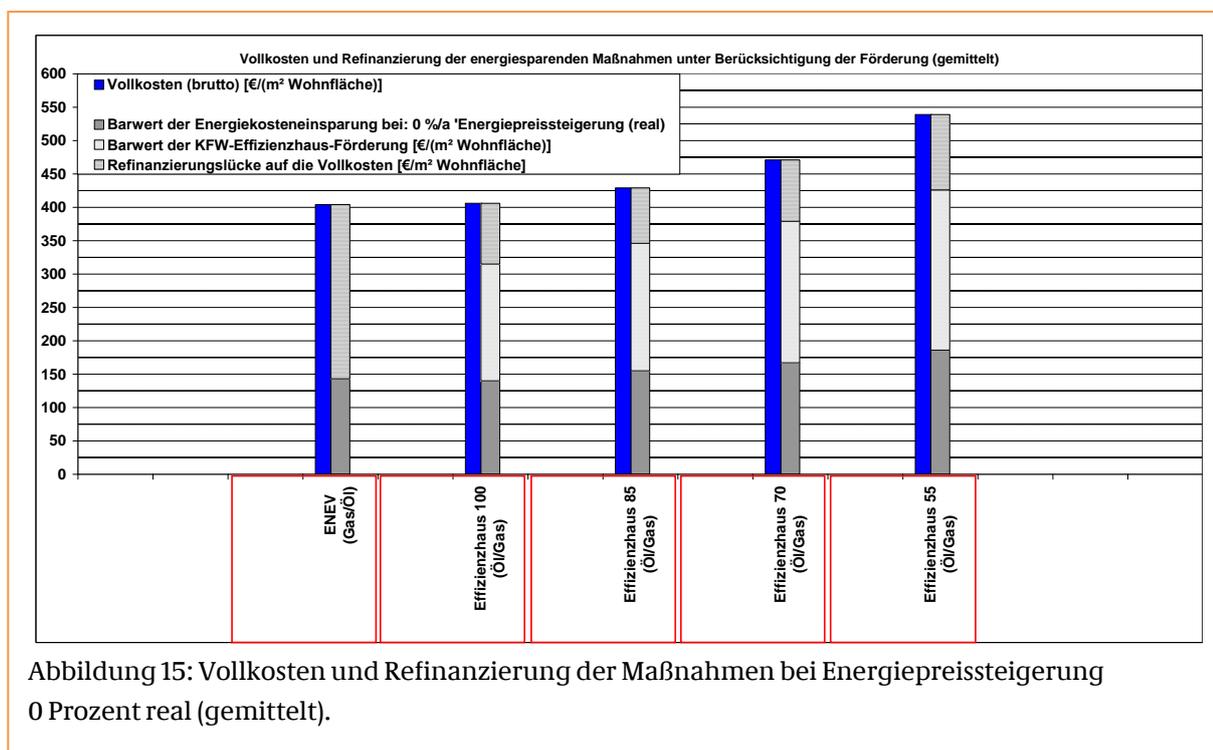
Bei jedem energetischen Standard verbleibt eine Refinanzierungslücke zur Refinanzierung der Vollkosten, die aus Rücklagen des Investors gedeckt werden muss.

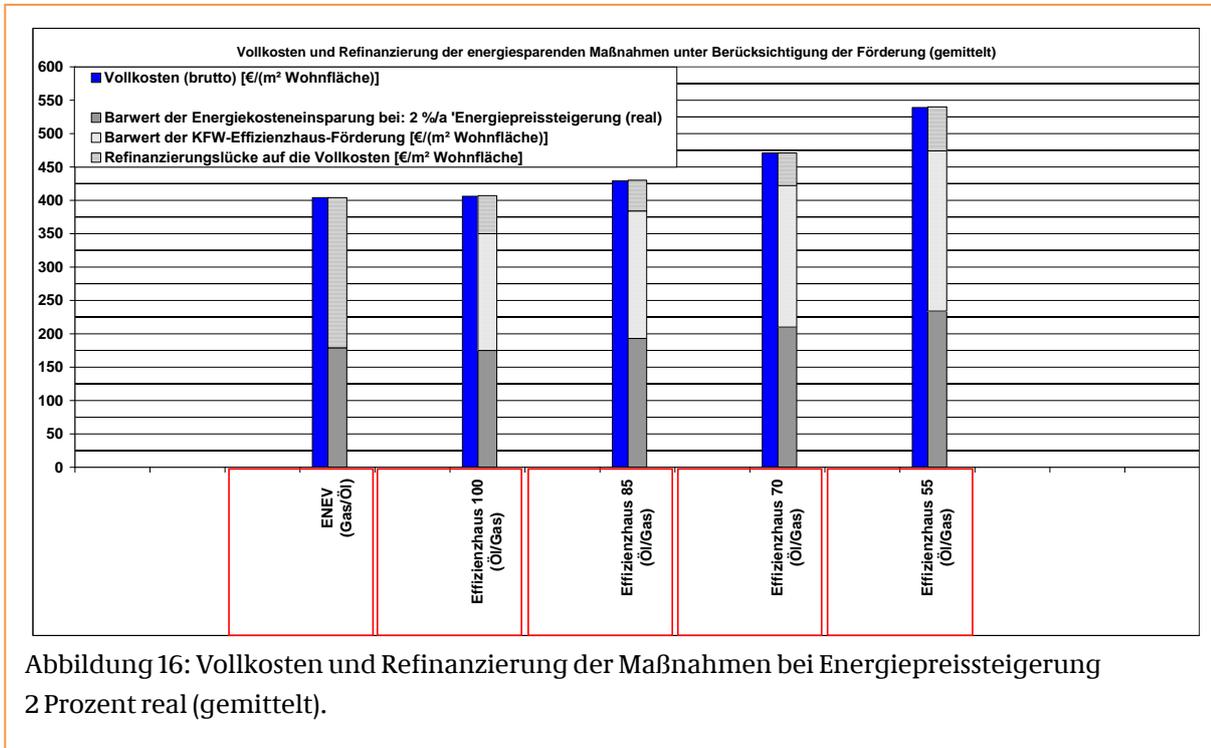
### ▪ Bei heutigen Energiepreisen.

Unter Annahme konstanter Energiepreise und unter Berücksichtigung der KfW-Förderung liegt die Refinanzierungslücke zwischen  $83 \text{ €/m}^2 \text{ Wohnfläche}$  und  $114 \text{ €/m}^2 \text{ Wohnfläche}$ . Ohne die Förderung der KfW beträgt die Refinanzierungslücke für den EnEV-Standard dagegen  $260 \text{ €/m}^2 \text{ Wohnfläche}$  und entspricht damit etwa  $2/3$  der Vollkosten (Abbildung 15).

### ▪ Bei einer Energiepreissteigerung von 2 Prozent/a real.

Unter Annahme einer jährlichen Energiepreissteigerung von 2 Prozent (real) und unter Berücksichtigung der KfW-Förderung beträgt die verbleibende Refinanzierungslücke etwa  $44 \text{ €/m}^2 \text{ Wohnfläche}$  bis maximal  $64 \text{ €/m}^2 \text{ Wohnfläche}$  und somit weniger als 10 Prozent der Vollkosten. Aus der Energiekostensparnis und der KfW-Förderung werden somit die Vollkosten der energiesparenden Maßnahmen (d. h. inkl. der ohnehin anstehenden Instandsetzungskosten!) zu einem großen Teil refinanziert. Ohne die Förderung der KfW beträgt die Refinanzierungslücke für den EnEV-Standard dagegen  $224 \text{ €/m}^2 \text{ Wohnfläche}$  und entspricht damit mehr als 50 Prozent der Vollkosten (Abbildung 16).





## 7 Anlagen.

### Anlage 1 – Tabellenblätter.

Die Tabellenblätter beschreiben für jedes einzelne Modellgebäude die Art der Wärmeversorgung, die U-Werte und den Primär- sowie Endenergiebedarf im Istzustand vor der energetischen Modernisierung sowie für die verschiedenen in der Studie untersuchten energetischen Standards mit den erforderlichen Maßnahmen. Die Tabellenblätter ermöglichen damit – unabhängig von den Kosten – eine schnelle Abschätzung bezüglich der Maßnahmen, die erforderlich sind, um bestimmte energetische (Förder-) Standards zu erreichen.

In dieser Studie wird ein Auszug der Tabellenblätter veröffentlicht. Der gesamte Datensatz wird im Rahmen des **dena-Planungshandbuchs** in 2012 veröffentlicht.



*Niedrigenergiehaus im Bestand* - Modernisierungsvarianten															
Wohnfläche: 144 m <sup>2</sup> Vollgeschosse: 2 Wohneinheiten: 1 Baualterklasse: 1969 - 1978 Zuordnung Gebäudetyp: Deutschland: EFH		Die Untersuchung wurde vom Institut Wohnen und Umwelt durchgeführt. Für die auf DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 basierende Berechnung wurde die Software EnEV-XL verwendet. In den Beispielen wurde generell mit einer spezifischen Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs von 0,035 W/(mK) gerechnet. Die Musterberechnungen ersetzen keine individuelle Planung.													
		IST	ENEV 140	ENEV Bauteil	Referenzgebäude	Effizienzhaus 100		Effizienzhaus 85		Effizienzhaus 70		Effizienzhaus 55		Pellet 70	Pellet 55
		-	-	-	-	Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 2	Variante 1	Variante 1
Heizung / Warmwasser	Niedertemperaturkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Brennwertkessel (Öl)	Pelletkessel	Pelletkessel
Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung	-	-	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	-	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	-	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	-	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	-	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	vorhanden, Deckungsanteil: 54 %	-	-
Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Raumheizung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	vorhanden, Deckungsanteil: 10 %	-	vorhanden, Deckungsanteil: 10 %	-	-
Lüftung	-	-	Abluft DC	Abluft DC	WRG DC 80 %	Abluft DC	WRG DC 80 %	Abluft DC	WRG DC 80 %	Abluft DC	Abluft DC				
Fenster	Uw = 2,7 W/(m <sup>2</sup> K) Isolier	Uw = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K) 2-Scheiben-Verglasung	Uw = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K) 2-Scheiben-Verglasung	Uw = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K) 2-Scheiben-Verglasung	Uw = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K) 2-Scheiben-Verglasung	Uw = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K) 2-Scheiben-Verglasung	Uw = 1,3 W/(m <sup>2</sup> K) 2-Scheiben-Verglasung	Uw = 1 W/(m <sup>2</sup> K) 3-Scheiben-Verglasung							
Außenwand	U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,38 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 6 cm	U = 0,24 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 11 cm	U = 0,28 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 9 cm	U = 0,31 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 8 cm	U = 0,2 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 14 cm	U = 0,27 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 10 cm	U = 0,17 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm	U = 0,2 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 14 cm	U = 0,2 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 14 cm	U = 0,17 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm	U = 0,17 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm	U = 0,17 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm	U = 0,19 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 15 cm	U = 0,17 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm
Steildach	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oberste Geschoßdecke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
oberste Geschossdecke	U = 0,9 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,29 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 8 cm	U = 0,24 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 11 cm	U = 0,2 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 13 cm	U = 0,25 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 10 cm	U = 0,17 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 16 cm	U = 0,19 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 14 cm	U = 0,15 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 20 cm	U = 0,16 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm	U = 0,16 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 18 cm	U = 0,12 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 25 cm	U = 0,12 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 25 cm	U = 0,18 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 15 cm	U = 0,12 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 25 cm	
Kellerdecke	U = 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,51 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 4 cm	U = 0,3 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 9 cm	U = 0,35 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 7 cm	U = 0,51 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 4 cm	U = 0,39 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 6 cm	U = 0,39 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 6 cm	U = 0,32 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 8 cm	U = 0,39 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 6 cm	U = 0,39 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 6 cm	U = 0,35 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 7 cm	U = 0,35 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 7 cm	U = 0,39 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 6 cm	U = 0,35 W/(m <sup>2</sup> K) Dämmung: 7 cm	
Wärmebrückenverlustkoeffizient	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,03 W/(m <sup>2</sup> K)	0,03 W/(m <sup>2</sup> K)	0,05 W/(m <sup>2</sup> K)	0,03 W/(m <sup>2</sup> K)
spezifischen Transmissionswärmeverluste H <sub>T</sub> nach EnEV bezogen auf die m <sup>2</sup> Hüllfläche	1,37 W/(m <sup>2</sup> K)	0,45 W/(m <sup>2</sup> K)	0,35 W/(m <sup>2</sup> K)	0,37 W/(m <sup>2</sup> K)	0,42 W/(m <sup>2</sup> K)	0,34 W/(m <sup>2</sup> K)	0,37 W/(m <sup>2</sup> K)	0,28 W/(m <sup>2</sup> K)	0,31 W/(m <sup>2</sup> K)	0,31 W/(m <sup>2</sup> K)	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	0,31 W/(m <sup>2</sup> K)	0,26 W/(m <sup>2</sup> K)	
Primärenergiebedarf Q <sub>p</sub> nach EnEV bezogen auf die m <sup>2</sup> AN	148 kWh/(m <sup>2</sup> a)	112 kWh/(m <sup>2</sup> a)	82 kWh/(m <sup>2</sup> a)	81 kWh/(m <sup>2</sup> a)	71 kWh/(m <sup>2</sup> a)	81 kWh/(m <sup>2</sup> a)	63 kWh/(m <sup>2</sup> a)	69 kWh/(m <sup>2</sup> a)	56 kWh/(m <sup>2</sup> a)	40 kWh/(m <sup>2</sup> a)	34 kWh/(m <sup>2</sup> a)	33 kWh/(m <sup>2</sup> a)	32 kWh/(m <sup>2</sup> a)	31 kWh/(m <sup>2</sup> a)	
Endenergiebedarf Heizung & Warmwasser bezogen auf die m <sup>2</sup> Wohnfläche	192 kWh/(m <sup>2</sup> a)	115 kWh/(m <sup>2</sup> a)	93 kWh/(m <sup>2</sup> a)	91 kWh/(m <sup>2</sup> a)	99 kWh/(m <sup>2</sup> a)	91 kWh/(m <sup>2</sup> a)	89 kWh/(m <sup>2</sup> a)	73 kWh/(m <sup>2</sup> a)	79 kWh/(m <sup>2</sup> a)	54 kWh/(m <sup>2</sup> a)	49 kWh/(m <sup>2</sup> a)	46 kWh/(m <sup>2</sup> a)	135 kWh/(m <sup>2</sup> a)	114 kWh/(m <sup>2</sup> a)	

## Anlage 2 – Hausdatenblätter.

Die erste Seite der zweiseitigen Hausdatenblätter enthält eine Kurzbeschreibung der einzelnen Modellgebäude mit der Angabe des berechneten Heizenergie- und Warmwasserbedarfs (Endenergie) im Zustand vor der Modernisierung. Zum Vergleich sind in den Hausdatenblättern zudem die aus dem Heizspiegel Deutschland ermittelten gemessenen Bedarfswerte (Endenergie) für zentral beheizte Gebäude angegeben. Die Hausdatenblätter zeigen zudem stellvertretend ein Foto eines tatsächlich geförderten Gebäudes aus dem Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ als typischen Repräsentanten.

Die erste Seite der Hausdatenblätter zeigt darüber hinaus die U-Werte der Bauteile der thermischen Hülle vor der Modernisierung für jedes einzelne Modellgebäude (Rechenwerte). Auf Basis dieser Rechenwerte wurden die dargestellten Energiebilanzrechnungen durchgeführt. Zum Vergleich sind auch die entsprechenden U-Werte der Typologie Deutschland aufgenommen.

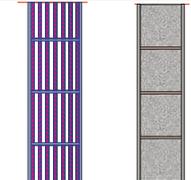
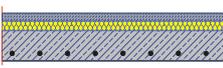
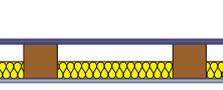
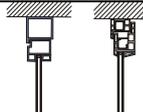
Auf der zweiten Seite der Hausdatenblätter sind der Endenergiebedarf vor und nach der vollständigen Modernisierung sowie die Energiesparpotenziale der Einzelmaßnahmen grafisch dargestellt. Die Einzelmaßnahmen sind zudem kurz beschrieben. Angegeben sind auch die U-Werte nach der Modernisierung, die mit jeder Einzelmaßnahme verbundenen Vollkosten und energieeffizienzbedingten Mehrkosten, die aus jeder Einzelmaßnahme resultierende Energiekosteneinsparung bei heutigen Energiepreisen und im Vergleich dazu die erforderliche Energiekosteneinsparung bei heutigen Energiepreisen, um die Maßnahmen refinanzieren zu können (Break-Even). Darüber hinaus werden zusammenfassend die aus den gesamten Maßnahmenpaketen resultierenden Vollkosten, die energieeffizienzbedingten Mehrkosten sowie die Energiekosteneinsparung und der Break-Even angegeben. Diese zusammenfassenden Werte sind auch die Grundlage der Abbildungen im vorliegenden Bericht.

In dieser Studie wird ein Auszug der Hausdatenblätter veröffentlicht. Der gesamte Datensatz wird im Rahmen des **dena-Planungshandbuchs** in 2012 veröffentlicht.

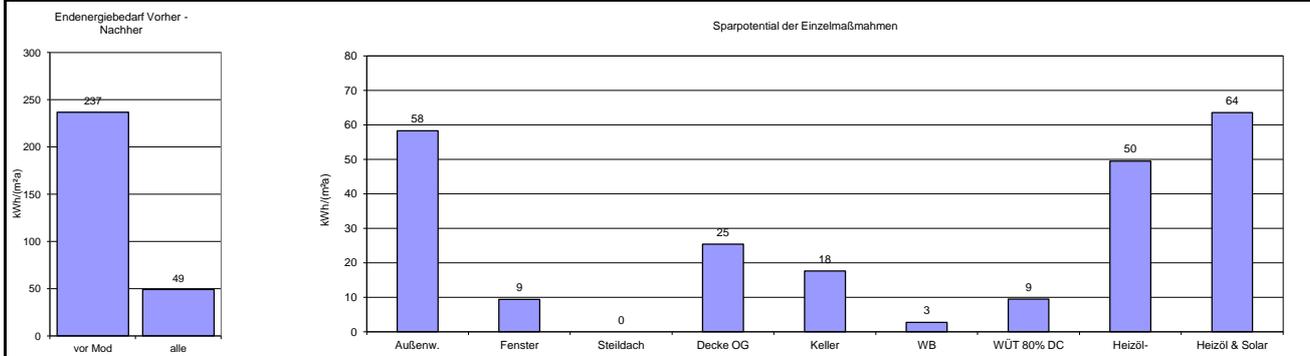
Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik

Haustyp EFH  
 Baualterklasse 1969 bis 1977  
 Bezugsfläche 144 m<sup>2</sup>  
 Wohneinheiten: 1  
 Heizenergiebedarf: 209 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Warmwasser: 28 kWh/(m<sup>2</sup>a)



Bauteil	Beschreibung	U-Wert Typologie	U-Wert
			Rechenwert
		[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand	 <p>30 cm Gitterziegel, verputzt</p> <p>Porenbetonsteine, 17,5 cm, EFH</p>	1,2	1,1
		1,0	
Kellerdecke	 <p>14 cm Stahlbetondecke, 2,5 cm Trittschalldämmung aus PS, 4 cm Estrich</p>	0,9	1,2
Steildach	 <p>6 cm Mineralwolle zwischen den Sparren, Gipskartonplatten</p>	0,7	
oberste Geschossdecke	 <p>Stahlbetondecke, 2,5 cm Dämmung unterseits</p>	0,8	0,85
Fenster	 <p>2-Scheiben-Isolierverglasung, Aluminiumrahmen</p> <p>2-Scheiben-Isolierverglasung im Kunststoffrahmen</p>	4,3	2,8
		2,8	
Wärmebrücken			
<b>Anlagentechnik</b>			
Lüftung	Fensterlüftung, keine Lüftungsanlage Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h		
Heizung	Niedertemperatur - Ökessel außerhalb der therm. Hülle, Baualterklasse 1987 bis 1994, typischer Betrieb		
Warmwasserbereitung	Warmwasserbereitung über den Heizkessel mit beigestelltem Speicher außerhalb der thermischen Hülle		

EFH, Baualterklasse 1969 bis 1977: Modernisierung auf KfW-Effizienzhaus 55, Variante 1

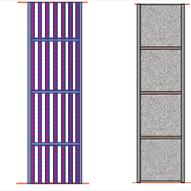
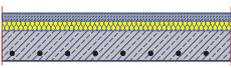
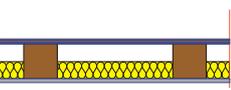
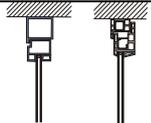


Bauteil	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Dämm- dicke [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten (brutto)		energie- bedingte Mehr- kosten [€/m² Bt]	Kosten- ersparnis im Jahr der Maßnahme €/m²Mon	Break-Even 1) €/m²Mon	Kosten der einges- parten kWh [Cent/kWh]	
				[€]	[€/m² Bt]					
<b>Außenwand</b>	Wärmedämmverbundsystem auf Allputz, gewebearmierter Neuputz	18	0,17	21.703	131	59	0,34	0,38	7,9	
<b>Kellerdecke</b>	Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt	7	0,35	3.205	33	33	0,10	0,13	8,6	
<b>Steildach</b>										
<b>oberste Geschossdecke</b>	Dämmung, nicht begehbare Belag	25	0,12	2.808	29	29	0,15	0,11	5,2	
<b>Fenster</b>	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)  (Mehrkosten gegenüber 2-Scheiben- Wärmeschutzverglasung)	--	1,00	11.310	390	50	0,05	0,06	7,3	
<b>Wärmebrücken</b>	zusätzliche planungstechnische Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken			4320	30	30	0,02	0,17	74,3	
<b>Anlagentechnik</b>				Vollkosten [€]	Vollkosten [€/WE]	energiebed. Mehrkosten [€/WE]				
<b>Lüftung</b>	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, DC-Ventilator Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1/h (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau einer Abluftanlage)			7.401	7.401	4.863	0,06	0,19	24,4	
<b>Heizung</b>	Einbau eines neuen Öl-Brennwertkessels inkl. Schornsteinanierung und neuem biv. Speicher			13.222	13.222	3.964	0,37	0,16	3,0	
<b>Warmwasser- bereitung</b>	Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung solarer Deckungsanteil: 54 %  (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Brennwertkessels)									
<b>Alle Maßnahmen</b>				63.968	63.968	30.361	1,09	1,20	7,7	
				[€/m² Wohn]		[€/m² Wohn]				
<b>Alle Maßnahmen</b>				444	--	211	--	--	--	
<b>Rahmenbedingungen d. Break-Even-Berechnung</b>				<b>Betrachtungszeitraum</b>		<b>25 Jahre</b>				
				<b>Kalkulationszinssatz</b>		<b>4,6 %</b>				
ausgehend von 7 Cent/kWh beträgt der mittlere Energiepreis bei 25 Jahren Betrachtungszeitraum und:										
									2,0 % Energiepreissteigerung:	8,7
<b>Wirtschaftlichkeitskriterium: Kosten der eingesparten kWh kleiner als der mittlere</b>									3,0 % Energiepreissteigerung:	9,8
<b>Energiepreis über den Betrachtungszeitraum</b>									4,0 % Energiepreissteigerung:	11,1

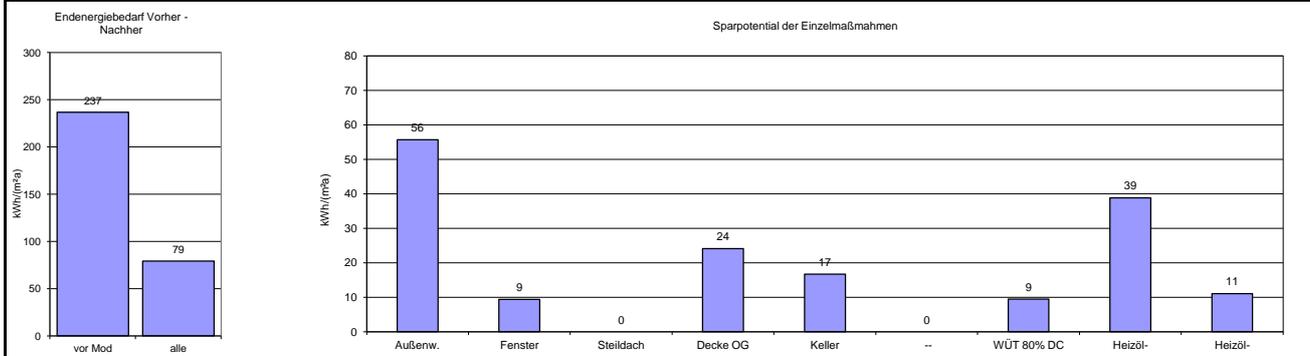
Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik

Haustyp EFH  
 Baualtersklasse 1969 bis 1977  
 Bezugsfläche 144 m<sup>2</sup>  
 Wohneinheiten: 1  
 Heizenergiebedarf: 209 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Warmwasser: 28 kWh/(m<sup>2</sup>a)



Bauteil	Beschreibung	U-Wert Typologie	U-Wert
			Rechenwert
		[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand	 <p>30 cm Gitterziegel, verputzt</p> <p>Porenbetonsteine, 17,5 cm, EFH</p>	1,2	1,1
		1,0	
Kellerdecke	 <p>14 cm Stahlbetondecke, 2,5 cm Trittschalldämmung aus PS, 4 cm Estrich</p>	0,9	1,2
Steildach	 <p>6 cm Mineralwolle zwischen den Sparren, Gipskartonplatten</p>	0,7	
oberste Geschossdecke	 <p>Stahlbetondecke, 2,5 cm Dämmung unterseits</p>	0,8	0,85
Fenster	 <p>2-Scheiben-Isolierverglasung, Aluminiumrahmen</p> <p>2-Scheiben-Isolierverglasung im Kunststoffrahmen</p>	4,3	2,8
		2,8	
<b>Anlagentechnik</b>			
Lüftung	Fensterlüftung, keine Lüftungsanlage Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h		
Heizung	Niedertemperatur - Ölkessel außerhalb der therm. Hülle, Baualtersklasse 1987 bis 1994, typischer Betrieb		
Warmwasserbereitung	Warmwasserbereitung über den Heizkessel mit beigestelltem Speicher außerhalb der thermischen Hülle		

EFH, Baualterklasse 1969 bis 1977: Modernisierung auf KfW-Effizienzhaus 70, Variante 1



Bauteil	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Dämm- dicke [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten (brutto)		energie- bedingte Mehr- kosten [€/m² Bt]	Kosten- ersparnis im Jahr der Maßnahme €/(m²Mon)	Break-Even 1) €/(m²Mon)	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh]
				[€]	[€/m² Bt]				
<b>Außenwand</b>	Wärmedämmverbundsystem auf Allputz, gewebearmierter Neuputz	14	0,20	20.089	121	49	0,32	0,32	6,9
<b>Kellerdecke</b>	Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt	6	0,39	3.095	32	32	0,10	0,12	8,7
<b>Steildach</b>									
<b>oberste Geschossdecke</b>	Dämmung, nicht begehbare Belag	18	0,16	2.037	21	21	0,14	0,08	4,0
<b>Fenster</b>	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)  (Mehrkosten gegenüber 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung)	--	1,00	11.310	390	50	0,05	0,06	7,3
<b>Anlagentechnik</b>				Vollkosten [€]	Vollkosten [€/WE]	energiebed. Mehrkosten [€/WE]			
<b>Lüftung</b>	Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, DC-Ventilator Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1/h (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau einer Abluftanlage)			7.401	7.401	4.863	0,06	0,19	24,4
<b>Heizung</b>	Einbau eines neuen Öl-Brennwertkessels inkl. Schornsteinsanierung und neuem biv. Speicher			9.258	9.258		0,23		
<b>Warmwasserbereitung</b>	Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung solarer Deckungsanteil: 0 %  (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Brennwertkessels)								
<b>Alle Maßnahmen</b>				53.190	53.190	19.582	0,92	0,77	5,9
				[€/m² Wohn]		[€/m² Wohn]			
<b>Alle Maßnahmen</b>				369	--	136	--	--	--
<b>Rahmenbedingungen d. Break-Even-Berechnung</b>				<b>Betrachtungszeitraum</b>		25 Jahre			
				<b>Kalkulationszinssatz</b>		4,6 %			

ausgehend von 7 Cent/kWh beträgt der mittlere Energiepreis bei 25 Jahren Betrachtungszeitraum und:

2,0 % Energiepreissteigerung:	8,7
3,0 % Energiepreissteigerung:	9,8
4,0 % Energiepreissteigerung:	11,1

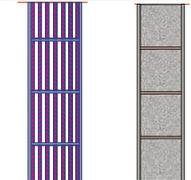
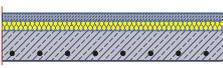
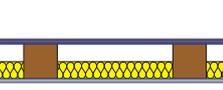
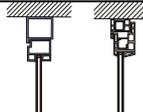
**Wirtschaftlichkeitskriterium: Kosten der eingesparten kWh kleiner als der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum**

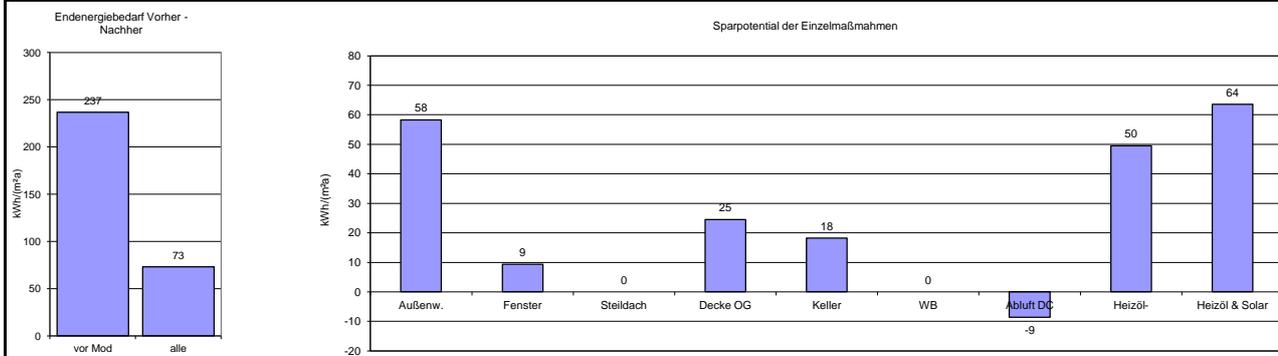
1) Die energetische Modernisierung der einzelnen Bauteile wirkt sich in mehrfacher Hinsicht auf die Energiebilanz des Gebäudes aus: So steigt z. B. die mittlere Temperatur im Gebäude, gleichzeitig verändert sich die Dauer der Heizperiode. Diese und andere Effekte bewirken, dass die Summe der warmmietenneutralen Mieterhöhung aus den Einzelmaßnahmen nicht der Summe für das Maßnahmenpaket entsprechen muss.

Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik

Haustyp EFH  
 Baualtersklasse 1969 bis 1977  
 Bezugsfläche 144 m<sup>2</sup>  
 Wohneinheiten: 1  
 Heizenergiebedarf: 209 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Warmwasser: 28 kWh/(m<sup>2</sup>a)



Bauteil	Beschreibung	U-Wert Typologie [W/(m <sup>2</sup> K)]	U-Wert Rechenwert [W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand	 30 cm Gitterziegel, verputzt  Porenbetonsteine, 17,5 cm, EFH	1,2	1,1
		1,0	
Kellerdecke	 14 cm Stahlbetondecke, 2,5 cm Trittschalldämmung aus PS, 4 cm Estrich	0,9	1,2
Steildach	 6 cm Mineralwolle zwischen den Sparren, Gipskartonplatten	0,7	
oberste Geschossdecke	 Stahlbetondecke, 2,5 cm Dämmung unterseits	0,8	0,85
Fenster	 2-Scheiben-Isolierverglasung, Aluminiumrahmen  2-Scheiben-Isolierverglasung im Kunststoffrahmen	4,3	2,8
		2,8	
<b>Anlagentechnik</b>			
Lüftung	Fensterlüftung, keine Lüftungsanlage Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h		
Heizung	Niedertemperatur - Ölkessel außerhalb der therm. Hülle, Baualtersklasse 1987 bis 1994, typischer Betrieb		
Warmwasserbereitung	Warmwasserbereitung über den Heizkessel mit beigestelltem Speicher außerhalb der thermischen Hülle		



Bauteil	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Dämm- dicke [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten (brutto)		energie- bedingte Mehr- kosten [€/m² Bt]	Kosten- ersparnis im Jahr der Maßnahme €/(m²Mon)	Break-Even 1) €/(m²Mon)	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh]
				[€]	[€/m² Bt]				
<b>Außenwand</b>	Wärmedämmverbundsystem auf Allputz, gewebearmierter Neuputz	18	0,17	21.703	131	59	0,34	0,38	7,9
<b>Kellerdecke</b>	Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt	8	0,32	3.295	34	34	0,11	0,13	8,5
<b>Steildach</b>									
<b>oberste Geschossdecke</b>	Dämmung, nicht begehbare Belag	20	0,15	2.246	23	23	0,14	0,09	4,3
<b>Fenster</b>	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)  (Mehrkosten gegenüber 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung)	--	1,00	11.310	390	50	0,05	0,06	7,3
<b>Anlagentechnik</b>				Vollkosten [€]	Vollkosten [€/WE]	energiebed. Mehrkosten [€/WE]			
<b>Lüftung</b>	Abluftanlage, DC-Ventilator Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1/h (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau einer Abluftanlage)			2.538	2.538		-0,05		
<b>Heizung</b>	Einbau eines neuen Öl-Brennwertkessels inkl. Schornsteinsanierung und neuem biv. Speicher								
<b>Warmwasser- bereitung</b>	Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung solarer Deckungsanteil: 54 %  (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Brennwertkessels)			13.222	13.222	3.964	0,37	0,16	3,0
<b>Alle Maßnahmen</b>				54.313	54.313	20.706	0,96	0,82	6,0
				[€/m² Wohn]		[€/m² Wohn]			
<b>Alle Maßnahmen</b>				377	--	144	--	--	--
<b>Rahmenbedingungen d. Break-Even-Berechnung</b>				<b>Betrachtungszeitraum</b>		25 Jahre			
				<b>Kalkulationszinssatz</b>		4,6 %			

ausgehend von 7 Cent/kWh beträgt der mittlere Energiepreis bei 25 Jahren Betrachtungszeitraum und:

2,0 % Energiepreiserhöhung:	8,7
3,0 % Energiepreiserhöhung:	9,8
4,0 % Energiepreiserhöhung:	11,1

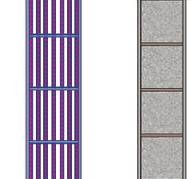
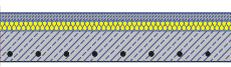
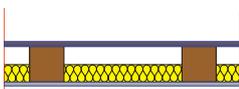
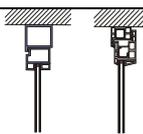
**Wirtschaftlichkeitskriterium: Kosten der eingesparten kWh kleiner als der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum**

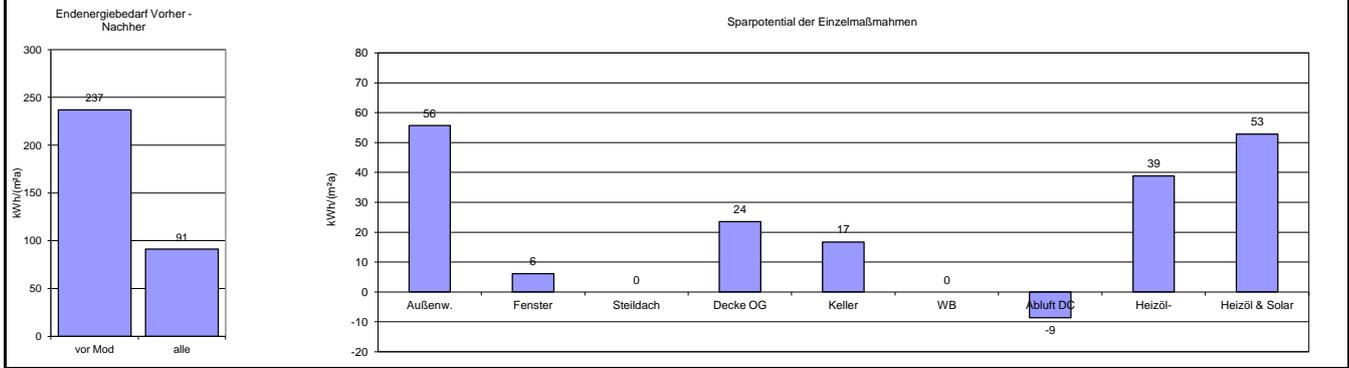
1) Die energetische Modernisierung der einzelnen Bauteile wirkt sich in mehrfacher Hinsicht auf die Energiebilanz des Gebäudes aus: So steigt z. B. die mittlere Temperatur im Gebäude, gleichzeitig verändert sich die Dauer der Heizperiode. Diese und andere Effekte bewirken, dass die Summe der wärmietenneutralen Mieterhöhung aus den Einzelmaßnahmen nicht der Summe für das Maßnahmenpaket entsprechen muss.

Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik

Haustyp EFH  
 Baualterklasse 1969 bis 1977  
 Bezugsfläche 144 m<sup>2</sup>  
 Wohneinheiten: 1  
 Heizenergiebedarf: 209 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Warmwasser: 28 kWh/(m<sup>2</sup>a)



Bauteil	Beschreibung		U-Wert	U-Wert
			Typologie	Rechenwert
			[W/(m <sup>2</sup> K)]	[W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand		30 cm Gitterziegel, verputzt	1,2	1,1
		Porenbetonsteine, 17,5 cm, EFH	1,0	
Kellerdecke		14 cm Stahlbetondecke, 2,5 cm Trittschalldämmung aus PS, 4 cm Estrich	0,9	1,2
Steildach		6 cm Mineralwolle zwischen den Sparren, Gipskartonplatten	0,7	
oberste Geschossdecke		Stahlbetondecke, 2,5 cm Dämmung unterseits	0,8	0,85
Fenster		2-Scheiben-Isolierverglasung, Aluminiumrahmen	4,3	2,8
		2-Scheiben-Isolierverglasung im Kunststoffrahmen	2,8	
<b>Anlagentechnik</b>				
Lüftung	Fensterlüftung, keine Lüftungsanlage Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h			
Heizung	Niedertemperatur - Ölkessel außerhalb der therm. Hülle, Baualterklasse 1987 bis 1994, typischer Betrieb			
Warmwasserbereitung	Warmwasserbereitung über den Heizkessel mit beigestelltem Speicher außerhalb der thermischen Hülle			



Bauteil	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Dämm- dicke [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten (brutto)		energie- bedingte Mehr- kosten [€/m² Bt]	Kosten- ersparnis im Jahr der Maßnahme €/m²Mon)	Break-Even 1) €/m²Mon)	Kosten der einges- parten kWh [Cent/kWh]
				[€]	[€/m² Bt]				
<b>Außenwand</b>	Wärmedämmverbundsystem auf Altputz, gewebearmierter Neuputz	14	0,20	20.089	121	49	0,32	0,32	6,9
<b>Kellerdecke</b>	Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt	6	0,39	3.095	32	32	0,10	0,12	8,7
<b>Steildach</b>									
<b>oberste Geschossdecke</b>	Dämmung, nicht begehbare Belag	16	0,17	1.797	19	19	0,14	0,07	3,6
<b>Fenster</b>	3-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)  (Mehrkosten gegenüber 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung)	--	1,30	9.860	340		0,04		
<b>Anlagentechnik</b>				Vollkosten [€]	Vollkosten [€/WE]	energiebed. Mehrkosten [€/WE]			
<b>Lüftung</b>	Abluftanlage, DC-Ventilator Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau einer Abluftanlage)			2.538	2.538		-0,05		
<b>Heizung</b>	Einbau eines neuen Öl-Brennwertkessels inkl. Schornsteinsanierung und neuem biv. Speicher			13.222	13.222	3.964	0,31	0,16	3,5
<b>Warmwasser- bereitung</b>	Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung solarer Deckungsanteil: 54 %  (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Brennwertkessels)								
<b>Alle Maßnahmen</b>				<b>50.601</b>	<b>50.601</b>	<b>16.993</b>	<b>0,85</b>	<b>0,67</b>	<b>5,5</b>
				[€/m² Wohn]		[€/m² Wohn]			
<b>Alle Maßnahmen</b>				<b>351</b>	<b>--</b>	<b>118</b>	<b>--</b>	<b>--</b>	<b>--</b>

Rahmenbedingungen d. Break-Even-Berechnung  
 Betrachtungszeitraum 25 Jahre  
 Kalkulationszinssatz 4,6 %

ausgehend von 7 Cent/kWh beträgt der mittlere Energiepreis bei 25 Jahren Betrachtungszeitraum und:

2,0 % Energiepreissteigerung:	8,7
3,0 % Energiepreissteigerung:	9,8
4,0 % Energiepreissteigerung:	11,1

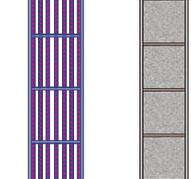
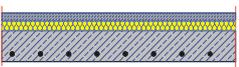
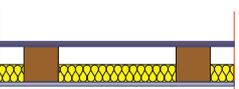
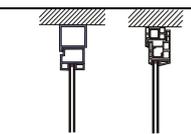
Wirtschaftlichkeitskriterium: Kosten der eingesparten kWh kleiner als der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum

1) Die energetische Modernisierung der einzelnen Bauteile wirkt sich in mehrfacher Hinsicht auf die Energiebilanz des Gebäudes aus: So steigt z. B. die mittlere Temperatur im Gebäude, gleichzeitig verändert sich die Dauer der Heizperiode. Diese und andere Effekte bewirken, dass die Summe der warmmietenneutralen Mieterhöhung aus den Einzelmaßnahmen nicht der Summe für das Maßnahmenpaket entsprechen muss.

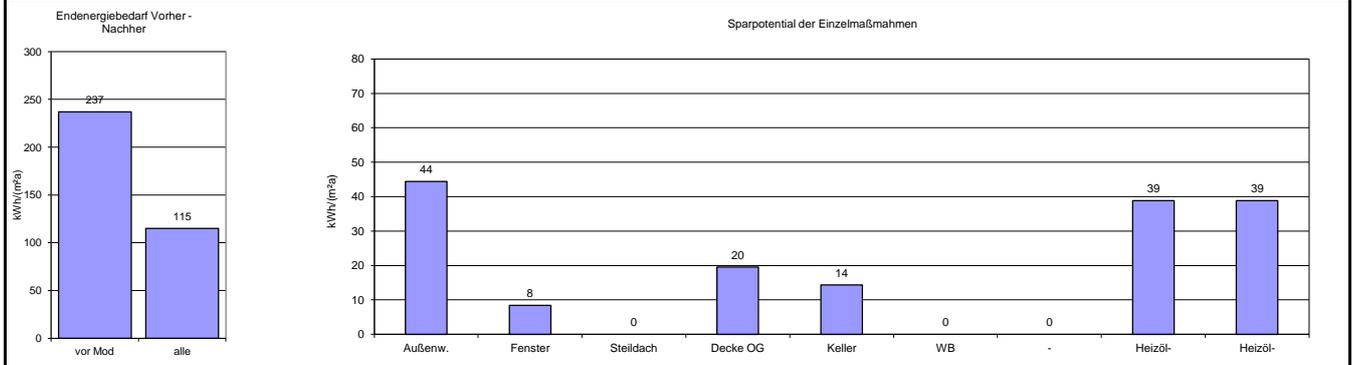
Vorhandene Konstruktion/Heiztechnik

Haustyp EFH  
 Baualtersklasse 1969 bis 1977  
 Bezugsfläche 144 m<sup>2</sup>  
 Wohneinheiten: 1  
 Heizenergiebedarf: 209 kWh/(m<sup>2</sup>a)  
 Warmwasser: 28 kWh/(m<sup>2</sup>a)



Bauteil	Beschreibung	U-Wert Typologie	U-Wert
			Rechenwert
			[W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand		30 cm Gitterziegel, verputzt	1,2
		Porenbetonsteine, 17,5 cm, EFH	1,0
Kellerdecke		14 cm Stahlbetondecke, 2,5 cm Trittschalldämmung aus PS, 4 cm Estrich	0,9
Steildach		6 cm Mineralwolle zwischen den Sparren, Gipskartonplatten	0,7
oberste Geschossdecke		Stahlbetondecke, 2,5 cm Dämmung unterseits	0,8
Fenster		2-Scheiben-Isolierverglasung, Aluminiumrahmen	4,3
		2-Scheiben-Isolierverglasung im Kunststoffrahmen	2,8
<b>Anlagentechnik</b>			
Lüftung	Fensterlüftung, keine Lüftungsanlage Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h		
Heizung	Niedertemperatur - Ölkessel außerhalb der therm. Hülle, Baualtersklasse 1987 bis 1994, typischer Betrieb		
Warmwasserbereitung	Warmwasserbereitung über den Heizkessel mit beigestelltem Speicher außerhalb der thermischen Hülle		

EFH, Baualterklasse 1969 bis 1977: Modernisierung auf 140 % Neubau



Bauteil	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Dämm- dicke [cm]	U-Wert neu [W/(m²K)]	Vollkosten (brutto)		energie- bedingte Mehr- kosten [€/m² Bt]	Kosten- ersparnis im Jahr der Maßnahme €/(m²Mon)	Break-Even 1) €/(m²Mon)	Kosten der eingesparten kWh [Cent/kWh]
				[€]	[€/m² Bt]				
Außenwand	Wärmedämmverbundsystem auf Altputz, gewebearmierter Neuputz	6	0,38	16.903	102	30	0,26	0,20	5,3
Kellerdecke	Dämmung, unterseitig, geklebt oder gedübelt	4	0,51	2.895	30	30	0,08	0,11	9,5
Steildach									
oberste Geschossdecke	Dämmung, nicht begehbare Belag	8	0,29	910	9	9	0,11	0,04	2,2
Fenster	2-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen)  (Mehrkosten gegenüber 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung)	--	1,30	9.860	340		0,05		
<b>Anlagentechnik</b>				Vollkosten [€]	Vollkosten [€/WE]	energiebed. Mehrkosten [€/WE]			
Lüftung	Fensterlüftung Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz (Blower-Door-Test): 1 /h (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau einer Abluftanlage)								
Heizung	Einbau eines neuen Öl-Brennwertkessels inkl. Schornsteinsanierung und neuem biv. Speicher								
Warmwasser- bereitung	Solarthermische Anlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung solarer Deckungsanteil: 0 %  (energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Brennwertkessels)			9.258	9.258		0,23		
<b>Alle Maßnahmen</b>				<b>39.825</b>	<b>39.825</b>	<b>8.756</b>	<b>0,71</b>	<b>0,35</b>	<b>3,4</b>
				[€/m² Wohn]		[€/m² Wohn]			
<b>Alle Maßnahmen</b>				<b>277</b>	--	<b>61</b>	--	--	--

Rahmenbedingungen d. Break-Even-Berechnung  
 Betrachtungszeitraum 25 Jahre  
 Kalkulationszinssatz 4,6 %

ausgehend von 7 Cent/kWh beträgt der mittlere Energiepreis bei 25 Jahren Betrachtungszeitraum und:

2,0 % Energiepreiserhöhung:	8,7
3,0 % Energiepreiserhöhung:	9,8
4,0 % Energiepreiserhöhung:	11,1

Wirtschaftlichkeitskriterium: Kosten der eingesparten kWh kleiner als der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum

1) Die energetische Modernisierung der einzelnen Bauteile wirkt sich in mehrfacher Hinsicht auf die Energiebilanz des Gebäudes aus: So steigt z. B. die mittlere Temperatur im Gebäude, gleichzeitig verändert sich die Dauer der Heizperiode. Diese und andere Effekte bewirken, dass die Summe der warmmiettenneutralen Mieterhöhung aus den Einzelmaßnahmen nicht der Summe für das Maßnahmenpaket entsprechen muss.

## 8 Literaturverzeichnis.

1. **Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).** *dena-Sanierungsstudie. Teil1: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung im Mietwohnungsbestand.* Berlin: s.n., 2010.
2. **InWis GmbH.** *Niedrigenergiehaus im Bestand - Entwurfsfassung Endbericht.* Bochum: s.n., 2006.
3. *Niedrigenergiehaus im Bestand - Aktualisierung des Zwischenberichtes (Entwurfsfassung).* Bochum: s.n., 2008.
4. **CO2 Online gemeinnützige GmbH.** *Methodik der Erstellung von Heizspiegeln.* Berlin: s.n., 2010.
5. **IWU: Hinz.** *vorläufiger Endbericht: Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012: Teil 1: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile.* Darmstadt: s.n., 2010.
6. **Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel, Haus & Grund.** *Unsere alten Häuser sind besser als ihr Ruf.* Kiel: s.n., 2009.
7. **IWU, Tobias Loga.** *Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden.* Darmstadt: s.n., 2005.
8. **IWU: Knissel; Loga:.** *Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten; in: Bauphysik 28 (2006), Heft 4; S. 270-277 Bedarf - Verbrauch.* Darmstadt: s.n., 2006.
9. **IWU: Knissel; Alles; Born; Loga; Müller; Stercz:.** *Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten – zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln.* Darmstadt: s.n., 2006.
10. **Erhorn:.** *Ein Reizthema ohne Ende oder die Chance für sachliche Energieberatung? in: gi Gesundheitsingenieur Jg.: 128, Nr. 5, S. 233-240.* 2007.
11. **IWU: Loga.** *Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung - Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Energiebilanzverfahren.* Darmstadt: s.n., 2009.
12. **PHI.** *Untersuchung zum Außenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnungen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung.* Darmstadt: s.n., 2011.
13. **IWU: Enseling.** *Leitfaden zur Beurteilung von Energiesparinvestitionen im Gebäudebestand.* Darmstadt: s.n., 2003.

**Impressum.**

**Titel.**

dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energetischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. Begleitforschung zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“.

**Herausgeber.**

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Energieeffiziente Gebäude

Chausseestraße 128 a

10115 Berlin

Tel.: +49 (0)30 72 61 65-600

Fax: +49 (0)30 72 61 65-699

[info@dena.de](mailto:info@dena.de)

[www.dena.de](http://www.dena.de)

Stand: 26. März 2012

Alle Rechte sind vorbehalten. Jegliche Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

