



INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen und
der Stadt Darmstadt

Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel. 0 61 51 / 29 04-0
Fax 0 61 51 / 29 04-97

eMail:
info@iwu.de

Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Wohngebäude mit der EnEV 2012

Teil 1 - Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile in der energetischen Modernisierung von Altbauten

3. Zwischenbericht

als Zwischenstand eines noch laufenden Gutachtens. Die im Laufe des Projektes erstellte Datenbank wird aktuell erweitert bzw. ergänzt. Das Forschungsvorhaben soll bis Ende 2010 abgeschlossen sein.

Diese vorläufigen Ergebnisse sind in der Diskussion und vom Auftraggeber bisher nicht abgenommen (Stand Juni 2010).

Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Darmstadt, den 17.12.2009

Aufgabenstellung

Auf Grund der Beschlüsse des Bundeskabinetts zum Integrierten Energie- und Klimaprogramm (IEKP) ist für das Jahr 2012 eine weitere Verschärfung der Energieeinsparverordnung vorgesehen. Die vorliegende Untersuchung soll Eingangsdaten (Kosten energierelevanter bau- und anlagentechnischer Komponenten) für Wirtschaftlichkeitsberechnungen zum künftigen Anforderungsniveau bei der energetischen Modernisierungen und beim Neubau von Wohngebäuden liefern. Die Ergebnisse der Untersuchung bilden die Grundlage für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, die in einem gesonderten Vorhaben im fachlichen Zusammenhang mit der Problematik von Anforderungsmethodik und Regelwerk der Energieeinsparverordnung zu führen sind.

Im Rahmen des Vorhabens soll systematisch der Zusammenhang zwischen den die Effizienz bestimmenden Eigenschaften der Bauteile und Anlagenteile eines Wohngebäudes und den dadurch begründeten Kosten untersucht und parametrisiert dargestellt werden.

Für vergleichbare Konstruktionen ist zudem die Streuung der Kosten - bedingt durch z. B. regionale Unterschiede oder durch den Bauzeitpunkt - zu untersuchen.

Als gemeinsamer Preisstand für alle untersuchten Komponenten wird das 1. Quartal 2009 festgelegt. Kosten, die auf anderem Preisstand ermittelt wurden, sind über den Baukostenindex und Regionalfaktoren bereinigt.

Ziel ist eine validierte, auf Praxiserkenntnissen fußende und mit Fach- und Interessenskreisen abgestimmte Datenbank für energetisch begründete Baukostenanteile. Besondere Berücksichtigung sollen dabei auch die üblichen Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energien finden.

Der Bericht stellt die Ergebnisse der Auswertungen für die energetische Altbaumodernisierung dar. Die Arbeiten wurden durch das Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, durchgeführt.



INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen und
der Stadt Darmstadt

Annastraße 15
64285 Darmstadt
Tel. 0 61 51 / 29 04-0
Fax 0 61 51 / 29 04-97

eMail:
info@iwu.de

Teil 1: Kosten der energetischen Modernisierung von Altbauten (IWU)

1 Datenbasis und Vorgehen	1
2 Vollkosten und Kostenfunktionen.....	5
2.1 Außenwand – nachträgliche Dämmung mit Wärmedämmverbundsystem.....	6
2.2 Kellerdecke – nachträgliche Dämmung unterseitig	10
2.3 Fenster & Fenstertüren	12
2.4 Steildach – nachträgliche Dämmung von außen	17
2.5 Oberste Geschossdecke.....	20
2.6 Wärmeerzeugungsanlagen	21
2.7 Detailauswertung: Wärmeerzeugungsanlagen in Ein- und Zweifamilienhäuser.....	27
2.8 Lüftungsanlagen	30
2.9 Planungsleistungen	32
3 Auswertung Sekundärdaten	34
4 Zusammenfassung und Ausblick.....	40
5 Quellenverzeichnis.....	44

1 Datenbasis und Vorgehen

Primärdaten - Kostenfeststellungen aus dem KfW CO₂-Gebäudesanierungsprogramm

Aus dem CO₂-Gebäudesanierungsprogramm der KfW werden Zuschüsse für die energetische Sanierung von Wohngebäuden auf Neubau-Niveau nach EnEV oder besser sowie für einzelne Maßnahmenpakete vergeben. Förderfähige Investitionskosten sind die durch die energetischen Maßnahmen unmittelbar bedingten Kosten einschließlich der Beratungs- und Planungsleistungen sowie die Kosten notwendiger Nebenarbeiten, die zur ordnungsgemäßen Fertigstellung und Funktion des Gebäudes erforderlich sind (z. B. Erneuerung der Fensterbänke, Prüfung der Luftdichtheit). Werden die Sanierungsmaßnahmen durch einen Sachverständigen begleitet und deren planmäßige Durchführung bestätigt, so kann diese Begleitung zusätzlich mit einem Zuschuss (Zuschuss für Baubegleitung) gefördert werden. Voraussetzung für die Fördermittelgewährung ist die Durchführung der Maßnahmen durch Fachunternehmen.

Nach Durchführung der Maßnahmen ist ein Nachweis über die programmgemäße Verwendung der zuschussfähigen Kosten zu führen und zusammen mit den Rechnungen der Fachunternehmen bei der KfW einzureichen. Die Rechnungen müssen die Arbeitskosten sowie die Adresse des Investitionsobjektes ausweisen, im Falle der Heizungserneuerung zusätzlich die Durchführung des hydraulischen Abgleichs. Die Rechnungen für die Begleitung der Baumaßnahme durch den Sachverständigen müssen die erbrachten Beratungs- und Planungsleistungen getrennt ausweisen. Die KfW führt punktuell eine Überprüfung der Berechnungsunterlagen sowie eine Vor-Ort-Prüfung der geförderten Gebäude durch.

Für das Forschungsvorhaben hat das IWU die Kostenfeststellungen zu ca. 220 geförderten energetischen Modernisierungen ausgewertet.

Primärdaten - Das dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“

Ziel des dena-Modellvorhabens ist es u. a., energetisch anspruchsvolle Sanierungsstandards auf dem Markt zu etablieren, innovative Technologien der energetischen Gebäudesanierung weiterzuentwickeln und auf dem Markt einzuführen und durch übertragbare, wirtschaftlich tragfähige Sanierungsempfehlungen zur Nachahmung anzuregen.

Seit Januar 2007 ist der im Modellvorhaben erprobte energetische Sanierungsstandard „EnEV-Neubau minus 30 %“ Teil der Breitenförderung des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms der KfW. Der sehr anspruchsvolle Standard „EnEV-Neubau minus 50 %“ wird aktuell als Modellvorhaben fortgesetzt. Inzwischen wurden im Rahmen des Modellvorhabens über 140 Gebäude zu energetisch hocheffizienten Gebäuden saniert - zum Teil unter Einsatz innovativer Passivhauskomponenten.

Die Teilnehmer am Modellvorhaben verpflichten sich u. a., hohe energetische Standards einzuhalten (Qp' und HT' mindestens 50 % mindestens unter den Anforderungen nach § 3 EnEV für einen entsprechenden Neubau), das Bauvorhaben durch einen auf bauphysikalische Fragen und energiesparendes Bauen spezialisierten Planer begleiten zu lassen und Detailzeichnungen zu technisch besonders interessanten Lösungen (luftdichte Ebene, Fensteranschlüsse, Lüftungs- und

Heizungsschema, Anschlüsse der Dämmung, Wärmebrücken, Nachweis des hydraulischen Abgleichs, Einregelungsprotokoll Lüftungsanlage, ...) zur Verfügung zu stellen.

Zusätzlich sollen gewerkebezogene Kostenfeststellungen nach der Fertigstellung der Maßnahmen der dena zur weiteren Auswertung zur Verfügung gestellt werden. Für das Forschungsvorhaben hat das IWU Kostenfeststellungen zu ca. 25 geförderten Projekten ausgewertet.

Bewertung der Datenbasis

Die Datenbasis der Studie beruht im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen aus dem KfW CO₂-Gebäudemodernisierungsprogramm ab dem Jahr 2007 und damit auf aktuellen Projekten aus einem bundesweiten Breitenförderprogramm. Dabei wurden vorwiegend Maßnahmen gefördert, die erprobt und am Markt eingeführt sind. Diese Datenbasis wurde ergänzt um Kostenfeststellungen aus dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“, bei dem u. a. auch sehr hochwertige innovative Maßnahmen gefördert wurden, die an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit stehen. Die Datenbasis kann somit als typisch für die Kosten energiesparender Maßnahmen im Bestand angesehen werden, wobei zum Teil auch innovative Maßnahmen berücksichtigt werden konnten.

Die Auswertungen beruhen zu etwa $\frac{3}{4}$ auf Kostenfeststellungen zu Maßnahmen in Ein- und Zweifamilienhäusern. Nach Durchsicht dieser Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass die Maßnahmen in nennenswerten Umfang auf Basis fehlender oder unzureichender Ausschreibungen durchgeführt und abgerechnet wurden. Andererseits gab es aber auch bei diesen „nicht-professionellen“ Investoren Projekte, die offensichtlich auf Basis einer detaillierten Ausschreibung abgerechnet wurden. Auch das erscheint erfahrungsgemäß als ein typischer Querschnitt des Alltags im Bereich der energetischen Gebäudemodernisierung.

Der Einfluss der Ausschreibungen und Baubegleitung auf die Qualität und Kosten der Maßnahmen wurde im Rahmen dieser Studie nicht explizit untersucht. Die Erfahrung zeigt allerdings, dass Maßnahmen bzw. ganze Bauprojekte bei professioneller Ausschreibung und Baubegleitung durch Projektpartner und Bauteams mit entsprechender Erfahrung relativ kostengünstig zu realisieren sind, d. h. günstiger als nach den in dieser Studie ermittelten Kostenfunktionen. Dies gilt insbesondere für energetisch hochwertige Modernisierungen, die ohne eine qualitativ hochwertige Planung, Bausausführung und Kontrolle praktisch nicht zu realisieren sind.

Es war jedoch nicht Ziel dieser Studie, die Potenziale besonders kosteneffizienter energetischer Modernisierungen auszuloten, sondern einen möglichst repräsentativen Querschnitt typischer Kosten solcher energiesparender Maßnahmen im Bestand herauszuarbeiten, die bereits am Markt eingeführt sind. Dazu ist die Datenbasis sehr gut geeignet.

Eine Konsequenz aus der Datenbasis ist, dass vorwiegend am Markt eingeführte Maßnahmen untersucht werden konnten. Damit können die Auswertungen nur bedingt auf sehr hochwertige energetische Modernisierungen nahe am Passivhausstandard übertragen werden. Auf der Basis der aktuellen Förderung der KfW sollte die Studie daher mit dem Fokus auf besonders hochwertige energetische Modernisierungen im Bestand bis annähernd zum Passivhausniveau ergänzt werden.

Datenbank

Tabelle 1 zeigt die für die unten dargestellten Auswertungen genutzte Datenbasis. Insgesamt wurden für die Kostengruppe 300 (Wärmedämmung und Fenster) Maßnahmen mit einer Fläche von ca. 89.000 m² berücksichtigt. Das Investitionsvolumen beträgt ca. 11 Mio. €. In der Kostengruppe 400 wurden 216 Maßnahmen ausgewertet mit einem Investitionsvolumen von ca. 2.8 Mio. €.

Element	Basis der Auswertungen		
	Anzahl [n]	Vollkosten [€]	Fläche [m ²]
Haustüren	62	211.551	181
Fenstertüren	517	323.092	1.211
Fenster	1626	843.796	2.796
Außenwände	141	6.095.948	51.749
Kellerdecken	54	397.097	11.490
oberste Geschossdecken	47	172.597	4.845
Steildächer	82	2.557.533	13.755
Dachfenster	109	96.049	62
Flachdächer	28	316.124	2.659
Summe Kostengruppe 300		11.013.787	88.748
Solar (nur WW) ohne Kessel	41	--	--
Solar (WW & Heiz) ohne Kessel	32	--	--
Gaskessel	54	--	--
Ölkessel	24	--	--
Pelletkessel	14	--	--
Holzessel		--	--
Wärmepumpenanlagen		--	--
Summe Kostengruppe 421: Heizanlagen	165	1.377.436	--
Lüftungsanlagen	51	1.411.696	
Summe Kostengruppe 400	216	2.789.132	

Tabelle 1: Basis der Auswertungen - Altbau

Kosten und Kostenfunktionen

Auf Basis der Primärdaten werden die Kosten und Kostenstrukturen zu folgenden bau- und anlagentechnischen Komponenten untersucht und in einer EXCEL-Datenbank zusammengefasst:

- Außenwand: nachträgliche Dämmung mit Wärmedämmverbundsystem
- Steildach: nachträgliche Dämmung von außen zwischen den Sparren bzw. auf den Sparren
- Oberste Geschossdecke: nachträgliche Dämmung begehbar bzw. nicht begehbar
- Kellerdecke zum unbeheizten Keller: unterseitig
- Fenster & Fenstertüren: 2- bzw. 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung
- Solaranlagen zur Unterstützung bei der Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung
- Heizungsanlagen: Gas-Brennwert, Öl-Brennwert, Pellet
- Lüftungsanlagen
- energiebedingte zusätzliche Planungsleistungen

Skonto

Das in den Kostenfeststellungen häufig ausgewiesene Skonto von 2 % bis 5 % oder mehr wurde in allen unten dargestellten Auswertungen prinzipiell nicht berücksichtigt. Zudem wurden auch Sonderrabatte von Produktherstellern (z. B. bis zu 23 % bei Heizungs- und Solaranlagen) nicht berücksichtigt.

Baupreisindex

Der Preisstand der Studie ist das 1. Quartal 2009. Alle Primärdaten sind über Baupreisindices auf diesen Preisstand normiert. Ein Baupreisindex, der häufig auch als Outputpreisindex bezeichnet wird, soll die Entwicklung der vom Bauherrn tatsächlich gezahlten Preise aufzeigen. In ihn gehen somit nicht nur die Faktorkosten, sondern auch alle Veränderungen der Produktivität sowie der Gewinnmargen des Bauunternehmens ein. Honorare für Architekten sowie der Preis für das Baugrundstück sind dagegen nicht Bestandteil des Baupreisindex. Der Baupreisindex wird quartalsweise vom Deutschen Statistischen Bundesamt veröffentlicht.

Regionalfaktoren

Alle Primärdaten sind über Regionalfaktoren normiert. Der Regionalfaktor ist eine Kennzahl, die eine Aussage über die wirtschaftliche Entwicklung eines regionalen Raumes im Vergleich zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung zulässt. Liegt der Regionalfaktor über 1, ist dies ein Zeichen dafür, dass das wirtschaftliche Wachstum in der Region größer ist als im Durchschnitt. Ein Regionalfaktor unter 1 bedeutet, dass die regionale wirtschaftliche Entwicklung hinter dem Gesamtwachstum zurückbleibt. Die Werte liegen zwischen etwa 1,25 (z. B. Garmisch-Partenkirchen) bis 0,85 (z. B. Spree-Neiße).

Regionalfaktoren können auch speziell für einzelne Branchen, z. B. den Bausektor, entwickelt werden. Die entsprechenden Regionalfaktoren für die Baukostenentwicklung in der Wohngebäude- und Modernisierung sind vom Deutschen Statistischen Bundesamt übernommen.

2 Vollkosten und Kostenfunktionen

In den folgenden Abbildungen werden Ergebnisse der Auswertungen zusammenfassend dargestellt.

Kostenfunktion & Bestimmtheitsmaß

Häufig wird in den folgenden Grafiken eine Kostenfunktion für die Vollkosten bzw. die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen dargestellt. Diese sind in Kapitel 5 tabellarisch zusammengefasst. Neben der Gleichung für die Kostenfunktionen wird auch das so genannte „Bestimmtheitsmaß“ R^2 der Funktion angegeben. Das Bestimmtheitsmaß ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier Variablen. Liegt es z. B. für die unten dargestellten zwei Variablen „spezifische Vollkosten der Maßnahme“ und „äquivalente Dämmdicke“ bei $R^2 = 0.5$, dann heißt dies, dass die Hälfte (50 %) der Streuung (Varianz) der Vollkosten direkt durch eine lineare Abhängigkeit der Vollkosten von der äquivalenten Dämmdicke erklärt werden kann.

Vollkosten und Energiebedingte Mehrkosten

Im Bericht werden als Vollkosten die Kosten nach Kostengruppen 300 und 400 DIN 276 definiert. Auf Basis der Auswertungen wurden für bau- und anlagentechnische Komponenten die im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandhaltung bzw. Modernisierung entstehenden Kosten bzw. die zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten als Folge zusätzlicher energiesparender Maßnahmen abgeleitet. Dazu wurden für die Maßnahmen Wärmedämmverbundsystem und nachträgliche Dämmung zwischen bzw. auf den Sparren zusätzlich die Kostenstrukturen im Detail untersucht.

Plausibilitätsprüfung

Bei der Detailanalyse zeigte sich, dass abgerechnete Kosten zum Teil nicht plausibel zu erklären sind, obwohl die Kostenfeststellungen in den Einzelpositionen vollständig erscheinen. Außerdem wurden einzelne Maßnahmen „pauschal“ mit unrealistisch erscheinenden Kosten abgerechnet. Andere Maßnahmen wurden in Eigenleistung bzw. durch Unterstützung von Fachfirmen ausgeführt oder Materialien wurden privat besorgt und von Fachfirmen verarbeitet. Die Ergebnisse dieser Kostenfeststellungen lassen sich nicht verallgemeinern und wurden daher nicht für die Ableitung der Kostenfunktionen benutzt. Die Kostenfeststellungen wurden jedoch aus Gründen der vollständigen Dokumentation in der Datenbank belassen und sind in den folgenden Abbildungen dokumentiert.

Brutto

Alle im Folgenden dargestellten Kostenangaben sind inkl. der gesetzlichen Mehrwertsteuer und damit Bruttopreise.

2.1 Außenwand – nachträgliche Dämmung mit Wärmedämmverbundsystem

Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem mit Dämmstoff Polystyrol (Basis: n = 97 Kostenfeststellungen) und Mineralfaser (Basis: n = 12 Kostenfeststellungen). Dargestellt sind die Vollkosten der Maßnahmen [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] sowie die gemeinsame Kostenfunktion der unterschiedlichen Dämmstoffe.

Die in den Kostenfeststellungen ausgewiesene Bauteilfläche für die Fassadendämmung erfasst nicht die für Energiebilanzberechnungen relevante tatsächlich gedämmte Fläche, sondern enthält auch Öffnungen in der Fassade kleiner $2,5 \text{ m}^2$. Diese Flächen für Fenster und kleine Türen werden bei der Flächenermittlung für die Fassadendämmung nach VOB übermessen. Auf Basis der hier ausgewerteten Kostenfeststellungen sind dies im Mittel über alle Projekte ca. 9 % der in den Kostenfeststellungen ausgewiesenen Fläche für die Wärmedämmverbundsysteme.

Bei Energiebilanzberechnungen nach EnEV werden dagegen die tatsächlichen Flächen der thermischen Hülle berücksichtigt. Da die hier vorgestellten Ergebnisse als eine Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen zur EnEV 2012 genutzt werden sollen, wurden die unten dargestellten spezifischen Kosten auf diese um 9 % kleinere tatsächlich gedämmte Fläche bezogen. Durch diesen Flächenbezug lassen sich die Kostenangaben nun unmittelbar für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Beurteilung energiesparender Maßnahmen nutzen.

Für die Bestimmung der äquivalenten Dicke des Dämmstoffs wurden von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ abweichende Wärmeleitfähigkeiten des eingesetzten Dämmstoffs auf diesen Wert umgerechnet.

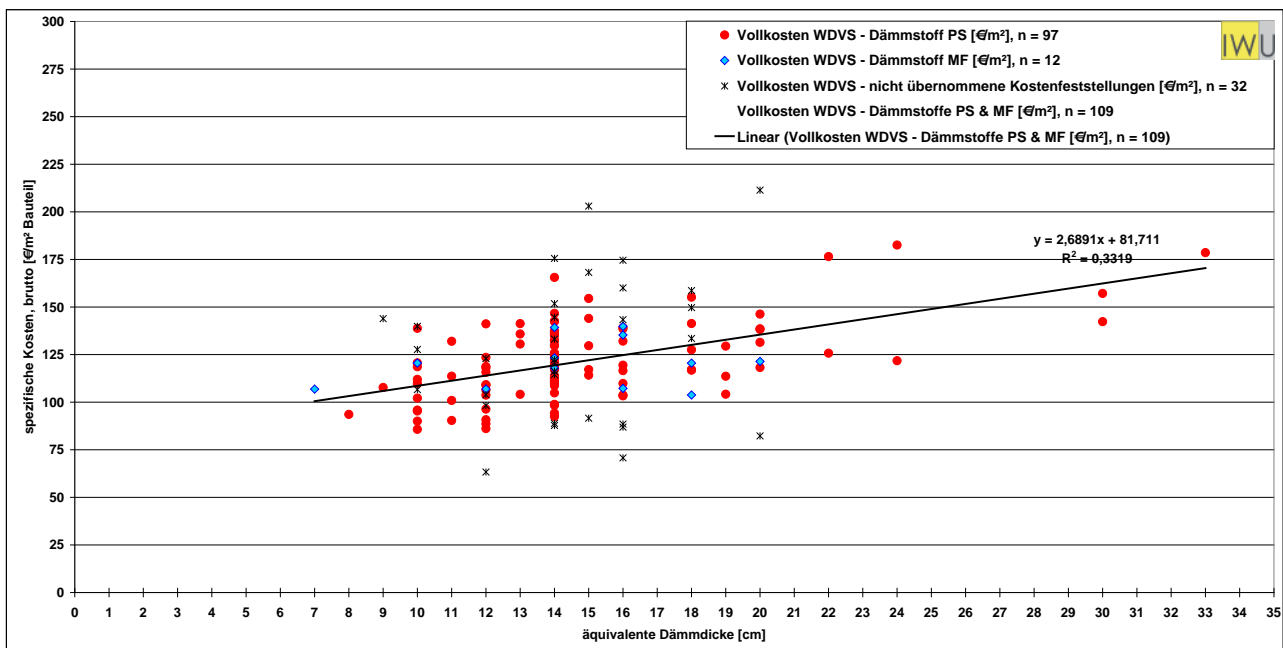


Abbildung 1: spezifische Kosten und Kostenfunktion: nachträgliche Dämmung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Angegeben sind die spezifischen Vollkosten der Maßnahmen inkl. der Baustelleneinrichtung, der Kosten für die Demontage & Montage neuer Außenfensterbänke mit Antidröhnbändern und gegebenenfalls Dämmkeilen unter den Fensterbänken, dem Versetzen von Regenfallrohren und weiterer Nebenarbeiten, die als Konsequenz aus der Dämmmaßnahme erforderlich werden könnten, wie z. B. die eventuell erforderliche Verlängerungen von Dachüberständen im Bereich Ortgang oder Traufe, der Abbruch von Gartenmauern, das Versetzen von Hoftoren oder die Demontage & Montage neuer Balkongeländer oder Fenstergitter. Die Kosten beinhalten auch den Aufwand für einen neuen 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.

Abbildung 1 enthält auch die Kostenfeststellungen, die nach den Rechnungen zwar insgesamt plausibel erscheinen, aber aus verschiedenen Gründen, wie z. B. der pauschalen Angabe „umfangreiche Stuckarbeiten auf der Fassade“ oder sehr aufwändiger Sockel- bzw. Kellerwandabdichtungen, nicht in die Auswertung übernommen wurden. Sehr niedrige Vollkosten ergeben sich zum Teil aus Kostenfeststellungen, in denen zwar die einzelnen Positionen auf der Basis einer Leistungsbeschreibung detailliert aufgeführt sind, schließlich aber die Gesamtleistung „pauschal“ berechnet wird. Auch diese maßnahmenbezogenen Vollkosten wurden für die Auswertung nicht übernommen.

Abbildung 1 zeigt die gemeinsame Kostenfunktion für die Dämmstoffe Mineralfaser und Polystyrol, die in den ausgewerteten Projekten fast ausschließlich eingesetzt wurden. Danach ergeben sich für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung durchschnittliche spezifische Vollkosten von ca. $125 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ ohne Gerüst. Die von der Dämmdicke unabhängigen Grundkosten für das Wärmedämmverbundsystem betragen durchschnittlich $82 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 = 0,33$. Damit besteht ein Zusammenhang zwischen den Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem und der äquivalenten Dämmdicke.

Detailanalyse Wärmedämmverbundsystem

Die Detailanalyse in Abbildung 2 zeigt die Zuordnung der Kostenanteile für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung. Die Detailanalyse fasst die Kostenanteile zusammen, die im Zuge einer erforderlichen umfangreichen Sanierung der Fassade ohnehin entstehen, die zusätzlich aus dem Wärmedämmverbundsystem resultieren sowie den Kosten für den Grundputz und die Armierung.

- Ohnehin erforderliche Kosten: 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 Untergrundes sowie eventuell erforderlicher Demontagen und Erneuerung 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 Deckputz auf der Fassade und den Fensterleibungen mit allen Nebenarbeiten und Zulagen. Diese Kosten von durchschnittlich $52 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ sind im Zuge einer baulichen Instandsetzung ohnehin erforderlich und weitgehend unabhängig von einer eventuell an diese Instandsetzung gekoppelte Modernisierung mit einem Wärmedämmverbundsystem.

- Zusätzliche Maßnahmen für das Wärmedämmverbundsystem: Zusätzliche Kosten von ca. 50 €/m²_{Bauteil} gegenüber der Alternative „umfangreiche Putzinstandsetzung“ resultieren aus den Sockelschienen, dem Dämmstoff, Montageplatten zur Reduzierung von Wärmebrückeneffekten, der Verdübelung, eventuell erforderlicher Brandschutzausbildung, systemgerechten Fensterbänken sowie einer eventuell erforderlichen Vergrößerung von Dachüberständen.
- Grundputz & Armierung: Sowohl für das Wärmedämmverbundsystem als auch bei der Alternative „umfangreiche Putzinstandsetzung“ ist ein Grundputz erforderlich, der bei der Putzinstandsetzung im Altbau in der Regel auch armiert sein muss. Beim Wärmedämmverbundsystem kostet dieser armierte Grundputz auf Fassade und Fensterleibungen durchschnittlich 23 €/m². Auf Basis der Auswertungen aus dem BKI-Kostenplaner resultieren Kosten für einen entsprechenden armierten Grundputz im Altbau im Zuge einer Putzinstandsetzung zwischen 15 €/m²_{Bauteil} bis zu 45 €/m²_{Bauteil}. Der armierte Grundputz in der Altbausanierung ist damit häufig teurer als der armierte Grundputz für das Wärmedämmverbundsystem. In einer ersten Näherung können diese Kosten gegeneinander verrechnet werden: Es entstehen somit keine Mehrkosten aus dem Grundputz bei der Putzinstandsetzung gegenüber dem WDVS.

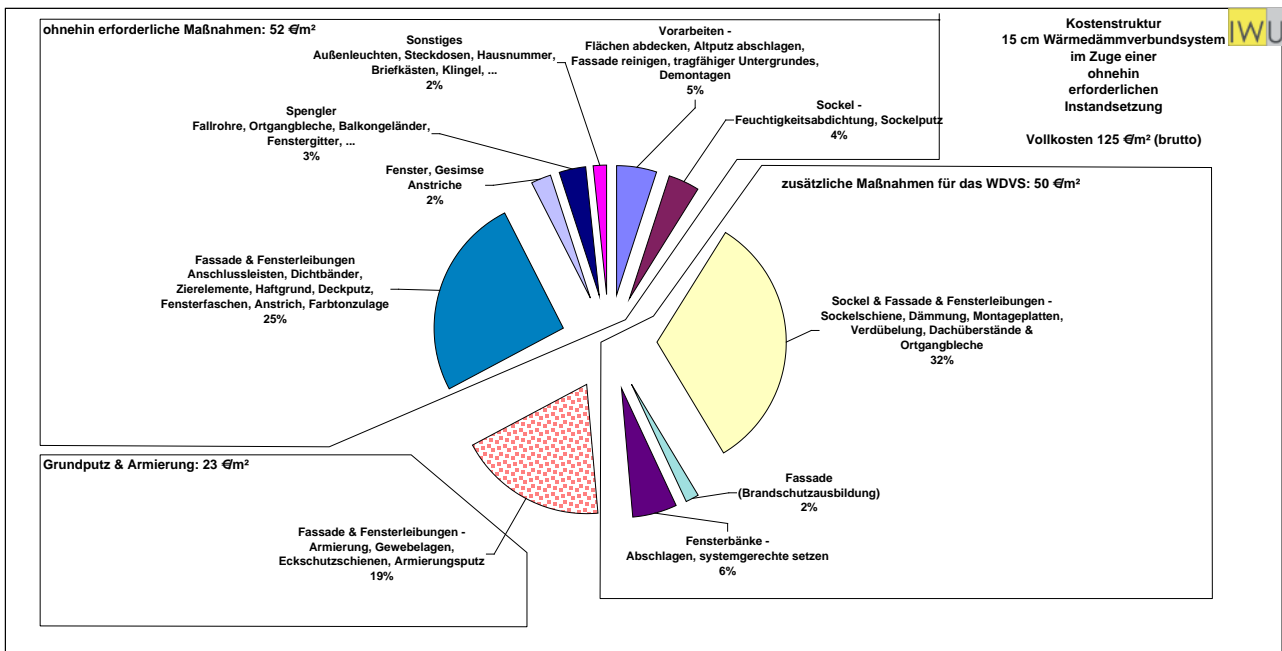


Abbildung 2: Kostenstruktur 15 cm Wärmedämmverbundsystem (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Gerüstkosten

Die Kosten für das Einrüsten der Gebäude lassen sich nicht klar zuordnen, weil für ganz unterschiedliche Maßnahmen Gerüste erforderlich sind. In der vorliegenden Studie wurden daher diese Kosten auch nicht direkt den einzelnen Maßnahmen zugeordnet.

Auf Basis der Primärdaten ergeben sich jedoch durchschnittliche spezifische Vollkosten für die Gerüste von etwa 6 €/m²_{Wohnfläche} bei den Ein- und Zweifamilienhäusern und von etwa 4 €/m²_{Wohnfläche} bei den großen Gebäuden.

Energiebedingte Mehrkosten

Wird eine Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem nachträglich gedämmt, dann entstehen mit jedem cm Dämmstoff zuwachsende energiebedingte Kosten von $2,70 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ aus den Sockelschienen, dem Dämmstoff, Montageplatten, der Verdübelung und der eventuell erforderlichen Vergrößerung von Dachüberständen.

Aus den Kostenfeststellungen ließen sich zuwachsende Kosten für systemgerechte Fensterbänke mit unterschiedlichen Ausladungen und eventuell erforderliche Brandschutzausbildungen nicht ableiten. Im Mittel betragen diese Kosten ca. $10 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Diese Kosten sind ebenfalls energiebedingte Mehrkosten.

Die EnEV koppelt die Anforderungen an eine nachträgliche Dämmung der Außenwand an eine ohnehin erforderliche umfassende Instandsetzung der Fassade. Die in Abbildung 2 weiter dargestellten Vorarbeiten wie die Herstellung eines tragfähigen Untergrundes, den Sockelputz, Anschlussleisten, Dichtbänder, das Aufbringen von Zierelementen, zusätzliche dekorative Arbeiten an Fensterfaschen, Farbanstriche und Farbtonzulagen oder die Demontage und Montage von Fenstergittern oder Geländern, Außenleuchten, Steckdosen und Briefkästen, sind daher in erster Linie nicht energierelevant, sondern im Zuge der umfassenden Instandsetzung der Fassade ohnehin erforderlich. Dazu zählt auch die Erneuerung von Regenfallrohren im Zuge der Instandsetzung alter Fassaden.

Nicht klar zu quantifizieren sind die Kosten für einen (konventionellen) neuen Grundputz ohne Wärmedämmung auf der Fassade, die durch das Wärmedämmverbundsystem eingespart werden können. Andererseits muss aber auch für das Wärmedämmverbundsystem ein Grundputz mit einer Armierung aufgebracht werden. In einer ersten Näherung können diese Kosten gegeneinander verrechnet werden.

Damit betragen die energiebedingten Mehrkosten für eine nachträgliche Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem im Zuge einer ohnehin erforderlichen baulichen Instandsetzung $2,70 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ zuzüglich Fixkosten von $10 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$.

2.2 Kellerdecke – nachträgliche Dämmung unterseitig

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche unterseitige Dämmung einer Kellerdecke für die Dämmstoffe Polystyrol (n = 29), Mineralfaser (n = 4) und Polyurethan (n = 8). Dargestellt sind die spezifischen Vollkosten [€/m²_{Bauteil}] und die gemeinsame Kostenfunktion für die drei Dämmstoffe über der „äquivalenten Dicke“ [cm]. Bezugsfläche ist die Fläche des in den Rechnungen ausgewiesenen verarbeiteten Dämmstoffs.

Angegeben sind die Vollkosten der Maßnahmen inkl. der Kosten für eventuelle erforderliche Nebenarbeiten wie die Demontage/Montage von Deckenleuchten, das Kürzen von Türen, das Aus- und Einräumen von Kellern oder das Abdecken von Flächen, die im Zuge der Dämmmaßnahmen erforderlich werden. Enthalten sind auch die Kosten für die zusätzliche Dämmung von Kellerinnenwänden zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung, sofern diese Maßnahme durchgeführt wurde. Die Dämmplatten sind verklebt, gedübelt und geschliffen.

Die Kostenfunktion hat ein Bestimmtheitsmaß von $R^2 \approx 0,07$. Damit besteht nur ein sehr geringer unmittelbarer Zusammenhang zwischen der äquivalenten Dämmdicke und den Kosten. Das heißt, in Bezug auf die Kosten der Maßnahmen sind offensichtlich andere Faktoren als die Dämmdicke entscheidend. Dies könnten z. B. bauliche Gegebenheiten sein: Die vier Maßnahmen mit 10 cm, 15 cm, 16 cm und 19 cm äquivalenter Dämmdicke (PS) und jeweils Kosten von ca. 30 €/m² wurden relativ kostengünstig in großen Mehrfamilienhäusern realisiert.

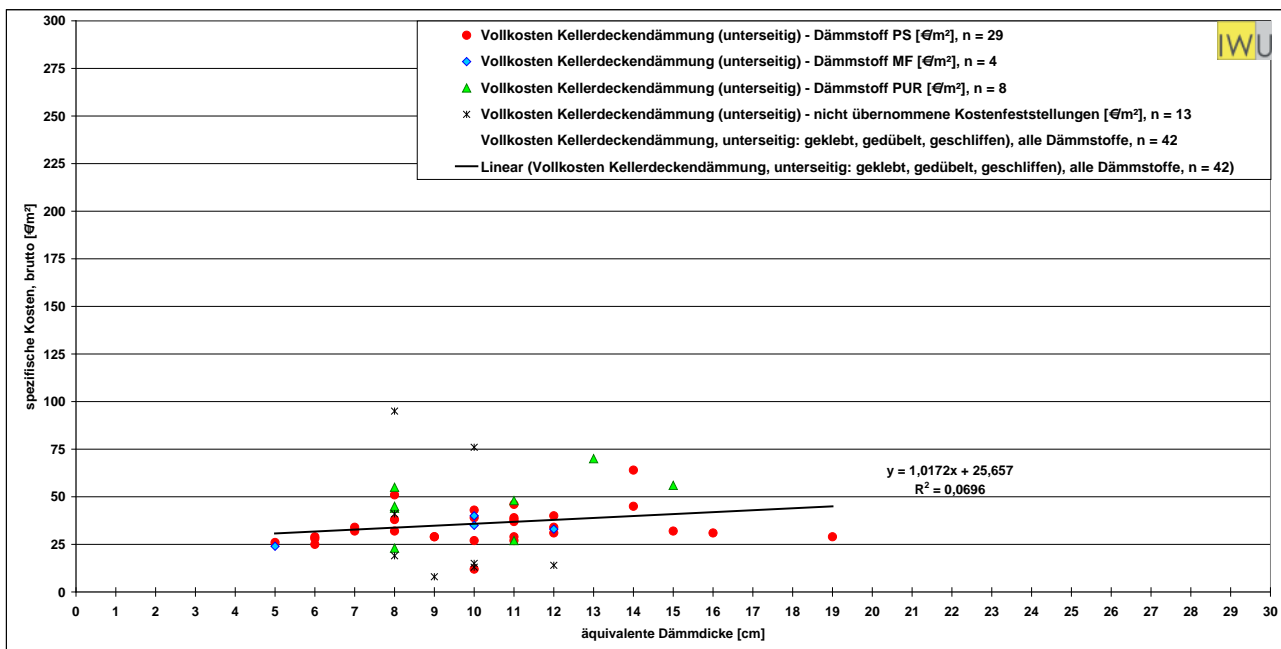


Abbildung 3: spezifische Kosten und Kostenfunktion: nachträgliche unterseitige Dämmung der Kellerdecke (geklebt, gedübelt und geschliffen) (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Abbildung 3 zeigt auch die Kostenfeststellungen, die im Detail nicht nachzuvollziehen waren: So war häufig aus den Rechnungen nicht zu erkennen, ob die Maßnahmen eine Armierung, einen Putzträger oder einen Anstrich beinhalten bzw. die Kosten für diese Maßnahmen wurden nicht explizit ausgewiesen. Zum Teil wurden Arbeiten auch in Eigenleistungen erbracht. Bei einigen Kostenfeststellungen fehlten auch Angaben zum Dämmstoff.

Vergleichend wurden auch Kostenfeststellungen ausgewertet, die zusätzlich auch eine Armierung des Dämmstoffs z. B. zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen beinhalten ($n = 15$). Die damit verbundenen zusätzlichen Kosten betragen etwa $15 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Allerdings stehen Kellerdecken-Dämmsysteme am Markt zur Verfügung und wurden bei den untersuchten Projekten auch eingesetzt, die optisch ansprechend und ohne zusätzliche Armierung auch einen ausreichenden Schutz vor mechanischer Beschädigung aufweisen. Bei solchen Systemen entfallen die zusätzlichen Kosten für einen Armierungsputz.

Energiebedingte Mehrkosten

Entsprechend der Kostenfunktion betragen die Grundkosten für eine nachträgliche unterseitige Dämmung einer Kellerdecke (geklebt, gedübelt und gespachtelt) $25 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Diese Grundkosten enthalten alle Nebenaufwendungen für z. B. die Demontage und Montage von Deckenleuchten, Aussparungen von Rohrleitungen, das Kürzen von Türen und Verschlagen oder das Ein- und Ausräumen von Kellern sowie das Kleben und Schleifen der Dämmplatten. Die zuwachsenden Kosten betragen $1,05 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W/(mK)}$ und resultieren im Wesentlichen aus den zusätzlichen Kosten für den Dämmstoff. Soll der Dämmstoff zum Schutz vor mechanischer Beschädigung zusätzlich armiert werden, entstehen weitere Kosten von $15 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

2.3 Fenster & Fenstertüren

In Abbildung 4 sind die flächenbezogenen Mittelwerte der Kosten [€/m²_{Bauteil}] für Fenster und Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in kleinen Ein- und Zweifamilienhäusern (EFH) sowie in Mehrfamilienhäusern (MFH) angegeben. Dabei beträgt der U_g-Wert der Fenster und Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen < 0,9 W/(m²K) und der der Fenster und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen > 0,9 W/(m²K). Die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen wurden zumeist mit einem thermisch verbesserten Randverbund aus Kunststoff ausgeführt („warme Kante“).

Basis der Auswertungen sind 121 abgerechnete Projekte mit über 500 Fenstertüren und über 1600 einzelnen Fenstern. Bezugsfläche ist die in den Rechnungen ausgewiesene Fläche der Fenster.

Angegeben sind die spezifischen Vollkosten der Maßnahmen inkl. Demontage, Entsorgung und Montage der Fenster, von Deckleisten bzw. Putzarbeiten im Bereich der Leibungen. Nicht enthalten sind die Kosten für Innenfensterbänke, Außenfensterbänke (systematisch dem Element Außenwand zugeordnet), Rollläden und Fensterläden. Nicht enthalten sind auch die Kosten für Stemm- und Putzarbeiten infolge der Vergrößerung neu eingebauter Fenster. Die Datenbasis enthält zudem keine Fenster mit echten Sprossen.

Da in den Primärdatensätzen nicht genügend Kostenfeststellungen für entsprechende Fenster vorlagen, wurden die Kosten für passivhaustaugliche Fenster nicht in die Auswertung übernommen. Die hier untersuchten Fenster haben daher einen „konventionellen“ Rahmen mit Bautiefen von zumeist 70 mm bis 80 mm.

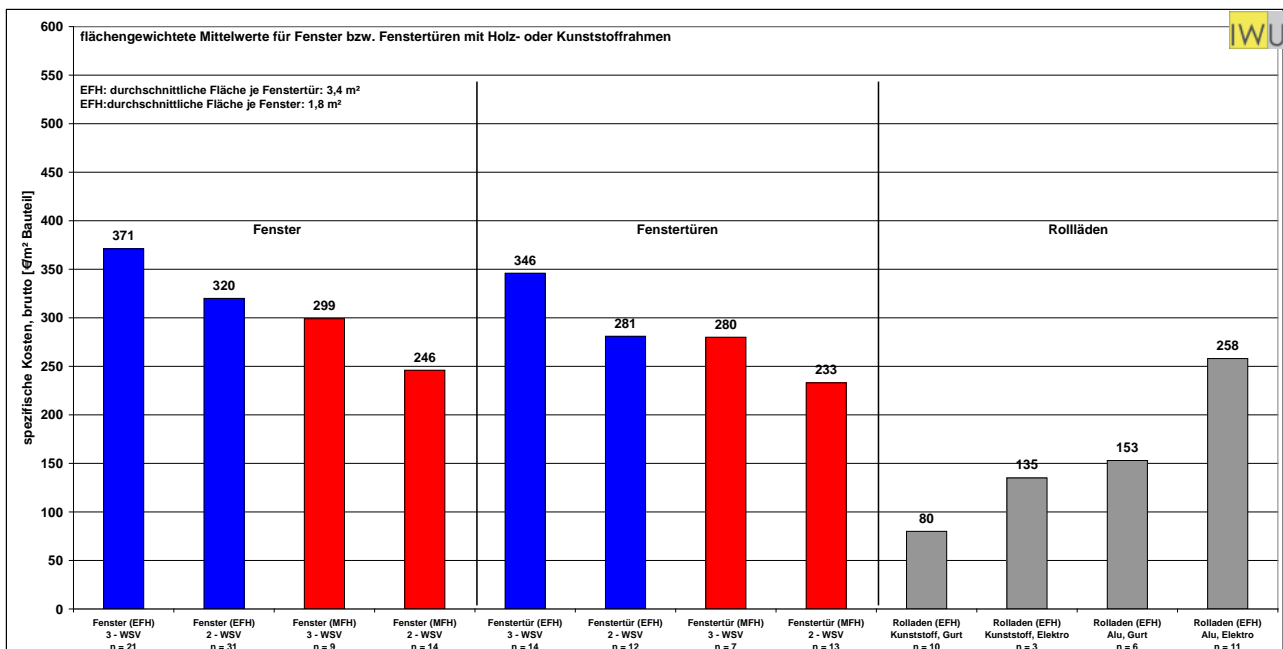


Abbildung 4: spezi. Kosten von Fenstern, Fenstertüren mit 3-/2-Scheiben-Wärmeschutzvergl. (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Nach der Auswertung der Primärdaten betragen die Kosten für Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH $371 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 21$) und für Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung $320 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 31$). Entsprechende Fenstertüren kosten bei einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH $346 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 14$) und bei einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung $281 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 12$).

Zum Vergleich sind in Abbildung 4 auch die Kosten für entsprechende Fenster und Fenstertüren in Mehrfamilienhäusern angegeben: Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung kosten im Mittel im MFH $299 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 9$), mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im Mittel $246 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 14$). Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung kosten im Mittel im MFH $280 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 7$), mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im Mittel $233 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ (Basis $n = 13$). Damit liegen die Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im MFH nahezu auf dem Niveau der Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH. Die Mehrkosten für die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung liegen zwischen $45 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bis $65 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Zum Vergleich enthält Abbildung 4 auch die Kosten für Vorbaurolläden verschiedener Ausführung. Demnach kostet ein Vorbaurolladen mit Kunststofflamellen und Gurt im Mittel $80 \text{ €/m}^2_{\text{Rollladen}}$. Häufig wurden jedoch Vorbaurolläden mit Alu-Lamellen und Elektroantrieb eingesetzt. Diese kosten im Durchschnitt etwa $260 \text{ €/m}^2_{\text{Rollladen}}$ und liegen damit auf dem Niveau der spezifischen Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung. Es wurden jedoch auch Vorsatzrolladenkästen mit ALU-Lamellen und Elektroantrieb mit Fernbedienung mit Kosten deutlich über $300 \text{ €/m}^2_{\text{Rollladen}}$ abgerechnet.

Einfluss der Fenstergröße im Ein- und Zweifamilienhaus

Bei der Auswertung der Kostenfeststellungen hat sich auch der Einfluss der Fenstergröße auf die spezifischen Kosten der Fenster gezeigt. In den Abbildungen 5 und 6 sind daher die Kosten für Fenster und große Fensterelemente mit 2- bzw. 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH über der Fensterfläche dargestellt. Entsprechend den Trendlinien kosten Fenster mit einer Fläche von $1,8 \text{ m}^2$ (Rahmen und Verglasung), 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und Kunststoffrahmen $379 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ inkl. aller Nebenkosten. Fenstertüren bzw. Elemente mit $3,5 \text{ m}^2$ Fläche kosten $327 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Die gleichen Fenster bzw. großen Fensterelemente kosten als 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung $298 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bzw. $253 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 \approx 0,14$ bzw. $0,11$. Es besteht damit allerdings nur ein geringer direkter Zusammenhang zwischen der Fenstergröße und den spezifischen Kosten für die Fenster.

Anmerkung: Die Flächen von $3,5 \text{ m}^2$ bzw. $1,8 \text{ m}^2$ sind die aus den Kostenfeststellungen ermittelten durchschnittlichen Flächen für Fenstertüren bzw. Fenster in den modernisierten Ein- und Zweifamilienhäusern. Daher werden diese Flächen hier als Bezug genommen – wie auch in Abbildung 4. Die aus den Kostenfunktionen in Abbildung 5 und 6 ermittelten Kosten für die entsprechenden Fenster & Fenstertüren passen näherungsweise zu den in Abbildung 4 dargestellten Kosten von $371 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bzw. $346 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und $320 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bzw. $281 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung. Die Mehrkosten betragen nach den Kostenfunktionen für Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung gegenüber solchen mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung bei ansonsten vergleichbarer Qualität ca. $75 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bis $80 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Allerdings wird die Kostenfunktion (ungewichtet) durch die Punktwolke definiert: Jeder einzelne Punkt der Punktwolke, d. h. jedes einzelne ausgewertete Projekt, beeinflusst unabhängig von der Größe des Projektes (Anzahl der Fenster, Fläche der Fenster und Gesamtkosten) die Kostenfunktion. In Abbildung 4 sind dagegen die flächengewichteten Mittelwerte der spezifischen Kosten dargestellt. Dabei wird jedes Projekt mit der Anzahl der Fenster, Fläche der Fenster und Gesamtkosten gewichtet und bewertet. Daraus wurden die spezifischen Kosten für die definierten Standards „3- WSV“ und „2-WSV“ bestimmt, aus denen auch die Mehrkosten von $50 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bis $60 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die unterschiedlichen energetischen Standards abgeleitet werden können.

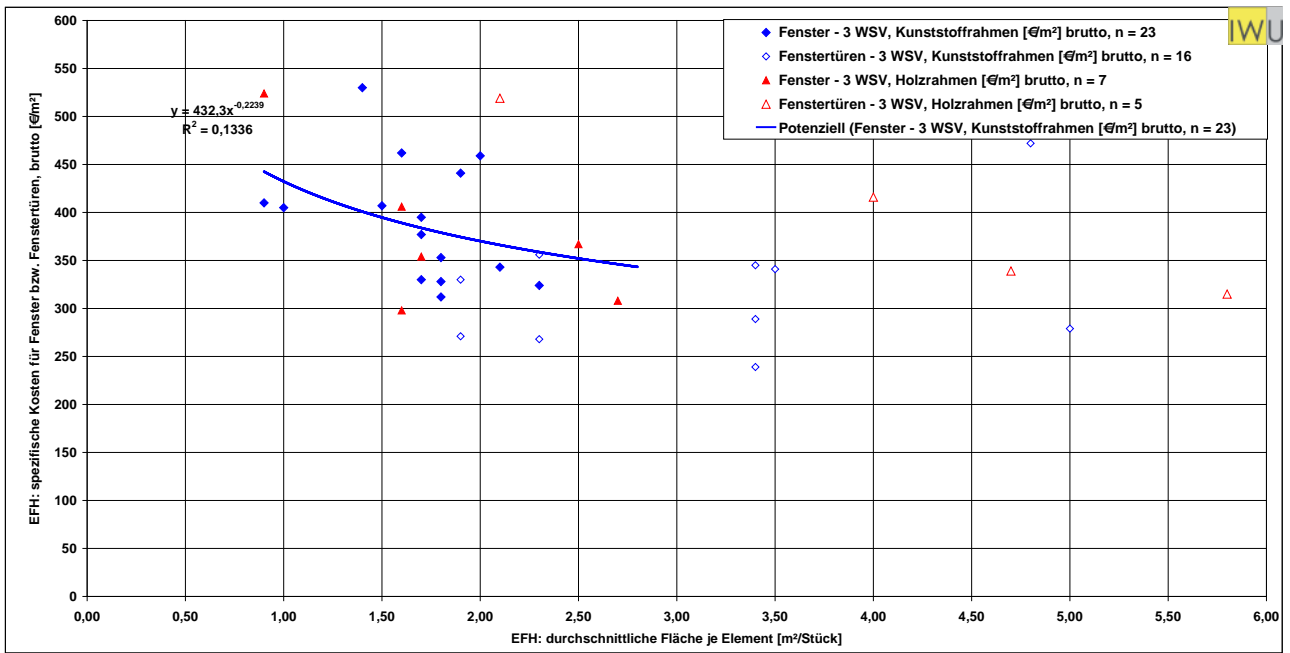


Abbildung 5: spezifische Kosten von Fenstern & Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung über der Fenstergröße im EFH (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

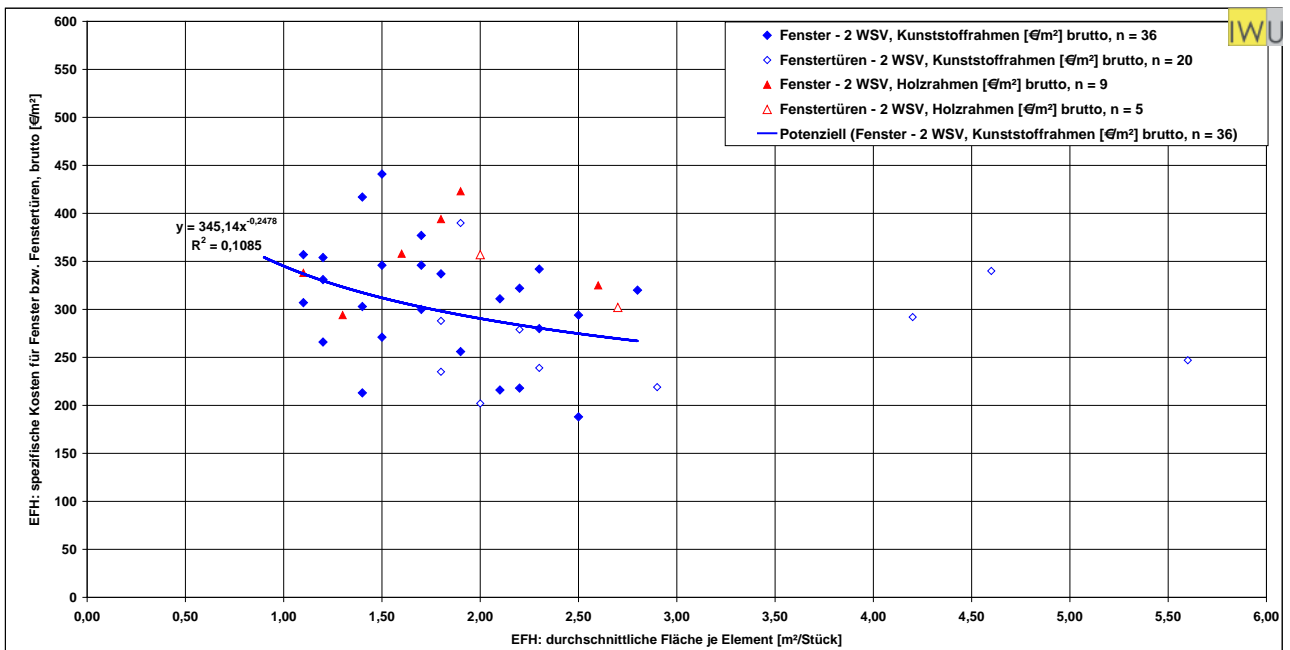


Abbildung 6: spezifische Kosten von Fenstern & Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung über der Fenstergröße im EFH (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Umrechnung der Ergebnisse auf U_w

Abgesehen von sehr wenigen Ausnahmen sind in den Rechnungen lediglich U_g -Werte angegeben. Relevant für die Energiebilanzberechnungen sind jedoch die U_w -Werte, so dass eine Umrechnung durchgeführt werden musste.

Die hier untersuchten Fenster mit Kunststoffrahmen wurden zu etwa $\frac{3}{4}$ als 5-Kammer-System und zu etwa $\frac{1}{4}$ als 6-Kammer-System ausgeführt. 4-Kammer-Systeme wurden nahezu nicht verwendet. Für die Umrechnung der Ergebnisse wurde ein konventionelles 5-Kammer-System mit üblicher Bautiefe von 70 mm bis 80 mm und einem U_f -Wert von 1,35 W/(m²K) angesetzt. Die 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung wurde mit einem ALU-Randverbund gerechnet, die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem thermisch verbesserten Randverbund aus Kunststoff. Die Ergebnisse der Umrechnung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Fläche Fenster [m ²]	Sichtbare Glasfläche [m ²]	U_g [W/(m ² K)]	U_f [W/(m ² K)]	U_w [W/(m ² K)]	Kosten (brutto) [€/m ² Fenster]
1,23 * 1,46 = 1,80	1,23	1,1 (2-WSV, Alu)	1,35	1,30	320
1,23 * 1,46 = 1,80	1,23	0,7 (3-WSV, GFK)	1,35	1,01	371
1,64 * 2,13 = 3,50	2,68	1,1 (2-WSV, Alu)	1,35	1,25	281
1,64 * 2,13 = 3,50	2,68	0,7 (3-WSV, GFK)	1,35	0,91	346

Tabelle 2: spezifische Kosten für Fenster im Standard-Kunststoffrahmen mit Verglasungen unterschiedlicher energetischer Qualität im EFH (Kosten entsprechend Abbildungen 4 für Fenster und Fenstertüren im EFH) (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Aktuelle Entwicklungen hochwertiger Rahmenprofile

Momentan verfügbare hochdämmende Rahmen weisen Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,1 bis 0,7 W/(m²K) auf und entsprechen damit lediglich den Mindestanforderungen an passivhaustaugliche Fenster. Gekoppelt ist dies allerdings an hohe Bautiefen von 120 bis 130 mm – und hohe Kosten. Die Herstellung entsprechend hochwertiger Rahmenprofile mit konventionellen Bautiefen von unter 90 mm ist bei Nutzung konventioneller Technologien äußerst aufwändig. Tatsächlich forschen und entwickeln daher Unternehmen der Fensterindustrie mit hohem Aufwand neuartige Rahmenkonstruktionen, mit denen kostengünstig U_f -Werte < 0,7 W/(m²K) bei Bautiefen unter 90 mm realisiert werden können [BINE; 2009].

U. a. auch diese Entwicklungen werden vermutlich dazu beitragen, zukünftig passivhaustaugliche Fenster kostengünstig auch in der Altbaumodernisierung einsetzen zu können. Gleichzeitig werden diese energetisch hochwertigen Produkte zu einem Kostendruck auf heute noch konventionelle energetische Standards führen, der als kostendämpfender Faktor auf die Preise von heute noch konventionellen 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung wirken wird.

Energiebedingte Mehrkosten

Die EnEV fordert den Einbau energetisch verbesserter Fenster nur für den Fall, dass die Fenster aus Gründen einer ohnehin anstehenden Instandsetzung ausgetauscht werden müssen. Als Standard kann eine 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit $U_g = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Kunststoffrahmen mit $U_f = 1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und Alu-Randverbund angesetzt werden. Der U_w -Wert eines solchen Fensters liegt bei etwa $1,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Mehrkosten entstehen durch den Übergang zur 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit verbessertem Randverbund von ca. 50 bis $60 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$, je nach Fenstergröße. Der U_w -Wert eines solchen Fensters liegt bei etwa $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Die energiebedingten Mehrkosten betragen demnach für eine Verbesserung des U_w -Wertes um $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ durch den Übergang von der 2-Scheiben- zur 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung in Fenstern mit „konventionellen“ Rahmen ca. $50 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$ bis $60 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$.

2.4 Steildach – nachträgliche Dämmung von außen

Abbildung 7 zeigt die spezifischen Kosten [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] und die Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung eines Steildaches von außen zwischen/auf den Sparren mit dem Dämmstoff Mineralfaser ($n = 30$) und dem Dämmstoff Polyurethan für die Aufsparrendämmung ($n = 21$) über der „äquivalenten Dicke“ [cm]. Die Maßnahmen erfolgen in Zuge einer Neueindeckung des Daches.

Bezugsfläche ist die Fläche der innen liegenden Dampfbremse bei der Zwischensparrendämmung bzw. die Fläche des abgerechneten Dämmstoffs bzw. der Eindeckung bei der Aufsparrendämmung. Bei der Berechnung der äquivalenten Dämmdicke der Zwischensparrendämmung wurde ein Holzanteil von 20 % berücksichtigt.

Die Vollkosten umfassen alle Kosten, die im Zuge der Abdeckung des Daches, der Entsorgung alter Bauteile, der Dämmung sowie der Neueindeckung inkl. aller Anschlüsse und Spenglerarbeiten erforderlich sind. Berücksichtigt wurden z. B. auch die Kosten für Dachausstiegs-luken oder Kaminsanierungen im Zuge der Neueindeckung. Nicht enthalten sind die Kosten für das Gerüst sowie für eventuell erforderliche Verlängerungen von Dachüberständen infolge einer Außenwanddämmung (systematisch der Außenwanddämmung zugeordnet). Die Auswertung der Kostenfeststellungen hat gezeigt, dass Maßnahmen an Gauben und Dachflächenfenstern zu einer sehr starken Streuung der Kosten führen. Daher sind diese Maßnahmen bei der Darstellung der Kosten in Abbildung 7 systematisch nicht berücksichtigt.

Abbildung 7 enthält auch wieder die Kostenfeststellungen, die nach den Rechnungen zwar insgesamt plausibel erschienen, aber nicht in die Auswertung übernommen wurden, weil wichtige Einzelpositionen wie z. B. die innen liegende Dampfsperre nicht ausgewiesen waren, gleichzeitig aber die Kosten der Maßnahme relativ niedrig waren.

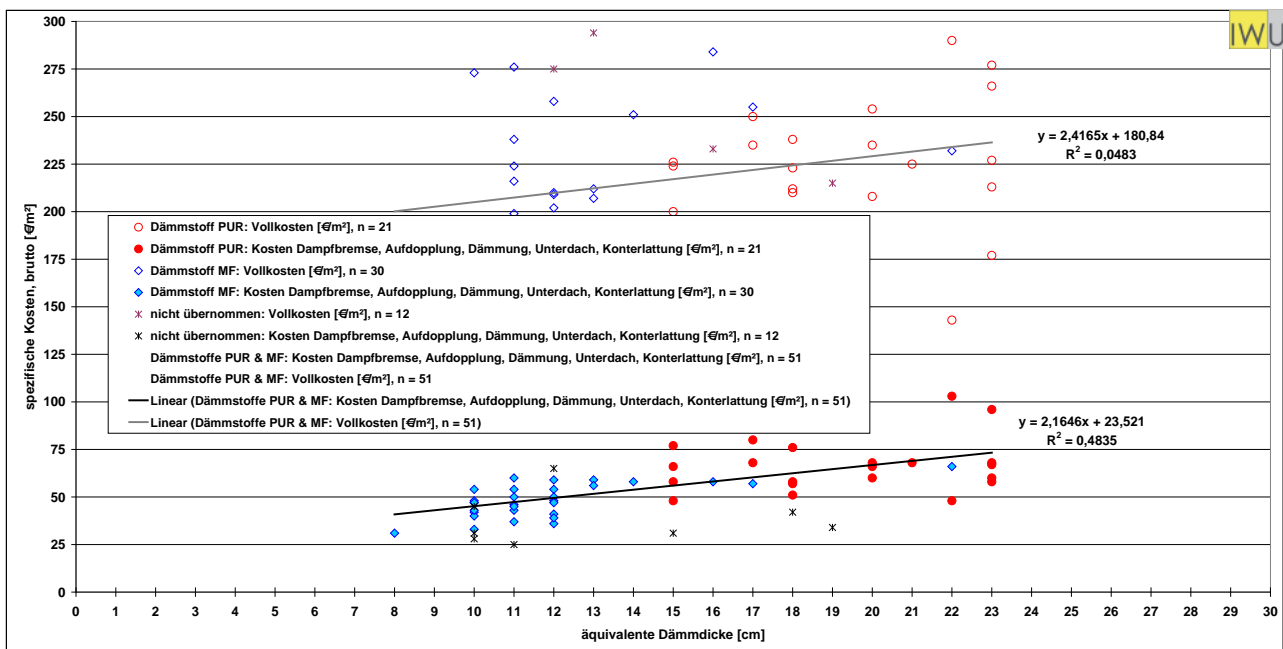


Abbildung 7: spezifische Kosten einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen mit gleichzeitiger Neueindeckung (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Auffallend ist das sehr geringe Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für die Vollkosten. Nach dem Bestimmtheitsmaß besteht nahezu kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Vollkosten der Dachsanierung und der energetischen Qualität des Bauteils nach Sanierung.

Als weitere Punktwolken mit der dazugehörigen gemeinsamen Kostenfunktionen sind für die Dämmung zwischen den Sparren die Kosten für die einzelnen Elemente innen liegende Dampfbremse, die Aufdopplung mit Trauf- bzw. Ortgangbrettern, die Dämmung, die Unterspannbahn/Unterdach und die Konterlattung (Dämmstoff Mineralfaser) und für die Aufsparrendämmung die Kosten für die innen liegende Dampfbremse, die Dämmung mit/als festes Unterdach und die Konterlattung (Dämmstoff Polyurethan) dargestellt. Mit diesen Elementen sind die Kosten für beide Systeme – die Aufsparrendämmung und die Zwischen-/Aufsparrendämmung) unmittelbar vergleichbar, weil ein ähnlicher Konstruktionszustand des Daches beschrieben wird: Die Dampfbremse ist luftdicht angeschlossen inkl. aller Durchdringungen, die Dämmung und das Unterdach sowie die Konterlattung sind verlegt. In diesem konstruktiv ähnlichen Zustand ergeben sich für beide Dämmsysteme vergleichbare Kosten über der äquivalenten Dämmdicke. Der unmittelbare Zusammenhang zwischen den Kosten und der äquivalenten Dämmdicke ist mit $R^2 \approx 0,48$ deutlich.

Detail Dachfenster

In einer Detailanalyse wurden die Kosten für die Demontage alter und den Einbau neuer Dachfenster zusammengestellt. Die Datenbasis beträgt $n = 107$ Kostenfeststellungen. In der Datenbasis sind auch Fenster enthalten, die nachträglich neu in die Dachkonstruktion eingebaut wurden. Die Kosten für ein Dachflächenfenster betragen demnach durchschnittlich etwa 880 €/Stück bzw. etwa 1550 €/m²Bauteil brutto. In der Regel enthalten die Kostenfeststellungen jedoch keine Angaben zur energetischen Qualität der Fenster, so dass hier kein Zusammenhang zu den Kosten hergestellt werden kann.

Detailanalyse Steildach mit Zwischen-/Aufsparrendämmung

Die Detailanalyse in Abbildung 8 zeigt die Zuordnung der Kostenanteile für die nachträgliche Dämmung des Steildaches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Dachsanierung mit Neueindeckung. Die äquivalente Dämmdicke beträgt 19 cm mit 0,035 W/(mK). Dies entspricht einer Dämmung von 14 cm zwischen den Sparren zuzüglich 10 cm auf den Sparren.

Energetisch relevant sind die Kosten für die Sparrenaufdopplung mit Trauf- und Ortgangbohlen und das Einbringen der Dämmung. Diese beiden Maßnahmen verursachen etwa 43 €/m²_{Bauteil} bzw. 19 % der Gesamtkosten von 228 €/m²_{Bauteil}. Etwa 60 % der Kosten werden verursacht durch die Eindeckung des Daches mit den neuen Anschlüssen. Die Spenglerarbeiten verursachen etwa 7 % der Kosten.

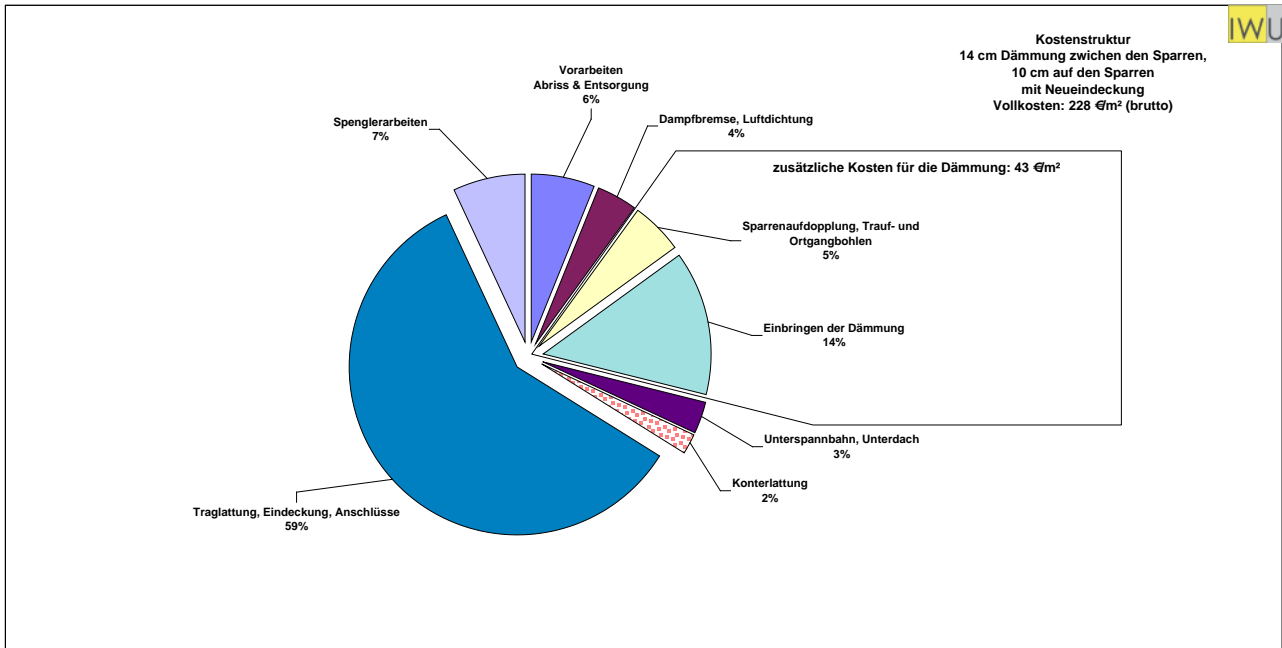


Abbildung 8: Kostenstruktur eine nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen mit Neueindeckung (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Energiebedingte Mehrkosten

Wird die Wärmedämmung des Daches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Dachsanierung durchgeführt, resultieren energiebedingte Mehrkosten aus der Aufdopplung der Sparren, den zusätzlichen Trauf- und Ortgangbrettern sowie der Dämmung selbst. Diese lassen sich aus dem Aufsparrendämmsystem jedoch nicht ermitteln, da hier das (ohnehin erforderliche) Unterdach häufig Teil des Systems selbst ist. Bei den Kostenfeststellungen der Zwischensparrendämmung sind diese Elemente jedoch einzeln ausgewiesen.

Aus der Detailanalyse der entsprechenden Kostenfeststellungen ergeben sich auf die Fläche der Dampfbremse bzw. der Dämmung bezogen durchschnittliche Fixkosten von 9 €/m²_{Bauteil} für die Luftdichtung/Dampfbremse, von 8 €/m²_{Bauteil} für die Unterspannbahn/Unterdach sowie von 5 €/m²_{Bauteil} für die Konterlattung. In der Summe sind dies 22 €/m²_{Bauteil} brutto Fixkosten für nicht energierelevante Kostenanteile. Dies deckt sich gut mit dem Ergebnis der Kostenfunktion in Abbildung 7, die einen Fixkostenanteil von ca. 23 €/m²_{Bauteil} brutto ausweist.

Die energiebedingten Mehrkosten für eine nachträgliche Dämmung im Steildach betragen somit 2,15 €/cm_{Dämmstoff}/m²_{Bauteil} brutto bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von 0,035 W/(mK).

2.5 Oberste Geschossdecke

Die nachträgliche Dämmung bisher ungedämmter, nicht begehbare, aber zugänglicher oberster Geschossdecken ist in der EnEV 2009 als Nachrüstungsverpflichtung verankert. Abbildung 9 zeigt die spezifischen Kosten [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] und die Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (alle Dämmstoffe: begehrbar, $n = 15$ / nicht begehrbar, $n = 10$) über der äquivalenten Dicke [cm].

Nach den Kostenfunktionen resultieren Mehrkosten für den begehrbaren Belag von etwa $25 \text{ €}/\text{m}^2$ bis $30 \text{ €}/\text{m}^2$. Insgesamt ist die Primärdatenbasis gering, da bei den zur Auswertung zur Verfügung stehenden Projekten im Wesentlichen Steildachdämmungen durchgeführt wurden. Zudem stammen nahezu 75% der Kostenfeststellungen aus Ein- und Zweifamilienhäusern. Es ist zu erwarten, dass die Kosten für entsprechende Maßnahmen auf gut zugänglichen obersten Geschossdecken in Mehrfamilienhäusern deutlich günstiger sind. So wurden z. B. die 20 cm Dämmung (nicht begehrbar) für $16 \text{ €}/\text{m}^2$ in einem großen Mehrfamilienhaus abgerechnet.

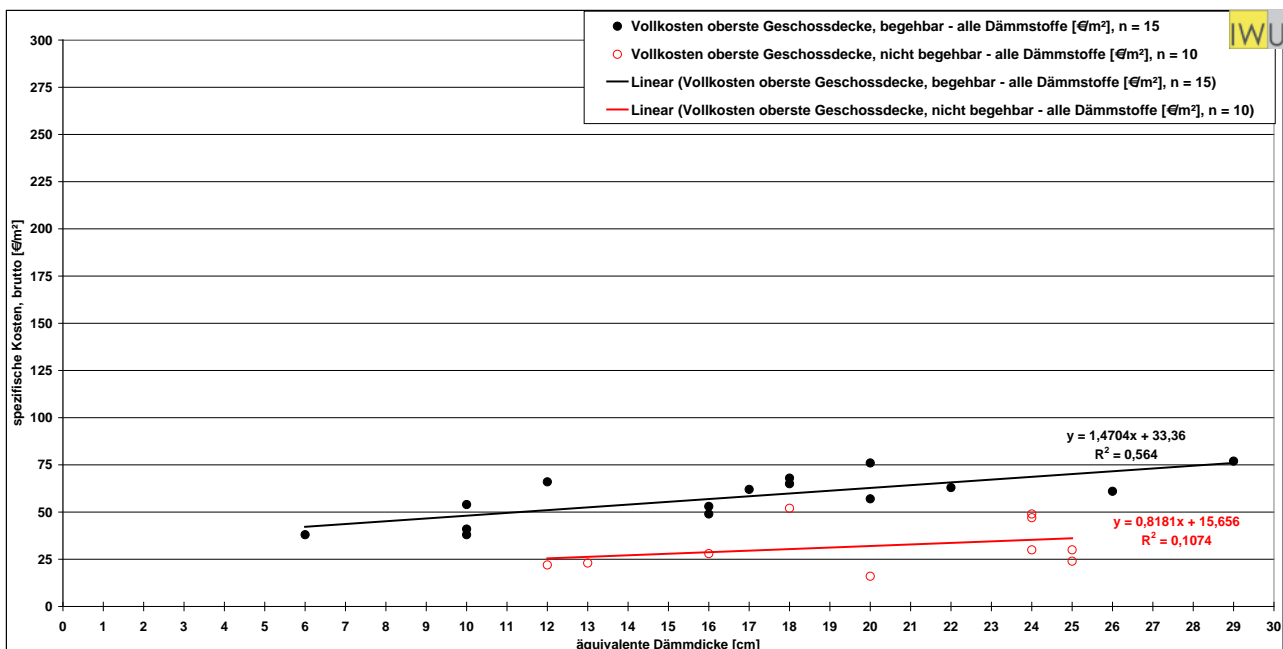


Abbildung 9: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung einer obersten Geschossdecke (begehrbar / nicht begehrbar) (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Energiebedingte Mehrkosten

Da Instandsetzungen an diesen Bauteilen in der Regel nicht vorgenommen werden müssen, sind die gesamten Kosten der Maßnahmen als energiebedingte Mehrkosten anzusetzen. Für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (nicht begehrbar) ergeben sich Fixkosten von $15 \text{ €}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ zuzüglich $0,8 \text{ €}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die Maßnahme. Für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (begehrbar) ergeben sich Fixkosten von $33 \text{ €}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ zuzüglich $1,5 \text{ €}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die Maßnahme.

2.6 Wärmeerzeugungsanlagen

Die folgenden Abbildungen zeigen die spezifischen Kosten [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}$] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme in Wohngebäuden. Dabei werden prinzipiell folgende Maßnahmen unterschieden:

- neue Heizanlage (Kesselaustausch: BW-Gas, BW-Öl, Pellet) als Einzelmaßnahme
- Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme bzw. im Zuge eines Kesselaustauschs
- Solaranlagen zur Unterstützung der Heizung & Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme bzw. im Zuge eines Kesselaustauschs

Kostenfeststellung für z. B. Scheitholzkessel, Wärmepumpenanlagen oder Fernwärmeübergabestationen lagen nicht in ausreichendem Umfang vor, um auf dieser Basis eine systematische Auswertung durchzuführen. Diese Anlagentypen sind daher in der Auswertung nicht berücksichtigt. Die Datenbasis für die Pelletanlagen ist sehr gering, so dass zu diesen Anlagen die Ergebnisse zwar dargestellt, aber nicht weiter interpretiert werden.

Die Kosten für die Solaranlagen umfassen alle Anlagenkomponenten, den Anschluss der Anlage an den Kessel, die Regelung und die Montage inkl. aller eventuell erforderlichen Bohrungen durch Decken und Wände. Die Kosten enthalten auch zusätzliche Leistungen wie Wärmemengenzähler oder z. B. die Indach-Montage der Kollektoren.

Die Kosten für die neuen Heizkessel berücksichtigen die Montage inkl. aller damit verbundenen Kosten wie Durchbrüche für Rohrleitungen im Heizungskeller und deren Dämmung, Kosten für Pumpen usw., die Inbetriebnahme, neue Gasleitungen, Wärmemengenzähler oder Abnahmen durch den Schornsteinfeger. Weiter enthalten sind die infolge des Austauschs entstehenden Kosten für Demontage und Entsorgung des alten Kessels, aller Anlagenkomponenten wie gegebenenfalls Wasseraufbereitungsanlagen, Speicher und Pumpen oder die Entsorgung alter Öltanks bei Energieträgerwechsel.

Die „Systemgrenze“ für die Ermittlung der Kosten ist somit der Heizraum inkl. Abgasanlage (Schornstein). Nicht erfasst sind die Kosten für den hydraulischen Abgleich (Thermostatventile bzw. -köpfe). Nicht enthalten sind auch die Kosten für das Wärmeverteilsystem und Heizkörper bzw. Fußbodenheizungen.

Heizanlagen ohne Solaranlagen

Abbildung 10 zeigt die spezifischen Kosten [$\text{€/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme ohne Solaranlagen in Wohngebäuden. Basis der Auswertung sind $n = 31$ Kostenfeststellungen für Öl- und Gaskessel. Aufgrund der unzureichenden Datenbasis für größere Gebäude ist eine gemeinsame Kostenfunktion für Öl- und Gas-Heizanlagen dargestellt.

Nach der Kostenfunktion ergeben sich für die Modernisierung der Heizanlage mit einem Öl-/Gas befeuerten Heizkessel in einem Gebäude mit 185 m^2 Wohnfläche Kosten von $49 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ bzw. umgerechnet etwa 9.000 € . Die entsprechende Kostenfunktion für Pelletkessel ist auf der Basis von $n = 5$ ausgewerteten Projekten sehr unsicher.

Leider konnte lediglich eine Kostenfeststellung für die Erneuerung einer Heizanlage in einem großen Mehrfamilienhaus ausgewertet werden. Für dieses Projekt lagen die spezifischen Kosten bei etwa $20 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Nach der Kostenfunktion ergeben sich geringere Kosten von etwa $10 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ je Anlage.

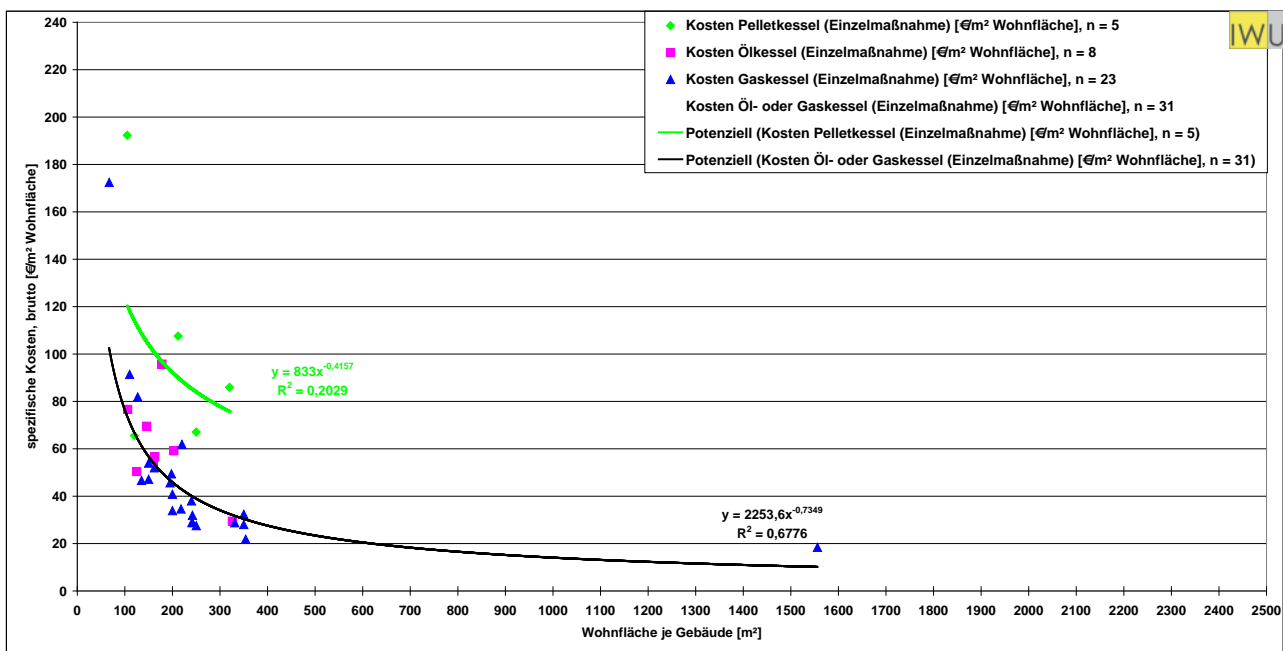


Abbildung 10: spezifische Kosten für Heizanlagen (ohne Solar) in Wohngebäuden (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für die Öl- und Gasheizanlagen ist mit $R^2 \approx 0,68$ groß. Allerdings ist die Datenbasis für größere und große Wohngebäude ungenügend, so dass hier die Ergebnisse nur unter Vorbehalt interpretiert werden können.

Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung

Abbildung 11 zeigt die spezifischen Kosten [€/m²_{Wohnfläche}] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärme erzeugungssysteme mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung. Basis der Auswertung sind n = 31 Kostenfeststellungen für Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung bei gleichzeitiger Erneuerung vorhandener Öl- oder Gaskessel. Da auch hier nicht genügend auswertbare Kostenfeststellungen für größere Wohngebäude vorlagen, ist in Abbildung 11 wiederum eine gemeinsame Kostenfunktion für Öl- und Gas-Heizanlagen dargestellt.

Nach der Kostenfunktion ergeben sich Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung bei gleichzeitiger Modernisierung der Heizanlage mit einem Öl- oder Gasheizkessel in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche etwa 83 €/m²_{Wohnfläche} bzw. umgerechnet Kosten von etwa 15.300 €. Bei den großen Mehrfamilienhäusern sinken die spezifischen Kosten auf etwa 30 €/m²_{Wohnfläche} bis 25 €/m²_{Wohnfläche} je Anlage.

Zusätzlich enthält Abbildung 11 auch die Kosten für nachträglich eingebaute Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und für die Einbindung in eine bestehende Heizanlage. Nach der Kostenfunktion ergeben sich für diese Anlage in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche etwa 37 €/m²_{Wohnfläche} bzw. umgerechnet Kosten von etwa 6.900 €.

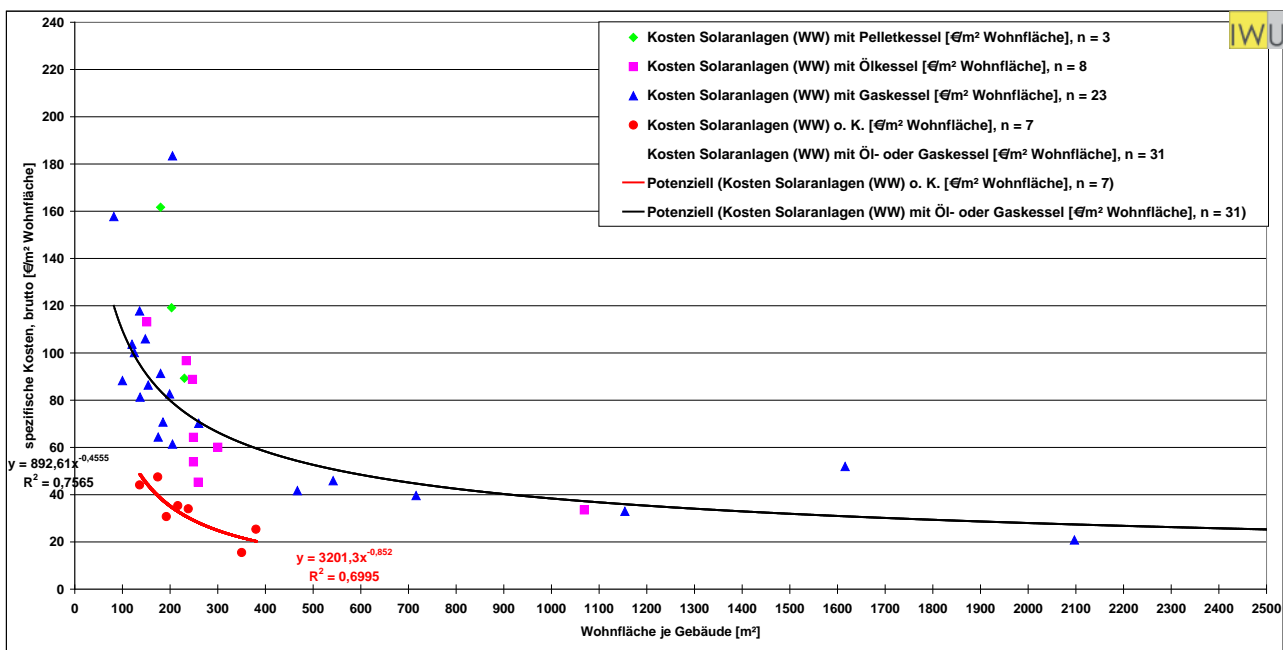


Abbildung 11: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung in Wohngebäuden (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für die Öl- und Gasheizanlagen ist mit $R^2 \approx 0,76$ sehr groß. Allerdings ist die Datenbasis für größere und große Wohngebäude gering, so dass die Ergebnisse nur unter Vorbehalt interpretiert werden können.

Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung und Heizung

Abbildung 12 zeigt die spezifischen Kosten [€/m²_{Wohnfläche}] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung. Basis der Auswertung sind n = 19 Kostenfeststellungen für entsprechende Solaranlagen bei gleichzeitiger Erneuerung der vorhandenen Öl- oder Gaskessel. Da auch hier nicht genügend auswertbare Kostenfeststellungen für größere Wohngebäude vorlagen, ist in Abbildung 12 wiederum eine gemeinsame Kostenfunktion für Öl- und Gas-Heizanlagen dargestellt. Nach der Kostenfunktion ergeben sich für eine entsprechende Solaranlage bei gleichzeitiger Modernisierung der Heizanlage mit einem öl- bzw. gasbetriebenen Heizkessel bei einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche Kosten von etwa 113 €/m²_{Wohnfläche} bzw. etwa 21.000 €. Die spezifischen Kosten gehen für entsprechende Anlagen in großen Gebäuden auf etwa 50 €/m²_{Wohnfläche} bis 40 €/m²_{Wohnfläche} zurück. Zusätzlich enthält Abbildung 12 auch die Kosten für nachträglich eingebaute Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Heizung bei der Einbindung in eine bestehende Heizanlage. Die Kosten streuen allerdings sehr stark über der Wohnfläche, so dass eine sinnvolle Kostenfunktion nicht abgeleitet werden kann.

Abbildung 12 zeigt auch die Kostenfunktion für entsprechende Solaranlagen mit dem gleichzeitigen Einbau einer Pellet-Heizanlage. Nach der Kostenfunktion ergeben sich in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche Kosten von etwa 169 €/m²_{Wohnfläche} bzw. 31.200 €

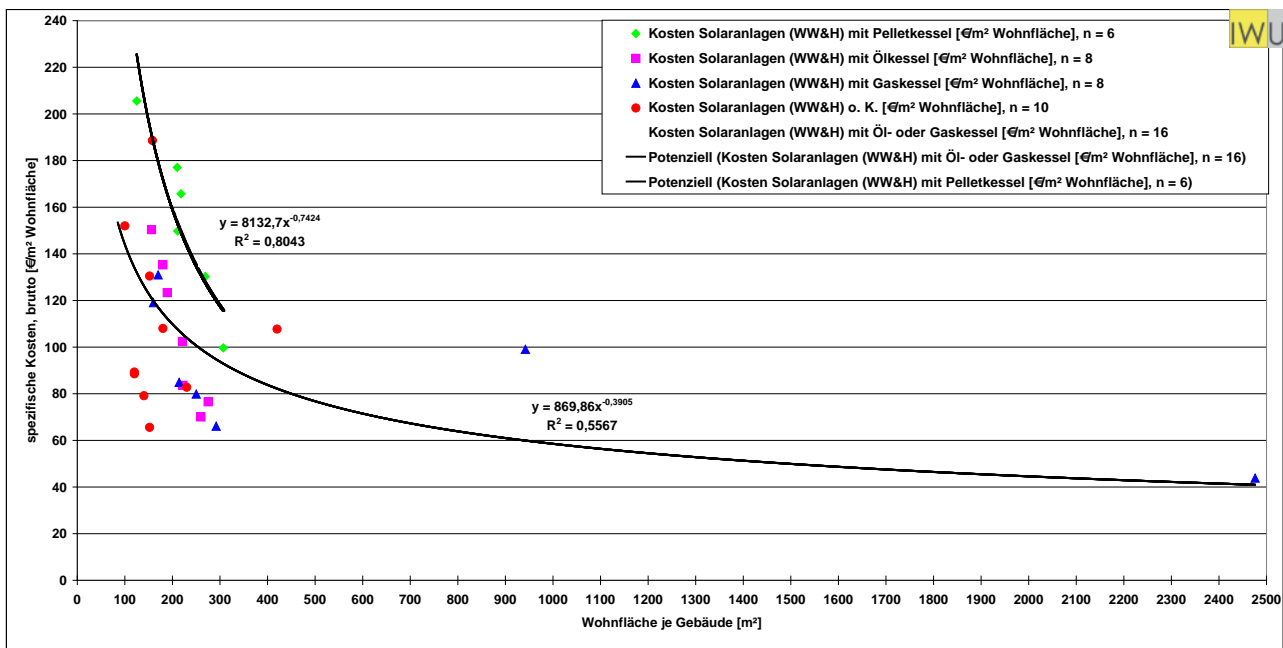


Abbildung 12: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solarer Unterstützung bei der Warmwasserbereitung & Heizung (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für entsprechende Solaranlagen mit Öl- und Gasheizungen ist mit $R^2 \approx 0,56$ groß. Allerdings ist die Datenbasis für größere und große Wohngebäude gering, so dass die Ergebnisse nur unter Vorbehalt interpretiert werden können.

Wärmeverteilnetze

In einzelnen Vorhaben aus dem Primärdatenbestand wurden im Zuge der energetischen Modernisierung die Wärmeverteilnetze teilweise erneuert oder bei Ausbauten teilweise ergänzt oder vollständig neu eingebaut. Die damit verbundenen Kosten sind in Abbildung 13 dargestellt. Die Bezugsgröße ist die Wohnfläche der Gebäude.

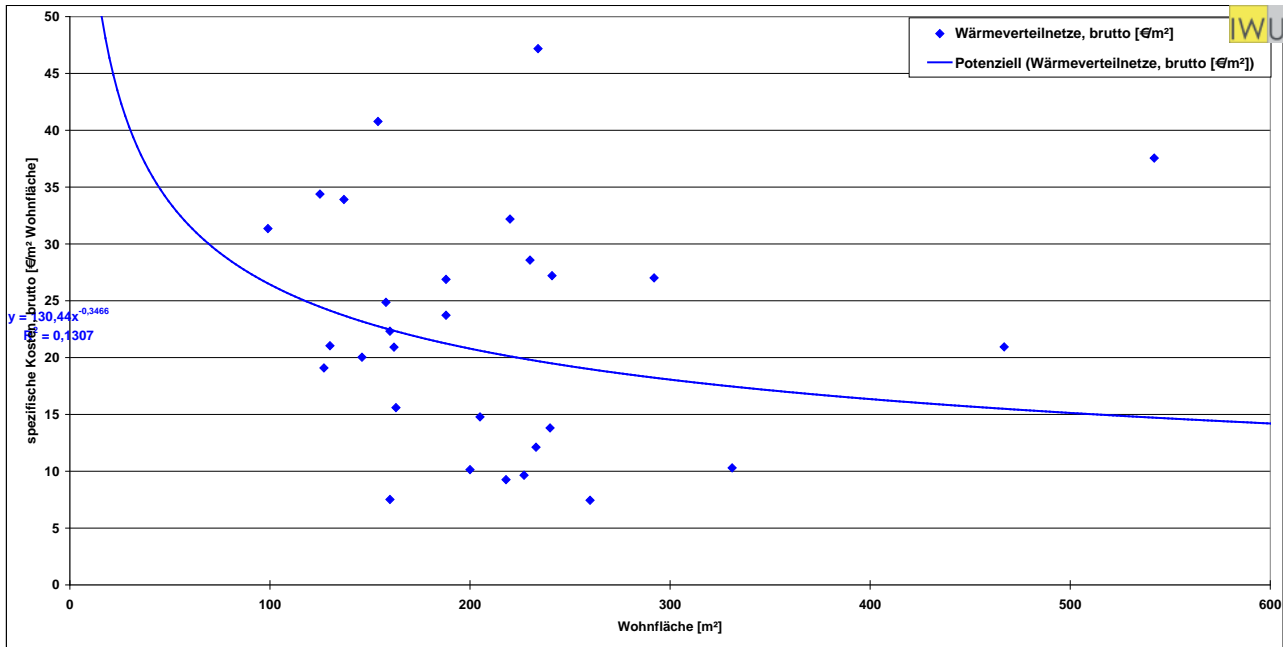


Abbildung 13: spezifische Kosten von Wärmeverteilnetzen in Wohngebäuden (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Aus den hier untersuchten Gebäuden ergeben sich mittlere Kosten für die Wärmeverteilnetze in Gebäuden von 100 m² bis 300 m² Wohnfläche von etwa 30 €/m²_{Wohnfläche} bis 20 €/m²_{Wohnfläche}. Allerdings schwanken die spezifischen Kosten für Wärmeverteilnetze sehr stark. Dies liegt sicher zum Teil darin begründet, dass die Kostenfeststellungen nicht eindeutig zuzuordnen waren: Es war zu meist nicht eindeutig zu unterscheiden, ob die Kosten für die Erneuerung, für den Ausbau oder den nachträglichen Einbau entstanden sind. Zudem ist die Datenbasis für Wohngebäude mit über 500 m² mit n = 5 sehr gering, so dass diese Aussagen nur unter Vorbehalt getroffen werden können. Insgesamt ist die Datenlage daher nicht ausreichend, um abschließende Aussagen über die spezifischen Kosten von Wärmeverteilnetzen in Wohngebäuden zu treffen.

Fußbodenheizungen

In einzelnen Projekten wurden im Zuge der energetischen Modernisierung nachträglich Fußbodenheizungen eingebaut. Je nach vorhandener Konstruktion resultieren aus dieser Maßnahme zusätzliche Kosten zwischen ca. 40 €/m²_{Fußbodenheizung} bis 90 €/m²_{Fußbodenheizung}, im Mittel ca. 60 €/m²_{Fußbodenheizung}. Darin enthalten sind alle Kosten für das System wie z. B. die Kosten für Heizkreisverteiler, Mischer, Stellmotoren, die Regelung, Dämmplatten, Heizrohre und Randdämmstreifen. Die Kosten für den Estrich sind darin nicht enthalten. In einzelnen Projekten wurden aber aufgrund eines sehr hohen baulichen Aufwandes (z. B. Demontage vorhandener Dielenbretter, Entsorgung von Sandschüttungen, Betonieren neuer Decke) jedoch auch Kosten von über 120 €/m²_{Fußbodenheizung} abgerechnet.

Raumheizkörper

In einzelnen Projekten wurden im Zuge der energetischen Modernisierung nachträglich Raumheizkörper eingebaut bzw. vorhandene alte Heizkörper ersetzt. Aus dieser Maßnahme resultieren zusätzliche Kosten zwischen 200 € bis 450 € je Heizkörper, im Mittel ca. 240 € je Heizkörper. In einzelnen kleineren Gebäuden erreichten die Kosten aber auch über 700 € je Heizkörper. Darin enthalten sind alle Kosten für die gegebenenfalls erforderliche Demontage und Entsorgung vorhandener Heizkörper, die Montage der neuen Heizkörper sowie aller Materialien wie z. B. Montagesets und Wandkonsolen, Ventileinsätzen bzw. Thermostatköpfen und Kleinteilen.

Energiebedingte Mehrkosten

Die Umstellung einer dezentralen Heizanlage mit z. B. Einzelöfen auf eine zentrale Versorgung mit Heizwärme und Warmwasser ist eine Modernisierung des Gebäudes, die nicht in Verbindung mit den Anforderungen der EnEV zu sehen ist, sondern eine Modernisierung auf zeitgemäßen Standard. Insbesondere für die Wohnungswirtschaft gilt, dass solche Investitionsentscheidungen vielmehr auf Basis wohnungs(markt)-wirtschaftlicher Aspekte im Zusammenhang mit der strategischen Entwicklung des gesamten Portfolios getroffen werden - und daher nicht ursächlich auf die Anforderungen der EnEV zurückzuführen sind.

Auch der Austausch vorhandener Heizkörper im Zuge einer Heizungsmodernisierung und Umstellung auf möglichst niedrige Vorlauftemperaturen ist nicht mit energierelevanten Mehrkosten verbunden, da vorhandene Heizkörper im ungedämmten Gebäude in der Regel schon deutlich zu groß dimensioniert sind und diese im gedämmten Gebäude auch bei niedrigen Vorlauftemperaturen den maximalen Heizwärmebedarf decken können. Ein dennoch vorgenommener Austausch aus Gründen der technischen Instandhaltung ist somit letztlich nicht bedingt durch die Erneuerung der Heizanlage.

Die Systemgrenze für die Bestimmung der energiebedingten Mehrkosten ist somit der Heizungskeller. Als Standard der Technik in der Modernisierung kann der Gas- bzw. Öl-Brennwertkessel angesetzt werden. Dieser Standard ist ohne energiebedingte Mehrkosten zu realisieren. Energiebedingte Mehrkosten im Zuge einer Heizungsmodernisierung entstehen durch eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und gegebenenfalls zur Heizungsunterstützung.

Abschließende Aussagen zu den energiebedingten Mehrkosten bei der Modernisierung von Heizanlagen in großen Mehrfamilienhäusern können auf Basis der vorliegenden Primärdaten allerdings nicht getroffen werden. Mit den in den Abbildungen 10, 11 und 12 dargestellten Kostenfunktionen können die Kosten jedoch in einer ersten Näherung abgeschätzt werden. Die entsprechenden Kostenfunktionen sind in Kap. 5 zusammenfassend dargestellt.

2.7 Detailauswertung: Wärmeerzeugungsanlagen in Ein- und Zweifamilienhäuser

Abbildung 14 zeigt die Kosten [€] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme in Ein- und Zweifamilienhäusern sowie die Anzahl n der Kostenfeststellung, die zur Auswertung genutzt werden konnte. Die Grafik unterscheidet (von links nach rechts) in

- Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme,
- Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwassererzeugung in Kombination mit einem Kessel- austausch (BW-Gas, BW-Öl, Pellet),
- Solaranlagen zur Unterstützung der Heizung & Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme,
- Solaranlagen zur Unterstützung der Heizung & Warmwassererzeugung in Kombination mit einem Kesselaustausch (BW-Gas, BW-Öl, Pellet),
- Kesselaustausch als (BW-Gas, BW-Öl, Pellet) Einzelmaßnahme

Die Kosten für die Solar- und Heizanlagen umfassen alle Anlagenkomponenten wie oben dargestellt. Die „Systemgrenze“ für die Festlegung der Kosten für die Wärmeerzeugungsanlagen ist der Heizraum inkl. Abgasanlage (Schornstein). Nicht enthalten sind die Kosten für den hydraulischen Abgleich, das Wärmeverteilsystem und die Heizkörper bzw. die Fußbodenheizung.

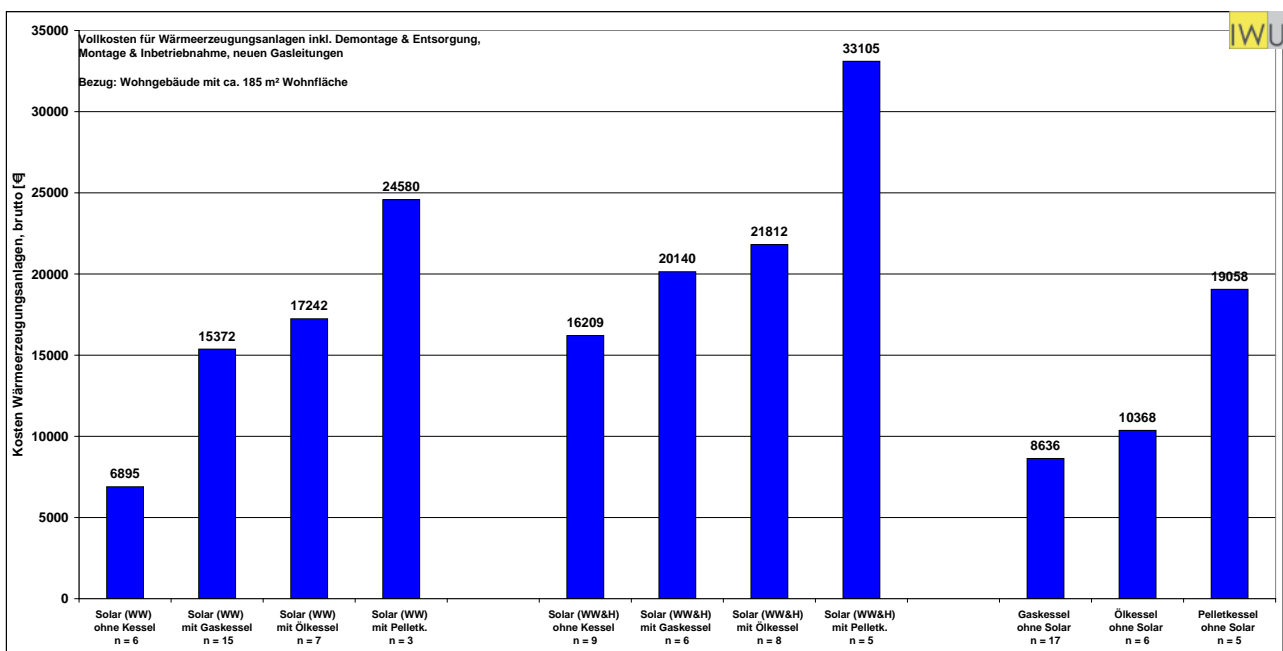


Abbildung 14: Kosten (brutto) verschiedener Heizsystem in großen Einfamilienhäusern bzw. kleinen Zweifamilienhäusern. Die Kesselleistung in den hier untersuchten Projekten liegt zwischen 18 bis max. 28 kW. (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung als Einzelmaßnahme

Die Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung als Einzelmaßnahme betragen ca. 6.900 € (Basis n = 6). Dieses Ergebnis der Detailauswertung deckt sich sehr gut mit dem Ergebnis der gemeinsamen Kostenfunktion für Öl- und Gaskessel aus Abbildung 11 mit typischen Kosten für eine entsprechende Anlage in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche von umgerechnet 6.930 €.

Heizkessel ohne Solaranlage

Eine neue Heizanlage mit Gaskessel kostet im Mittel etwa 8.600 € (Basis n = 17), mit Ölkessel etwa 10.400 € (Basis n = 6). Dies deckt sich gut mit dem Ergebnis der gemeinsamen Kostenfunktion für Öl- und Gaskessel aus Abbildung 10 mit typischen Kosten für eine entsprechende Anlage in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche von umgerechnet etwa 9.000 €.

Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung

Die Kosten für die Erneuerung einer Heizanlage in Verbindung mit einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung betragen bei einem Gaskessel ca. 15.400 € (Basis n = 15) und bei einem Ölkessel etwa 17.200 € (Basis n = 7). Dies deckt sich gut mit dem Ergebnis der gemeinsamen Kostenfunktion für Öl- und Gaskessel aus Abbildung 11 mit typischen Kosten für eine entsprechende Anlage in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche von umgerechnet etwa 15.300 €.

Die Kosten für solche Systeme erscheinen damit weitestgehend unabhängig davon, ob die Solaranlage und die Heizung gleichzeitig oder voneinander unabhängig modernisiert werden. Dies ist insofern plausibel, als der Aufwand, eine solche Solaranlage in eine bestehende Heizanlage zu integrieren, relativ gering ist.

Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung & Heizung als Einzelmaßnahme

Die Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Heizung und Warmwasserbereitung als Einzelmaßnahmen betragen ca. 16.200 € (Basis n = 9). Der darin enthaltene (Zeit- und regelungstechnische) Aufwand, eine solche Anlage in eine bestehende Heizanlage zu integrieren, ist sehr hoch. Eine Kostenfunktion konnte für diesen Anlagentyp auf Basis der Primärdaten nicht abgeleitet werden.

Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung & Heizung

Die Kosten für eine entsprechende Anlage mit Gaskessel betragen ca. 20.100 € (Basis n = 6) und für eine entsprechende Anlage mit Ölkessel etwa 21.800 € (Basis n = 8). Diese aus der Detailanalyse abgeleiteten Kosten liegen etwas unter den Kosten aus der gemeinsamen Kostenfunktion für Öl- und Gaskessel aus Abbildung 12 mit typischen Kosten für eine entsprechende Anlage in einem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche von umgerechnet etwa 21.000 €.

Wird der nachträgliche Einbau der Solaranlage mit dem Austausch der gesamten Heizanlage verbunden, verringert sich der (Zeit- und regelungstechnische) Aufwand gegenüber den Einzelmaßnahmen erheblich. Daher sind die Kosten der Einzelmaßnahmen Solaranlage zur Unterstützung der Heizung und Warmwasserbereitung und einer neuen Heizanlage in der Summe deutlich höher als die Kosten bei der zeitgleichen Erneuerung der Heizanlage inkl. Solaranlage zu Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung.

Energiebedingte Mehrkosten

Als Standard der Technik in der Modernisierung kann der Gas- bzw. Öl-Brennwertkessel angesetzt werden. Die Kosten für diese Anlagen betragen in großen Einfamilienhäusern bzw. kleinen Zweifamilienhäusern bei einer Kesselleistung bis max. 28 kW im Mittel ca. 8.600 € für Gas-Brennwertkessel und ca. 10.400 € für Öl-Brennwertkessel. Dieser Standard ist ohne energiebedingte Mehrkosten zu realisieren.

Energiebedingte Mehrkosten im Zuge einer Heizungsmodernisierung entstehen durch eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung in Höhe von 6.800 € Die energiebedingten Mehrkosten beim Einsatz einer Solaranlage zur Unterstützung der Heizung und Warmwasserbereitung betragen etwa 11.500 €, sofern die Anlage zeitgleich mit der Heizanlage eingebaut wird.

Mit den in den Abbildungen 10, 11 und 12 dargestellten Kostenfunktionen können die Kosten in einer Näherung für kleinere bzw. größere Gebäude abgeschätzt werden. Die entsprechenden Kostenfunktionen sind in Kap. 5 zusammenfassend dargestellt.

2.8 Lüftungsanlagen

Aus den Primärdaten konnten insgesamt die Kostenfeststellungen für 51 Lüftungsanlagen ausgewertet werden. Dabei wurde unterschieden in zentrale Abluftanlagen ($n = 7$), zentrale Lüftungsanlagen ($n = 34$) mit effizienter Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad über 80 %) und dezentrale Einzellüfter ($n = 10$) mit Wärmerückgewinnung und einem Wärmebereitstellungsgrad von unter 80 %. Bei den Kosten für die dezentralen Einzellüfter gab es keine wesentlichen Unterschiede zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern. Die Kosten lagen bei etwa 5.100 € je Wohneinheit.

Die Ergebnisse für die Abluftanlagen und die effizienten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind in Abbildung 15 als spezifische Kosten der Anlagen über der Wohnfläche je Wohneinheit dargestellt. Wohnflächen je Wohneinheit unter etwa 100 m² entsprechen vorwiegend Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, Wohnflächen je Wohneinheit über etwa 100 m² entsprechen vorwiegend Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Entsprechend den Kostenfunktionen konnten einfache Abluftanlagen in den relativ kleinen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern je nach Wohnungsgröße für 25 €/m²_{Wohnfläche} bis 40 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung realisiert werden. In einzelnen Fällen kosteten die Anlagen aber auch über 50 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung. Für Einfamilienhäuser konnte aus den Primärdaten lediglich eine Kostenfeststellung für eine Abluftanlage ausgewertet werden. In dem Gebäude mit etwa 230 m² Wohnfläche konnte die Anlage von etwa 10 €/m²_{Wohnfläche} eingebaut werden. Das Bestimmtheitsmaß ist mit $R^2 \approx 0,58$ groß. Allerdings ist die Datenbasis mit $n = 7$ insgesamt gering, vor allem für Beurteilung von Abluftanlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Entsprechend den Kostenfunktionen konnten effiziente Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in den relativ kleinen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern je nach Wohnungsgröße für 65 €/m²_{Wohnfläche} bis 80 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung realisiert werden. In einigen Fällen kosteten die Anlagen aber auch über 90 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung. In Einfamilienhäusern sinken die spezifischen Kosten für die Anlagen über der Wohnfläche je Wohneinheit deutlich. In einem Gebäude mit etwa 200 m² Wohnfläche kostet eine entsprechende Anlage etwa 40 €/m²_{Wohnfläche}.

Das Bestimmtheitsmaß ist mit $R^2 \approx 0,59$ groß. Die Datenbasis mit $n = 34$ ausreichend. Auffällig ist dennoch die große Streuung der spezifischen Kosten, die jedoch plausibel und praxisgerecht ist. Zwei Beispiele: die sehr niedrigen Kosten von 22 €/m²_{Wohnfläche} in dem Gebäude mit 160 m² Wohnfläche resultieren aus sehr günstigen baulichen Voraussetzungen. In diesem Projekt konnten die Lüftungskanäle kosteneffizient in einem stillgelegten Kamin verlegt werden. Gänzlich andere Voraussetzungen waren in dem Projekt mit den hohen Kosten von 77 €/m²_{Wohnfläche} in dem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche gegeben: Hier waren mit der Verlegung des Kanalnetzes umfangreiche Bohrungen, zum Teil auch durch Betonwände, verbunden. Die Kosten sind entsprechend plausibel und hoch.

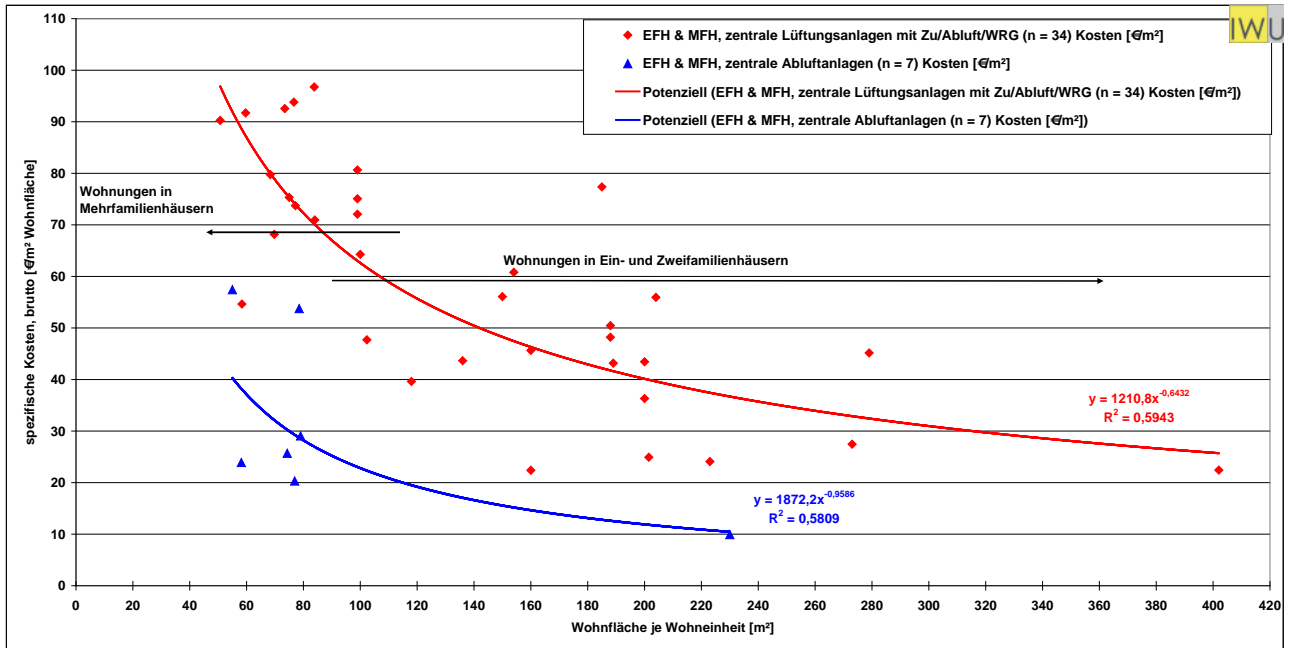


Abbildung 15: Kosten je Wohneinheit für den nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Energiebedingte Mehrkosten

Der Einsatz von Abluftanlagen dient in erster Linie zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität in den Wohnräumen. Abluftanlagen sind damit primär keine Maßnahme zur Energieeinsparung, sondern sichern vielmehr einen zeitgemäßen Luftqualitätsstandard. Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erfüllen zunächst die gleiche Funktion. Darüber hinaus führen diese Anlagen durch die Wärmerückgewinnung aber noch einer Reduzierung der Lüftungswärmeverluste und somit zur Energieeinsparung – zu entsprechenden Mehrkosten. Die energiebedingten Mehrkosten resultieren somit aus der Differenz der Kosten für Anlagen mit Wärmerückgewinnung zu den Kosten für eine zentrale Abluftanlage.

Nach den oben dargestellten Kostenfunktionen betragen die energiebedingten Mehrkosten für eine effiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad > 80 %) in einer kleinen 70 m²-Wohnung in einem Mehrfamilienhaus ca. 3.300 € in einem Einfamilienhaus mit 120 m² Wohnfläche etwa 4.400 € und in einem großen Einfamilienhaus mit 240 m² Wohnfläche etwa 6.200 €. Die entsprechenden Kostenfunktionen sind in Kap. 5 zusammenfassend dargestellt.

2.9 Planungsleistungen

Abbildung 16 zeigt die durchschnittlichen Kosten für Architekten und Ingenieurleistungen im Zuge der energetischen Modernisierung für KfW-Anträge und EnEV-Berechnungen, für die Grundlagenermittlung & Energieberatung sowie die durchschnittlichen Kosten für die Durchführung eines Blower-Door-Tests, einer Thermografie und den hydraulischen Abgleich sowie die Anzahl n der Kostenfeststellung, die zur Ermittlung der Kosten genutzt werden konnten.

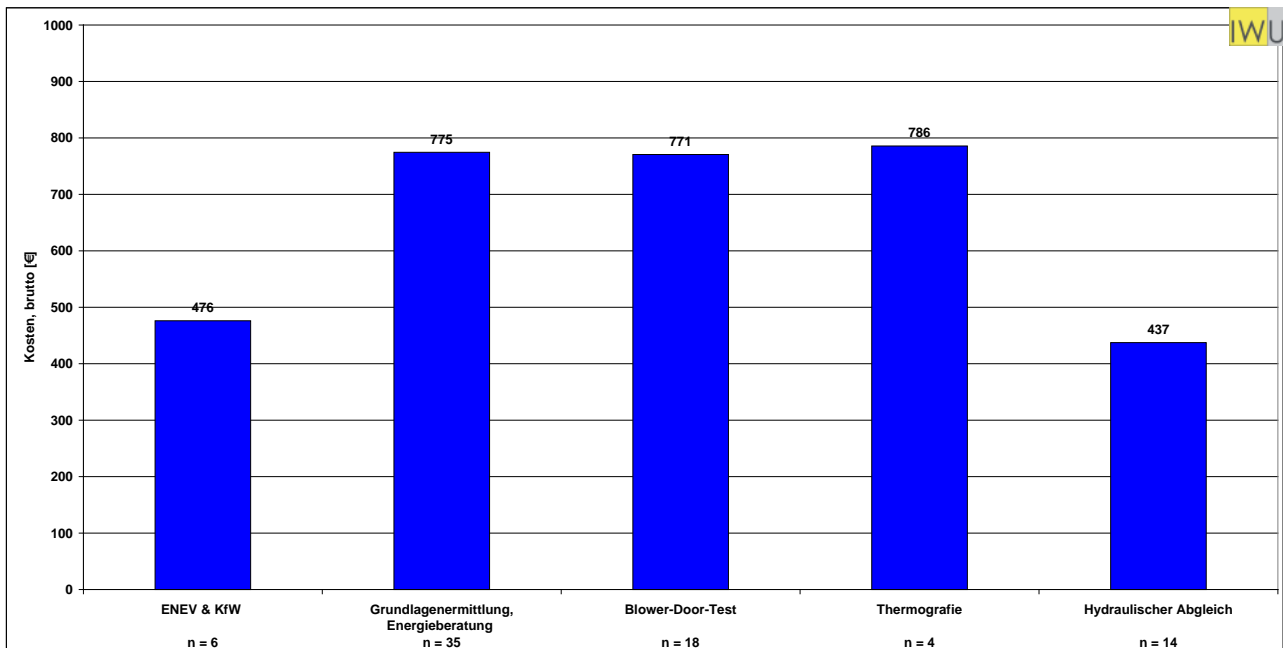


Abbildung 16: Kosten energiebedingter Planungsleistungen (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Aus den Unterlagen konnten die entsprechenden Kosten jedoch nicht systematisch ermittelt werden, häufig lagen auch keine Rechnungen zu Architekten- und Ingenieurleistungen vor. Da diese Leistungen jedoch förderfähig sind, Rechnungen aber nicht vorlagen, ist zu vermuten, dass entsprechende Leistungen eher in Ausnahmefällen nachgefragt oder aber nicht explizit in Rechnung gestellt wurden.

Zudem sind die Rechnungen nicht ausreichend differenziert. So konnten z. B. die Kosten für EnEV-Berechnungen und KfW-Nachweise nicht systematisch bzw. eindeutig von den Kosten für die Grundlagenermittlung und Energieberatung abgegrenzt werden. Unklar ist zudem auch der Umfang der in Rechnung gestellten Maßnahmen für einen hydraulischen Abgleich, weil genauere Angaben in den Kostenfeststellungen fast ausnahmslos fehlen.

Die in Abbildung 16 dargestellten Kosten sind daher lediglich als grobe Abschätzung anzusehen.

Hydraulischer Abgleich als Dienstleistung

Differenzierter wurden die Kosten für den hydraulischen Abgleich als eine separate Dienstleistung in einer Studie von Jagnow, Sell und Wolff [Jagnow; 2001] untersucht. Die in der Studie ermittelten Kostenfunktionen für den hydraulischen Abgleich ohne Komponenten / mit Thermostatventilen wurden auf den Preisstand 2009 umgerechnet.

- ohne Komponenten: $7,419 * X^{-0,1998}$, $R^2 = 0,8665$, $X = [100; 2000]$ m² beheizte Fläche

Die Kostenfunktion erfasst die Kosten für das Aufmass aller Räume und Heizkörper sowie des Rohrnetzes vor Ort, die Pumpenbemessung, die Vorlauftemperaturberechnung und eine Berechnung der Einstellparameter für voreinstellbare Thermostatventile sowie die Einstellung der optimalen Parameter vor Ort. Die Kostenfunktion erfasst nicht den Austausch entsprechender Komponenten (Pumpen, Thermostatventile) vor Ort.

Aus der Kostenfunktion ergeben sich für den hydraulischen Abgleich Kosten für ein 185 m² Wohngebäude von ca. 480 € (brutto).

Die Kosten für die separate Dienstleistung „hydraulischer Abgleich“ ohne Komponenten decken sich gut mit den im Rahmen dieser Studie ermittelten Kosten von durchschnittlich ca. 440 €. Allerdings resultieren die in der oben genannten Studie angegebenen Kosten aus der separaten Dienstleistung „hydraulischer Abgleich“ – d. h. zum Beispiel inkl. Anfahrt. Die in dieser Studie ermittelten durchschnittlichen Kosten für den hydraulischen Abgleich sind jedoch Kosten, die im Zuge einer ohnehin durchgeführten Modernisierung der Heizungsanlage entstehen.

3 Auswertung Sekundärdaten

In den Tabellen 3 und 4 sind die Kosten bzw. energiebedingten Mehrkosten verschiedener energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden im Zuge einer Gebäudemodernisierung für unterschiedliche Dämmdicken und Anlagentechniken preisbereinigt zusammengetragen. Insgesamt wurden acht verschiedene Quellen herangezogen. Die Daten stammen aus den Jahren von 1998 bis 2009. Die Tabellen zeigen jeweils in der 2. Spalte von rechts den Wert aus den Kostenfunktionen dieser Studie, in der Spalte ganz rechts die Abweichungen der einzelnen Studien voneinander.

Ein Vergleich der Angaben ist allerdings nur bedingt möglich, weil eine genaue Beschreibung der Kosten, die in den Vergleichsstudien erfasst wurden, in der Regel nicht vorhanden ist. Zudem ist auch die Basis für die Kostenangaben in keinem Fall genau dokumentiert. Zum Teil ist auch nicht eindeutig, ob es sich bei den Kosten um Brutto- oder Nettoangaben handelt. Die Angaben aus den verschiedenen Sekundärquellen lassen sich somit nur vorsichtig interpretieren bzw. unmittelbar mit den Ergebnissen der Auswertung der Primärdaten im Rahmen dieser Studie vergleichen.

Tabelle 3 - Vollkosten

- **Wärmedämmverbundsystem:** In der Regel liegen die Vollkostenangaben aus dieser Studie unter den Angaben der Vergleichsstudien. Sehr deutliche Abweichungen gibt es zu den Angaben des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung (HMWVL) für die Variante „hohe Kosten“ mit 164 €/m² für 12 cm Dämmung. Derartig hohe Kosten wurden in der vorliegenden Studie in keinem Projekt ermittelt, obwohl alle im Zuge einer Instandsetzung der Fassade anfallenden möglichen Kosten wie Sockelabdichtungen oder Verlängerungen von Dachüberständen u. a. in den Auswertungen berücksichtigt wurden (siehe Abbildung 1). Die in der dena-Studie und der Studie des PHI genannten Kosten liegen deutlich unter den Angaben dieser Studie. Dabei ist allerdings zu beachten, dass bei der Ermittlung der Vollkosten in dieser Studie tatsächlich auch alle weiteren Kosten infolge der Maßnahme „Fassadenmodernisierung“ berücksichtigt wurden. Werden die Kosten dagegen ausschließlich auf das Wärmedämmverbundsystem begrenzt, dann erscheinen die in den Vergleichsstudien genannten Kosten durchaus realistisch.
- **Keller, unterseitige Dämmung:** Realistisch erscheint die große Bandbreite der in der dena-Studie genannten Kosten für die Kellerdeckendämmung von 37 €/m² bis 66 €/m² für 16 cm Dämmung. Im Mittel sind diese Kosten allerdings höher als die Kosten von 42 €/m² aus der Kostenfunktion dieser Studie. Nach den Annahmen in der BSI-Studie sind 8 cm Dämmung für 31 €/m² zu realisieren und damit 3 €/m² günstiger als nach der vorliegenden Studie. Nach der PHI-Studie sind 9 cm für 53 €/m² zu realisieren und damit 18 €/m² teurer als nach der vorliegenden Studie.
- **Steildach:** Die genaue Definition der mit den Kosten verbundenen Maßnahmen ist in der Regel bei den Kostenangaben nicht gegeben. Da die Steildachdämmung eine sehr komplexe Maßnahme ist, andererseits aber bei der Darstellung der Kosten in den Vergleichsstudien in der Regel nähere Angaben fehlen, wurde auf einen Vergleich der Vollkostenangaben verzichtet.

- Flachdach: Die konstruktiven Möglichkeiten einer Flachdachmodernisierung sind sehr vielfältig. Gleichzeitig ist die für diese Studie zur Verfügung stehende Datenbasis aus den Primärdatenquellen gering. Letztlich war es nicht möglich, aus den Daten eine abgesicherte Kostenfunktion abzuleiten. Dennoch sind in Tabelle 3 die Vollkosten der Flachdachmodernisierung angegeben. Die Angaben schwanken zwischen 114 €/m² für 19 cm Dämmung bis zu 246 €/m² für 20 cm Dämmung.
- Oberste Geschossdecke, begehrbar: Die in der vorliegenden Studie ermittelten Kosten liegen zum Teil deutlich über den Angaben der Vergleichsstudien. Nach den Annahmen der PHI-Studie können z. B. 25 cm Dämmung auf der obersten Geschossdecke typischerweise für 39 €/m² realisiert werden, nach der dena-Studie für 57 €/m². Nach der Kostenfunktion resultieren dagegen Kosten von 70 €/m². Allerdings ist die Datenbasis der vorliegenden Studie mit n = 15 zum einen gering und bezieht sich zum anderen im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen zu Ein- und Zweifamilienhäusern. Es ist zu erwarten, dass die Kosten für großflächige gut zugängliche oberste Geschossdecken in Mehrfamilienhäusern niedriger als nach der Kostenfunktion sind.
- Oberste Geschossdecke, nicht begehrbar: Die aus der Kostenfunktion berechneten Kosten von 32 €/m² für 20 cm Dämmung liegen auf dem Niveau der Kostenangaben des HMWVL von 33 €/m² (niedrige Kosten) bis 41 €/m² (hohe Kosten). Allerdings ist auch hier die Datenbasis der vorliegenden Studie mit n = 10 sehr gering und bezieht sich im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen zu Ein- und Zweifamilienhäusern. Die nachträgliche Dämmung relativ großflächiger oberster Geschossdecken zum unbeheizten Dachboden im Mehrfamilienhaus ist vermutlich deutlich günstiger zu realisieren. Vor diesem Hintergrund erscheint auch die Kostenangabe von 20 €/m² aus der PHI-Studie für 25 cm Dämmung realistisch. Die Kostenfunktion berechnet dagegen deutlich höhere Kosten von 36 €/m² für 25 cm Dämmung.
- Fenster: Abgesehen von der PHI-Studie liegen die in den Vergleichsstudien genannten Kosten für Fenster mit teilweise über 600 €/m² erheblich über den hier ermittelten durchschnittlichen Kosten. Solche Kosten können zwar für relativ kleine Fenster mit sehr aufwändigen Rahmenkonstruktionen erreicht werden, sind aber bei weitem nicht typisch. Die hier ausgewerteten Kostenfeststellungen begrenzen sich auf Kunststoff- oder Holzfenster „konventioneller Bauart“ (keine passivhaustauglichen Rahmenkonstruktionen) ohne Sprossen. Alu- oder Alu-Mischkonstruktionen wurden nicht untersucht. Innenfensterbänke (nicht energierelevant bei „konventionellen“ Rahmenbauarten) und Außenfensterbänke (systematisch der Außenwand zugeordnet) wurden bei der Ermittlung der Kosten für die Fenster nicht berücksichtigt, ebenso auch Rollläden und Fensterläden. Bei den Vergleichsstudien ist dagegen zum Teil nicht klar, ob diese Kosten dem Fenster zugeordnet wurden. Zudem muss, wie oben beschrieben, bei den Kosten für die Fenster zwischen Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern unterschieden werden (siehe Abbildung 4). Darüber hinaus hat die Fenstergröße einen Einfluss auf die Kosten. Außerdem ist auch die Streuung der Kosten trotz gleicher energetischer Qualität sehr groß.

Die Basis der hier vorgenommenen Auswertung von Kostenfeststellungen zu über 2100 Fenstern und Fenstertüren mit fast 4000 m² und über 1.150.000 € Vollkosten im Wesentlichen aus den Jahren 2007 und 2008 erscheint ausreichend, um validierte Aussagen zu aktuellen Kosten für Fenster und Fenstertüren treffen zu können. Die hohe Abweichung der hier ermittelten Kosten gegenüber den Vergleichsstudien daher zu vertreten.

- Lüftungsanlagen: Vergleichsdaten liegen aus der IWU- und der PHI-Studie vor. Die in den beiden Studien angegebenen Kosten für Abluftanlagen und effiziente Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung decken sich gut mit den aus den Kostenfeststellungen ermittelten Kosten. Allerdings ist die Datenbasis der vorliegenden Studie für Abluftanlagen in Einfamilienhäusern sehr gering, so dass die Kostenfunktion für diese Gebäude nicht ausreichend abgesichert ist.
- Brennwert & Solar: Zum Vergleich wurden zwei Studien herangezogen. Die Kostenangaben für die Heizanlage mit Gas-Brennwert im Einfamilienhaus aus der PHI-Studie decken sich gut mit den Angaben aus der Kostenfunktion. Dagegen sind die aus der Kostenfunktion ermittelten Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung höher als die Angaben aus der PHI-Studie. Im Vergleich zur BSI-Studie liegen die aus der Kostenfunktion ermittelten Kosten für die Heizanlage im EFH über, für die Heizanlage im MFH unter den in der BSI-Studie genannten Kosten.

Tabelle 4 – energiebedingte Mehrkosten

- Wärmedämmverbundsystem: In der Regel liegen die Kostenangaben aus dieser Studie unter den Angaben der Vergleichsstudien. Eine ausreichende Übereinstimmung besteht dagegen zu den Kostenangaben aus der PHI-Studie sowie im Mittel zur HMWVL-Studie. Unklar ist allerdings, welche Maßnahmen in den Studien als energiebedingte Mehrkosten angesehen wurden: In der vorliegenden Studie wurden z. B. die Erneuerung von Fallrohren, Außenfensterbänken oder die Erweiterung von Dachüberständen systematisch dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet.

Sehr deutliche Abweichungen gibt es zu den Angaben der BSI-Studie mit 87 €/m² energiebedingten Mehrkosten bei 15 cm Dämmung. Nach der vorliegenden Studie betragen die energiebedingten Mehrkosten dagegen lediglich 50 €/m². Allerdings ist zu beachten, dass bei der BSI-Studie unter der Annahme vorzeitiger Modernisierungen gerechnet wurde. Die energiebedingten Mehrkosten sind somit höher und betragen nach der BSI-Studie 70 % der Vollkosten, weil Instandhaltungen nach den Annahmen der BSI-Studie vorgezogen wurden. Dies entspricht jedoch nicht dem Kopplungsprinzip, das in dieser Studie der Bestimmung der energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt wird.

- Keller, unterseitige Dämmung: 100 % energiebedingte Mehrkosten, vgl. Ausführungen oben.

- Steildach: In der Regel liegen die in den Vergleichsstudien genannten energiebedingten Mehrkosten deutlich über den Ergebnissen der Kostenfunktion. Allerdings muss beachtet werden, dass in den Vergleichsstudien eine genaue Ableitung der ermittelten Kosten in der Regel fehlt. Zudem fehlen grundsätzlich Angaben zur Datenbasis. Damit ist der Vergleich der Studien nur unter großem Vorbehalt möglich. In der vorliegenden Studie sind dagegen die Rahmenbedingungen für die Ableitung der energiebedingten Kosten detailliert dargestellt. Die Datenbasis mit $n = 51$ abgerechneten Projekten ist zudem ausreichend groß.
- Oberste Geschossdecke, begehbar/nicht begehbar: 100 % energiebedingte Mehrkosten, vgl. Ausführungen oben.
- Fenster: Abgesehen von der PHI-Studie liegen die in den Vergleichsstudien genannten Kosten zum Teil erheblich über den hier ermittelten energiebedingten Mehrkosten. Besonders auffällig sind die Annahmen in der BSI-Studie, die für Fenster mit $U_w = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ energiebedingte Mehrkosten von 124 €/m^2 ansetzt. In der Gebäudetypologie Bayern wird unter gleichen Annahmen mit 67 €/m^2 energiebedingten Mehrkosten gerechnet.

Die dena- und die PHI-Studie setzen dagegen Fenster mit $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ als Referenz an, d. h. dieser Standard erfordert keine energiebedingten Mehrkosten. Mehrkosten entstehen unter den Annahmen dieser Studien beim Übergang von der 2- auf die 3-Scheiben-Verglasung. Nach der dena-Studie liegen diese energiebedingten Mehrkosten zwischen 51 €/m^2 (niedrige Kosten) und 101 €/m^2 (hohe Kosten), nach der vorliegenden Studie etwa 50 €/m^2 , nach der PHI-Studie bei etwa 27 €/m^2 für die Verbesserung der U_w -Wertes um etwa $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bis $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Ergebnisse dieser Studie liegen damit zwischen den Annahmen der PHI- und der dena-Studie.

- Lüftungsanlagen: Vergleichsdaten liegen aus der IWU- und der PHI-Studie vor. Die in den beiden Studien angegebenen Kosten für Abluftanlagen und effiziente Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung liegen unter den aus den Kostenfeststellungen ermittelten Kosten. Nach der Kostenfunktion dieser Studie betragen die energiebedingten Mehrkosten einer effizienten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung gegenüber einer Abluftanlage bei einer Wohnung mit 85 m^2 Wohnfläche 43 €/m^2 , bei einer größeren Wohnung mit 135 m^2 Wohnfläche etwa 35 €/m^2 . Diese Mehrkosten liegen etwa 10 €/m^2 über den Angaben der PHI-Studie.
- Brennwert & Solar: Die Studie des PHI sowie die vorliegende Studie gehen davon aus, dass für den Standard der Brennwerttechnologie keine energiebedingten Mehrkosten anzusetzen sind. Für die Gebäudetypologie Bayern sowie die BSI-Studie wurden für diesen Standard jedoch Mehrkosten angesetzt. Die zusätzlichen thermischen Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung sind dagegen vollständig energiebedingte Mehrkosten. Im Vergleich zur PHI-Studie liegen die aus der Kostenfunktion abgeleiteten Kosten auf dem Niveau der „hohen Kosten“ für die entsprechenden Anlagen im Ein- bzw. Zweifamilienhaus.

Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 109		äquivalente Dämmdicke	Gebäudetypologie Schleswig-Holstein, 1998	WWJ, 2004	PHI, 2008	HMWVL, 2005	Gebäudetypologie Bayern, 2006	dena, 2007	BSI, 2008	aktuelle Auswertung, Primärdaten dena / KfW, 2009	mittlere Abweichung von den Vergleichsstudien
Quelle / Maßnahme	cm	Kosten, netto [€/m²]									
WDVS	11	133								110	-23
WDVS	15			139					124	122	-9
WDVS (hohe Kosten o. Innenputz/Gerüst)	17							94		127	34
WDVS (niedrige Kosten)	12					123				114	-9
WDVS (hohe Kosten)	12					164				114	-50
WDVS	16						148			125	-23
WDVS	19				110					133	-24
Keller, unterseitig	5	44					27			31	-5
Keller, unterseitig	10			35						36	1
Keller, Stahlbetondecke unterseitig (niedrige Kosten)	16							37		42	5
Keller, Stahlbetondecke unterseitig (hohe Kosten)	16							66		42	-24
Keller, unterseitig (niedrige Kosten)	6					25				32	7
Keller, unterseitig (hohe Kosten)	6					41				32	-9
Keller, unterseitig	6						27			32	5
Keller, unterseitig	8								31	34	3
Keller, unterseitig	9				53					35	-18
Steildach, Dampfbremse, 15 cm auf / 15 cm zwischen den Sparren, Aufdopplung, Unterdach, Konterlattung (hohe Kosten)	25							127		--	--
14 cm Zwischen-/15 cm Aufsparren (niedrige Kosten)	20					164				--	--
14 cm Zwischen-/15 cm Aufsparren (niedrige Kosten)	20					197				--	--
25 cm Zwischen-/Aufsparrendämmung	18				130					--	--
22 cm (0,04) Aufsparrendämmung	19				129					--	--
20 cm (0,04) Aufsparren (niedrige Kosten)	18					164				--	--
23 cm (0,04) Aufsparrendämmung (hohe Kosten)	18					197				--	--
Steildach Vollkosten inkl. Eindeckung	18	144								--	--
15 cm Zwischen/15 cm Aufsparrendämmung	25			201						--	--
Steildach Aufsparrendämmung o. Eindeckung	20						67			--	--
Steildach ohne Eindeckung	15								124	--	--
Flachdach (Warmdach)	11	150								--	--
Flachdach als "Warmdach" (hohe Kosten)	20							130		--	--
Flachdach als "Warmdach"	19				114					--	--
Flachdach	20						135			--	--
Flachdach als "Kaltdach" (niedrige Kosten)	20					148				--	--
Flachdach als "Kaltdach" (hohe Kosten)	20					246				--	--
oberste Geschossdecke, begehrbar	18	51								59	8
oberste Geschossdecke, begehrbar	14								41	54	13
oberste Geschossdecke, begehrbar	20			49			47			63	15
oberste Geschossdecke, begehrbar (niedrige Kosten)	20					49				63	14
oberste Geschossdecke, begehrbar (hohe Kosten)	20					63				63	0
oberste Geschossdecke, begehrbar (hohe Kosten)	25							57		70	13
oberste Geschossdecke, begehrbar	25				39					70	31
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar (niedrige Kost)	20					33				32	-1
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar (hohe Kosten)	20					41				32	-9
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar	25				20					36	16
Fenster, 2-WSV, $U_w \approx 1,3$ W/(m²K)		309	457	245						233	--
Fenster, 3-WSV, $U_w \approx 0,9$ W/(m²K), Kunststoffrahmen			665	272						--	--
Fenster, 2-WSV, $U_w \approx 1,4$ W/(m²K)							471		414	--	--
Fenster, 2-WSV, $U_w \approx 1,3$ W/(m²K), niedrige Kosten						493		253		233	-140
Fenster, 2-WSV, $U_w \approx 1,3$ W/(m²K), hohe Kosten						657		443		320	-230
Fenster, 3-WSV, $U_w \approx 1,0$ W/(m²K), niedrige Kosten								317		280	-37
Fenster, 3-WSV, $U_w \approx 1,0$ W/(m²K), hohe Kosten								570		371	-199
Wohnfläche je Wohneinheit [m²/WE]											
Abluftanlage	70			35	33					32	-2
RLT mit zentrale Wärmerückgew. ("mittel": 85 m²)	85				64					70	5
RLT mit zentrale Wärmerückgew. ("groß": 135 m²)	135				60					52	-8
Lüftungsanlage mit zentraler Wärmerückgewinnung				111						--	--
Wohnfläche je Gebäude [m²]											
Öl-Brennwert im EFH ohne Verteilung/Heizflächen	111								6490	7854	1364
Gas-Brennwert im EFH ohne Verteilung/Heizflächen	156				8272					8596	324
Gas-Brennwert im MFH ohne Verteilung/Heizflächen	857							17944		13502	-4442
Solaranlage (WW), 120 m² Wohnfl., niedrige Kosten	120				3574					6501	2928
Solaranlage (WW), 120 m² Wohnfl., hohe Kosten	120				6355					6501	146
Solaranlage (WW), 270 m² Wohnfl., niedrige Kosten	270				5980					7330	1350
Solaranlage (WW), 270 m² Wohnfl., hohe Kosten	270				6510					7330	820

Tabelle 3: Kostenvergleich, Vollkosten der untersuchten Maßnahmen im Vergleich mit weiteren Studien (brutto)

Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 109		äquivalente Dämmdicke	Gebäudetypologie Schleswig- Holstein, 1998	IWI, 2004	PHI, 2008	HMMWL, 2005	Gebäudetypologie Bayern, 2006	dena, 2007	BSI, 2008	aktuelle Auswertung, Primärdaten dena / KfW, 2009	mittlere Abweichung von den Vergleichsstudien
Quelle / Maßnahme	cm	energiebedingte Mehrkosten, netto [€/m²]									
WDVS	11	66								38	-28
WDVS	15		69						87	50	-28
WDVS (hohe Kosten o. Innenputz/Gerüst)	17							43		55	12
WDVS (niedrige Kosten)	12					36				42	7
WDVS (hohe Kosten)	12					57				42	-15
WDVS	16						67			53	-14
WDVS	19			68						61	-7
Keller, unterseitig	5	44					27			31	-5
Keller, unterseitig	10		35							36	1
Keller, Stahlbetondecke unterseitig (niedrige Kosten)	16							37		42	5
Keller, Stahlbetondecke unterseitig (hohe Kosten)	16							66		42	-24
Keller, unterseitig (niedrige Kosten)	6					25				32	7
Keller, unterseitig (hohe Kosten)	6					41				32	-9
Keller, unterseitig	6						27			32	5
Keller, unterseitig	8								31	34	3
Keller, unterseitig	9			53						35	-18
Steildach, Dampfbremse, 15 cm auf / 15 cm zwischen den Sparren, Aufdopplung, Unterdach, Konterlattung (hohe Kosten)	25							60		54	-5
14 cm Zwischen-/15 cm Aufsparren (niedrige Kosten)	20						32			43	11
14 cm Zwischen-/15 cm Aufsparren (niedrige Kosten)	20						48			43	-5
25 cm Zwischen-/Aufsparrendämmung	18				58					39	-19
22 cm (0,04) Aufsparrendämmung	19				57					41	-16
20 cm (0,04) Aufsparren (niedrige Kosten)	18							57		39	-18
23 cm (0,04) Aufsparrendämmung (hohe Kosten)	18							73		39	-34
Steildach Vollkosten inkl. Eindeckung	18	29								38	9
15 cm Zwischen/15 cm Aufsparrendämmung	25		97							54	-43
Steildach Aufsparrendämmung o. Eindeckung	20						67			43	-24
Steildach ohne Eindeckung	15								47	32	-14
Flachdach (Warmdach)	11	7								--	--
Flachdach als "Warmdach" (hohe Kosten)	20							34		--	--
Flachdach als "Warmdach"	19				62					--	--
Flachdach	20						67			--	--
Flachdach als "Kaldach" (niedrige Kosten)	20					41				--	--
Flachdach als "Kaldach" (hohe Kosten)	20					74				--	--
oberste Geschossdecke, begehbar	18	51								59	8
oberste Geschossdecke, begehbar	14								41	54	13
oberste Geschossdecke, begehbar	20		49				47			63	15
oberste Geschossdecke, begehbar (niedrige Kosten)	20					49				63	14
oberste Geschossdecke, begehbar (hohe Kosten)	20					63				63	0
oberste Geschossdecke, begehbar (hohe Kosten)	25							57		70	13
oberste Geschossdecke, begehbar	25			39						70	31
oberste Geschossdecke, nicht begehbar (niedrige Kost)	20					33				32	-1
oberste Geschossdecke, nicht begehbar (hohe Kosten)	20					41				32	-9
oberste Geschossdecke, nicht begehbar	25			20						36	16
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K)		19								keine	-19
Fenster, 3-WSV, Uw ≈ 0,9 W/(m²K), Kunststoffrahmen			222	27						--	--
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,4 W/(m²K)							67		124	--	--
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), niedrige Kosten						33				keine	-33
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), hohe Kosten						49				keine	-49
Fenster, 3-WSV, Uw ≈ 1,0 W/(m²K), niedrige Kosten								51		47	-4
Fenster, 3-WSV, Uw ≈ 1,0 W/(m²K), hohe Kosten								101		51	-50
Wohnfläche je Wohneinheit [m²/WE]											
Abluftanlage	70		35							keine	-35
RLT mit zentrale Wärmerückgew. ("mittel": 85 m²)	85				32					43	11
RLT mit zentrale Wärmerückgew. ("groß": 135 m²)	135				27					35	8
Lüftungsanlage mit zentraler Wärmerückgewinnung			111							--	--
Wohnfläche je Gebäude [m²]											
Öl-Brennwert im EFH ohne Verteilung/Heizflächen	111						2019		1622	keine	1821
Gas-Brennwert im EFH ohne Verteilung/Heizflächen	156									keine	
Gas-Brennwert im MFH ohne Verteilung/Heizflächen	857						2019		4485	keine	3252
Solaranlage (WW), 120 m² Wohnfl., niedrige Kosten	120				3574					6501	2928
Solaranlage (WW), 120 m² Wohnfl., hohe Kosten	120				6355					6501	146
Solaranlage (WW), 270 m² Wohnfl., niedrige Kosten	270				5980					7330	1360
Solaranlage (WW), 270 m² Wohnfl., hohe Kosten	270				6510					7330	820

Tabelle 4: Kostenvergleich, energiebedingte Mehrkosten der untersuchten Maßnahmen im Vergleich mit weiteren Studien (brutto)

4 Zusammenfassung und Ausblick

In den folgenden Tabellen 5 und 6 sind die als Ergebnisse der Studie entwickelten Kostenfunktionen und beispielhafte Kosten bzw. energiebedingte Mehrkosten zusammengefasst. Die Kostenfunktionen für die thermische Hülle können ohne Einschränkung in Bezug auf die Gebäudegröße genutzt werden und sind durch die umfangreiche Datenbasis im Wesentlichen sehr gut abgesichert. Einschränkungen gelten jedoch bei der Anwendung der Kostenfunktionen für die anlagentechnischen Komponenten. Folgende Rahmenbedingungen sollten bei der Beurteilung der Ergebnisse beachtet werden:

- Die Datenbasis der Studie beruht im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen aus dem KfW CO₂-Gebäudemodernisierungsprogramm ab dem Jahr 2007 und damit auf aktuellen Projekten aus einem bundesweiten Breitenförderprogramm. Diese Datenbasis wurde ergänzt um Kostenfeststellungen aus dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“, bei dem u. a. auch sehr hochwertige innovative Maßnahmen gefördert wurden. Die Datenbasis kann somit als typisch für die Kosten energiesparender Maßnahmen im Bestand angesehen werden.

Nach Durchsicht der Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass die Maßnahmen in nennenswerten Umfang auf Basis fehlender oder unzureichender Ausschreibungen durchgeführt und abgerechnet wurden. Andererseits gab es aber auch viele Projekte, die offensichtlich auf Basis einer detaillierten Ausschreibung abgerechnet wurden. Auch das erscheint erfahrungsgemäß als ein typischer Querschnitt des Alltags im Bereich der energetischen Gebäudemodernisierung und kann zum Teil die hohe Streuung der Kosten bei gleicher energetischer Qualität begründen.

Die Erfahrung zeigt allerdings, dass Maßnahmen bzw. ganze Bauprojekte bei professioneller Ausschreibung und Baubegleitung durch Projektpartner und Bauteams mit entsprechender Erfahrung relativ kostengünstig zu realisieren sind, d. h. günstiger als nach den in dieser Studie ermittelten durchschnittlichen Kostenfunktionen. Dies gilt insbesondere für energetisch hochwertige Modernisierungen, die ohne eine qualitativ hochwertige Planung, Bausausführung und Kontrolle praktisch nicht zu realisieren sind.

- Außenwand – Wärmedämmverbundsystem: Insgesamt enthält die Datenbank 141 Projekte mit über 6.100.000 € Vollkosten und fast 52.000 m² gedämmte Fläche. Die Kostenfunktion und die Detailanalyse der Kostenstruktur basiert auf 109 abgerechneten Projekten mit Hartschaum-Dämmstoffen und Mineralfaser. Die Kostenfunktion kann damit als sehr gut abgesichert gelten.
- Kellerdecke: Insgesamt enthält die Datenbank 54 Projekte mit fast 400.000 € Vollkosten und fast 11.500 m² gedämmte Fläche. Die Kostenfunktion basiert auf der Auswertung von 42 Projekten und ist damit sehr gut abgesichert. Die Auswertung ergab eine sehr starke Streuung der tatsächlichen Kosten, das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion (Abbildung 3) ist entsprechend gering. Damit besteht nur ein sehr kleiner unmittelbarer Zusammenhang zwischen den spezifischen Kosten und der Dämmdicke. Das heißt, in Bezug auf die tatsächlichen Kosten der Maßnahmen sind offensichtlich andere Faktoren als die Dämmdicke entscheidend. Dies könnten z. B. bauliche Gegebenheiten sein. Beim Vergleich der Ergebnisse mit abgerechneten Bauvorhaben ist dies zu berücksichtigen.

- Fenster und Fenstertüren: Überraschend waren die relativ geringen abgerechneten Mehrkosten für „konventionelle“ Fenster mit hochwertiger 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und „warmer Kante“ gegenüber solchen mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und Alu-Randverbund sowie die generellen Unterschiede im Preisniveau zwischen Ein- und Zweifamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern. Da die Datenbank aber insgesamt Kostenfeststellungen zu über 2.100 Fenstern und Fenstertüren mit über 1.150.000 € Vollkosten und einer Fläche von 4.000 m² enthält und die ermittelten Kosten auf der Auswertung von insgesamt 121 Projekten basieren, können die hier getroffenen Aussagen als sehr gut abgesichert gelten. Zukunftsweisend ist die Erweiterung der Studie in Richtung passivhaustauglicher Fenster mit entsprechend hochwertigen Rahmenkonstruktionen.
- Steildach, Dämmung von außen: Die Vollkosten einer Dachinstandsetzung in Kombination mit einer Wärmedämmung des Daches streuen sehr stark und sind im Wesentlichen unabhängig von der äquivalenten Dämmdicke. Werden die Kosten jedoch auf die energierelevanten Elemente reduziert, zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den energiebedingten Mehrkosten und der äquivalenten Dämmdicke (Abbildung 7). Die Datenbasis mit fast 14.000 m² Fläche und Vollkosten von etwa 2.5 Mio. € in über 80 Projekten ist ausreichend, um daraus eine gesicherte Kostenfunktion für die energiebedingten Mehrkosten abzuleiten. Dies gilt allerdings unter der Prämisse, dass Dachflächenfenster und Dachgauben in der Kostenfunktion nicht berücksichtigt werden. Mit diesen Elementen ließe sich eine nennenswerte Korrelation zwischen der äquivalenten Dämmdicke und den energiebedingten Mehrkosten aus den Datensätzen nicht ableiten.
- Steildach, Dämmung von innen: Die Primärdatenbasis war nicht ausreichend, eine entsprechende Kostenfunktion für die Dämmung des Steildachs von innen abzuleiten. Diese Maßnahme ist jedoch durchaus praxisrelevant. Die Studie sollte um diese Maßnahme erweitert werden.
- Oberste Geschossdecke begehbar/nicht begehbar: Die Kostenfunktionen basieren im Wesentlichen auf der Auswertung abgerechneter Kosten in relativ kleinen Gebäuden. Bei gut begehbaren obersten Geschossdecken in großen Mehrfamilienhäusern ist zu vermuten, dass die Kosten für entsprechende Maßnahmen deutlich geringer sein können. Dies hat sich auch bei der Auswertung einzelner Projekte gezeigt. Um die Ergebnisse besser abzusichern, sollte die Datenbasis mit Kostenfeststellungen aus großen Mehrfamilienhäusern erweitert werden.
- Flachdach: Eine Kostenfunktion konnte wegen der Vielfalt der möglichen Modernisierungsmaßnahmen und der gleichzeitig nur wenigen Primärdaten nicht abgeleitet werden. Die Studie sollte um diese Maßnahme ergänzt werden.
- Öl- bzw. Gaskessel und Pelletkessel als Einzelmaßnahme: Die Datenbasis der Kostenfunktion für Öl- und Gaskessel in Wohngebäuden unter 350 m² Wohnfläche ist mit 31 Projekten gut. Es fehlen aber abgerechnete Kosten für große Mehrfamilienhäuser, um die Kostenfunktion auch für große Gebäude entsprechend abzusichern.

Auf einer nicht ausreichenden Datenbasis von lediglich fünf Projekten konnte zwar eine Kostenfunktion für Pelletanlagen abgeleitet werden, die Datenbasis muss aber vor allem für große Wohngebäude erweitert werden.

- Solaranlage (WW) als Einzelmaßnahme: Die Kostenfunktion wurde auf Basis von lediglich sieben Kostenfeststellungen in Gebäuden unter 350 m² Wohnfläche abgeleitet. Dies ist ausreichend für eine näherungsweise Abschätzung. Es fehlen aber Kostenfeststellungen aus großen Mehrfamilienhäusern, um die Kostenfunktion auch für größere Anlagen auf einer ausreichenden Basis ableiten zu können.
- Gas- bzw. Ölkessel mit Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung: Die Kostenfunktion wurde auf Basis von 31 Projekten abgeleitet und ist damit ausreichend abgesichert. Allerdings liegt der Schwerpunkt der berücksichtigten Projekte bei kleineren Gebäuden. Um die Kostenfunktion noch besser abzusichern, könnte die Datenbasis um abgerechnete Projekte in großen Mehrfamilienhäusern erweitert werden.
- Gas- bzw. Ölkessel mit Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung & Heizung: Die Datenbasis für Gebäude unter 350 m² Wohnfläche ist ausreichend. Für große Gebäude liegen nicht ausreichend viele Kostenfeststellungen vor. Zur Absicherung der Ergebnisse sollte die Datenbasis um Kostenfeststellungen aus großen Gebäuden ergänzt werden.
- Pelletkessel mit Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung & Heizung: Insgesamt konnten nur sechs Kostenfeststellungen in Gebäuden unter 350 m² Wohnfläche ausgewertet werden. Diese Basis reicht lediglich für eine erste Abschätzung der Kosten, nicht jedoch für eine fundierte Bewertung. Die Datenbasis muss daher für diese Anlagen erweitert werden.
- Lüftungsanlagen: Die Datenbank umfasst insgesamt 51 Projekte mit über 1.400.000 € Vollkosten. Darin enthalten sind auch 11 Projekte mit dezentralen Lüftungsanlagen. Die hier abgeleitete Kostenfunktion für zentrale Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung basiert auf 34 Kostenfeststellungen und ist damit gut abgesichert. Die Basis für die Kostenfunktion der Abluftanlagen mit insgesamt sieben ausgewerteten Projekten ist dagegen lediglich ausreichend für eine näherungsweise Abschätzung. Es fehlen vor allem abgerechnete Kosten für Abluftanlagen in großen Einfamilienhäusern. Darüber hinaus ist zu vermuten, dass zukünftig über den verstärkten Einsatz von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden mit einer gewissen Dynamik bei der Produktentwicklung und den Kosten zu rechnen ist. Die Datenbank sollte daher vor allem mit Kostenfeststellungen aktueller Projekte ergänzt werden.
- Eine Konsequenz aus der Datenbasis ist, dass vorwiegend am Markt eingeführte Maßnahmen untersucht werden konnten. Damit können die Auswertungen nur bedingt auf sehr hochwertige energetische Modernisierungen nahe am Passivhausstandard übertragen werden. Auf der Basis der aktuellen Förderung der KfW sollte die Studie daher mit dem Fokus auf besonders hochwertige energetische Modernisierungen im Bestand bis annähernd zum Passivhausniveau bzw. mit passivhaustauglichen Komponenten ergänzt werden.

Bauteil bzw. Anlagen	Kostenfunktion		
Außenwand WDVS: Vollkosten	$2,69 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 81,71 \text{ €}$		
Außenwand WDVS: energiebedingte Mehrkosten	$2,69 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 10 \text{ €}$		
Kellerdecke, Dämmung von unten: Vollkosten	$1,04 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 25,47 \text{ €}$		
Steildach: Vollkosten	$2,42 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 180,84 \text{ €}$		
Steildach: energiebedingte Mehrkosten	$2,16 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 0 \text{ €}$		
oberste Geschossdecke - begehbar: Vollkosten	$1,47 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 33,36 \text{ €}$		
oberste Geschossdecke - nicht begehbar: Vollkosten	$0,82 \text{ €/cm} \cdot X \text{ cm Dämmstoff} + 15,66 \text{ €}$		
2-Scheiben, Kunststoffrahmen, Alu Randverbund (EFH)	280 bis 320 €/m ²		
3-Scheiben, Kunststoffrahmen, GFK Randverbund (EFH)	340 bis 370 €/m ²		
2-Scheiben, Kunststoffrahmen, Alu Randverbund (MFH)	230 bis 250 €/m ²		
3-Scheiben, Kunststoffrahmen, GFK Randverbund (MFH)	280 bis 300 €/m ²		
Öl/Gaskessel als Einzelmaßnahme	$2301,3 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,7392 \cdot X \text{ m}^2$		
Pelletkessel als Einzelmaßnahme (Wohnfläche < 300 m ²)	$833 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,4157 \cdot X \text{ m}^2$		
Solaranlage (WW) als Einzelmaßnahme (Wohnfläche < 300 m ²)	$3201,3 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,852 \cdot X \text{ m}^2$		
Solaranlage (WW) gleichzeitig mit Öl/Gaskessel	$892,61 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,4555 \cdot X \text{ m}^2$		
Solaranlage (WW&H) gleichzeitig mit Öl/Gaskessel	$869,86 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,3905 \cdot X \text{ m}^2$		
Solaranlage (WW&H) gleichzeitig mit Pelletkessel (Wohnfläche < 300 m ²)	$8132,7 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,7424 \cdot X \text{ m}^2$		
Wärmeverteilnetze (Näherung)	$130,44 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,3466 \cdot X \text{ m}^2$		
Lüftungsanlagen mit WRG > 80 %, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m ²)	$1210,8 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2/\text{Wohneinheit}] \wedge -0,6432 \cdot X \text{ m}^2$		
Abluftanlagen, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m ²)	$1872,2 \text{ €/m}^2 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,9586 \cdot X \text{ m}^2$		
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (ohne Komponenten)	$7,42 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,1998 \cdot X \text{ [m}^2]$	X = [100; 200] m ²	
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (mit Thermostatventilen)	$14,43 \cdot X \text{ [m}^2] \wedge -0,1412 \cdot X \text{ [m}^2]$	X = [100; 200] m ²	

Tabelle 5: Kosten bzw. Kostenfunktion (brutto) für energiesparende Maßnahmen im Wohngebäudebestand. Die Ermittlung der energiebedingten Mehrkosten bei der Dämmung von Bauteilen erfolgt unter der Prämisse, dass die Maßnahmen im Zuge einer ohnehin anstehenden baulichen Instandsetzung erfolgen. (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

Beispiel	äquiv. Dämmdicke [cm]	Kosten [€/m ² Bauteil]	energiebedingte Mehrkosten [€/m ² Bauteil]	
Außenwand WDVS: Vollkosten	16	125	--	
Außenwand WDVS: energiebedingte Mehrkosten	16	--	53	
Kellerdecke, Dämmung von unten: Vollkosten	8	34	34	
Steildach: Vollkosten	19	227	--	
Steildach: energiebedingte Mehrkosten	19	--	41	
Anm: 19 cm äquiv. = 14 cm Zwischen + 10 cm Aufsparrendämmung				
oberste Geschossdecke - begehbar: Vollkosten	20	63	63	
oberste Geschossdecke - nicht begehbar: Vollkosten	20	32	32	
	U _v [W/(m ² K)]			
2-Scheiben, Kunststoffrahmen, Alu Randverbund	1,25 bis 1,35	230 bis 320		
3-Scheiben, Kunststoffrahmen, GFK Randverbund	0,90 bis 1,00	280 bis 370	50 bis 60	
	Wohnfläche je Gebäude ab mind. 100 m ² [m ²]	Kosten [€/m ² Wohnfläche]	energiebedingte Mehrkosten [€]	Kosten [€]
Öl/Gaskessel als Einzelmaßnahme	185	49	--	9065
Pelletkessel als Einzelmaßnahme (Wohnfläche < 300 m ²)	185	95	8510	17575
Solaranlage (WW) als Einzelmaßnahme (Wohnfläche < 300 m ²)	185	37	6845	6845
Solaranlage (WW) gleichzeitig mit Öl/Gaskessel	185	83	6290	15355
Solaranlage (WW&H) gleichzeitig mit Öl/Gaskessel	185	113	11840	20905
Solaranlage (WW&H) gleichzeitig mit Pelletkessel (Wohnfläche < 300 m ²)	185	169	22200	31265
Siehe auch: detaillierte Auswertung für kleine Heizanlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern mit bis zu 28 kW Leistung (Abb. 12)				
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (ohne Komponenten)	185	2,6	481	481
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (mit Thermostatventilen)	185	6,9	1277	1277
Wärmeverteilnetze (Näherung)	185	21	--	3885
	Wohnfläche je Wohneinheit [m ²]	Kosten [€/m ² Wohnfläche]	energiebedingte Mehrkosten [€]	Kosten [€]
Lüftungsanlagen mit WRG > 80 %, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m ²)	70	79	3290	5530
Abluftanlagen, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m ²)	70	32	--	2240

Tabelle 6: Beispielberechnung: Kosten bzw. energiebedingte Mehrkosten (brutto) für energiesparende Maßnahmen im Wohngebäudebestand auf Basis der oben dargestellten Kostenfunktionen. (vorläufiges Ergebnis: Stand Juli 2010)

5 Quellenverzeichnis

- [IWU, 2004] „Zwischenevaluation zum dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“ – vertiefende Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit – Abschlussbericht“; Hinz, Feldmann, Enseling; IWU, Darmstadt, 2004 (unveröffentlicht)
- [TU München; 2005] „Ausgewählte Maßnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen in Bayern bis zum Jahr 2010“; Prof. Dr. Ulrich Wagner; Lehrstuhl im Institut für Energiewirtschaft, TU München; München, 2005
- [IWU; 2006] „Gebäudetypologie Bayern – Endbericht“; Hinz; IWU, Darmstadt, 2006
- [HMWVL; 2005] „Ratgeber zur energetischen Modernisierung - Maßnahmen & Kosten: Welche Maßnahmen gibt es und was bringen sie?“; Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr & Landesentwicklung, Wiesbaden, 2005
- [BSI; 2008] „Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen für die selbstgenutzte Wohnimmobilie und den vermieteten Bestand“; BSI Bundesvereinigung Spitzenverbände der Immobilienwirtschaft; Berlin, 2008
- [BSWIVT; 2005] „Hinweise zum Energiesparen - Kosten und Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen“; Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, Bayerisches Staatsministerium des Innern (Oberste Baubehörde); München, 2005
- [GfEM; 2004] „Kennziffernkatalog - Investitionen in der Energiewirtschaft“; GfEM - Gesellschaft für Energiemanagement; Berlin, 2004
- [dena, 2006] „Besser als ein Neubau: EnEV minus 30 %“; Deutsche Energie-Agentur GMBH; Berlin, 2006
- [Statistisches Bundesamt, 2005] „Preisentwicklung in der Bauwirtschaft“: Vorholt, Dechent; Statistisches Bundesamt - Wirtschaft und Statistik, 4'2006
- [HMWVL; 2007] „Kostenvergleich (Richtwerte) verschiedener Heizsysteme für ein Einfamilienhaus“; Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr & Landesentwicklung, Wiesbaden, 2007
- [Jagnow; 2001] „Projektbericht Investitionskosten TGA“; Jagnow, Sell, Wolff; Braunschweig, Hamburg, Wolfenbüttel; 2001
- [Bine; 2009] „ProjektInfo 09/09 – Neue Fensterrahmen: Hoher Dämmwert, niedriges Gewicht“; BINE Informationsdienst; Karlsruhe; 2009