



BMVBS-Online-Publikation, Nr. 07/2012

## Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden

### **Impressum**

#### **Herausgeber**

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)

#### **Wissenschaftliche Begleitung**

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin  
André Hempel

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Horst-Peter Schettler-Köhler (Leitung)  
Andrea Vilz

#### **Bearbeitung**

Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt  
Eberhard Hinz

#### **Vervielfältigung**

Alle Rechte vorbehalten

#### **Zitierhinweise**

BMVBS (Hrsg.): Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden. BMVBS-Online-Publikation 07/2012.

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.

ISSN 1869-9324

© BMVBS Juni 2012

Ein Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), betreut vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR).

<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>3</b>
<b>Aufgabenstellung .....</b>	<b>5</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>8</b>
<b>1 Datenbasis.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Vollkosten und Kostenfunktionen .....</b>	<b>14</b>
2.1 Außenwand – nachträgliche Dämmung mit Wärmedämmverbundsystem .....	15
2.2 Kellerdecke – nachträgliche Dämmung unterseitig .....	22
2.3 Fenster und Fenstertüren.....	24
2.4 Steildach – nachträgliche Dämmung von außen .....	30
2.5 Flachdach.....	34
2.6 Oberste Geschossdecke.....	36
2.7 Wärmeerzeugungsanlagen – Gas / Öl / Pellet / Solar.....	37
2.8 Wärmeerzeugungsanlagen – Wärmepumpen .....	44
2.9 Heizungsperipherie .....	47
2.10 Hydraulischer Abgleich als Dienstleistung .....	49
2.11 Lüftungsanlagen .....	49
2.12 Energiebedingte zusätzliche Leistungen .....	53
2.13 Kosten für Gerüste bei der energetischen Modernisierung .....	54
<b>3 Zusätzliche statistische Auswertungen .....</b>	<b>55</b>
<b>4 Auswertung Sekundärdaten .....</b>	<b>58</b>
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>65</b>
<b>6 Quellenverzeichnis .....</b>	<b>71</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abbildung 1: Verteilung der ausgewerteten Kostenfeststellungen in Deutschland
- Abbildung 2: spezifische Kosten und Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem. Zum Vergleich sind ebenfalls dargestellt die Kosten für das Verlegen des Dämmstoffs (Material & Arbeitszeit) in der Fassadenfläche, für das eventuell erforderliche Ausschäumen offener Fugen sowie für das Schleifen ohne weitere Nebenarbeiten und ohne Dübeln. (Bestimmtheitsmaß Vollkosten ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren:  $R^2 = 0,148$ )
- Abbildung 3: Kostenstruktur für ein 15 cm Wärmedämmverbundsystem bei der energetischen Modernisierung einer Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung.
- Abbildung 4: spezifische Kosten und Kostenfunktion: nachträgliche unterseitige Dämmung Kellerdecke (geklebt, gedübelt, geschliffen) (Bestimmtheitsmaß Vollkosten ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren:  $R^2 = 0,063$ )
- Abbildung 5: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren mit 3- bzw. 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (konventioneller Rahmen: Holz oder Kunststoff, Dreh/Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden, inkl. Demontage und Montage, Abdeckleisten)
- Abbildung 6: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung über der Fenstergröße im EFH (Rahmen: Holz oder Kunststoff, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden, inkl. Demontage und Montage, Abdeckleisten) (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Holzrahmen:  $R^2 = 0,025$ ; Kunststoffrahmen:  $R^2 = 0,010$ )
- Abbildung 7: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung über der Fenstergröße im EFH (Rahmen: Holz oder Kunststoff, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden, inkl. Demontage und Montage, Abdeckleisten) (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Holzrahmen:  $R^2 = 0,155$ ; Kunststoffrahmen:  $R^2 = 0,130$ )
- Abbildung 8: spezifische Kosten einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen mit gleichzeitiger Neueindeckung: Während aus den MF-Zwischensparrendämmung - bedingt durch den Holzanteil - eher geringere äquivalente Dämmdicken resultieren, ergeben sich aus dem Aufsparrendämmsystem - bedingt durch die guten Wärmedämmeigenschaften des Dämmstoffs PUR und die zumeist gleichzeitig realisierte MF-Dämmung zwischen den alten Sparren - i.d.R. höhere äquivalente Dämmdicken. (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Vollkosten:  $R^2 = 0,061$ )
- Abbildung 9: Kostenstruktur einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen mit Neueindeckung
- Abbildung 10: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung eines Flachdaches im Zuge einer ohnehin erforderlichen Sanierung
- Abbildung 11: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung einer obersten Geschossdecke (begehbar/nicht begehbar) (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: begehbar:  $R^2 = 0,607$ )
- Abbildung 12: spezifische Kosten für Heizanlagen (ohne Solar) in Wohngebäuden bei der energetischen Modernisierung (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Pellet:  $R^2 = 0,452$ ; Öl:  $R^2 = 0,236$ ; Gas:  $R^2 = 0,700$ )
- Abbildung 13: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung in Wohngebäuden (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Pellet:  $R^2 = 0,542$ ; Gas/Öl:  $R^2 = 0,727$ ; Solar:  $R^2 = 0,694$ )
- Abbildung 14: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solarer Unterstützung bei der Warmwasserbereitung und Heizung (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Pellet:  $R^2 = 0,806$ ; Gas/Öl:  $R^2 = 0,612$ ; Solar:  $R^2 = 0,263$ )
- Abbildung 15: Beispielhafte Darstellung der Kosten für verschiedene Heizsysteme in einem Wohngebäude mit 185 m<sup>2</sup> Wohnfläche (berechnet aus den Kostenfunktionen).
- Abbildung 16: Kosten (brutto) verschiedener Wärmepumpensysteme
- Abbildung 17: spezifische Kosten verschiedener Wärmepumpensysteme
- Abbildung 18: spezifische Kosten von Wärmeverteilnetzen in Wohngebäuden im Zuge einer Modernisierung
- Abbildung 19: Kosten je Wohneinheit für den nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Lüftungsanlagen mit Zu-/Abluft & Wärmerückgewinnung:  $R^2 = 0,238$ ; Abluftanlage:  $R^2 = 0,514$ )
- Abbildung 20: Kosten energiebedingter Planungsleistungen
- Abbildung 21: Kosten für Gerüste bei der energetischen Modernisierung

Tabelle 1:	Basis der Auswertungen
Tabelle 2:	$U_w$ für Fenster mit Standard-Kunststoffrahmen und Verglasung/Glasrandverbund unterschiedlicher energetischer Qualität
Tabelle 3:	Zusammenfassung der zusätzlichen statistischen Auswertungen der Datenbank, Teil 1 – Maßnahmen zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes.
Tabelle 4:	Zusammenfassung der zusätzlichen statistischen Auswertungen der Datenbank, Teil 2 – anlagentechnische Maßnahmen
Tabelle 5:	Kostenvergleich, Investitionskosten der untersuchten Maßnahmen im Vergleich mit weiteren Studien (brutto)
Tabelle 6:	Kostenvergleich, energiebedingte Mehrkosten der untersuchten Maßnahmen im Vergleich mit weiteren Studien (brutto)
Tabelle 7:	Kostenfunktionen (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. Details zu den berücksichtigten Kosten und den Bezugsflächen sind im Bericht dargestellt.
Tabelle 8:	Beispiel: Kosten bzw. energiebedingte Mehrkosten (brutto) für energiesparende Maßnahmen im Wohngebäudebestand auf Basis der oben dargestellten Kostenfunktionen für ein Wohngebäude mit 185 m <sup>2</sup> Wohnfläche mit 2 Wohneinheiten.

## **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 den energetischen Modernisierungen 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 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 zu bereinigen.

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

## Zusammenfassung

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 liefert Eingangsdaten (Kosten energierelevanter bau- und anlagentechnischer Komponenten) für Wirtschaftlichkeitsberechnungen zum künftigen Anforderungsniveau bei den energetischen Modernisierungen von Wohngebäuden.

Die Ergebnisse beruhen auf der Auswertung von gewerkebezogenen Kostenfeststellungen zu insgesamt 531 abgerechneten Projekten; davon sind 399 Ein- und Zweifamilienhäuser. Mit ca. 72 % stammt die Mehrzahl der ausgewerteten Kostenfeststellungen aus Gebäuden mit 100 bis 300 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Insgesamt wurden für die Kostengruppe 300 (Wärmedämmung/Fenster) Maßnahmen mit einer Fläche von 237.333 m<sup>2</sup> berücksichtigt. Das Investitionsvolumen beträgt 19,6 Mio. €. In der Kostengruppe 400 (Heizung/Lüftung) wurden 509 Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von 9,7 Mio. € ausgewertet. Insgesamt enthält die Datenbank ausgewertete Kostenfeststellungen im Umfang von mehr als 30 Mio. €.

Auf Basis der gewerkebezogenen Kostenfeststellungen wurden die Kosten und Kostenstrukturen zu folgenden bau- und anlagentechnischen Maßnahmen untersucht:

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

Über Regressionsanalysen wurden Kostenfunktionen für die Vollkosten (Gesamtkosten) bzw. energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen abgeleitet. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde durch weitergehende statistische Auswertungen überprüft und abgesichert. Die Ergebnisse sind im Bericht tabellarisch zusammengefasst.

Aus den Kostenfunktionen können unmittelbar „typische“ Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten verschiedener energiesparender Maßnahmen auf einer statistisch abgesicherten Basis bestimmt werden.

Zwei wesentliche Ergebnisse lassen sich aus den Auswertungen ableiten:

- In der Regel ist der unmittelbare Zusammenhang zwischen der energetischen Qualität einer Maßnahme und den abgerechneten Kosten gering. D. h., offensichtlich werden die Kosten energiesparender Maßnahmen wesentlich auch durch Faktoren bestimmt, die ursächlich nicht im Zusammenhang mit der Verbesserung der energetischen Qualität in Verbindung stehen.
- Zudem ist das 95 %-Konfidenzintervall der Kostenfunktionen in der Regel relativ groß. Dies bedeutet, dass in konkreten Einzelfall die Kosten für die Maßnahmen deutlich über den „typischen“ Kosten nach der Kostenfunktion liegen können – aber auch deutlich darunter. Dies entspricht der baupraktischen Erfahrung und muss bei der Übertragung der Ergebnisse auf den konkreten Einzelfall berücksichtigt werden.

Ziel der Studie war, einen möglichst repräsentativen Querschnitt typischer Kosten solcher energiesparender Maßnahmen im Bestand herauszuarbeiten, die bereits am Markt eingeführt sind. Dazu ist die Datenbasis gut geeignet. Eine Konsequenz aus diesem Ansatz ist, dass die Auswertungen nur bedingt auf sehr hochwertige energetische Modernisierungen nahe am Passivhausstandard übertragen werden können. 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.

Die Ergebnisse der Auswertungen sollten mit Angaben aus weiteren Studien bzw. Publikationen verglichen werden. Dies war nur bedingt möglich, weil eine genaue Beschreibung der berücksichtigten Kosten in den Vergleichsstudien in der Regel nicht vorhanden ist. Zudem ist auch die statistische Basis für die Kostenangaben in keinem Fall dokumentiert. Weitergehende statistische Auswertungen fehlen in den Vergleichsstudien vollständig. Die Vergleichsstudien sind somit letztlich nicht geeignet, um auf dieser Basis „typische“ Kosten energiesparender Maßnahmen im Bestand abzuleiten.

## Abstract

Based on the decisions of the German Government the German Energy ordinance will be developed further in 2012. This study presents results (costs of energy saving measures) as a basis for the evaluation of economical efficiency of future standards for the energetic refurbishment of the building stock.

The results base on the analysis of costs of energy saving measures in 531 projects; among these 399 single family houses. Most of the projects (72 %) have a living area between 100 to 300 m<sup>2</sup>. the overall area of measures in the thermal envelope of the building (thermal insulation, windows) is 237.333 m<sup>2</sup>, the invest is up to € 19.6 million. 509 heating and ventilation systems were evaluated with an invest up to € 9.7 million.

For the following measures the costs and the structure of the costs were investigated:

- Outer wall
- Step roof, flat roof
- Upper ceiling, basement ceiling
- Windows
- Solar energy systems for space heating and/or hot water supply
- Heating systems (gas, oil, Pellet)
- Heat pumps
- Exhaust ventilation systems

Function of full costs as well as for additional costs were developed by the method of regression analysis. The statistical significance of the results was tested by further statistical evaluations. With these functions "typical" costs of energy saving measures can be estimated. Two fundamental results of the project are:

- In general the direct coherence between the costs of energy saving measures and the energetic quality is small.
- In general the 95 %-Confidence-Interval is large. That means, in a single project the costs of energy saving measures can be much higher than the "typical" costs or even much lower. This is in coherence with practical experience.

The aim of the project was to evaluate typical costs of those energy saving measures that are already state of the art. For this the database is eligible. One consequence is that the results can not be transformed to high-quality-standards in energetic refurbishment near to passive-house. Thence the study should be extended to measures of high-quality standards of energetic refurbishment.

## 1 Datenbasis

Die Daten für die Auswertungen stammen im Wesentlichen zwei Quellen:

- **Primärdaten – Kostenfeststellungen aus dem KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“**

Aus dem KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ 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 ist zusätzlich die Durchführung des hydraulischen Abgleichs zu belegen. 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. Bei den Fördermittelnehmern handelt es sich i. W. um private (nicht professionelle) Investoren – im Gegensatz zu gewerblichen Vermietern. Dies kann bedeuten, dass die Kosten für entsprechende Maßnahmen bei professionell arbeitenden Wohnungsunternehmen tendenziell günstiger sein könnten.

Für das Forschungsvorhaben hat das IWU die Kostenfeststellungen zu ca. 500 geförderten energetischen Modernisierungen in Wohngebäuden 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 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 ( $Q_p''$  und  $H_T'$  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, Einregulierungsprotokoll 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. 30 geförderten Projekten ausgewertet.

### **Bewertung der Datenbasis**

Die Datenbasis der Studie beruht im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen aus dem KfW CO<sub>2</sub>-Gebäudemodernisierungsprogramm „Energieeffizient Sanieren“ ab dem Jahr 2007 und damit auf aktuellen Projekten aus dem bundesweiten Förderprogramm. 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 Ergebnisse beruhen auf der Auswertung von Kostenfeststellungen zu insgesamt 531 abgerechneten Projekten; davon sind 399 Ein- und Zweifamilienhäuser. Mit ca. 72 % stammt die Mehrzahl der ausgewerteten Kostenfeststellungen in der Datenbank aus Gebäuden mit 100 bis 300 m<sup>2</sup> Wohnfläche.

Nach Durchsicht dieser Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass die Maßnahmen in nennenswertem 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. 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, Bauausführung 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 gut geeignet.

Eine Konsequenz aus diesem Ansatz ist, dass vorwiegend am Markt eingeführte Maßnahmen untersucht wurden. 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.

## Umfang der Datenbank

Tabelle 1 zeigt die für die unten dargestellten Auswertungen genutzte Datenbasis. Insgesamt wurden für die Kostengruppe 300 (Wärmedämmung/Fenster) Maßnahmen mit einer Fläche von 237.333 m<sup>2</sup> berücksichtigt. Das Investitionsvolumen beträgt 19,6 Mio. €. In der Kostengruppe 400 (Heizung/Lüftung) wurden 509 Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von 9,7 Mio. € ausgewertet. Insgesamt enthält die Datenbank ausgewertete Kostenfeststellungen im Umfang von mehr als 30 Mio. €.

Maßnahme	Anzahl	[€]	[m <sup>2</sup> ]
Haustüren	120	426.351	392
Fenstertüren	113	1.608.075	6.075
Fenster	179	1.825.546	5.509
Fensterbänke (spez. Kosten in €/m <sup>2</sup> WDVS)	186	555.157	81.296
Rolläden	30	94.148	747
Außenwand - WDVS	238	13.089.594	106.979
oberste Geschossdecke - begehrbar	26	182.076	3.268
oberste Geschossdecke - nicht begehrbar	23	81.998	4.401
Kellerdecke, unterseitig, ohne Bekleidung	64	342.941	9.795
Kellerdecke, unterseitig, mit Bekleidung	36	237.617	4.678
Steildach, Dämmung von innen	19	106.990	2.855
Steildach, Dämmung von außen	57	485.249	8.949
Dachflächenfenster	48	117.155	73
Flachdach	24	499.923	3.480
<b>Summe</b>	<b>1.163</b>	<b>19.652.821</b>	<b>238.497</b>
<b>Gerüst</b>	<b>223</b>	<b>868.124</b>	
<b>Solar (WW) ohne Kessel</b>	<b>21</b>	<b>189.958</b>	
<b>Solar (WW) mit Gas</b>	<b>45</b>	<b>1.065.910</b>	
<b>Solar (WW) mit Öl</b>	<b>16</b>	<b>277.416</b>	
<b>Solar (WW) mit Pellet</b>	<b>9</b>	<b>249.289</b>	
<b>Solar (WW&amp;H) ohne Kessel</b>	<b>23</b>	<b>418.344</b>	
<b>Solar (WW&amp;H) mit Gas</b>	<b>30</b>	<b>763.720</b>	
<b>Solar (WW&amp;H) mit Öl</b>	<b>19</b>	<b>419.416</b>	
<b>Solar (WW&amp;H) mit Pellet</b>	<b>12</b>	<b>366.603</b>	
<b>Gas ohne Solar</b>	<b>59</b>	<b>555.100</b>	
<b>Öl ohne Solar</b>	<b>19</b>	<b>196.078</b>	
<b>Pellet ohne Solar</b>	<b>14</b>	<b>303.982</b>	
<b>Wärmepumpenanlagen</b>	<b>59</b>	<b>1.699.486</b>	
<b>Heizkörper</b>	<b>44</b>	<b>268.533</b>	
<b>Wärmeverteilnetze</b>	<b>54</b>	<b>400.357</b>	
<b>Summe</b>	<b>424</b>	<b>7.174.193</b>	
<b>Lüftungsanlagen</b>	<b>81</b>	<b>2.536.801</b>	<b>50.947</b>
<b>Ingenieurleistungen</b>	<b>204</b>	<b>145.620</b>	
<b>Summe über alles</b>	<b>2.095</b>	<b>30.377.560</b>	

Tabelle 1: Basis der Auswertungen

## 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
- Flachdach
- Oberste Geschosdecke: nachträgliche Dämmung begehbar bzw. nicht begehbar
- Kellerdecke zum unbeheizten Keller: unterseitig
- Fenster und Fenstertüren: 2- bzw. 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, konventioneller Rahmen
- Solaranlagen zur Unterstützung bei der Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung
- Heizungsanlagen: Gas-Brennwert, Öl-Brennwert, Pellet
- Wärmepumpenanlagen
- Lüftungsanlagen
- energiebedingte zusätzliche Planungsleistungen
- Kosten für Gerüste

## 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 Baupreisindexes. Der Baupreisindex wird quartalsweise vom Deutschen Statistischen Bundesamt veröffentlicht.

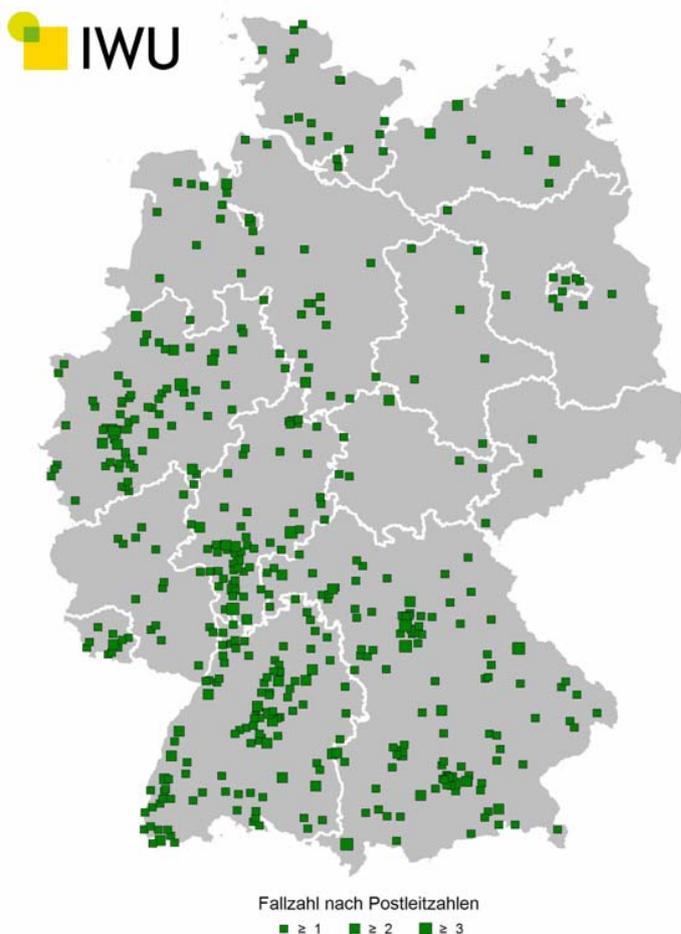
## Regionalfaktoren

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 Wohngebäudemodernisierung sind vom Deutschen Statistischen Bundesamt übernommen.

Da eine gewisse Unsicherheit in der Anwendung der Regionalfaktoren besteht, wurden die Auswertungen parallel auch ohne die Berücksichtigung der Regionalfaktoren durchgeführt. In der Tendenz führen die Regionalfaktoren jedoch zu einer geringeren Streuung der Ergebnisse.

## Räumliche Verteilung der ausgewerteten Projekte



Die Kostenfeststellungen wurden unsystematisch aus der Datenbank der KfW ausgelesen und anonymisiert ausgewertet. Ein Abgleich mit anderen statistischen Auswertungen der KfW zum Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ erfolgte nicht. Diese Daten sind ergänzt um die ebenfalls zufällig verteilten Projekte aus der Projektdatenbank der dena. Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung der ausgewerteten Projekte in Deutschland. Die Karte zeigt auffällig viele Projekte aus Hessen, Baden-Württemberg, Bayern und Nordrhein-Westfalen.

Abbildung 1: Verteilung der ausgewerteten Kostenfeststellungen in Deutschland

## 2 Vollkosten und Kostenfunktionen

In den folgenden Abbildungen werden Ergebnisse der Auswertungen zusammenfassend dargestellt.

### Kostenfunktion und Bestimmtheitsmaß

Häufig wird in den folgenden Grafiken eine Kostenfunktion für die Vollkosten bzw. die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen dargestellt. Diese sind in Kapitel 4 tabellarisch zusammengefasst. Neben der Gleichung für die Kostenfunktion wird auch das „Bestimmtheitsmaß“  $R^2$  der Funktion angegeben. Das Bestimmtheitsmaß ist ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier Variablen. Das Bestimmtheitsmaß kann als Indikator für die Güte einer Regressions-schätzung genutzt werden und nimmt immer Werte zwischen 0 und 1 an. 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 2 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem mit Dämmstoff Polystyrol (Basis: n = 205 Kostenfeststellungen) und Mineralfaser (Basis: n = 33 Kostenfeststellungen). Dargestellt sind die Vollkosten der Maßnahmen [ $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ ] sowie die gemeinsame Kostenfunktion der unterschiedlichen Dämmstoffe. Zusätzlich enthält Abbildung 2 auch die Kosten für den Dämmstoff und das Verkleben und Verdübeln des Dämmstoffs (Mittelwerte für Polystyrol und Mineralfaser) in der Fassadenfläche ohne weitere Nebenarbeiten oder Anschlüsse.

### Flächenbezug

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, sind die unten dargestellten spezifischen Kosten auf diese um 9 % kleinere tatsächlich gedämmte Fläche bezogen. Durch diesen Flächenbezug lassen sich die Kostenangaben unmittelbar für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Beurteilung energiesparender Maßnahmen nutzen<sup>1</sup>.

### Äquivalente Dämmdicke

Um die Kosten der Maßnahmen bei unterschiedlichen Dämmstoffen vergleichen zu können, wurden von  $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$  abweichende Wärmeleitfähigkeiten der Dämmstoffe auf den Wert von  $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$  umgerechnet. In den folgenden Abbildungen wird immer die entsprechende „äquivalente Dicke“ des Dämmstoffs dargestellt.

---

<sup>1</sup> Ausgehend von der These, dass die spezifischen Kosten für Wärmedämmverbundsysteme auf großflächigen Fassaden in Mehrfamilienhäusern im Vergleich zu kleinflächigen Fassaden in Einfamilienhäusern sinken würden, wurde eine entsprechende Regressionsanalyse durchgeführt: Die These konnte auf Basis der Daten nicht belegt werden. Es ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Fläche der Fassade bzw. der Wohnfläche des Gebäudes zu den spezifischen Kosten des Wärmedämmverbundsystems nachweisen.

## Berücksichtigte Kosten

Die Punktwolke in Abbildung 2 beschreibt die spezifischen Vollkosten für Wärmedämmverbundsystem mit allen Systemkomponenten sowie alle relevanten Nebenkosten wie z. B. der Baustelleneinrichtung, der Kosten für die Demontage und Montage neuer Außenfensterbänke mit Antidröhnbändern und gegebenenfalls Dämmkeilen unter den Fensterbänken, dem Versetzen von Fall- und Standrohren und weiterer Spenglerarbeiten, die als Konsequenz aus der Maßnahme erforderlich werden könnten. Erfasst sind auch die Kosten für eventuell erforderliche Verlängerungen von Dachüberständen im Bereich Ortgang oder Traufe.

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

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

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

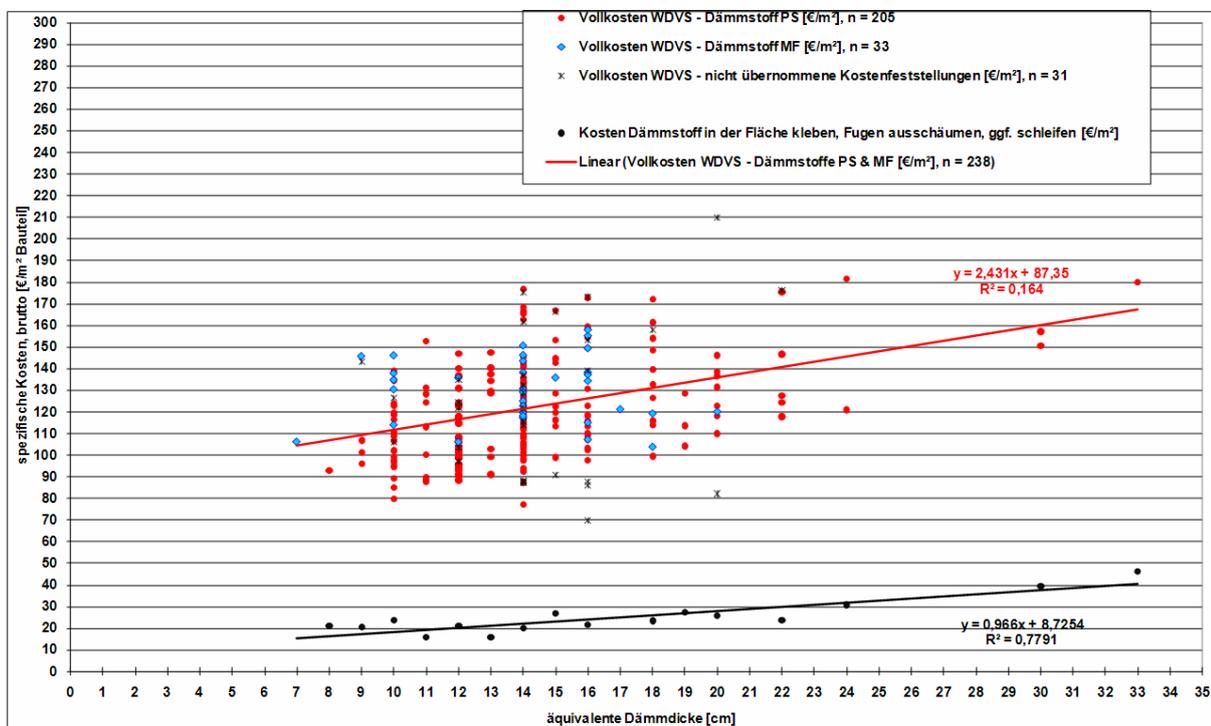


Abbildung 2: spezifische Kosten und Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem. Zum Vergleich sind ebenfalls dargestellt die Kosten für das Verlegen des Dämmstoffs (Material & Arbeitszeit) in der Fassadenfläche, für das eventuell erforderliche Ausschäumen offener Fugen sowie für das Schleifen ohne weitere Nebenarbeiten und ohne Dübeln. (Bestimmtheitsmaß Vollkosten ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren:  $R^2 = 0,148$ )

Abbildung 2 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 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 2 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.  $123 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$  ohne Gerüst. Die von der Dämmdicke unabhängigen Grundkosten für das Wärmedämmverbundsystem betragen durchschnittlich  $87 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ . Die zuwachsenden Kosten betragen  $2,43 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ . Das Bestimmtheitsmaß beträgt  $R^2 \approx 0,16$ . Damit besteht nur ein geringer unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem und der äquivalenten Dämmdicke. Das heißt, dass ein verbesserter energetischer Zustand mit höherer Dämmdicke nicht unmittelbar zu höheren Kosten führen muss, wie sich in der starken Streuung der Punktwolke deutlich zeigt<sup>2</sup>.

In Abbildung 2 sind auch die Kosten für den Dämmstoff inkl. Verkleben sowie gegebenenfalls dem Ausschäumen von Fugen sowie dem Schleifen des Dämmstoffs in der Fläche als Mittelwerte für die Dämmstoffe Polystyrol und Mineralfaser angegeben. Die Kostenfunktion hat einen Fixkostenanteil von  $8,73 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$  und zuwachsende Kosten von  $0,96 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ . Diese Kosten sind deutlich geringer als die zuwachsenden Kosten für das Wärmedämmverbundsystem von  $2,43 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ . Die unterschiedliche Steigung der Kostenfunktion belegt die These, dass mit höherer Dämmdicke auch umfangreichere Nebenarbeiten erforderlich werden: Bei höheren Dämmdicken wird häufiger eine Verlängerung des Dachüberstandes erforderlich oder es werden zunehmend Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken durchgeführt wie z. B. der Einsatz von relativ teuren systemgerechten Montagezylindern bis hin zum Abschneiden vom Balkon oder dem Abstemmen von Fensteranschlüssen u. a. m.. Diese Kosten sind in der Systematik der Studie dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet und zeigen sich in der überproportional großen Steigung der Kostenfunktion.

---

<sup>2</sup> Anmerkung: Rechnet man aus den Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem die Kosten für die Perimeterdämmung und den Sockelputz heraus, ergibt sich eine ähnlich starke Streuung der Punktwolke. D. h. auch ohne die Perimeterdämmung und die Arbeiten für den Sockelputz besteht keine wesentlich verbesserte Korrelation zwischen den Vollkosten und der energetischen Qualität (äquivalente Dämmdicke).

## Einzelanalyse

Abbildung 2 zeigt eine starke Streuung der spezifischen Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem, die sich im Einzelnen begründen lässt, wie an einigen Beispielen dargestellt wird:

- 9 cm Dämmung für 143 €/m<sup>2</sup>: Das Wärmedämmverbundsystem erscheint extrem teuer und wurde nicht in die Auswertung übernommen, weil in der Kostenfeststellung keine Differenzierung erfolgt: die Maßnahme wurde „pauschal“ abgerechnet.
- 9 cm Dämmung für 146 €/m<sup>2</sup>: Die hohen Kosten für die Dämmung der Außenwand in einem Mehrfamilienhaus mit 78 Wohneinheiten lassen sich aus der Kostenfeststellung erklären: Die Fassadenfläche von 2334 m<sup>2</sup> wurde bei diesem Gebäude mit 14 cm Mineralfaser gedämmt. Zusätzlich wurde eine Fläche von 1917 m<sup>2</sup> mit einer Dämmung von lediglich 3 cm Mineralfaser im Bereich von Balkonen, Loggien und Teilflächen der Fassade ausgewiesen. Im Mittel resultiert daraus eine äquivalente Dämmdicke von lediglich 9 cm mit relativ hohen spezifischen Kosten.
- 12 cm Dämmung für 96 €/m<sup>2</sup>: Bei diesem Gebäude mit Anbau und 188 m<sup>2</sup> Wohnfläche musste der Dachüberstand an Ortgang und Traufe verlängert werden. Die Kosten für Maßnahme betragen 1.500 € und wurden als „energiebedingte Mehrkosten“ berücksichtigt. Da allerdings mit 291 m<sup>2</sup> eine relativ große Außenwandfläche gedämmt wurde, wirkt sich die Vergrößerung des Dachüberstandes nicht wesentlich auf die spezifischen Gesamtkosten der Maßnahme aus. Damit liegen die spezifischen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem trotz der zusätzlichen Maßnahmen deutlich unter den durchschnittlichen Kosten nach der Kostenfunktion.
- 12 cm Dämmung für 115 €/m<sup>2</sup>: Auch bei diesem Gebäude mit 106 m<sup>2</sup> Wohnfläche musste der Dachüberstand im Bereich der Traufe über eine Länge von 18 m um 30 cm verlängert werden. Dazu wurde das Dach im Bereich der Traufe über 8 m<sup>2</sup> abgedeckt, die Ziegel wurden zwischengelagert. Infolge der Änderungen am Dach mussten auch die Regenrinnen angepasst werden. Selbstverständlich wurden auch die Fallrohre versetzt. Die Kosten für diese Maßnahmen betragen 2.400 €. Dazu kamen Arbeiten am Vordach des Gebäudes und zusätzliche Kosten für den Anschluss der Fassadendämmung an das Garagendach mit Kosten von 700 €. Diese Kosten sind, der Systematik der Auswertung entsprechend, in den Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem bzw. als „energiebedingte Mehrkosten“ in der Kostenfunktion berücksichtigt. Trotz dieser aufwändigen zusätzlichen Maßnahmen sind die Vollkosten der Maßnahmen durchschnittlich.
- 15 cm Dämmung für 142 €/m<sup>2</sup>: Bei diesem Gebäude mit 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche wurden 47 Montagezylinder bzw. Montageplatten zur Vermeidung von Wärmebrückeneffekten mit dem Wärmedämmverbundsystem verarbeitet. Die zusätzlichen Kosten für die Maßnahme betragen ca. 1600 €. Zudem wurden die Außenfensterbänke in Granit ausgeführt mit entsprechenden Mehrkosten gegenüber dem Standard der Alu-eloxierten Fensterbänke. Damit sind auch für dieses Wärmedämmverbundsystem die Kosten überdurchschnittlich.
- 16 cm Dämmung für 149 €/m<sup>2</sup>: Bei diesem Einfamilienhaus mit 140 m<sup>2</sup> Wohnfläche musste nach den Kostenfeststellungen der Dachüberstand über eine Länge von 37 m um ca. 30 cm vergrößert werden. Die Kosten für die Maßnahme betragen etwa 3.500 €. Die Gesamtkosten für die Dämmung der 142 m<sup>2</sup> Außenwand betragen 21.200 €. Die energetische Modernisierung wird damit bei diesem Gebäude entsprechend überdurchschnittlich teuer.

- 20 cm Dämmung für 210 €/m<sup>2</sup>: Auch bei diesem Zweifamilienhaus musste der Dachüberstand verlängert werden. Die damit verbundenen Kosten betragen mehr als 10 % der Gesamtkosten für die Maßnahme. Allerdings ist die Kostenfeststellung für das WDVS nicht differenziert dargestellt, so dass dieses Projekt nicht in die Auswertung übernommen werden konnte.
- 30 cm Dämmung für 151 €/m<sup>2</sup>: Bei diesem Mehrfamilienhaus mit 463 m<sup>2</sup> Wohnfläche wurden als zusätzliche Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken an 12 Balkonen Überstände aus Stahlbeton abgesägt sowie weitere Stahlbetonstützen abgestemmt und entsorgt. Die Kosten für diese Maßnahmen von ca. 6.500 € wurden dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet. Zusätzlich mussten 74 alte Sparrenköpfe abgeschnitten entsorgt und durch neue, längere Sparrenköpfe ersetzt werden. Auch diese Kosten von ca. 4.300 € wurden dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet (Anmerkung: Die Dacheindeckung sowie neue Dachrinnen wurden systematisch dem Steildach zugerechnet, das bei diesem Projekt gleichzeitig erneuert wurde). Die gedämmte Fläche der Außenwand inkl. der Loggien ist mit 618 m<sup>2</sup> relativ groß, so dass sich die Kosten für diese zusätzlichen Maßnahmen bei den spezifischen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem nicht so gravierend niederschlagen: Mit 150 €/m<sup>2</sup> liegen diese nahe bei den Kosten nach der Kostenfunktion.
- Bei vielen Wärmedämmverbundsystem wurden neben den üblichen Maßnahmen wie kleineren Spenglerarbeiten, Arbeiten im Sockelbereich, Anstrichen von Geländern und Gesimsen, Elektroarbeiten an der Fassade u. ä. nur wenige weitere besondere Leistungen fällig. Viele dieser Projekte liegen mit den abgerechneten spezifischen Kosten häufig unterhalb der Kostenfunktion.

### Detailanalyse Wärmedämmverbundsystem

Die Detailanalyse in Abbildung 3 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 im Sockelbereich und auf der Fassade und den Fensterleibungen mit allen Nebenarbeiten und Zulagen. Diese Kosten von durchschnittlich 46 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> 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 durchschnittlich 51 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> resultieren aus dem Dämmstoff (Material), dem Verlegen des Dämmstoffs (kleben, schäumen, schleifen) sowie allen Nebenarbeiten für das WDVS wie z. B. die Dämmung im Sockelbereich, im Bereich von Loggien oder Fensterleibungen, den Sockelschienen, dem Dübeln des Dämmstoffs, aus eventuell erforderlichen Brandschutz-ausbildungen, systemgerechten Fensterbänken, dem evtl. erforderlichen Verlängern von Dachüberständen sowie aus allen zusätzlichen Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken und kleineren Nebenarbeiten wie z. B. das Versetzen von Elektroanschlüssen.
- Grundputz und 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. Bei den hier ausgewerteten Kostenfeststellungen zu Wärmedämmverbundsystemen kostet dieser armierte Grundputz auf Fassade und Fensterleibungen durchschnittlich 26 €/m<sup>2</sup>. Auf Basis der Auswertungen aus dem BKI-Kostenplaner resultieren Kosten für einen entsprechenden armierten Grundputz im Altbau im Zuge einer Putzinstandsetzung zwischen 15 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> bis zu 45 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub>. 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.

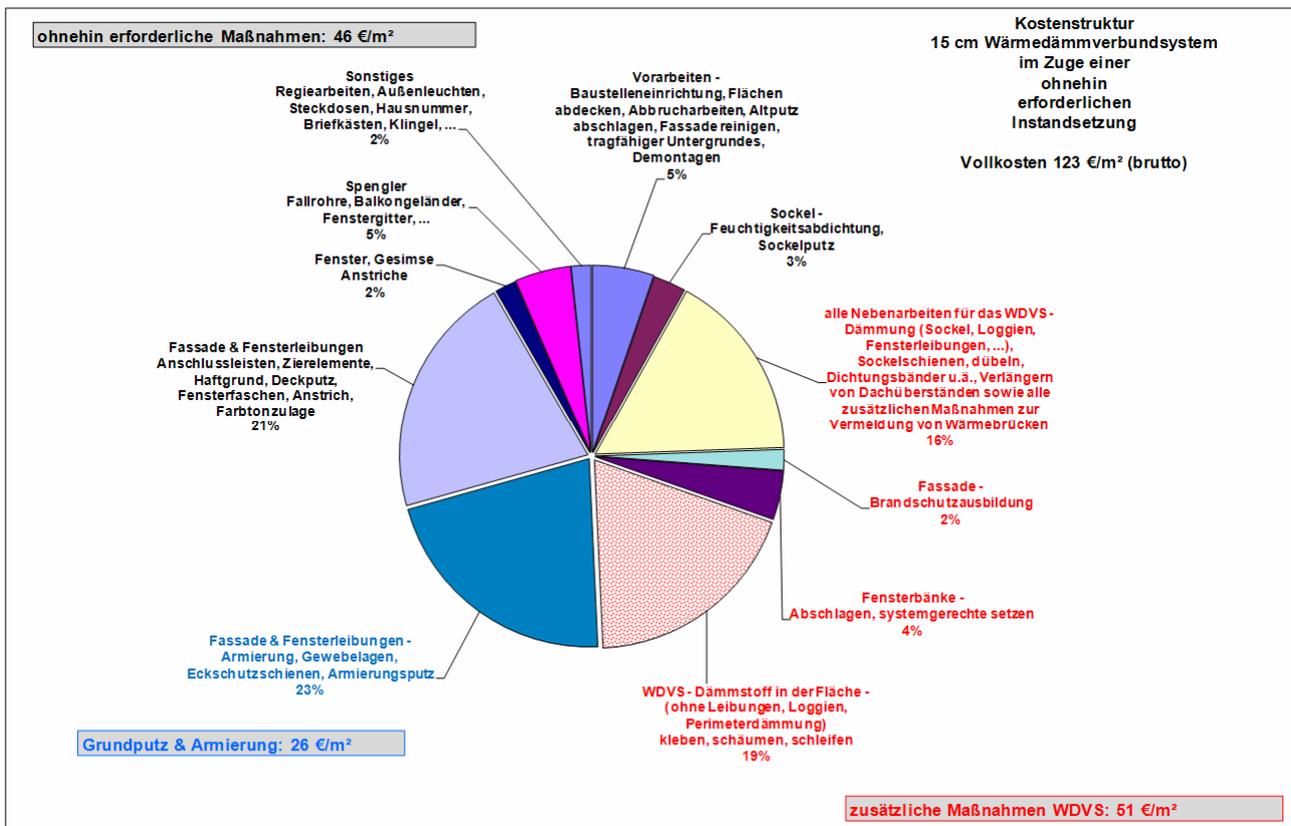


Abbildung 3: Kostenstruktur für ein 15 cm Wärmedämmverbundsystem bei der energetischen Modernisierung einer Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung.

## Energiebedingte Mehrkosten

Die EnEV koppelt die Anforderungen an eine nachträgliche Dämmung der Außenwand an eine ohnehin erforderliche umfassende Instandsetzung der Fassade. Die in Abbildung 3 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.

Wird eine Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, dann entstehen mit jedem cm Dämmstoff zuwachsende energiebedingte Kosten von  $2,43 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  aus den Sockelschienen, dem Dämmstoff, Montageplatten, der Verdübelung, der eventuell erforderlichen Vergrößerung von Dachüberständen und weiteren energiebedingten Nebenarbeiten.

Aus den Kostenfeststellungen ließen sich zuwachsende Kosten für systemgerechte Fensterbänke mit unterschiedlichen Ausladungen und eventuell erforderliche Brandschutzausbildungen nicht ableiten. Im Mittel betragen diese Kosten jedoch ca.  $7 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ . Diese Kosten sind ebenfalls energiebedingte Mehrkosten. Hinzu kommen weitere Fixkosten von etwa  $8 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$  für z. B. das Verkleben, gegebenenfalls das Ausschäumen von Fugen und Schleifen des Dämmstoffs, so dass mit Fixkosten von etwa  $15 \text{ €/m}^2$  für das Wärmedämmverbundsystem gerechnet werden muss.

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  $2,43 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  zuzüglich Fixkosten von  $15 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$  bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von  $0,035 \text{ W/(mK)}$ .**

## 2.2 Kellerdecke – nachträgliche Dämmung unterseitig

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche unterseitige Dämmung einer Kellerdecke für die Dämmstoffe Polystyrol (n = 44), Mineralfaser (n = 6) und Polyurethan (n = 14) ohne Bekleidung. Dargestellt sind die spezifischen Vollkosten [€/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub>] und die gemeinsame Kostenfunktion für die drei Dämmstoffe über der „äquivalenten Dicke“ [cm].

### Bezugsfläche

Bezugsfläche ist die Fläche des in den Rechnungen ausgewiesenen verarbeiteten Dämmstoffs für die Dämmung der Decke.

### Berücksichtigte Kosten

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. Eine Armierung des Dämmstoffs als verbesserter Schutz vor mechanischer Beschädigung oder eine andersartige Bekleidung ist nicht vorhanden. Den Kostenfeststellungen ist nicht zu entnehmen, ob es sich bei den Maßnahmen um die nachträgliche Dämmung einer glatten Betondecke oder einer Kappendecke handelt.

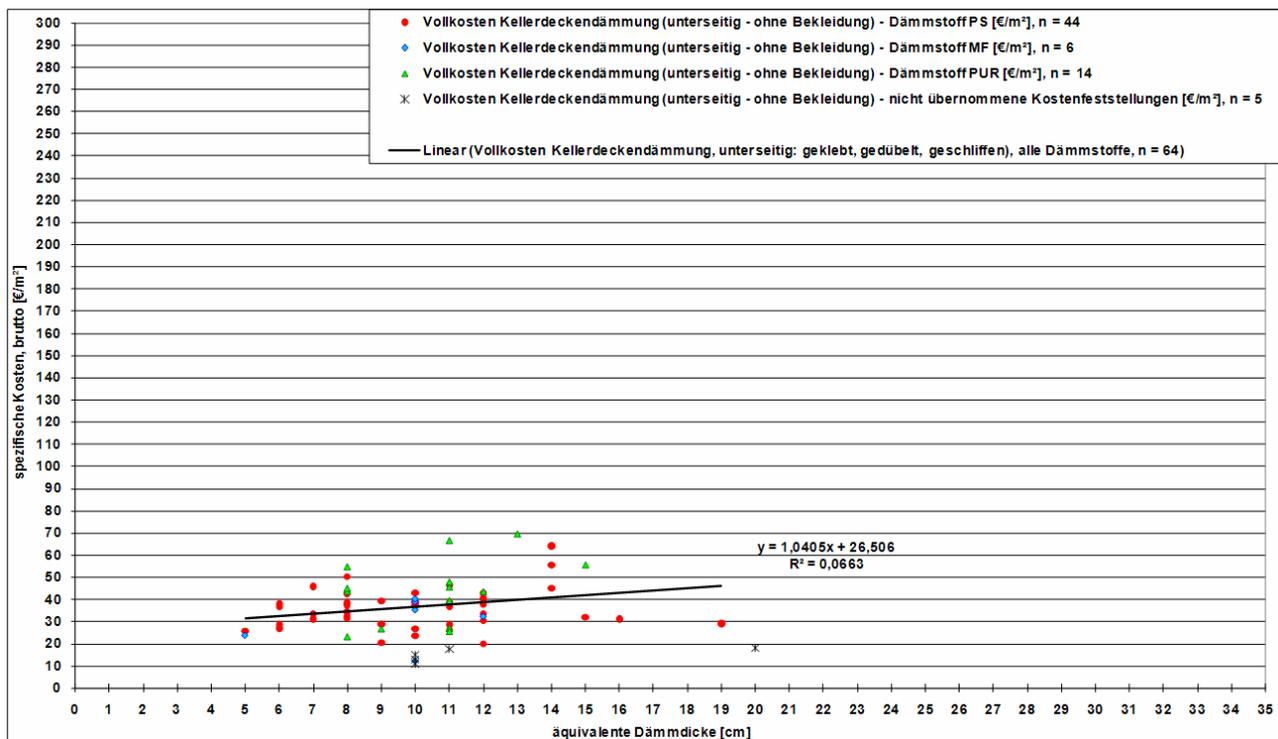


Abbildung 4: spezifische Kosten und Kostenfunktion: nachträgliche unterseitige Dämmung Kellerdecke (geklebt, gedübelt, geschliffen) (Bestimmtheitsmaß Vollkosten ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren:  $R^2 = 0,063$ )

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. Dies bedeutet, dass für die Kosten der Maßnahmen offensichtlich andere Faktoren als die Dämmdicke entscheidend sind. 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 unter 30 €/m<sup>2</sup> wurden relativ kostengünstig in großen Mehrfamilienhäusern realisiert.

Abbildung 4 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. Bei der Maßnahme mit 20 cm Dämmung wurde Zellulose in einen vorhandenen Deckenzwischenraum eingeblasen. Die Rechnung weist lediglich die Kosten für den Dämmstoff und das Einblasen aus. Es fehlen die Kosten für das Herstellen des Hohlraums. Die Maßnahme ist somit untypisch günstig und wurde für die Auswertung nicht berücksichtigt.

Vergleichend wurden auch Kostenfeststellungen ausgewertet, die zusätzlich auch eine Armierung des Dämmstoffs z. B. zum Schutz vor mechanischen Beschädigungen beinhalten ( $n = 36$ ). Die damit verbundenen zusätzlichen Kosten betragen etwa 16 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub>. 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) 26,50 €/m<sup>2</sup>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 1,04 €/cmDämmstoff/m<sup>2</sup>Bauteil bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von 0,035 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 16 €/m<sup>2</sup>Bauteil.**

## 2.3 Fenster und Fenstertüren

In Abbildung 5 sind die flächenbezogenen Mittelwerte der Kosten [ $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ ] 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  $< 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  und der der Fenster und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen  $> 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Der Begriff „Fenstertüren“ steht in dieser Studie als Synonym großformatige Fenster- und verglaste Türelemente mit einer Bauteilfläche von mehr als  $2,5 \text{ m}^2$ . Basis der Auswertungen sind 292 abgerechnete Projekte mit über 1500 Fenstertüren und über 3400 einzelnen Fenstern.

### Flächenbezug

Bezugsfläche ist die in den Rechnungen ausgewiesene Fläche der Elemente.

### Berücksichtigte Kosten

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 zur Vergrößerung der Maueröffnung für die neuen Fenster oder die Kosten für das Abstemmen von Anschlägen (systematisch der Außenwand zugeordnet).

Die hier untersuchten Fenster haben einen „konventionellen“ Holz- oder Kunststoffrahmen mit Bautiefen von zumeist 70 mm bis 86 mm. Die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen haben zumeist mit einem thermisch verbesserten Randverbund („warme Kante“). Alle Elemente wurden als Dreh- oder Dreh/Kipp-Fenster ausgeführt. Relativ teure Schiebetüren wurden nicht in die Auswertung übernommen. Die Datenbasis enthält zudem keine Fenster mit echten Sprossen oder Rahmen-Mischkonstruktion wie z. B. Holz/Alu.

Da in den Primärdatensätzen nicht genügend Kostenfeststellungen vorlagen, wurden die Kosten für passivhaustaugliche Fenster nicht in die Auswertung übernommen.

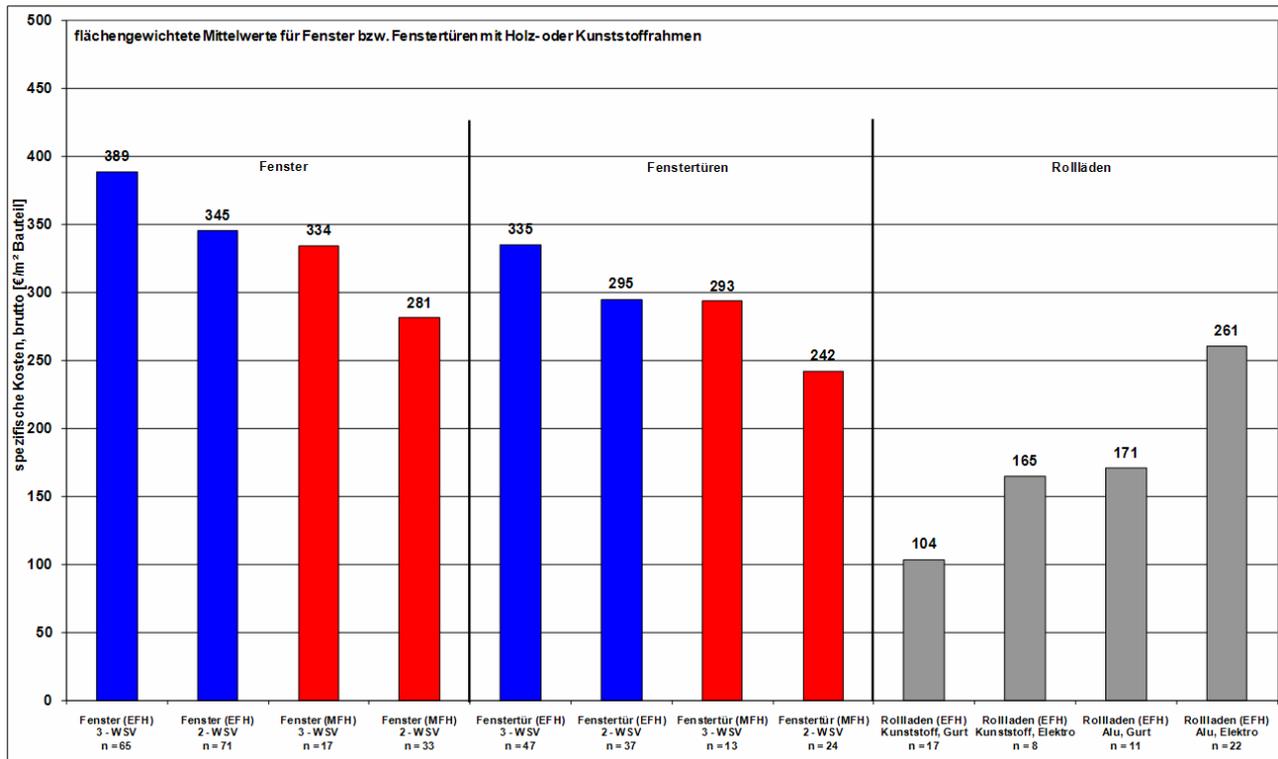


Abbildung 5: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren mit 3- bzw. 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (konventioneller Rahmen: Holz oder Kunststoff, Dreh/Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden, inkl. Demontage und Montage, Abdeckleisten)

Die Kosten für Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH betragen 389 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 65) und für Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 345 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 71). Entsprechende Fenstertüren kosten bei einer 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH 335 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 47) und bei einer 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung 295 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 37).

Zum Vergleich sind in Abbildung 5 auch die Kosten für entsprechende Fenster und Fenstertüren in Mehrfamilienhäusern angegeben: Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung kosten im Mittel im MFH 334 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 17), mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im Mittel 281 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 33). Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung kosten im Mittel im MFH 293 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 13), mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im Mittel 242 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> (Basis n = 24). Damit liegen die Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im MFH etwa auf dem Niveau der Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH. Die Mehrkosten für die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung liegen zwischen 40 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> bis 50 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub>.

Zum Vergleich enthält Abbildung 5 auch die Kosten für Vorbaurollläden verschiedener Ausführung im EFH. Demnach kostet ein Vorbaurollladen mit Kunststofflamellen und Gurt im Mittel 104 €/m<sup>2</sup><sub>Rollladen</sub>. Häufig wurden jedoch Vorbaurollläden mit Alu-Lamellen und Elektroantrieb eingesetzt. Diese kosten im Durchschnitt 261 €/m<sup>2</sup><sub>Rollladen</sub> und liegen damit auf dem Niveau der spezifischen Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im MFH. Es wurden jedoch auch Vorsatzrollladenkästen mit Aluminium-Lamellen und Elektroantrieb mit Fernbedienung mit Kosten deutlich über 300 €/m<sup>2</sup><sub>Rollladen</sub> 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 6 und 7 sind daher die Kosten für Fenster und Fenstertüren mit 2- bzw. 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung im EFH über der durchschnittlichen Fensterfläche je Projekt dargestellt. Entsprechend den Trendlinien kosten Fenster mit einer Fläche von 1,8 m<sup>2</sup> (Rahmen und Verglasung) mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und konventionellen Holzrahmen 455 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> bzw. mit Kunststoffrahmen 367 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> inkl. aller Nebenkosten. Die gleichen Fenster kosten als 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit Holzrahmen 376 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> bzw. mit Kunststoffrahmen 331 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> inkl. aller Nebenkosten<sup>3</sup>.

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktionen ist allerdings mit  $R^2 \approx 0,03$  bzw.  $R^2 \approx 0,1$  sehr gering. Es besteht damit nur ein geringer direkter Zusammenhang zwischen der Fenstergröße und den spezifischen Kosten für die Fenster.

---

<sup>3</sup> Anmerkung: Die Fläche von 1,8 m<sup>2</sup> ist die aus den Kostenfeststellungen ermittelte durchschnittliche Fläche für die Fenster in den modernisierten Ein- und Zweifamilienhäusern. Daher wurde diese Fläche hier als Bezug genommen. Die aus den Kostenfunktionen in Abbildung 6 und 7 ermittelten durchschnittlichen Kosten für die entsprechenden Fenster passen näherungsweise zu den in Abbildung 5 dargestellten Kosten von 389 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung und 345 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> 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 somit 81 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für Fenster mit Holzrahmen und 36 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für Fenster mit Kunststoffrahmen (siehe Abbildungen 6 und 7). Dies widerspricht zunächst den Ergebnissen aus Abbildung 5. Allerdings werden die Kostenfunktionen in den Abbildungen 6 und 7 (ungewichtet) durch Punktwolken 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 Kosten) die Kostenfunktion.

In Abbildung 5 sind dagegen die flächengewichteten Mittelwerte der Kosten dargestellt. Dabei werden die Kosten der Fenster und Fenstertüren für die definierten Standards „3-WSV“ und „2-WSV“ über jedes Projekt aufsummiert und auf die entsprechende Gesamtfläche bezogen. Dabei werden entsprechend der Datenbasis deutlich mehr Fenster mit Kunststoff- als mit Holzrahmen berücksichtigt. Aus diesem Ansatz resultieren die entsprechenden Mehrkosten von lediglich 44 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> bis für die unterschiedlichen energetischen Standards als Mittelwert für Fenster mit Holz- und Kunststoffrahmen, die nahe bei den oben dargestellten 36 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für Fenster mit Kunststoffrahmen liegen.

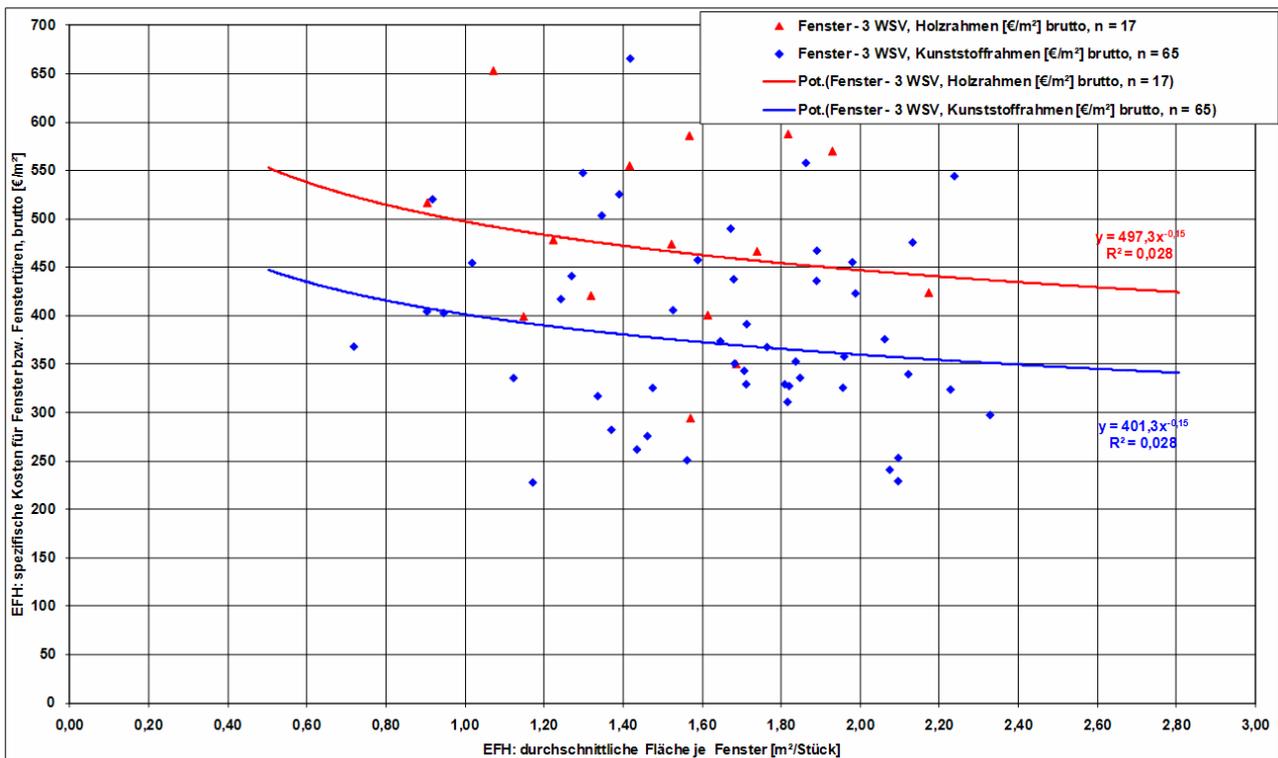


Abbildung 6: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung über der Fenstergröße im EFH (Rahmen: Holz oder Kunststoff, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden, inkl. Demontage und Montage, Abdeckleisten) (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Holzrahmen:  $R^2 = 0,025$ ; Kunststoffrahmen:  $R^2 = 0,010$ )

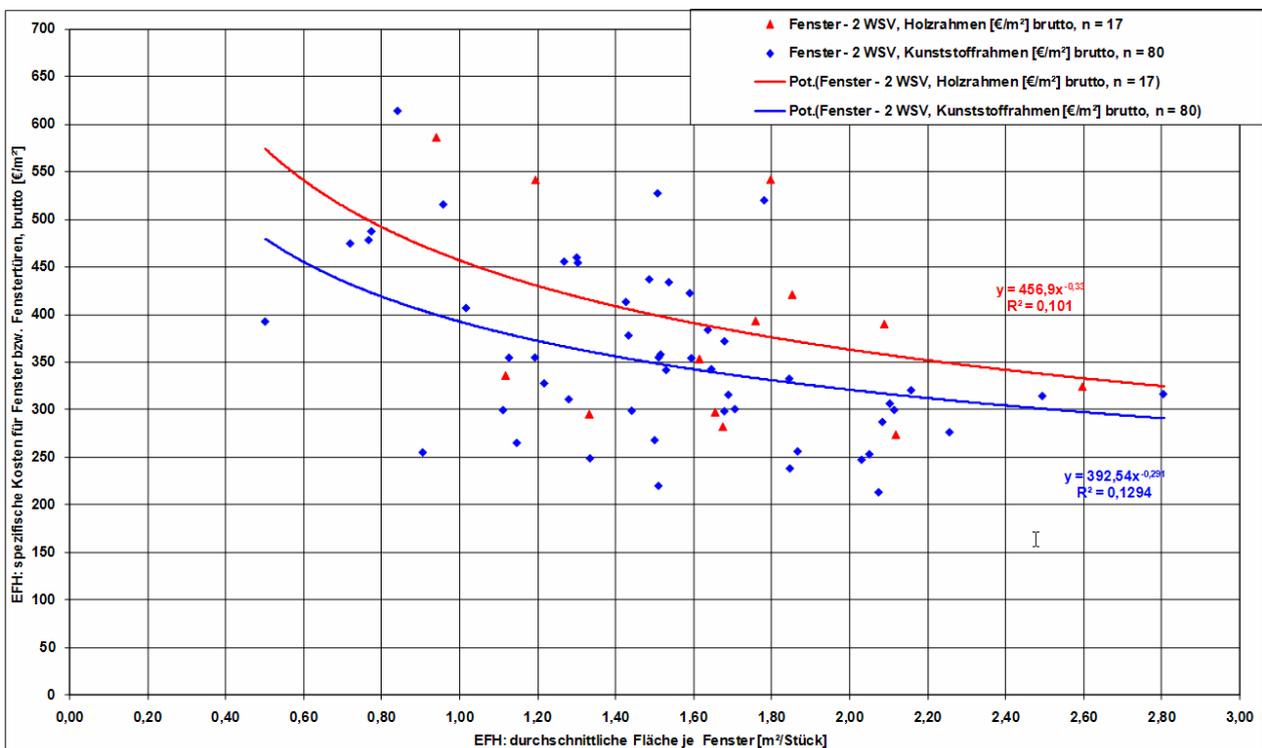


Abbildung 7: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung über der Fenstergröße im EFH (Rahmen: Holz oder Kunststoff, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden, inkl. Demontage und Montage, Abdeckleisten) (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Holzrahmen:  $R^2 = 0,155$ ; Kunststoffrahmen:  $R^2 = 0,130$ )

## 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 etwa zur Hälfte als 5-Kammer-System oder als 6-Kammer-System ausgeführt. 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/(m<sup>2</sup>K) angesetzt. Die 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung wurde mit einem ALU-Randverbund und die 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem thermisch verbesserten Randverbund („warme Kante“) gerechnet. Die Ergebnisse der Umrechnung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Fläche Fenster [m <sup>2</sup> ]	Sichtbare Glasfläche [m <sup>2</sup> ]	$U_g$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$U_f$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$\psi$ [W/(mK)]	$U_w$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
1,23 * 1,48 = 1,82	1,27	1,1 (2-WSV, Alu)	1,35	0,060	<b>1,33</b>
1,23 * 1,48 = 1,82	1,27	0,7 (3-WSV, „warme Kante“)	1,35	0,042	<b>1,00</b>
1,64 * 2,13 = 3,50	2,68	1,1 (2-WSV, Alu)	1,35	0,060	<b>1,22</b>
1,64 * 2,13 = 3,50	2,68	0,7 (3-WSV, „warme Kante“)	1,35	0,042	<b>0,94</b>

Tabelle 2:  $U_w$  für Fenster mit Standard-Kunststoffrahmen und Verglasung/Glasrandverbund unterschiedlicher energetischer Qualität

Die durchschnittlichen Flächen der ausgewerteten Kostenfeststellungen für die Fenster betragen 1,8 m<sup>2</sup> und für die Fenstertüren 3,5 m<sup>2</sup>. Mit den in Tabelle 2 dargestellten energetischen Kennwerten für die Verglasung und den Rahmen ergeben sich  $U_w$ -Werte für die Fenster von etwa 1,35 bzw. 1,0 W/(m<sup>2</sup>K) und für die großformatigen Fenstertüren  $U_w$ -Werte von etwa 1,25 bzw. 0,95 W/(m<sup>2</sup>K).

## Aktuelle Entwicklungen hochwertiger Rahmenprofile

Momentan verfügbare hochdämmende Rahmen weisen Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,1 bis 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) 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/(m<sup>2</sup>K) bei Bautiefen unter 90 mm realisiert werden können (BINE 2009).

Auch diese Entwicklungen werden u. a. vermutlich dazu beitragen, zukünftig passivhaustaugliche Fenster kostengünstig auch in der Altbaumodernisierung einsetzen zu können. Gleichzeitig ist zu vermuten, dass diese energetisch hochwertigen Produkte zu einem Kostendruck auf heute noch konventionelle energetische Standards führen, der als Kosten dämpfender Faktor auf die Preise von heute noch konventionellen 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung wirken wird<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Dieser Effekt konnte jedoch auf Basis der Kostenfeststellungen aus den letzten 3 Jahren nicht nachgewiesen werden.

### 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  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Mehrkosten entstehen durch den Übergang zur 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit verbessertem Randverbund von  $40$  bis  $50 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$ , je nach Fenstergröße und Gebäudegröße. Der  $U_w$ -Wert eines solchen Fensters liegt bei etwa  $0,9$  bis  $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

**Die energiebedingten Mehrkosten betragen demnach für eine Verbesserung des  $U_w$ -Wertes um  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bis  $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  durch den Übergang von der 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit konventionellem Glasrandverbund zur 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit „warmer Kante“ in Fenstern mit „konventionellen“ Rahmen etwa  $40 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$  bis  $50 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$ .**

## 2.4 Steildach – nachträgliche Dämmung von außen

Abbildung 8 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 ( $n = 35$ ) und dem Dämmstoff Polyurethan für die Aufsparrendämmung ( $n = 22$ ) über der „äquivalenten Dicke“ [cm]. Die Maßnahmen erfolgen in Zuge einer Neueindeckung des Daches.

### Bezugsfläche

Bezugsfläche ist die Fläche der innen liegenden Dampfbremse. Damit entspricht die Bezugsfläche näherungsweise der Fläche des Bauteils in der thermischen Hülle des Gebäudes.

### Äquivalente Dämmdicke

Bei der Berechnung der äquivalenten Dämmdicke der Zwischensparrendämmung wurde ein Holzanteil von 20 % berücksichtigt.

### Berücksichtigte Kosten

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 Dachausstiegsluken 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).

### Kostenfunktion – Vollkosten

Auffallend ist das sehr geringe Bestimmtheitsmaß von  $R^2 \approx 0,05$  für die Kostenfunktion der Vollkosten. Nach dem Bestimmtheitsmaß besteht nahezu kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Vollkosten der Dachsanierung und der energetischen Qualität des Bauteils nach Sanierung.

Die Auswertung der Kostenfeststellungen hat darüber hinaus gezeigt, dass Maßnahmen an Gauben und Dachflächenfenstern zu einer noch sehr viel stärkeren Streuung der Kosten führen. Daher sind diese Maßnahmen bei der Darstellung der Kosten in Abbildung 8 systematisch nicht berücksichtigt.

Abbildung 8 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.

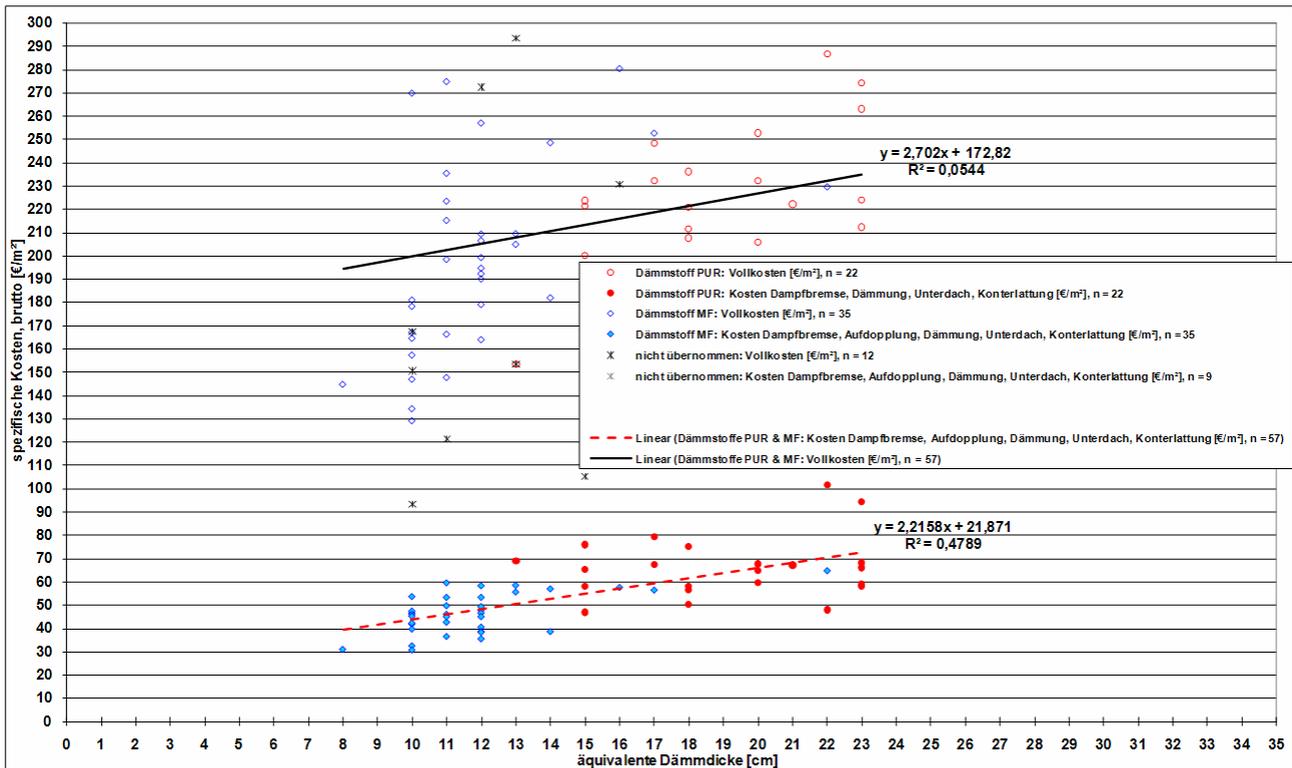


Abbildung 8: spezifische Kosten einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen mit gleichzeitiger Neueindeckung: Während aus den MF-Zwischensparrendämmung - bedingt durch den Holzanteil - eher geringere äquivalente Dämmdicken resultieren, ergeben sich aus dem Aufsparrendämmsystem - bedingt durch die guten Wärmedämmeigenschaften des Dämmstoffs PUR und die zumeist gleichzeitig realisierte MF-Dämmung zwischen den alten Sparren - i.d.R. höhere äquivalente Dämmdicken. (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Vollkosten:  $R^2 = 0,061$ ; Dampfbremse, Aufdopplung, ...:  $R^2 = 0,523$ )

## Kostenfunktion – energiebedingte Mehrkosten

Als weitere Punktwolke mit der dazugehörigen gemeinsamen Kostenfunktion für die Dämmstoffe Mineralfaser und Polyurethan sind für die

- Dämmung zwischen den Sparren (Dämmstoff Mineralfaser) die Kosten für die einzelnen Elemente innen liegende Dampfbremse, die Aufdopplung mit Trauf- bzw. Ortgangbrettern, die Dämmung, die Unterspannbahn/Unterdach und die Konterlattung und für die
- Aufsparrendämmung (Dämmstoff Polyurethan) die Kosten für die innen liegende Dampfbremse, die Dämmung mit/als festes Unterdach und die Konterlattung dargestellt. Zusätzlich enthalten die „Aufsparrendämmungen“ häufig noch eine Zwischensparrendämmung (Dämmstoff Mineralfaser). Die Kosten hierfür sind ebenfalls im System „Aufsparrendämmung“ berücksichtigt.

Mit diesen Elementen sind die Kosten für beide Systeme – die Aufsparrendämmung und die Zwischensparrendämmung – mittelbar 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.

### Detailanalyse Steildach mit Zwischen-/Aufsparrendämmung

Die Detailanalyse in Abbildung 9 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 ca. 10 cm auf den Sparren.

Energetisch relevant sind die Kosten für die Dämmung auf den Sparren inkl. der Sparrenaufdopplung mit Trauf- und Ortgangbohlen und das Einbringen der Dämmung zwischen den Sparren. Diese beiden Maßnahmen verursachen 59 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> bzw. 27 % der Gesamtkosten von 224 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub>. 48 % der Kosten werden verursacht durch die Eindeckung des Daches mit den neuen Anschlüssen. Die Spenglerarbeiten verursachen etwa 8 % der Kosten.

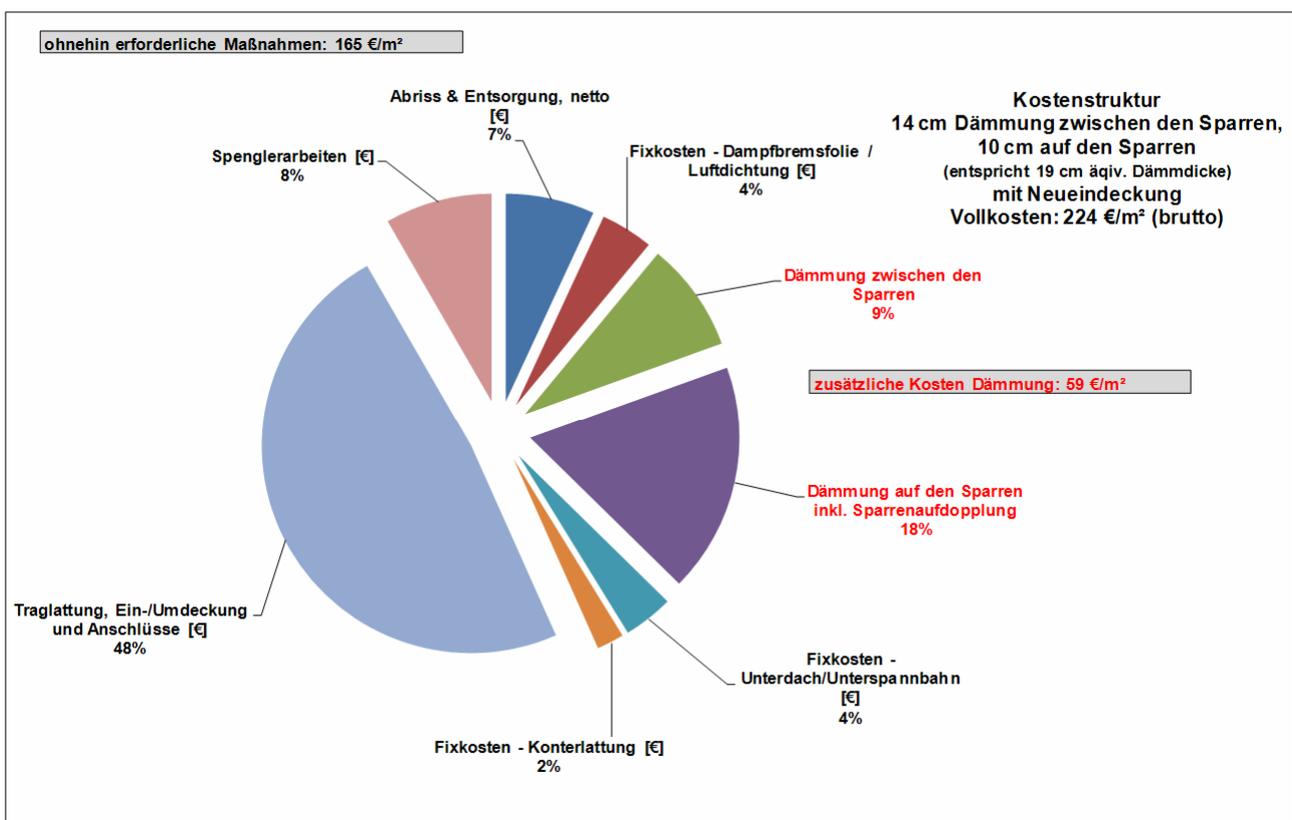


Abbildung 9: Kostenstruktur einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen mit Neueindeckung

## Detail Dachfenster

In einer Detailanalyse wurden die Kosten für die Demontage alter und den Einbau neuer Dachfenster aus 48 Projekten zusammengestellt mit insgesamt 134 Fenstern. Die Kosten für ein Dachflächenfenster betragen demnach durchschnittlich etwa 875 €/Stück bzw. etwa 1600 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> 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.

## Energiebedingte Mehrkosten

Wird die Wärmedämmung des Daches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Dachsanierung durchgeführt, resultieren energiebedingte Mehrkosten aus der eventuell erforderlichen Aufdopplung der Sparren, den zusätzlichen Trauf- und Ortgangbrettern sowie der Dämmung selbst.

Aus der Detailanalyse der entsprechenden Kostenfeststellungen ergeben sich auf die Fläche der Dampfbremse bzw. der Dämmung bezogen durchschnittliche Fixkosten von 9 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für die Luftdichtung/Dampfbremse, von 8 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für die Unterspannbahn/Unterdach sowie von 5 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für die Konterlattung. In der Summe sind dies Fixkosten von 22 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub>, die im Zuge der Sanierung des Daches ohnehin anfallen.

Dieses Ergebnis deckt sich sehr gut mit dem Ergebnis der Kostenfunktion „Dämmstoffe PUR und MF: Kosten Dampfbremse, Aufdopplung, Dämmung, Unterdach, Konterlattung“ in Abbildung 8, die einen Fixkostenanteil von 22 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> brutto ausweist.

**Rechnet man diese ohnehin anstehenden Kosten aus der Kostenfunktion heraus, verbleiben energiebedingte Mehrkosten für eine nachträgliche Dämmung im Steildach von 2,21 €/cm<sub>Dämmstoff</sub>/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> brutto bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von 0,035 W/(mK).**

## 2.5 Flachdach

Abbildung 10 zeigt die spezifischen Kosten [ $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ ] und die Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung eines Flachdaches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung (alle Dämmstoff:  $n = 26$ ) über der äquivalenten Dicke [cm].

### Berücksichtigte Kosten

Bei den Kosten ist das Abtragen und Entsorgung des alten Daches inkl. Folien und Bitumenbahnen, der Randprofile usw. sowie alle Kosten für den Aufbau des neuen Daches inkl. der Maßnahmen zur Wärmedämmung, neuer Dachrandbohlen, Blendrandprofile und Attikaabdeckungen, Dachgullys, Sanitärlüfter, Bitumenbahnen bzw. durchwurzelungsfesten Dachabdichtungen und Folien inkl. Befestigungsmaterial, Schüttungen oder Beläge und sonstiger erforderlicher kleinerer Nebenarbeiten im Zuge der Dachsanierung berücksichtigt. Zudem wurden die Kosten für die Erneuerung vorhandener Lichtkuppeln erfasst.

### Kostenfunktion – Vollkosten

Nach den Kostenfunktionen streuen die Vollkosten für die Instandsetzung des Daches sehr stark. Es besteht praktisch kein Zusammenhang zwischen der energetischen Qualität des Daches und den Vollkosten: Das Bestimmtheitsmaß der Vollkostenfunktion beträgt  $R^2 = 0,004$ .

Nach den Kostenfeststellungen hängen die Vollkosten jedoch wesentlich von der Art der Instandsetzung und des Daches ab. Z. B. wurden bei den sehr kostengünstigen Projekten mit 12 cm bzw. 30 cm äquivalenter Dämmdicke nach der Reinigung des Daches auf die vorhandene Konstruktion lediglich eine Gefälledämmung mit neuer Dachhaut und neuen Anschlüssen aufgebracht. Aufwändige Arbeiten an Anschlüssen oder Attiken waren nicht erforderlich. Bei den relativ teuren Maßnahmen mit 14 cm, 15 cm und 20 cm äquivalenter Dämmdicke wurde dagegen die gesamte Konstruktion abgerissen und neu aufgebaut. Die Dächer wurden zudem als Gründach ausgebildet oder hatten neue Lichtkuppeln.

### Kostenfunktion – energiebedingte Mehrkosten

In Abbildung 10 sind auch die energiebedingten Kosten aus der energetischen Modernisierung aufgetragen, d. h. die Kosten für die Gefälledämmung in der Fläche sowie die Anschlüsse an z. B. Attiken, angrenzende Bauteile oder Schornsteine (Dämmung der Bauteile). Bei einer neuen Wärmedämmung auf der vorhandenen Konstruktion wurden zudem die Kosten für neue Dachrandbohlen oder z. B. Attikaerhöhungen als energiebedingte Kosten berücksichtigt.

Die zuwachsenden Kosten betragen etwa  $1,5 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  bei einem Bestimmtheitsmaß von  $R^2 \approx 0,28$ . Die Steigung der Kostenfunktion ist deutlich größer als die Steigung der Kostenfunktion für die Vollkosten. Dies liegt vor allem auch an der sehr hohen Vollkosten für die Maßnahmen mit einem komplett neuen Dachaufbau bei Dämmdicken unter 20 cm. Die Datenbasis sollte vor allem um Maßnahmen mit hoher Dämmdicke ergänzt werden.

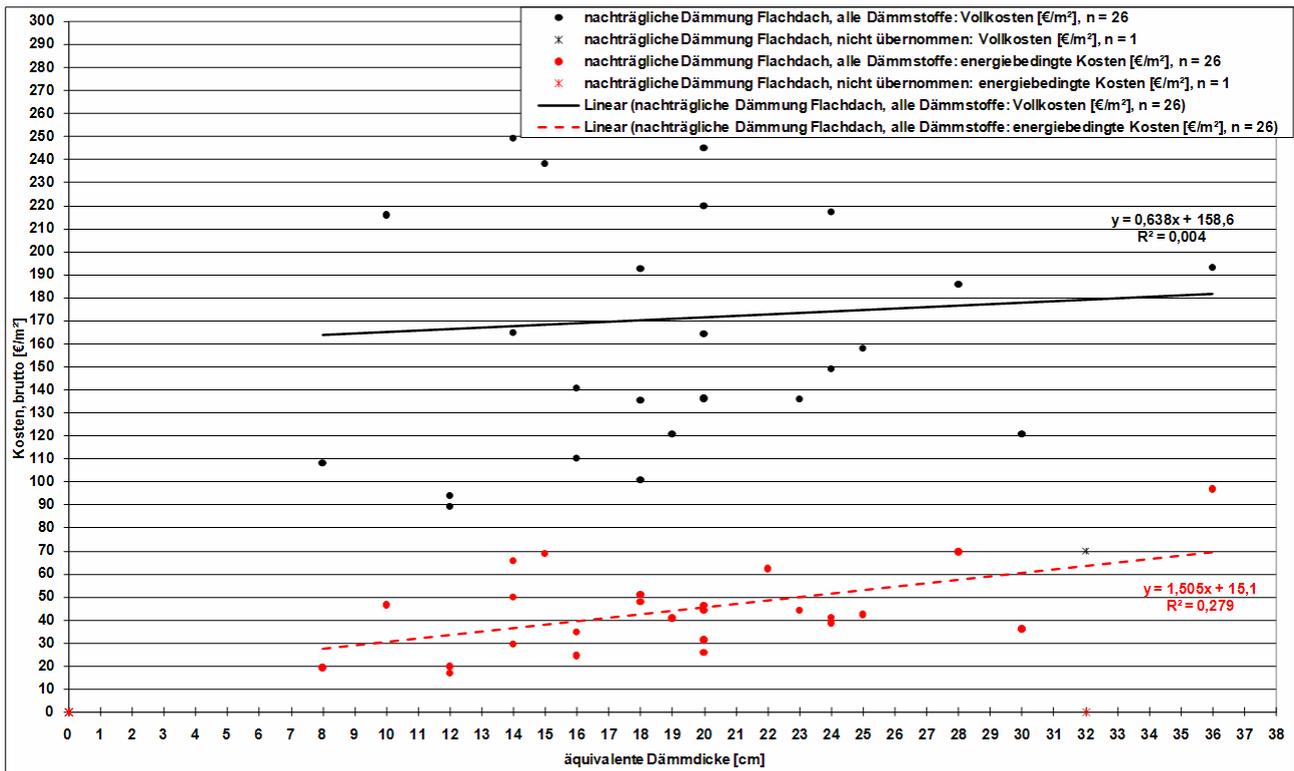


Abbildung 10: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung eines Flachdaches im Zuge einer ohnehin erforderlichen Sanierung

### Energiebedingte Mehrkosten

Für die nachträgliche Dämmung eines Flachdaches im Zuge einer energetischen Modernisierung ergeben sich Fixkosten von 15 €/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> zuzüglich 1,51 €/cm<sub>Dämmstoff</sub>/m<sup>2</sup><sub>Bauteil</sub> für die Maßnahme.

## 2.6 Oberste Geschossdecke

Die nachträgliche Dämmung bisher ungedämmter, nicht begehbare, aber zugänglicher oberster Geschossdecken ist in der EnEV 2009 als Nachrüstungsverpflichtung verankert. Abbildung 11 zeigt die spezifischen Kosten [ $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ ] und die Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (alle Dämmstoffe: begehbar,  $n = 26$  / nicht begehbar,  $n = 23$ ) über der äquivalenten Dicke [cm].

Nach den Kostenfunktionen resultieren Mehrkosten für den begehbaren Belag von etwa  $30 \text{ €}/\text{m}^2$  bis  $45 \text{ €}/\text{m}^2$ . Die zuwachsenden Kosten betragen etwa  $1,17 \text{ €}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  für die nicht begehbare Dämmung und etwa  $1,92 \text{ €}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  für die begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke. Etwa 75 % der Kostenfeststellungen stammen 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. sehr günstige Dämmmaßnahmen mit 20 cm bzw. 24 cm Dämmung (nicht begehbar) für unter  $20 \text{ €}/\text{m}^2$  in großen Mehrfamilienhäusern abgerechnet.

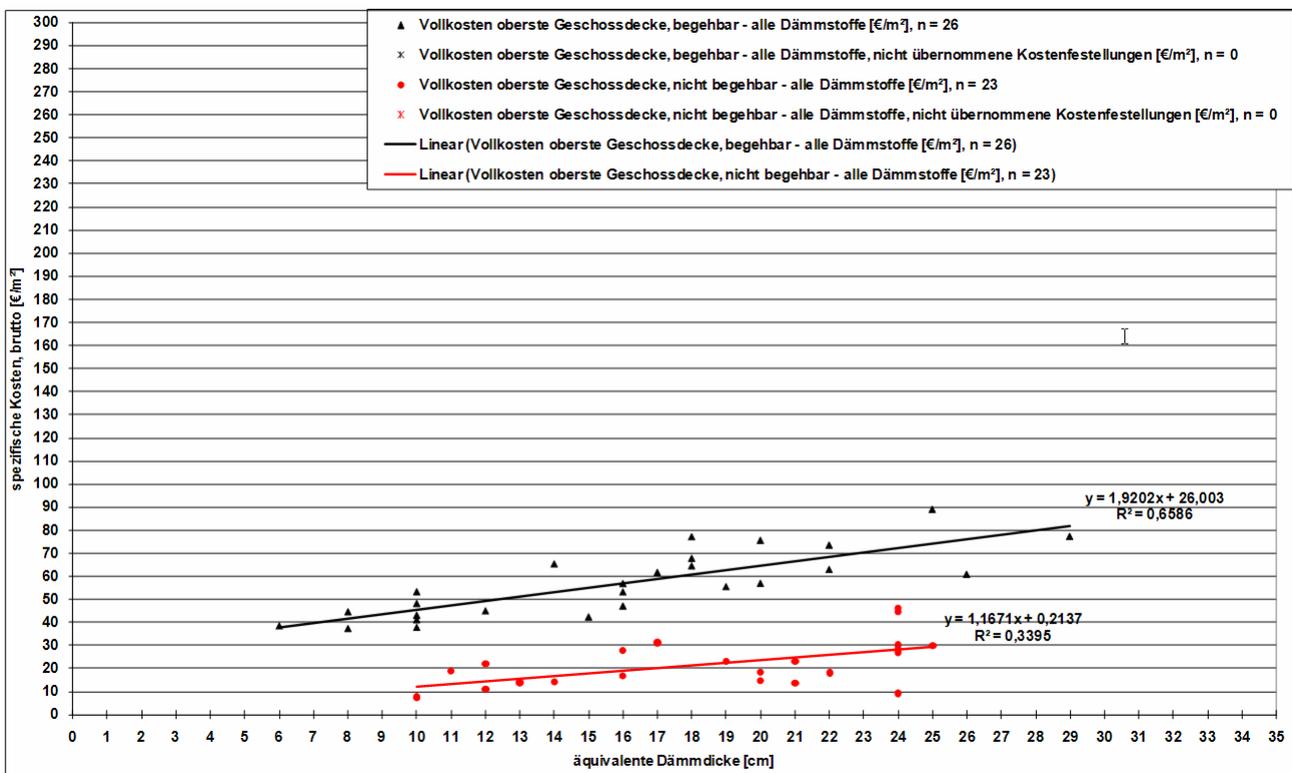


Abbildung 11: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung einer obersten Geschossdecke (begehbar/nicht begehbar) (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: begehbar:  $R^2 = 0,607$ ; nicht begehbar:  $R^2 = 0,350$ )

### 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 begehbar) ergeben sich  $1,17 \text{ €}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  für die Maßnahme. Für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (begehbar) ergeben sich Fixkosten von  $26 \text{ €}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  zuzüglich  $1,92 \text{ €}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$  für die Maßnahme.

## 2.7 Wärmeerzeugungsanlagen – Gas / Öl / Pellet / Solar

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: Pellet, BW-Gas, BW-Öl) als Einzelmaßnahme
- Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme bzw. im Zuge eines Kesselaustauschs
- Solaranlagen zur Unterstützung der Heizung und Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme bzw. im Zuge eines Kesselaustauschs

Kostenfeststellung für z. B. Scheitholzkessel, Fernwärmeübergabestationen oder BHKW-Anlagen lagen nicht in ausreichendem Umfang vor, um auf dieser Basis eine systematische Auswertung durchzuführen. Diese Anlagentypen sind daher in der Auswertung nicht berücksichtigt.

### Flächenbezug

Die Kosten für die Heizanlagen werden auf die Wohnfläche bezogen. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Wärmebedarf der Gebäude den Anforderungen der Förderprogramme entsprechend niedrig ist<sup>5</sup>.

### Berücksichtigte Kosten

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. Bei den Anlagen mit Pelletkesseln sind zusätzlich auch die Kosten für das Pelletlager und alle weiteren erforderlichen Anlagenteile wie z. B. Saug- oder Fördereinrichtungen enthalten.

---

<sup>5</sup> Die Auswertung der Kosten für unterschiedliche Wärmeversorgungsanlagen über der Nennleistung der Kessel führt zu keinen plausiblen Ergebnissen. Das liegt zum einen dran, dass die Nennleistung der Kessel sich für die untersuchten Gebäude nicht wesentlich unterscheidet. Zum andern sind die Kessel nur eine einzelne Komponente im System Wärmeversorgungsanlage. Die Kosten für diese einzelne Komponente werden u. U. von anderen Systemkomponenten wie z. B. Solarkollektoren oder Speicher deutlich übertroffen. Damit entsteht für komplexere Wärmeversorgungssysteme eine Punktwolke, die nicht auswertbar ist.

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

### Heizanlagen ohne Solaranlagen

Abbildung 12 zeigt die spezifischen Kosten [€/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub>] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme ohne Solaranlagen in Wohngebäuden. Basis der Auswertung sind n = 14 Kostenfeststellungen für Pelletkessel, n = 59 Kostenfeststellungen für Gaskessel und n = 19 Kostenfeststellungen für Ölkessel.

Leider konnten lediglich vier Kostenfeststellungen für die Erneuerung von Heizanlagen in großen Mehrfamilienhäusern ausgewertet werden. Für diese Projekte lagen die spezifischen Kosten bei etwa 20 €/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub>.

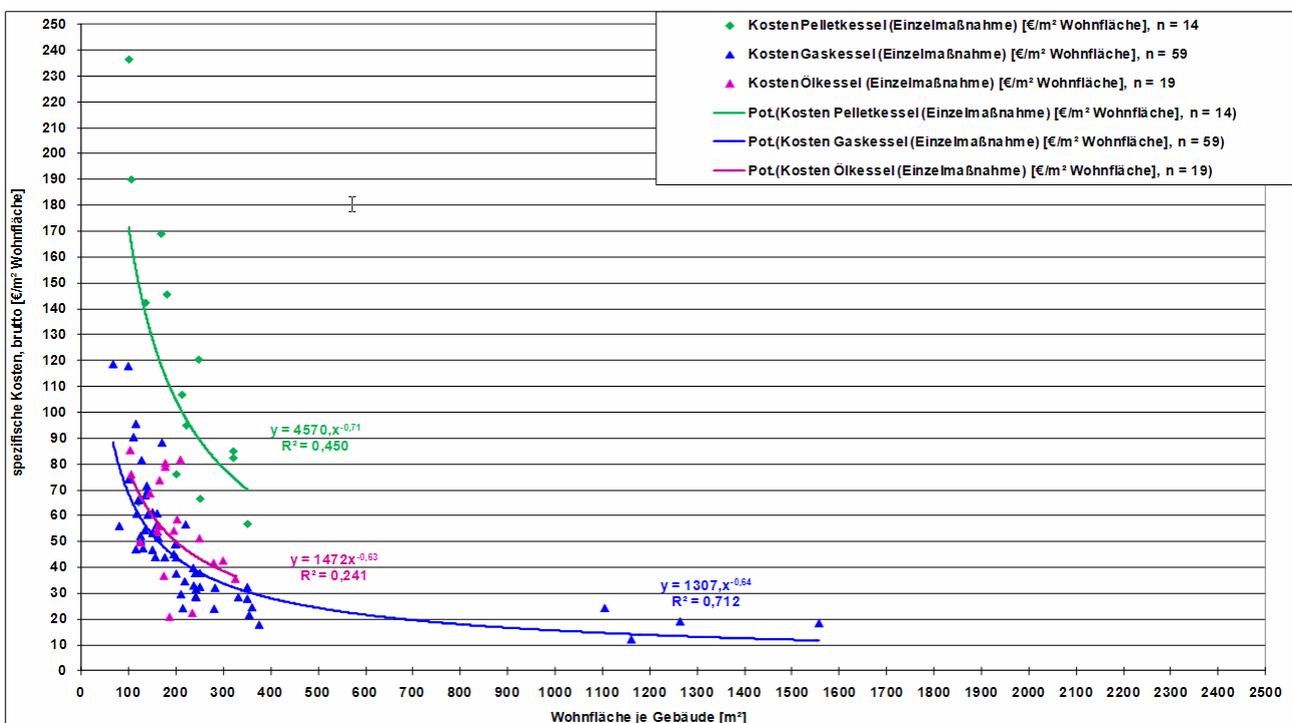


Abbildung 12: spezifische Kosten für Heizanlagen (ohne Solar) in Wohngebäuden bei der energetischen Modernisierung (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Pellet:  $R^2 = 0,452$ ; Öl:  $R^2 = 0,236$ ; Gas:  $R^2 = 0,700$ )

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für Gas-Heizanlagen ist mit  $R^2 \approx 0,71$  ausreichend groß. Allerdings ist die Datenbasis für Gebäude mit mehr als 400 m<sup>2</sup> Wohnfläche ungenügend, so dass hier die Ergebnisse nur unter Vorbehalt interpretiert werden können.

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für die Öl-Heizanlagen ist mit  $R^2 \approx 0,24$  überraschend gering, vor allem bedingt durch die beiden sehr günstigen Heizanlagen für ca. 20 €/m<sup>2</sup> und die relativ teuer erscheinenden drei Heizanlagen für ca. 80 €/m<sup>2</sup>. Da die Kostenfeststellungen jedoch plausibel erscheinen, wurden diese trotz der großen Abweichung von der Kostenfunktion in die Auswertung übernommen.

## Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung

Abbildung 13 zeigt die spezifischen Kosten [ $\text{€}/\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ ] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung.

Basis der Auswertung für Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung bei gleichzeitiger Erneuerung vorhandener Öl- oder Gaskessel sind  $n = 61$  Kostenfeststellungen. Die getrennte Auswertung der Kostenfeststellungen zu Öl- und Gas-Heizanlagen führt zu sehr ähnlichen Ergebnissen, so dass für diese Systeme eine gemeinsame Kostenfunktion abgeleitet wurde. Bei den großen Mehrfamilienhäusern sinken die spezifischen Kosten auf etwa  $40 \text{ €}/\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  bis  $30 \text{ €}/\text{m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  je Anlage.

Basis der Auswertung für Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung bei gleichzeitiger Erneuerung mit Pellet-Heizkessel sind  $n = 9$  Kostenfeststellungen. Kostenfeststellungen für entsprechende Heizanlagen in großen Mehrfamilienhäusern konnten nicht ausgewertet werden. Die Ergebnisse der Kostenfunktion können daher nur bedingt auf große Gebäude übertragen werden. Zusätzlich enthält Abbildung 13 auch die Kosten für nachträglich eingebaute Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und für die Einbindung in eine bestehende Heizanlage.

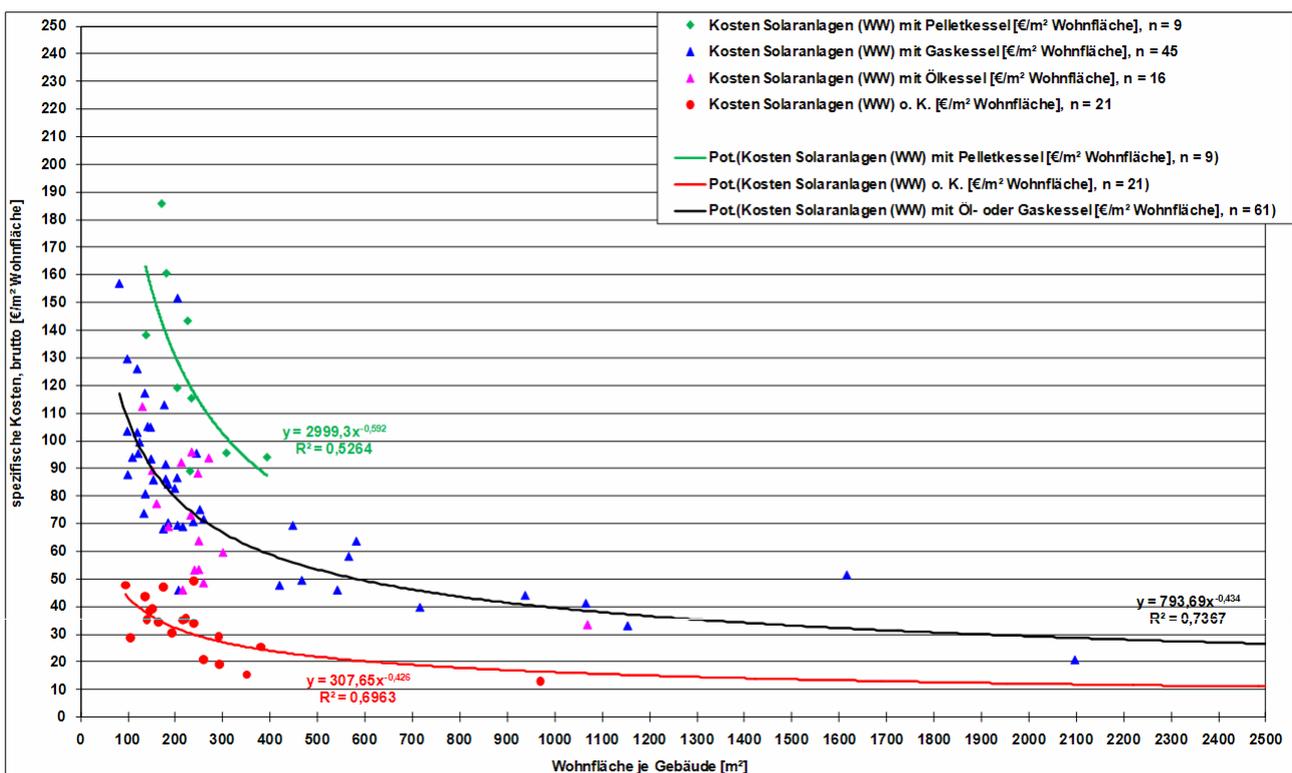


Abbildung 13: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung in Wohngebäuden (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Pellet:  $R^2 = 0,542$ ; Gas/Öl:  $R^2 = 0,727$ ; Solar:  $R^2 = 0,694$ )

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktionen ist für die drei untersuchten Varianten groß. Allerdings ist die Datenbasis für größere und große Wohngebäude auch für diese Systeme gering, so dass die Ergebnisse nur unter Vorbehalt für solche Gebäude genutzt werden können.

### Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung und Heizung

Abbildung 14 zeigt die spezifischen Kosten [€/m<sup>2</sup> Wohnfläche] je Anlage für die Modernisierung verschiedener Wärmeenergieerzeugungssysteme mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung. Um eine bessere Datenbasis zu erhalten, wurde auch hier wieder eine gemeinsame Kostenfunktion für Öl- und Gas-Heizanlagen dargestellt.

Basis der Auswertung sind n = 49 Kostenfeststellungen für entsprechende Solaranlagen bei gleichzeitiger Erneuerung vorhandener Öl- oder Gaskessel. Die spezifischen Kosten gehen für entsprechende Anlagen in großen Gebäuden auf etwa 30 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche zurück.

Abbildung 14 zeigt auch die Kostenfunktion für entsprechende Solaranlagen mit dem gleichzeitigen Einbau einer Pellet-Heizanlage. Zusätzlich enthält Abbildung 15 auch die Kosten für nachträglich eingebaute Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Heizung bei der Einbindung in eine bestehende Heizanlage. Auch für diese beiden Systeme liegen auswertbare Kostenfeststellungen lediglich für Gebäude bis ca. 500 m<sup>2</sup> Wohnfläche vor, so dass die Ergebnisse der Kostenfunktion nur bedingt auf große Gebäude übertragen werden können.

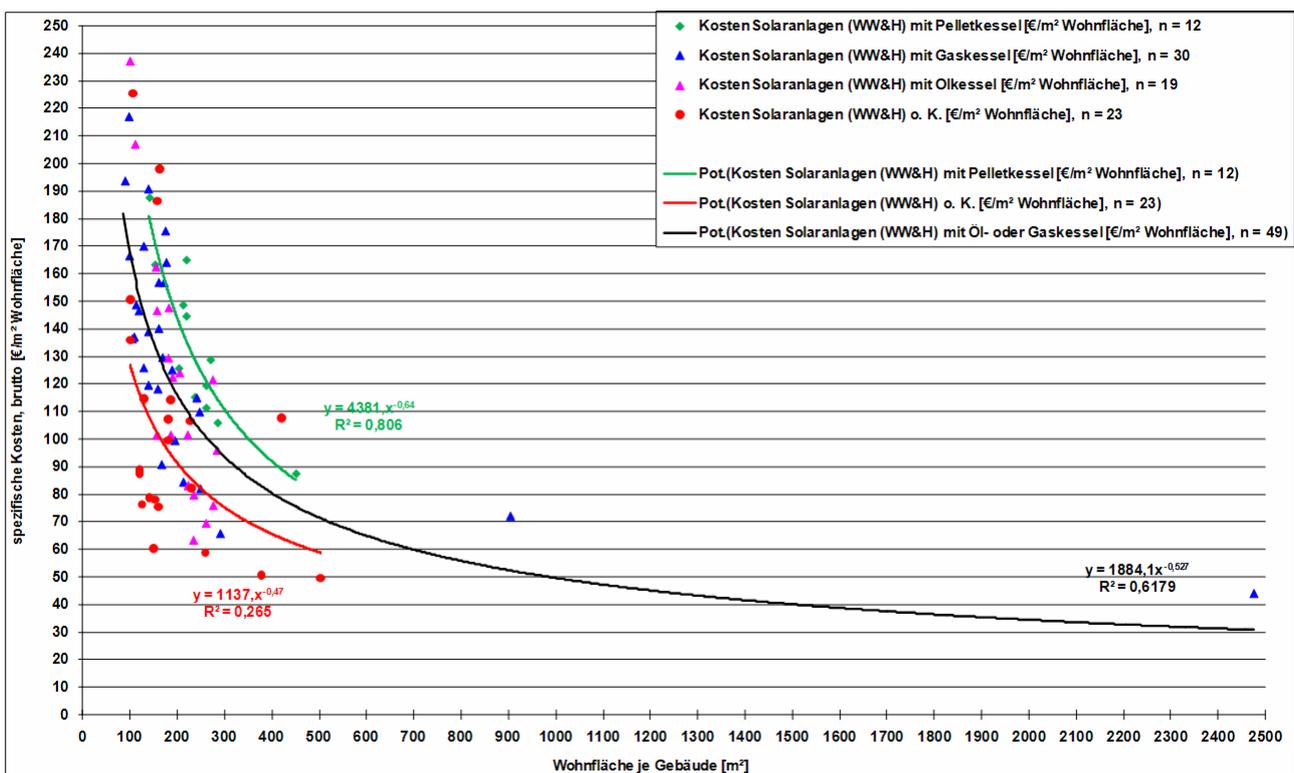


Abbildung 14: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solarer Unterstützung bei der Warmwasserbereitung und Heizung (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Pellet: R<sup>2</sup> = 0,806; Gas/Öl: R<sup>2</sup> = 0,612; Solar: R<sup>2</sup> = 0,263)

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion für Solaranlagen mit Öl- und Gasheizungen ist mit R<sup>2</sup> ≈ 0,61 groß. Allerdings ist die Datenbasis für größere und große Wohngebäude gering, so dass die Ergebnisse nur unter Vorbehalt interpretiert werden können.

## Energiebedingte Mehrkosten

**Die Systemgrenze für die Bestimmung der energiebedingten Mehrkosten ist der Heizungskeller (inkl. Schornstein und gegebenenfalls Brennstofflager). 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 oder durch den Einsatz von Heizanlagen mit regenerativen Energieträgern.**

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 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.

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 12, 13 und 14 dargestellten Kostenfunktionen können die Kosten jedoch in einer ersten Näherung abgeschätzt werden.

### Detailauswertung: Wärmeerzeugungsanlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern

Abbildung 15 zeigt die Kosten [€] für die Modernisierung einer Heizanlage in einem Wohngebäude, die aus den oben dargestellten Kostenfunktionen berechnet wurden. Die Grafik unterscheidet (von links nach rechts) in

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

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) und gegebenenfalls Brennstofflager. Nicht enthalten sind die Kosten für den hydraulischen Abgleich, das Wärmeverteilsystem und die Heizkörper bzw. die Fußbodenheizung.

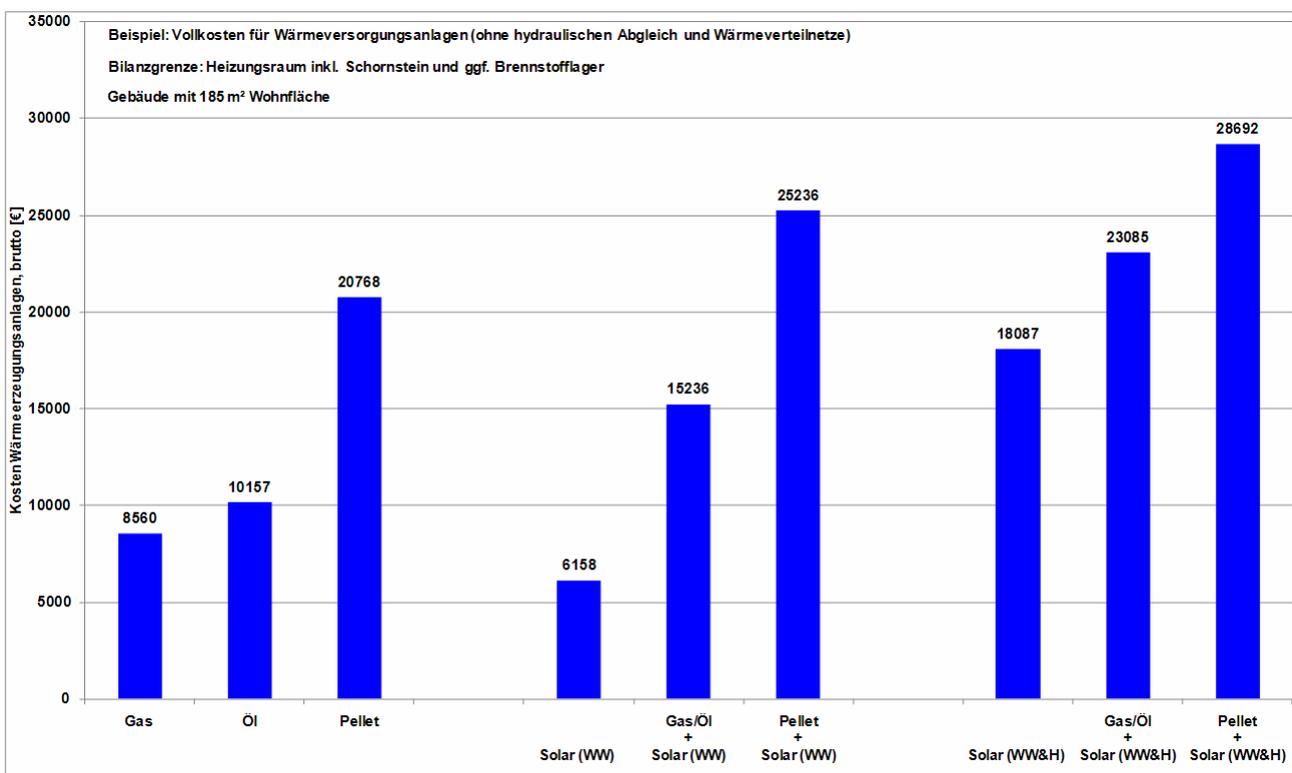


Abbildung 15: Beispielhafte Darstellung der Kosten für verschiedene Heizsysteme in einem Wohngebäude mit 185 m² Wohnfläche (berechnet aus den Kostenfunktionen).

### **Heizkessel als Einzelmaßnahme ohne Solaranlage**

Eine neue Heizanlage mit Gaskessel kostet 8.560 € und mit einem Ölkessel 10.157 €. Die Pellet-Heizanlage erfordert deutlich größere Investitionen von 20.768 €. Die Ergebnisse aus den Berechnungen mit den Kostenfunktionen erscheinen in ihrer Abstufung plausibel.

### **Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung**

Die Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung als Einzelmaßnahme betragen 6.158 €. Die Kosten für die Erneuerung einer Heizanlage in Verbindung mit einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung betragen bei Gas/Ölkessel 15.236 €.

Diese Kosten entsprechen etwa der Summe der Einzelinvestitionen für einen Gas-/Ölkessel (im Mittel ca. 9.350 €) und der Solaranlage zur Warmwasserbereitung (6.158 €). 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.

Die entsprechenden Kosten für die Erneuerung einer Heizanlage betragen bei Pelletkessel 25.236 €. Dieser Betrag ist etwas geringer als die Summe der Einzelinvestitionen für einen Pelletkessel und eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung.

### **Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung Heizung**

Die Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Heizung und Warmwasserbereitung als Einzelmaßnahmen betragen 18.087 €. Der darin enthaltene (zeit- und regelungstechnische) Aufwand, eine solche Anlage in eine bestehende Heizanlage zu integrieren, ist sehr hoch. Die Maßnahme ist entsprechend teuer.

Die Kosten für eine entsprechende Solaranlage mit gleichzeitigem Austausch des Gas-/Ölkessels betragen 23.085 €. Damit resultiert aus diesem Maßnahmenpaket eine Kostenersparnis von 4.352 € gegenüber den Einzelmaßnahmen Solaranlage (18.087 €) sowie Kessel-austausch (im Mittel ca. 9.350 €). Dieses Ergebnis erscheint plausibel: Wird der nachträgliche Einbau der Solaranlage mit dem Austausch der gesamten Heizanlage verbunden, verringert sich der (zeit- und regelungstechnische) Aufwand gegenüber den Einzelmaßnahmen erheblich. Die Kosten sind entsprechend geringer.

Die Kosten für eine entsprechende Solaranlage mit einem neuen Pelletkessel betragen 28.692 €. Damit resultiert aus diesem Maßnahmenpaket eine Kostenersparnis von 10.163 € gegenüber den Einzelmaßnahmen Solaranlage (18.087 €) und Pelletheizanlage (20.768 €). Diese Kostenersparnis gegenüber den Einzelmaßnahmen erscheint relativ groß.

## 2.8 Wärmeerzeugungsanlagen – Wärmepumpen

Die folgende Abbildungen 16 und 17 zeigen die Investitionskosten für den nachträglichen Einbau von Wärmepumpenanlagen im Zuge der Modernisierung von Wohngebäuden. Dabei werden die Anlagen prinzipiell nach der Art der Wärmequelle unterschieden und sind in den Abbildungen wie folgt beschrieben:

- **Kollektor:** Die Anlagen nutzen Erdwärme über oberflächennahe Flach- oder Grabenkollektoren als Wärmequelle. Dabei wird nicht unterschieden in Systeme mit Sole-Hilfskreislauf oder Direkterdwärme-Systeme (Direktverdampfer).
- **Erdsonde:** Die Anlagen nutzen Erdwärme über Erdsonden mittels Tiefenbohrungen. Die Bohrungen werden üblicherweise bis 100 m Tiefe getrieben und sind vor allem auch bei geringem Platzangebot eine Alternative zu oberflächennahen Flächenkollektoren.
- **Luft:** Die Anlagen nutzen sowohl Außenluft als auch Abluft aus Lüftungsanlagen als Wärmequelle. Bei kalter Außenluft erreichen solche Anlagen in der Praxis relativ geringe Arbeitszahlen. Eine Besonderheit sind die Abluftwärmepumpen, die Abluft aus Lüftungsanlagen als Wärmequelle nutzen. Durch das relativ konstante Temperaturangebot der Abluft verbessert sich die energetische Effizienz der Anlagen, sofern die Nutzungstemperatur niedrig bleibt. Solche Anlagen werden in der Regel zur Unterstützung der Raumheizung mit Niedertemperatursystemen eingesetzt.
- **Grundwasser:** Die Wärmepumpen nutzen Grundwasser über einen Förder- und einen Schluckbrunnen als Wärmequelle. Da für diese Systeme lediglich drei Kostenfeststellungen zur Auswertung vorlagen, wurden diese Systeme nicht weiter ausgewertet.

### Berücksichtigte Kosten

Die Kosten für die Wärmepumpenanlagen umfassen alle Anlagenkomponenten wie das Wärmepumpenaggregat selbst, Heizstäbe, Pufferspeicher, Sonden inkl. dem Verfüllen und Verdichten, dem Anschluss an die Wärmepumpe über Verbindungsleitungen, dazu eventuell erforderliche Kernbohrungen durch Mauerwerk, Fundamente und zusätzliche schalldämmende Maßnahmen, Elektroarbeiten, Wärmemengenzähler, Umwälzpumpen, Verrohrungen und gegebenenfalls Heizkreisverteiler und Mischer, die Inbetriebnahme sowie behördliche Genehmigungen. Nicht enthalten sind die Kosten für das Wärmeverteilsystem im Gebäude oder Heizkörper bzw. Fußbodenheizungen.

In Abbildung 16 sind die Investitionskosten je Anlage über der Leistung laut Hersteller im optimalen Auslegungspunkt (entsprechend den Angaben in den Kostenfeststellungen) angegeben, ohne Berücksichtigung der Leistung der zusätzlichen elektrischen Heizstäbe.

Der Leistungsbereich der Wärmepumpen mit Nutzung von Erdwärme über oberflächennahe Kollektoren oder Luft als Wärmequelle liegt überwiegend zwischen 5 bis etwa 23 kW, bei den Wärmepumpen mit Erdsonden bei 7 kW bis 17 kW. Die Kosten für eine Anlage mit 15 kW Leistung betragen bei Luft als Wärmequelle etwa 21.500 €, bei Erdwärme über Kollektoren etwa 26.000 € und bei Erdwärme über Erdsonden etwa 37.000 €.

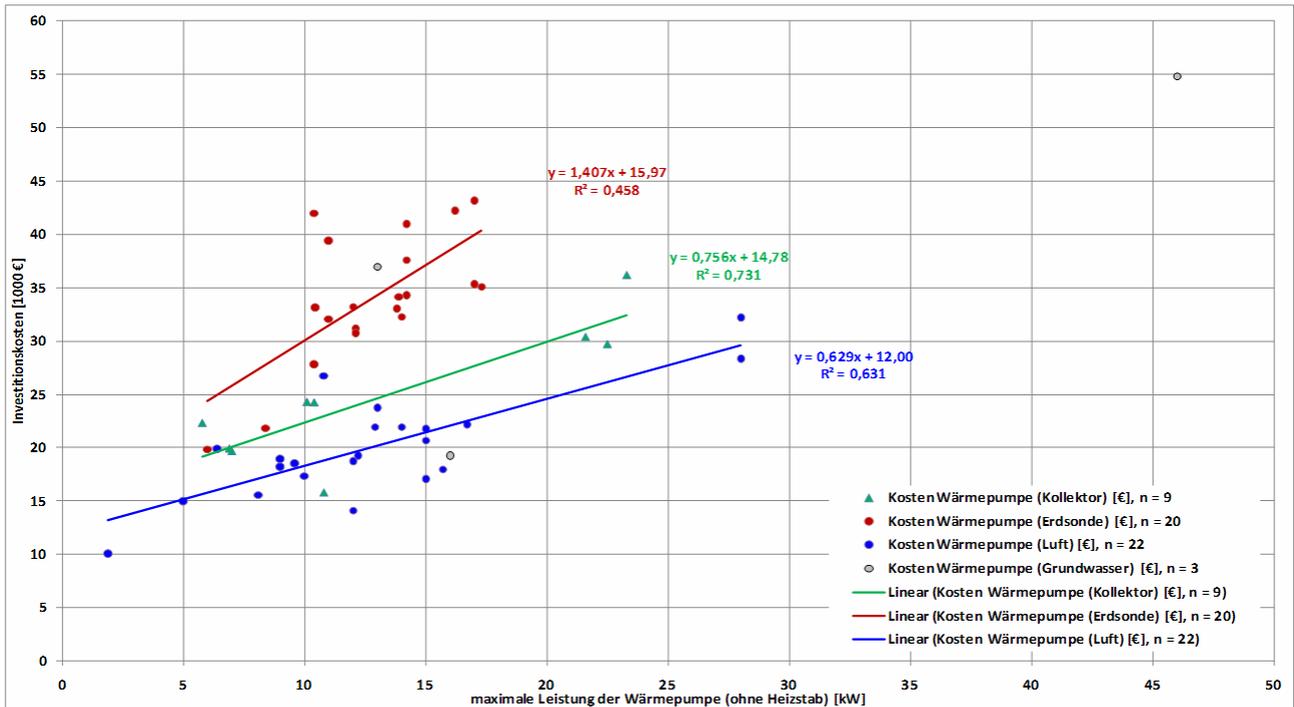


Abbildung 16: Kosten (brutto) verschiedener Wärmepumpensysteme

In Abbildung 17 sind die entsprechenden spezifischen Investitionskosten [€/m<sup>2</sup> Wohnfläche] über der Wohnfläche aufgetragen. Das Bestimmtheitsmaß ist für die drei untersuchten Wärmequellen größer 0,65. Damit besteht ein hoher unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Leistung der Wärmepumpen und den auf die Wohnfläche des Gebäudes bezogenen spezifischen Kosten.

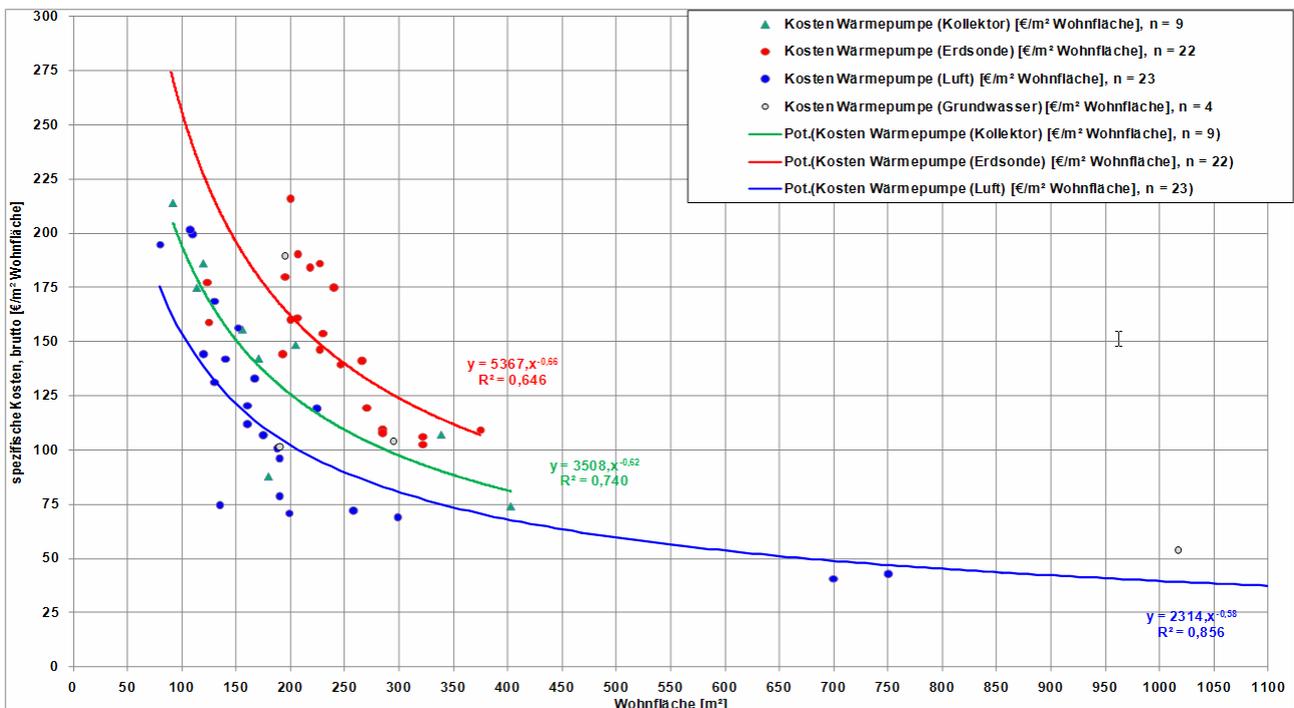


Abbildung 17: spezifische Kosten verschiedener Wärmepumpensysteme

## Bewertung der Ergebnisse

Wesentliche energetische Kenndaten der Anlagen wie z. B. die Jahresarbeitszahl Raumheizung/Warmwasserbereitung oder der jeweilige Deckungsanteil Raumwärme/Warmwasser sind den Kostenfeststellungen nicht zu entnehmen. Zudem sind auch die tatsächlichen Auslegungspunkte der realisierten Anlagen häufig nicht eindeutig und es ist in der Regel nicht klar erkennbar, ob es sich um monovalente oder bivalente Anlagen handelt.

Alle hier dargestellten Wärmepumpen sind elektromotorisch betrieben. Für die energetische Bewertung solcher Anlagen ist die Jahresarbeitszahl als Verhältnis zwischen abgegebener Wärme und zugeführter elektrischer Antriebsenergie über einen bestimmten Zeitraum entscheidend. Dabei muss beachtet werden, dass etwa die Hälfte der ausgewerteten Anlagen zusätzlich mit elektrischen Heizstäben mit Leistungen zwischen 6 kW bis 12 kW ausgerüstet sind. Der Einsatz der Heizstäbe beim monovalenten/monoenergetischen Betrieb der Wärmepumpen als Wärmeversorgungsanlage für das Gebäude verschlechtert die energetische Effizienz der Anlagen u. U. erheblich. Damit kann aus den Leistungsangaben der Wärmepumpenanlagen nicht unmittelbar auf deren Energieeffizienz geschlossen werden.

Die Auswertungen können somit nur bedingt für Wirtschaftlichkeitsberechnungen genutzt werden, weil mögliche Endenergieeinsparpotenziale auf Basis der wenigen Anlagenkennwerte einerseits und der Komplexität realisierter Anlagen andererseits nicht ausreichend sicher abgeschätzt werden können.

### **Ausblick**

Als Basis für eine genauere Analyse könnten die detaillierten Kostenfeststellungen in Verbindung mit Fachunternehmererklärungen dienen, wie sie als Voraussetzung bei der Förderung von Wärmepumpenanlagen durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle eingefordert werden.

## 2.9 Heizungsperipherie

### 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 spezifischen Kosten sind in Abbildung 18 dargestellt.

### Berücksichtigte Kosten

Berücksichtigt sind die Kosten für das Verlegen der Rohrleitungen sowie der Dämmung der Rohre und für eventuell erforderliche Wanddurchbrüche. Weitere Kosten wie z. B. für Brandabschottungen oder das nachträgliche Einkoffern von Rohrleitungen konnten aus den vorliegenden Kostenfeststellungen ohne eine detaillierte Kenntnis der einzelnen Bauvorhaben nicht systematisch erfasst werden. Sofern diese Kosten aber plausibel zugeordnet werden konnten, wurden diese aus den Kostenfeststellungen übernommen.

### Bezugsfläche

Die Bezugsgröße ist die Wohnfläche der Gebäude.

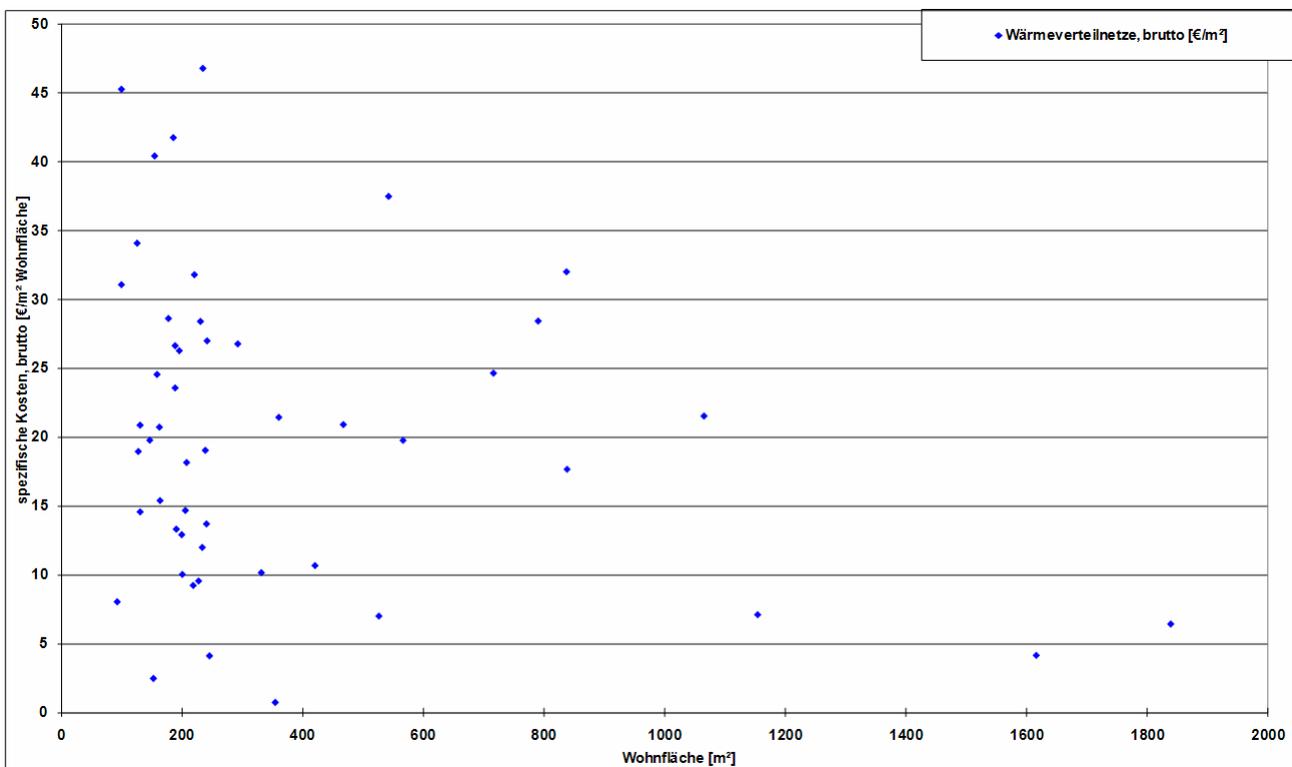


Abbildung 18: spezifische Kosten von Wärmeverteilnetzen in Wohngebäuden im Zuge einer Modernisierung

Aus den hier untersuchten Gebäuden ergeben sich mittlere Kosten für die Wärmeverteilnetze von etwa  $20 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ . Allerdings schwanken die spezifischen Kosten für Wärmeverteilnetze extrem. Dies liegt zum Teil darin begründet, dass die Kostenfeststellungen nicht eindeutig zuzuordnen waren: Es war zumeist nicht eindeutig zu unterscheiden, ob die Kosten für die Erneuerung oder den nachträglichen Einbau der Wärmeverteilnetze entstanden sind. Zudem ist die Datenbasis für Wohngebäude mit über  $500 \text{ m}^2$  unzureichend, so dass diese Aussagen nur unter Vorbehalt getroffen werden können.

Insgesamt ist die Datenbasis nicht geeignet bzw. die Datenlage 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.  $40 \text{ €/m}^2_{\text{Fußbodenheizung}}$  bis  $90 \text{ €/m}^2_{\text{Fußbodenheizung}}$ , im Mittel ca.  $60 \text{ €/m}^2_{\text{Fußbodenheizung}}$ . 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  $120 \text{ €/m}^2_{\text{Fußbodenheizung}}$  abgerechnet.

### **Raumheizkörper**

In einzelnen Projekten wurden im Zuge der energetischen Modernisierung nachträglich Raumheizkörper eingebaut bzw. vorhandene alte Heizkörper ersetzt. Aus dieser Maßnahme resultieren durchschnittliche zusätzliche Kosten zwischen knapp  $200 \text{ €}$  bis  $500 \text{ €}$  je Heizkörper, im Mittel ca.  $325 \text{ €}$  je Heizkörper. In einzelnen kleineren Gebäuden erreichten die durchschnittlichen Kosten aber auch über  $700 \text{ €}$  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, Ventileinsätze, Thermostatköpfe und Kleinteile.

## 2.10 Hydraulischer Abgleich als Dienstleistung

Differenziert wurden die Kosten für den hydraulischen Abgleich als eine separate Dienstleistung in einer Studie von Jagnow, Sell und Wolff (Jagnow 2001) untersucht. Zusätzlich wurden in der umfangreichen Untersuchung auch die erzielten Energieeinsparungen auf Basis von Feldmessungen ermittelt.

### Einsparung von Heizenergie

Die Optimierung der Heizanlage bewirkte im Mittel der untersuchten Gebäude eine Heizenergieeinsparung von 8 kWh/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf die beheizte Wohnfläche. Die Heizenergieeinsparung war in den untersuchten Einfamilienhäusern (4 kWh/(m<sup>2</sup>a)) etwas geringer als in den Mehrfamilienhäusern (11 kWh/(m<sup>2</sup>a)) und war in den Gebäuden mit Kessel (11 kWh/(m<sup>2</sup>a)) höher als in Gebäuden mit Fernwärmeanschluss (5 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Die Einsparung war zudem in Gebäuden mit geringem Heizwärmeverbrauch (12 kWh/(m<sup>2</sup>a)) deutlich größer als in Gebäuden mit hohem Heizwärmeverbrauch (4 kWh/(m<sup>2</sup>a)). Die Optimierung beeinflusst somit den Heizenergieverbrauch stärker in Gebäuden, die auf einem guten energetischen Niveau sind (Jagnow 2001).

### Einsparung von Hilfsenergie

Die Optimierung der Heizanlage bewirkte im Mittel der untersuchten Gebäude eine Einsparung von Hilfsenergie vor allem für Pumpen von 0,3 kWh/(m<sup>2</sup>a) bezogen auf die beheizte Wohnfläche (Jagnow 2001).

### Berücksichtigte Kosten

Die Kostenfunktionen erfassen die Kosten für die Anfahrten, 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 zudem den Austausch entsprechender Komponenten (Pumpen, Thermostatventile) vor Ort und die Materialkosten.

### Kostenfunktionen

Die aus der genannten Studie ermittelten Kostenfunktionen wurden auf den Preisstand 2009 umgerechnet.

- EFH:  $18,05 * X^{-0,22}$  (brutto),  $X = [100; 400]$  m<sup>2</sup> beheizte Fläche
- MFH:  $9,67 * X^{-0,10}$  (brutto),  $X = [400; 2000]$  m<sup>2</sup> beheizte Fläche

Aus der Kostenfunktion ergeben sich für den hydraulischen Abgleich mit dem genannten Maßnahmenpaket Kosten für ein Einfamilienhaus mit 185 m<sup>2</sup> Wohnfläche von 1059 € (brutto) bzw. 5,7 €/m<sup>2</sup> und für ein Mehrfamilienhaus mit 2000 m<sup>2</sup> Wohnfläche Kosten von etwa 9050 € (brutto) bzw. 4,5 €/m<sup>2</sup>.

## 2.11 Lüftungsanlagen

Aus den Primärdaten konnten insgesamt die Kostenfeststellungen für 83 Lüftungsanlagen ausgewertet werden. Dabei wurde unterschieden in zentrale Abluftanlagen ( $n = 9$ ), zentrale Lüftungsanlagen ( $n = 56$ ) mit effizienter Wärmerückgewinnung (Temperaturbereitstellungsgrad über 80 %) und dezentrale Einzellüfter ( $n = 17$ ) mit Wärmerückgewinnung und einem Temperaturbereitstellungsgrad von unter 80 %. Bei den Kosten für die dezentralen Einzellüfter gab es keine wesentlichen Unterschiede zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern. Die Kosten lagen bei etwa 4.600 € je Wohneinheit.

### **Berücksichtigte Kosten**

Berücksichtigt sind alle Kosten für die Komponenten der Lüftungsanlagen wie z. B.

- das Wärmetauscheraggregat, Nachheizregister, Frostschutzmittel, die Steuerung und Regelungstechnik inkl. Fühlern, Fernbedienungen oder Schalter,
- das Kanalnetz mit allen Schalldämpfern, Ventilen und Außenhauben, Muffen, Rohrleitungen und Abzweigen inkl. aller Formteile, Dichtungen und Isolierungen, Filter
- alle Maurerarbeiten wie das Durchbrechen und Schließen von Maueröffnungen oder Dächern inkl. der dazu erforderlichen Materialien inkl. Brandschutz und Bauschuttentsorgung
- sowie besondere Leistungen wie die Planung der Anlagen, Inbetriebnahme, Funktionsprüfung und Einweisung inkl. eventuell erforderlicher Revisionspläne.
- Eventuell entstehende Kosten für das Einkoffern von Lüftungsrohrleitungen im Innenbereich (Leichtbau) konnten auf Basis der Kostenfeststellungen nicht immer eindeutig der Lüftungsanlage zugeordnet werden. Sofern dies möglich war, wurden diese Kosten erfasst.

### **Kostenfunktion**

Die Ergebnisse für die Abluftanlagen und die effizienten Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind in Abbildung 19 als spezifische Kosten der Anlagen über der Wohnfläche je Wohneinheit dargestellt. Wohnflächen je Wohneinheit unter etwa 100 m<sup>2</sup> entsprechen vorwiegend Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, Wohnflächen je Wohneinheit über etwa 100 m<sup>2</sup> entsprechen vorwiegend Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Entsprechend den Kostenfunktionen konnten einfache Abluftanlagen in den relativ kleinen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern je nach Wohnungsgröße für ca. 20 €/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub> bis 40 €/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub> je Wohnung realisiert werden. In einzelnen Fällen kosteten die Anlagen aber auch über 50 €/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub> je Wohnung. Für Einfamilienhäuser konnte aus den Primärdaten lediglich eine Kostenfeststellung für eine Abluftanlage ausgewertet werden. In dem Gebäude mit etwa 230 m<sup>2</sup> Wohnfläche konnte die Anlage von etwa 10 €/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub> eingebaut werden. Das Bestimmtheitsmaß ist mit  $R^2 \approx 0,55$  groß. Allerdings ist die Datenbasis mit  $n = 9$  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  $65 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  bis  $80 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  je Wohnung realisiert werden. In einigen Fällen kosteten die Anlagen aber auch über  $90 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  je Wohnung – oder waren auch deutlich günstiger zu realisieren. In Einfamilienhäusern sinken die spezifischen Kosten für die Anlagen über der Wohnfläche je Wohneinheit deutlich. In einem Gebäude mit etwa  $220 \text{ m}^2$  Wohnfläche kostet eine entsprechende Anlage weniger als  $30 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ .

Das Bestimmtheitsmaß beträgt  $R^2 \approx 0,27$ . Die Datenbasis ist mit  $n = 56$  gut. Auffällig ist die große Streuung der spezifischen Kosten, die jedoch plausibel und praxisgerecht ist. Zwei Beispiele:

- Die sehr niedrigen Kosten von  $22 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  in dem Gebäude mit  $160 \text{ m}^2$  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  $77 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$  in dem Gebäude mit  $185 \text{ m}^2$  Wohnfläche gegeben: Hier waren mit der Verlegung des Kanalnetzes umfangreiche Bohrungen, zum Teil auch durch Betonwände, verbunden. Die Kosten sind entsprechend plausibel und hoch.

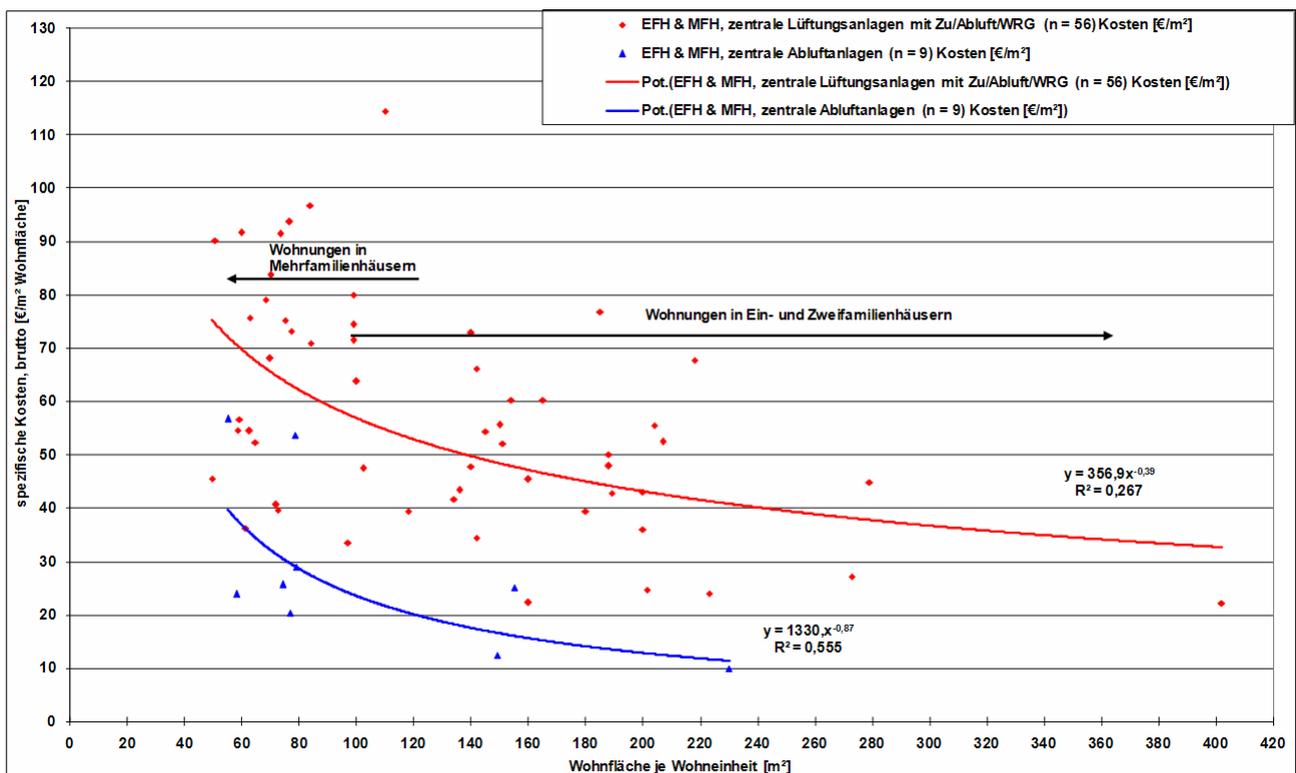


Abbildung 19: Kosten je Wohneinheit für den nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden (Bestimmtheitsmaß ohne Berücksichtigung der Regionalfaktoren: Lüftungsanlagen mit Zu-/Abluft & Wärmerückgewinnung:  $R^2 = 0,238$ ; Abluftanlage:  $R^2 = 0,514$ )

### **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. Derartige Anlagen kosten für eine 70 m<sup>2</sup>-Wohnung in einem Mehrfamilienhaus ca. 2.300 €.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erfüllen zunächst die gleiche Funktion. Darüber hinaus führen diese Anlagen durch die Wärmerückgewinnung aber noch zu 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 Kosten für eine effiziente Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Temperaturbereitstellungsgrad > 80 %) in einer 70 m<sup>2</sup>-Wohnung in einem Mehrfamilienhaus ca. 4.800 €. Die energiebedingten Mehrkosten betragen entsprechend 2.500 € für die Anlage mit Wärmerückgewinnung.** Im Einzelfall hängen die Kosten jedoch stark von den gegebenen baulichen Voraussetzungen ab.

## 2.12 Energiebedingte zusätzliche Leistungen

Abbildung 20 zeigt die durchschnittlichen Kosten für Architekten und Ingenieurleistungen im Zuge der energetischen Modernisierung für KfW-Anträge und EnEV-Berechnungen, für die Grundlagenermittlung und Energieberatung sowie die durchschnittlichen Kosten für die Durchführung eines Blower-Door-Tests und einer Thermografie sowie die Anzahl n der Kostenfeststellung, die zur Ermittlung der Kosten genutzt werden konnten.

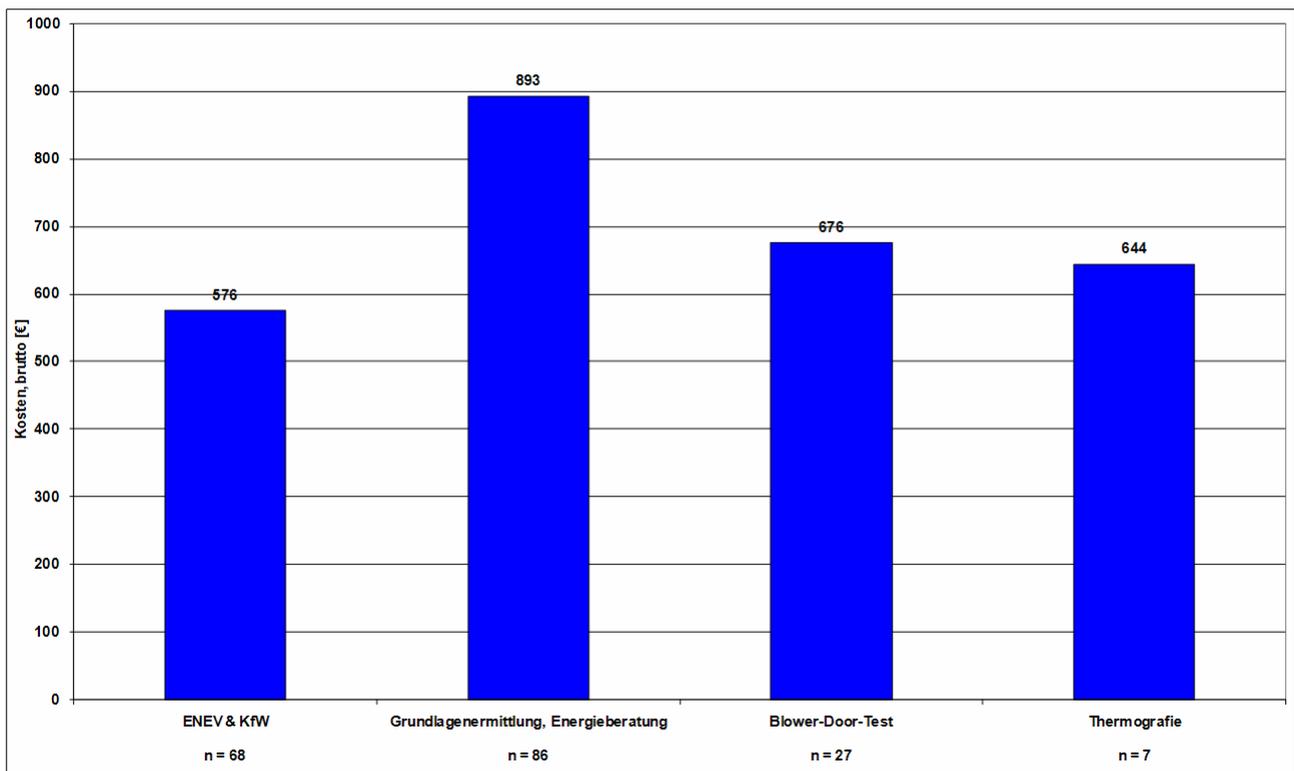


Abbildung 20: Kosten energiebedingter Planungsleistungen

Häufig lagen keine Rechnungen zu Architekten- und Ingenieurleistungen vor. Obwohl diese Leistungen förderfähig sind, 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. Die in Abbildung 20 dargestellten Kosten sind daher lediglich als grobe Abschätzung anzusehen.

## 2.13 Kosten für Gerüste bei der energetischen Modernisierung

Die Kosten für das Einrücken der Gebäude lassen sich nicht klar zuordnen, weil für ganz unterschiedliche Maßnahmen Gerüste erforderlich sind. In der vorliegenden Studie wurden daher diese Kosten systematisch von den Maßnahmenkosten getrennt und sind in Abbildung 21 für jedes einzelne Projekt separat erfasst dargestellt. Dabei wurde allerdings nicht untersucht, welchen Umfang die Modernisierungsmaßnahmen am Gebäude hatten: So enthält die Datenbank z. B. Bauvorhaben mit sehr umfangreichen Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen. Dementsprechend sind auch die Kosten für die Gerüste bei solchen Projekten relativ hoch.

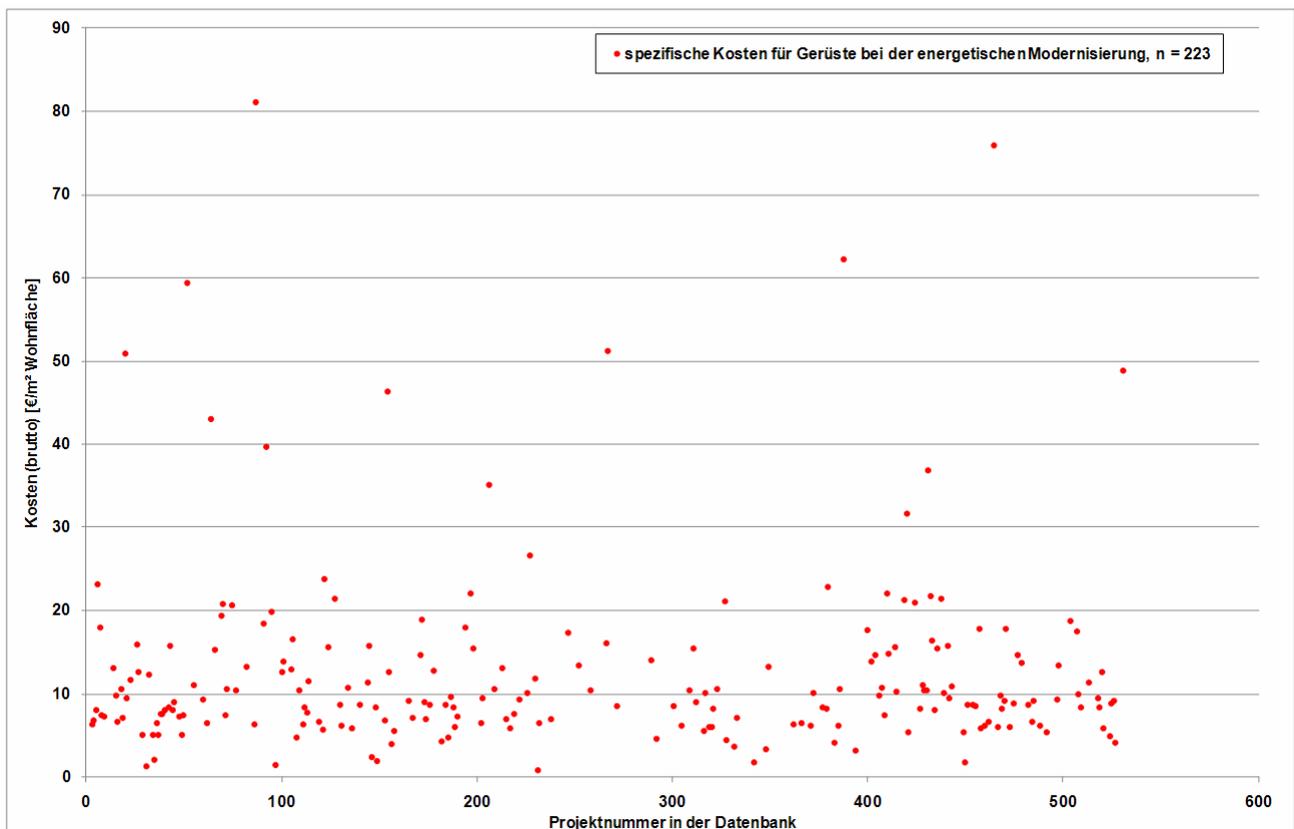


Abbildung 21: Kosten für Gerüste bei der energetischen Modernisierung

Auf Basis der Primärdaten ergeben sich durchschnittliche spezifische Vollkosten für die Gerüste von etwa 11 €/m<sup>2</sup><sub>Wohnfläche</sub> sowohl bei den Ein- und Zweifamilienhäusern als auch bei den großen Gebäuden, wobei aus den genannten Gründen in Einzelfällen die Kosten auch bei über 40 €/m<sup>2</sup> Wohnfläche liegen können.

### 3 Zusätzliche statistische Auswertungen

In den Tabellen 3 und 4 sind die wesentlichen Ergebnisse der zusätzlichen statistischen Auswertungen dokumentarisch zusammengefasst. Im Einzelnen werden die Ergebnisse in Kapitel 5 diskutiert. Zum besseren Verständnis der Ergebnisse sind die untersuchten Parameter im Folgenden kurz beschrieben.

- Regressionsgleichung

Im einfachsten Fall der sog. einfachen linearen Regression wird das Ergebnis der Regressionsanalyse über eine lineare Gleichung der Form  $y = a + bx$  beschrieben, wobei die beiden Regressionskoeffizienten, d. h. der Achsenabschnittsparameter  $a$  sowie der Steigungsparameter  $b$ , mithilfe von Stichprobendaten bestimmt („geschätzt“) werden.  $x$  bezeichnet man als unabhängige, erklärende oder exogene Variable,  $y$  entsprechend als abhängige, zu erklärende oder endogene Variable. Dieser Ansatz der Regressionsanalyse wurde für alle in dieser Studie untersuchten Maßnahmen gewählt.

- Regressionskoeffizient  $b$

In der gerade erwähnten linearen Gleichung beschreibt der geschätzte Steigungsparameter den auf Stichprobenbasis gemessenen Einfluss der unabhängigen Variable  $x$  auf die Zielvariable  $y$ . Einfluss bedeutet die quantitative Veränderung von  $y$ , wenn sich  $x$  um eine Einheit ändert. In den hier dargestellten Kostenfunktionen hat der Regressionskoeffizient  $b$  die Dimension  $[\text{€}/(\text{m}^2\text{cm})]$ .

- Regressionskoeffizient  $a$

Der geschätzte Achsenabschnittsparameter  $a$  entspricht dem geschätzten Wert der Zielvariablen, der sich ergibt, wenn die unabhängige Variable den Wert 0 aufweist. In den hier dargestellten Kostenfunktionen hat der Regressionskonstante die Dimension  $[\text{€}/(\text{m}^2)]$ .

- Bestimmtheitsmaß  $R^2$

Das Bestimmtheitsmaß als ein Maß für den linearen Zusammenhang zweier Variablen gibt den Anteil der durch die geschätzte Regressionsgleichung erklärten an der gesamten Streuung der abhängigen Variable in der Stichprobe an. Das Bestimmtheitsmaß wird als Indikator für die Güte einer Regressionsschätzung interpretiert und nimmt immer Werte zwischen 0 und 1 an. Liegt es z. B. für die Variablen „spezifische Vollkosten der Maßnahme“ und „äquivalente Dämmdicke“ bei  $R^2 = 0.5$ , dann heißt dies, dass die Hälfte (50 %) der Streuung (Varianz) der abhängigen Variable, d. h. der in der Stichprobe enthaltenen Vollkostenwerte, direkt durch die geschätzte Regressionsgerade zwischen Vollkosten und äquivalenter Dämmdicke erklärt werden kann. Höhere Werte von  $R^2$  signalisieren daher eine bessere Anpassungsgüte der geschätzten Regressionsgerade an die Stichprobendaten.

- P-Value

Die Bestimmung der Signifikanz dient der Feststellung der Verlässlichkeit des Modells. Diese Überprüfung ist erforderlich, weil die Regressionsanalyse lediglich auf Basis einer zufälligen Stichprobe durchgeführt wurde.

Der p-Value gibt an, wie groß die Wahrscheinlichkeit eines Irrtums ist, wenn wir behaupten, dass ein Effekt bzw. Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variable besteht. Je kleiner diese Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Value) ist, desto „sicherer“ ist das Ergebnis. Ein p-Value kleiner 0,05 (5 %) wird als signifikant bezeichnet, d. h. die erwähnte Irrtumswahrscheinlichkeit ist kleiner als 5 %, womit ein Zusammenhang zwischen unabhängiger und abhängiger Variable als gesichert gilt.

- Standardfehler

Werden über verschiedene Stichproben die Kostenfunktionen geschätzt, so werden die Ergebnisse von Stichprobe zu Stichprobe zufallsbedingt variieren. Ein Maß für diese Variabilität ist der Standardfehler. Je umfangreicher die Datenbasis und damit der Stichprobenumfang ist, desto kleiner ist unter sonst gleichen Bedingungen der Standardfehler, und umso genauer kann der unbekannte Parameter geschätzt werden. Der Standardfehler gibt somit einen Anhalt zur Streuung, d. h. zur Bandbreite der erwarteten Werte, wenn dieselben Berechnungen mit anderen Stichproben durchgeführt würden. Im Idealfall ist er sehr klein.

- 95 %-Konfidenzintervall

Die aus den zufälligen Stichproben geschätzten Kostenfunktionen der Maßnahmen sind zwangsläufig Näherungen. Auf Basis der zugrunde liegenden Stichprobe lassen sich jedoch Bandbreiten schätzen, innerhalb derer mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit die tatsächlichen Kosten der Maßnahmen liegen. Diese Bereiche werden auch als Vertrauensbereich oder Konfidenzintervall bezeichnet. Das in den Tabellen angegebene 95 %-Konfidenzintervall ist in dem Sinn zu verstehen, dass in 95 Prozent aller Stichproben die Kosten der untersuchten Maßnahmen im Bereich zwischen der angegebenen Unter- und Obergrenze liegen.

Zusammenfassung statistische Auswertung: baulicher Wärmeschutz	Vollkosten WDVS - Dämmstoffe PS & MF [€/m²] n = 238	Vollkosten Kellerdeckendämmung (unterseitig - mit Bekleidung), alle Dämmstoffe [€/m²] n = 36	Steildach: Dämmstoffe PUR & MF: Vollkosten [€/m²] n = 57	Steildach: Dämmstoffe PUR & MF: Kosten Dampfbremse, Aufdopp- lung, Dämmung, Unterdach, Konter- lattung [€/m²] n = 57	nachträgli- che Däm- mung Flachdach, alle Dämm- stoffe: energiebe- dingte Kosten [€/m²] n = 26	nachträgli- che Däm- mung Flachdach, alle Dämm- stoffe: Vollkosten [€/m²] n = 26	Vollkosten oberste Geschoss- decke, nicht begehbar - alle Dämm- stoffe [€/m²] n = 23	Vollkosten oberste Geschoss- decke, begehbar - alle Dämm- stoffe [€/m²] n = 26
Bestimmtheitsmaß	0,1640	0,1220	0,0540	0,4790	0,2800	0,0050	0,3390	0,6580
Regressionskoeffizient								
Kostante	87,350	40,774	172,818	21,871	15,100	158,641	0,213	26,003
Dämmdicke	2,432	1,368	2,702	2,215	1,505	0,638	1,167	1,920
Standardfehler								
Kostante	5,251	6,580	23,215	4,762	9,905	37,280	6,782	4,802
Dämmdicke	0,357	0,628	1,519	0,312	0,493	1,857	0,355	2,820
p-Value								
Kostante	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,140</b>	0,000	<b>0,975</b>	0,000
Dämmdicke	0,000	0,036	<b>0,081</b>	0,000	0,005	<b>0,734</b>	0,004	0,000
95%-Konfidenzintervall - Untergrenze								
Kostante	77,005	27,402	126,294	12,327	-5,344	81,699	-13,891	16,093
Dämmdicke	1,727	0,092	-0,343	1,591	0,487	-3,194	0,428	1,338
95%-Konfidenzintervall - Obergrenze								
Kostante	97,696	54,146	219,343	31,414	35,543	235,584	14,318	35,914
Dämmdicke	3,135	2,635	5,747	2,840	2,524	4,471	1,906	2,503

Tabelle 3: Zusammenfassung der zusätzlichen statistischen Auswertungen der Datenbank, Teil 1 – Maßnahmen zur Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes.

Zusammenfassung statistische Auswertung: Anlagentechnik	Kosten Gaskes- sel (Einzel- maßnah- me) [€/m² Wohnflä- che] n = 59	Kosten Ölkessel (Einzel- maßnah- me) [€/m² Wohnflä- che] n = 19	Kosten Pelletkes- sel (Einzel- maßnah- me) [€/m² Wohnflä- che] n = 14	Kosten Solaran- lagen (WW) o. K. [€/m² Wohnflä- che] n = 21	Kosten Solaran- lagen (WW) mit Öl- oder Gaskes- sel [€/m² Wohnflä- che] n = 61	Kosten Solaran- lagen (WW) mit Pelletkes- sel [€/m² Wohnflä- che] n = 9	Kosten Solaran- lagen (WW&H) o. K. [€/m² Wohnflä- che] n = 22	Kosten Solaran- lagen (WW&H) mit Öl- oder Gaskes- sel [€/m² Wohnflä- che] n = 49	Kosten Solaran- lagen (WW&H) mit Pelletkes- sel [€/m² Wohnflä- che] n = 12	EFH & MFH, zentrale Lüftung- sanl. mit Zu/Abluft/ WRG [€/m² Wohnflä- che] n = 56	EFH & MFH, zentrale Abluftan- lagen [€/m² Wohnflä- che] n = 9
Bestimmtheitsmaß	0,7120	0,2412	0,4505	0,6963	0,7367	0,5264	0,2658	0,6179	0,8061	0,2671	0,5556
Regressionskoeffizient											
	1307,55	1471,99	4570,31	307,65	793,69	2999,33	1137,06	1884,05	4381,17	356,98	1330,94
p-Value											
	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
signifikant von 0 verschieden?	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
95%-Konfidenzintervall - Untergrenze											
	733,81	70,97	334,00	145,20	543,01	199,22	167,98	996,49	1299,77	150,51	54,01
95%-Konfidenzintervall - Obergrenze											
	2329,86	30529,03	62537,56	651,84	1160,08	45155,47	7696,75	3562,16	14767,69	846,70	32796,86

Tabelle 4: Zusammenfassung der zusätzlichen statistischen Auswertungen der Datenbank, Teil 2 – anlagentechnische Maßnahmen

## 4 Auswertung Sekundärdaten

In den Tabellen 5 und 6 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 2010. 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 dokumentiert. Zum Teil ist nicht einmal eindeutig, ob es sich bei den Kosten um Brutto- oder Nettoangaben handelt. Weitergehende statistische Auswertungen in den Studien fehlen vollständig. Die Angaben aus den verschiedenen Sekundärquellen lassen sich somit nur vorsichtig interpretieren bzw. nicht unmittelbar mit den Ergebnissen der Auswertung der Primärdaten im Rahmen dieser Studie vergleichen.

### Tabelle 5 – 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 €/m<sup>2</sup> 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 Kosten wie Sockelabdichtungen oder Verlängerungen von Dachüberständen u. a. in den Auswertungen berücksichtigt wurden (siehe Abbildung 2).

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.

Eine gute Übereinstimmung scheint es zunächst auch mit den Ansätzen der empirica/LUWOG-Studie zu geben. Allerdings rechnet empirica/LUWOG mit erheblichen zusätzlichen Kosten bei einer Außenwanddämmung infolge weiterer nicht näher definierter „Arbeiten an Loggien“, „Abdichtungsarbeiten Perimeter“ und „zusätzlichen Arbeiten am Dach“ von umgerechnet 23 €/m<sup>2</sup>. Zudem rechnet empirica/LUWOG mit zusätzlichen Baunebenkosten („HOAI-Leistungen, 12 %“) sowie einem Zuschlag von 10 % für „Unvorhergesehenes“ für die Gesamtmodernisierung des Gebäudes. Diese Kosten wären nach der empirica/LUWOG-Studie entsprechend anteilig dem Wärmedämmverbundsystem zuzurechnen. Damit liegt der Kostenansatz der empirica/LUWOG-Studie deutlich über dem Wert der Kostenfunktion dieser Studie, wobei betont werden muss, dass die hier vorliegende Studie auf der Auswertung von Kostenfeststellungen basiert. „Unvorhergesehenes“ sowie Kosten

für Arbeiten an Loggien, im Bereich der Perimeterdämmung oder infolge z. B. der Vergrößerung von Dachüberständen u. a. m. sind somit in den Kostenfunktionen berücksichtigt.

- Keller, unterseitige Dämmung mit Bekleidung: Realistisch erscheint die große Bandbreite der in der dena-Studie genannten Kosten für die Kellerdeckendämmung von 37 €/m<sup>2</sup> bis 66 €/m<sup>2</sup> für 16 cm Dämmung. Nach den Annahmen in der BSI-Studie sind 8 cm Dämmung für 31 €/m<sup>2</sup> zu realisieren und damit erheblich günstiger als nach der vorliegenden Studie. Nach der PHI-Studie sind 9 cm für 53 €/m<sup>2</sup> zu realisieren und damit exakt zu den Kosten nach der entsprechenden Kostenfunktion.

Die empirica/LUWOG- Studie unterscheidet bei den Maßnahmen systematisch zwischen der nachträglichen Dämmung einer Kappendecke und einer flachen Betondecke. Die Kostenansätze der Studie differieren erheblich zwischen 233 €/m<sup>2</sup> (brutto) bei 20 cm Dämmung einer gewölbten Kappendecke und 128 € für 12 cm Dämmung einer flachen Betondecke. In jedem Fall liegen die Kostenansätze jedoch um den Faktor 2 bis 3 über den Kostenansätzen aller anderen hier genannten Studien. Als Quellen für die Ermittlung der Kostenansätze werden der aktuelle BKI Baukostenplaner 2009 und Baukosten aus aktuellen LUWOG-Consult-Projekten genannt. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Kostenansätze erfolgt nicht. Daher können die Ansätze nicht weiter beurteilt werden.

- 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, insbesondere auch genaue Angaben zur Bezugsfläche, wird auf eine Diskussion der Ergebnisse an dieser Stelle verzichtet.
- Flachdach: Die in Tabelle 4 angegebenen Vollkosten der Flachdachmodernisierung schwanken zwischen 114 €/m<sup>2</sup> für 19 cm Dämmung bis zu 246 €/m<sup>2</sup> für 20 cm Dämmung. Aus der Kostenfunktion dieser Studie ergeben sich für 20 cm Vollkosten von ca. 171 €/m<sup>2</sup> für die nachträgliche Dämmung eines Flachdaches. In der Regel liegen die aus der Kostenfunktion ermittelten Kosten aber über den Kosten aus den Vergleichsstudien. Allerdings zeigt die hier vorliegende Auswertung praktisch keinen Zusammenhang zwischen diesen Vollkosten der Modernisierungsmaßnahme und der energetischen Qualität des Daches: Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion ist nahe Null (siehe Abbildung 10).
- Oberste Geschossdecke, begehrbar: Die in der vorliegenden Studie ermittelten Kosten liegen alle 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 €/m<sup>2</sup> realisiert werden, nach der dena-Studie für 57 €/m<sup>2</sup>. Nach der Kostenfunktion resultieren dagegen relativ hohe Kosten von 74 €/m<sup>2</sup>.
- Oberste Geschossdecke, nicht begehrbar: Die aus der Kostenfunktion berechneten Kosten von 24 €/m<sup>2</sup> für 20 cm Dämmung liegen deutlich unter dem Niveau der Kostenangaben des HMWVL von 33 €/m<sup>2</sup> (niedrige Kosten) bis 41 €/m<sup>2</sup> (hohe Kosten). Die Kostenangabe von 20 €/m<sup>2</sup> aus der PHI-Studie für 25 cm Dämmung erscheinen im Vergleich zu den Kosten nach der Kostenfunktion von 29 €/m<sup>2</sup> dagegen als sehr niedrig.

- Fenster: Abgesehen von der PHI-Studie liegen die in den Vergleichsstudien genannten Kosten für Fenster mit teilweise über 600 €/m<sup>2</sup> erheblich über den hier ermittelten durchschnittlichen Kosten. Auch die Kostenansätze für Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasungen mit  $U_w = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  bzw.  $U_w = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  aus der aktuellen empirica/LUWOG- Studie von über 500 €/m<sup>2</sup> erscheinen nicht plausibel, es sei denn, es werden z. B. die Kosten für neue Rollläden den Kosten für die Fenster zugeordnet oder es werden Sprossenfenster oder Rahmen-Mischkonstruktionen als Standardvarianten angesetzt.

Selbstverständlich können die Kosten für Fenster auch die genannte Größenordnung erreichen. Es sei an dieser Stelle noch mal darauf hingewiesen: Die hier ausgewerteten Kostenfeststellungen begrenzen sich auf Kunststoff- oder Holzfenster „konventioneller Bauart“ ohne Sprossen als Dreh- oder Dreh/Kipp-Konstruktionen. Es wurden mangels Masse keine passivhaustauglichen Fenster in die Auswertung übernommen. Relativ teure Alu- oder Alu-Mischkonstruktionen oder Schiebefenster wurden ebenfalls nicht untersucht. Kosten für Innenfensterbänke sind bei „konventionellen“ Rahmenbauarten nicht energierelevant. Diese Kosten wurden daher – konsequenter Weise – in den Kostenfeststellungen häufig nicht ausgewiesen und wurden auch nicht erfasst. Die Kosten für Außenfensterbänke sind systematisch der Außenwand zugeordnet und wurden daher bei der Ermittlung der Kosten für die Fenster nicht berücksichtigt. Die Kosten für Rollläden verschiedener Bauart wurden separat ausgewertet.

Nicht berücksichtigt sind selbstverständlich die Kosten für Abbrucharbeiten zur Vergrößerung der Fensterfläche. Im Zuge der umfassenden Modernisierung von Altbauten sind diese Maßnahmen aus architektonischen Gründen häufig aber nicht energierelevant.

Bei den Vergleichsstudien ist dagegen in der Regel nicht klar, ob diese Positionen dem Fenster zugeordnet wurden. Zudem muss, wie oben beschrieben, bei den Kosten für die Fenster zwischen Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern unterschieden werden (siehe Abbildung 5). 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 4917 Fenstern und Fenstertüren aus 292 Projekten mit 11595 m<sup>2</sup> und 3.433.621 € Vollkosten im Wesentlichen aus den Jahren 2008 bis 2010 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 ist 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 liegen etwa auf dem Niveau der Kosten aus der vorliegenden Studie.
- Brennwert und 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. Auch die aus der Kostenfunktion ermittelten Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung passen für ein kleines Gebäude mit 120 m<sup>2</sup> Wohnfläche im Mittel gut zu den in der PHI-Studie angesetzten Kosten. Für das größere Gebäude liegen die aus der Kostenfunktion ermittelten Kosten allerdings deutlich über den Kostenansätzen der PHI-Studie.

Im Vergleich zur BSI-Studie liegen die aus der Kostenfunktion ermittelten Kosten für den Öl-Brennwertkessel über den in der BSI-Studie angesetzten Kosten. Die Ansätze für die Gas-Heizanlagen stimmen dagegen sehr gut überein.

### **Tabelle 6 – 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 Vergleichsstudien 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 €/m<sup>2</sup> energiebedingten Mehrkosten bei 15 cm Dämmung. Nach der vorliegenden Studie betragen die energiebedingten Mehrkosten dagegen lediglich 51 €/m<sup>2</sup>. 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.

Die aktuelle empirica/LUWOGÉ-Studie rechnet mit energiebedingten Mehrkosten von 84 €/m<sup>2</sup> bei 20 cm Dämmung. Aus der Kostenfunktion der vorliegenden Studie resultieren lediglich 64 €/m<sup>2</sup> energiebedingte Mehrkosten. Die Differenz entspricht nach der in Abbildung 3 dargestellten Detailanalyse näherungsweise den Kosten für Grund- und Armierungsputz im Wärmedämmverbundsystem von 26 €/m<sup>2</sup>. Für den Fall einer vorzeitigen Modernisierung bei intaktem Deckputz könnte diese Kostenposition als energiebedingte Mehrkosten angesehen werden. Der Kostenansatz der empirica/LUWOGÉ-Studie scheint daher von diesem Fall einer vorzeitigen Modernisierung auszugehen. Eine genauere Beschreibung fehlt jedoch in der genannten Studie.

- Keller, unterseitige Dämmung: 100 % energiebedingte Mehrkosten, vgl. Ausführungen oben. Ungewöhnlicherweise unterscheidet die empirica/LUWOGÉ-Studie bei der nachträglichen Dämmung einer Kellerdecke von unten zwischen den Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten für die Maßnahme. Bei 20 cm Dämmung betragen die energiebedingten Mehrkosten etwa 22 % der Vollkosten, bei 12 cm Dämmung etwa 33 bzw. 28 %. Diese Aufteilung bleibt in der Studie unbegründet.
- Steildach: In der Regel liegen die in den Vergleichsstudien genannten energiebedingten Mehrkosten unter den Ergebnissen der Kostenfunktion. Allerdings muss beachtet werden, dass in den Vergleichsstudien eine genaue Ableitung der ermittelten Kosten in der Regel fehlt und die Bezugsfläche nicht definiert ist. 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  $n = 57$  abgerechneten Projekten ist zudem ausreichend groß, um eine abgesicherte Aussage treffen zu können.

- Oberste Geschossdecke, begehbar/nicht begehbar: 100 % energiebedingte Mehrkosten, vgl. Ausführungen oben.
- Fenster: 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  $124 \text{ €/m}^2$  ansetzt. In der Gebäudetypologie Bayern wird unter gleichen Annahmen mit  $67 \text{ €/m}^2$  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  $51 \text{ €/m}^2$  (niedrige Kosten) und  $101 \text{ €/m}^2$  (hohe Kosten), nach der vorliegenden Studie etwa  $40$  bis  $50 \text{ €/m}^2$ , nach der PHI-Studie bei etwa  $27 \text{ €/m}^2$  für die Verbesserung des  $U_W$ -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  $85 \text{ m}^2$  Wohnfläche  $35 \text{ €/m}^2$ , bei einer größeren Wohnung mit  $135 \text{ m}^2$  Wohnfläche etwa  $34 \text{ €/m}^2$ . Diese Mehrkosten liegen ca.  $5 \text{ €/m}^2$  über den Angaben der PHI-Studie.
- Brennwert und 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 Kosten für Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung sind dagegen vollständig energiebedingte Mehrkosten. Im Vergleich zur PHI-Studie liegen die aus der Kostenfunktion abgeleiteten Kosten über dem Niveau der „hohen Kosten“ für die entsprechenden Anlagen in Wohngebäuden mit  $270 \text{ m}^2$ . Für das kleine Einfamilienhaus mit  $120 \text{ m}^2$  Wohnfläche stimmen die Kostangaben dagegen im Mittel gut überein.

Quelle / Maßnahme	äquivalente Dämmdicke	Gebäudetypologie Schleswig-Holstein, 1998	IWU, 2004	PHI, 2008	HMMWL, 2005	Gebäudetypologie Bayern, 2006	dena, 2007	empirical/LuWoGe, 2010	BSI, 2008	aktuelle Auswertung, Primärdaten dena / KfW, 2009	mittlere Abweichung von den Vergleichsstudien	
Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 1'09	cm	Investitionskosten, brutto [€/m <sup>2</sup> ]										
WDVS	11	133								113	-20	
WDVS	15		139						124	124	-8	
WDVS (hohe Kosten o. Innenputz/Gerüst)	17						94			129	35	
WDVS (niedrige Kosten)	12				123					117	-7	
WDVS (hohe Kosten)	12				164					117	-48	
WDVS	16					148				126	-22	
WDVS	20							131		136	5	
WDVS	19			110						134	25	
Keller, unterseitig	5	44				27				48	12	
Keller, unterseitig	10		35							54	20	
Keller, unterseitig (Kappendecke)	20							233		68	-165	
Keller, unterseitig (Rippendecke)	12							145		57	-87	
Keller, unterseitig (70er Jahre Gebäude)	12							128		57	-71	
Keller, Stahlbetondecke unterseitig (niedrige Kosten)	16						37			63	26	
Keller, Stahlbetondecke unterseitig (hohe Kosten)	16						66			63	-3	
Keller, unterseitig (niedrige Kosten)	6				25					49	24	
Keller, unterseitig (hohe Kosten)	6				41					49	8	
Keller, unterseitig	6					27				49	22	
Keller, unterseitig	8							31		52	21	
Keller, unterseitig	9			53						53	0	
Steildach, Dampfbremse, 15 cm auf / 15 cm zwischen den Sparren, Aufdopplung, Unterdach, Konterlattung (hohe Kosten)	25						127			240	113	
14 cm Zwischen-/15 cm Aufsparren (niedrige Kosten)	20				164					227	63	
14 cm Zwischen-/15 cm Aufsparren (niedrige Kosten)	20				197					227	30	
25 cm Zwischen-/Aufsparrendämmung	18			130						221	91	
22 cm (0,04) Aufsparrendämmung	19			129						224	95	
20 cm (0,04) Aufsparren (niedrige Kosten)	18				164					221	57	
23 cm (0,04) Aufsparrendämmung (hohe Kosten)	18				197					221	24	
Steildach Vollkosten inkl. Eindeckung	18	144								220	76	
15 cm Zwischen/15 cm Aufsparrendämmung	25		201							240	39	
Steildach Aufsparrendämmung o. Eindeckung	20					67				227	160	
Steildach ohne Eindeckung	15							124		213	89	
Flachdach (Warmdach)	11	150								165	15	
Flachdach (Warmdach)	20							184		171	-13	
Flachdach (Warmdach) (hohe Kosten)	20						130			171	41	
Flachdach (Warmdach)	19			114						171	57	
Flachdach	20					135				171	37	
Flachdach (Kalt Dach) (niedrige Kosten)	20				148					171	24	
Flachdach (Kalt Dach) (hohe Kosten)	20				246					171	-75	
oberste Geschossdecke, begehbar	18	51								60	8	
oberste Geschossdecke, begehbar	14								41	53	12	
oberste Geschossdecke, begehbar	20							44		64	20	
oberste Geschossdecke, begehbar	20		49			47				64	17	
oberste Geschossdecke, begehbar (niedrige Kosten)	20				49					64	15	
oberste Geschossdecke, begehbar (hohe Kosten)	20				63					64	1	
oberste Geschossdecke, begehbar (hohe Kosten)	25						57			74	17	
oberste Geschossdecke, begehbar	25			39						74	35	
oberste Geschossdecke, nicht begehbar (niedrige Kosten)	20				33					24	-9	
oberste Geschossdecke, nicht begehbar (hohe Kosten)	20				41					24	-18	
oberste Geschossdecke, nicht begehbar	25			20						29	10	
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m <sup>2</sup> K)		309	457	245						345	8	
Fenster, 3-WSV, Uw ≈ 0,9 W/(m <sup>2</sup> K), Kunststoffrahmen			665	272						--	--	
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,4 W/(m <sup>2</sup> K)						471			414	--	--	
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m <sup>2</sup> K)								512		345	-167	
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m <sup>2</sup> K), niedrige Kosten					493		253			281	-92	
Fenster, 2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m <sup>2</sup> K), hohe Kosten					657		443			345	-205	
Fenster, 3-WSV, Uw ≈ 1,0 W/(m <sup>2</sup> K), niedrige Kosten							317			334	17	
Fenster, 3-WSV, Uw ≈ 1,0 W/(m <sup>2</sup> K), hohe Kosten							570			389	-181	
		Wohnfläche je Wohneinheit [m <sup>2</sup> WE]										
Abluftanlage	70		35	33						33	-1	
RLT mit zentrale Wärmerückgewinnung ("mittel": 85 m <sup>2</sup> )	85			64						63	-1	
RLT mit zentrale Wärmerückgewinnung ("groß": 135 m <sup>2</sup> )	135			60						53	-7	
Lüftungsanlage mit zentraler Wärmerückgewinnung			111							--	--	
		Wohnfläche je Gebäude [m <sup>2</sup> ]										
Öl-Brennwert im EFH ohne Verteilung/Heizflächen	111								6490	8408	1917	
Gas-Brennwert im EFH ohne Verteilung/Heizflächen	156			8272						8050	-222	
Gas-Brennwert im MFH ohne Verteilung/Heizflächen	857								17944	17911	-33	
Solaranlage (WW), 120 m <sup>2</sup> Wohnfläche, niedrige Kosten	120			3574						4803	1229	
Solaranlage (WW), 120 m <sup>2</sup> Wohnfläche, hohe Kosten	120			6355						4803	-1552	
Solaranlage (WW), 270 m <sup>2</sup> Wohnfläche, niedrige Kosten	270			5980						7650	1670	
Solaranlage (WW), 270 m <sup>2</sup> Wohnfläche, hohe Kosten	270			6510						7650	1140	

Tabelle 5: Kostenvergleich, Investitionskosten der untersuchten Maßnahmen im Vergleich mit weiteren Studien (brutto)



## 5 Zusammenfassung und Ausblick

### Workshop am 27.01.2011

Die Ergebnisse der Studie wurden auf Basis des 3. Zwischenberichtes vom 18.10.2010 mit Vertretern von Verbänden, Forschungseinrichtungen, verschiedenen Ministerien und weiteren Experten in einem 6-stündigen Workshop intensiv diskutiert. Von den Teilnehmern wurden sowohl die Methodik als auch die Ergebnisse der Studie im Wesentlichen bestätigt. Auch die Primärdatenbasis wurde als geeignet angesehen, um die Fragestellung des Forschungsvorhabens zu bearbeiten. Allerdings entwickelte sich eine intensive Diskussion um die Frage der energiebedingten Mehrkosten, beispielsweise bei der nachträglichen Dämmung der Außenwand oder auch beim Steildach.

Bemängelt wurde die relativ geringe Anzahl von Kostenfeststellungen aus Mehrfamilienhäusern. Zudem wurde der Wunsch nach vertiefenden Analysen geäußert. Dies betrifft zum Beispiel die Unterscheidung in Maßnahmen, die offensichtlich auf Basis einer detaillierten Ausschreibung (eines Architekten) abgerechnet wurden und solchen, die offensichtlich ohne eine solide Ausschreibung vergeben bzw. ohne Architekt realisiert wurden.

Kritisiert wurde auch das Fehlen von entsprechenden Auswertungen für weitere praxisrelevante Konstruktionen, insbesondere die Innendämmung der Außenwand und die nachträgliche Dämmung im zweischaligen Mauerwerk. Zudem wurde bemängelt, dass sich die architektonische bzw. baukulturelle Vielfalt bei der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden in den ausgewerteten Maßnahmen nicht widerspiegeln würde.

In Bezug auf die Auswertungen zu den Wärmepumpen wurde bemängelt, dass – bedingt durch das Fehlen wichtiger Anlagenkennwerte – die vorliegenden Ergebnisse im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nur eingeschränkt genutzt werden können. Die Ergebnisse sollten daher auf Basis von entsprechenden Kostenfeststellungen in Verbindung mit detaillierten Fachunternehmererklärungen verbessert werden.

Angeregt wurde auch eine bessere statistische Absicherung der Ergebnisse durch entsprechende Verfahren. Als eine wesentliche Konsequenz aus dem Workshop wurden daher diese im 3. Zwischenbericht noch fehlenden weitergehenden statistischen Analysen nachgearbeitet. Die Ergebnisse sind im Kapitel 3 des Endberichtes dokumentiert.

## Ergebnisse der Studie - Datenbank

In den folgenden Tabellen 7 und 8 sind die als Ergebnisse der Studie abgeleiteten Kostenfunktionen und beispielhafte Kosten bzw. energiebedingte Mehrkosten zusammengefasst. Die Kostenfunktionen für die thermische Hülle können ohne Einschränkung für Wirtschaftlichkeitsberechnungen 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 Hinweise sollten bei der Nutzung der Ergebnisse beachtet werden:

- Die Datenbasis der Studie beruht im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen aus dem KfW-Gebäudemodernisierungsprogramm „Energieeffizient Sanieren“ ab dem Jahr 2007 und damit auf aktuellen Projekten aus einem bundesweiten Breitenförderprogramm. Bei den Fördermittelnehmern handelt es sich im Wesentlichen um private (nicht professionelle) Investoren - im Gegensatz zu gewerblichen (professionellen) Investoren. Tatsächlich könnten die Kosten für entsprechende Maßnahmen bei professionell arbeitenden Wohnungsunternehmen tendenziell niedriger als nach den Kostenfunktionen sein. Dieser mögliche Einfluss auf die Kostenfunktionen konnte auf Grund der dazu nicht ausreichenden Datenbasis nicht untersucht.
- Nach Durchsicht der Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass Maßnahmen in nennenswerten Umfang auch 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. Dies 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, 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, Bauausführung und Kontrolle praktisch nicht zu realisieren sind.

In den Regressionsanalysen ist dieser mögliche Einfluss auf die Kostenfunktionen nicht berücksichtigt. Auf der Basis eines ausreichenden Datenbestandes sollten daher der mögliche Einflussparameter „Qualität der Ausschreibung/Erfahrung der Bauschaffenden“ auf die Kostenfunktion in einer Fortführung der Studie untersucht werden.

- Außenwand – Wärmedämmverbundsystem: Die Kostenfunktion basiert auf insgesamt 238 Projekten mit über 13.000.000 € Vollkosten und fast 107.000 m<sup>2</sup> gedämmter Fläche. Die Kostenfunktion kann damit als gut abgesichert gelten.

- Kellerdecke: Die Kostenfunktion basiert auf der Auswertung von 64 (unterseitig – ohne Bekleidung) bzw. 36 (unterseitig – mit Bekleidung) Projekten. Die Auswertung ergab eine sehr starke Streuung der abgerechneten Kosten, das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion (Abbildung 4) ist entsprechend gering. Damit besteht nur ein geringer 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. Gleichzeitig ist das Konfidenzintervall groß. Zur besseren Absicherung der Ergebnisse müssen daher weitere Kostenfeststellungen in die Datenbank übernommen werden.
- 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. Die der Auswertung zu Grunde liegende Datenbasis ist ausreichend und gilt für übliche „Standardfenster“ ohne Sprossen mit Dreh- oder Dreh-Kipp-Beschlägen und übliche Rahmenkonstruktionen aus Holz oder Kunststoff. Die Ergebnisse können als 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. Dementsprechend klein ist das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion bzw. entsprechend groß ist das 95 %-Konfidenzintervall. Werden die Kosten jedoch auf die energierelevanten Elemente reduziert, zeigt sich ein deutlicher Zusammenhang zwischen den energiebedingten Mehrkosten und der äquivalenten Dämmdicke (Abbildung 8). Die Datenbasis ist mit 8.949 m<sup>2</sup> Fläche und Vollkosten von 485.249 € aus 57 Projekten ist ausreichend, um daraus eine gesicherte Kostenfunktion für die energiebedingten Mehrkosten abzuleiten.

Dies gilt 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. Die Studie sollte ergänzt werden um die Auswertung von Kostenfeststellungen für die energetische Modernisierung von Gauben in Steildächern, um diese in Einzelfällen nicht unerheblichen Kosten bei der Abschätzung der Gesamtkosten für die Modernisierung eines Steildaches berücksichtigen zu können

- 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 daher um diese Maßnahme erweitert werden. Die bei der KfW vorliegenden Kostenfeststellungen sind für entsprechende Auswertungen jedoch ungeeignet, da lediglich auf Basis der Kostenfeststellungen Rückschlüsse auf den Umfang der Maßnahmen und insbesondere auf den energierelevanten Anteil in der Regel nicht möglich sind. Erforderlich ist dazu eine genauere Kenntnis um die realisierten Projekte.

- Flachdach: Aus den vorliegenden Daten konnte keine statistisch abgesicherte Kostenfunktion abgeleitet werden. Die Datenbasis muss um weitere Kostenfeststellungen ergänzt werden.
- Oberste Geschossdecke begehbar/nicht begehbar: Die Datenbasis ist mit  $n = 23$  (nicht begehbar) und  $n = 26$  (begehbar) zu gering, um eine statistisch abgesicherte Kostenfunktion abzuleiten. Tatsächlich erscheinen die aus den Kostenfunktionen ermittelten Kosten auch relativ hoch. Die Datenbank sollte daher um weitere Kostenfeststellungen ergänzt werden, um die Ergebnisse abzusichern.

Die Kostenfunktionen basieren zudem im Wesentlichen auf der Auswertung abgerechneter Projekte 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 (bzw. das zu Grunde liegende Regressionsmodell) besser abzusichern, sollte die Datenbasis mit Kostenfeststellungen aus großen Mehrfamilienhäusern erweitert werden und gegebenenfalls die Auswertung der Ergebnisse entsprechend modifiziert werden.

- Öl- bzw. Gaskessel und Pelletkessel als Einzelmaßnahme: Die Datenbasis der Kostenfunktion für Gaskessel in Wohngebäuden unter  $400 \text{ m}^2$  Wohnfläche ist gut. Die Datenbasis muss jedoch um weitere Kostenfeststellungen für Öl- und Pelletkessel ergänzt werden. Es fehlen zudem abgerechnete Projekte in großen Mehrfamilienhäusern, um die Kostenfunktion auch für große Gebäude entsprechend abzusichern.
- Solaranlage (WW) als Einzelmaßnahme: Die Kostenfunktion wurde auf Basis von 21 Kostenfeststellungen abgeleitet. Dies ist ausreichend für eine erste Abschätzung. Es fehlen aber ausreichend viele Kostenfeststellungen aus großen Mehrfamilienhäusern, um die Kostenfunktion auch für größere Anlagen auf einer verbesserten Basis ableiten zu können.
- Gas- bzw. Ölkessel mit Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung: Die Kostenfunktion für die Anlagen wurde auf Basis von  $n = 61$  Kostenfeststellungen abgeleitet. Das Bestimmtheitsmaß beträgt  $0,74$ . Die Kostenfunktion ist damit ausreichend abgesichert. Allerdings liegt der Schwerpunkt der berücksichtigten Projekte bei kleineren Gebäuden. Die Datenbasis sollte daher um abgerechnete Projekte in großen Mehrfamilienhäusern erweitert werden.
- Pelletkessel mit Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung: Die Kostenfunktion wurde auf Basis von lediglich 12 Kostenfeststellungen abgeleitet. Dies ist ausreichend für eine näherungsweise Abschätzung. Statistisch können die Ergebnisse damit jedoch nicht abgesichert werden. Die Datenbasis muss daher ergänzt werden.
- Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Heizung: Die Kostenfunktion wurde auf Basis von 22 Kostenfeststellungen abgeleitet. Dies ist ausreichend für eine erste Abschätzung. Zur statistischen Absicherung sollte die Datenbasis ergänzt werden, insbesondere um Kostenfeststellungen aus großen Mehrfamilienhäusern.

- Gas- bzw. Ölkessel mit Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Heizung: Die Datenbasis ist für Gebäude unter 400 m<sup>2</sup> Wohnfläche 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 und Heizung: Insgesamt konnten nur zwölf Kostenfeststellungen in Gebäuden unter 400 m<sup>2</sup> Wohnfläche ausgewertet werden. Diese Basis reicht lediglich für eine erste Abschätzung der Kosten, nicht jedoch für eine fundierte Bewertung. Die Datenbasis sollte daher für diese Anlagen erweitert werden.
- Die Studie sollte auf BHKW-beheizte Gebäude sowie Gebäude mit Fernwärmeanschluss erweitert werden.
- Die Auswertungen zu den Wärmepumpenanlagen spiegelt die Größenordnung der Investitionskosten für diese Anlagen wieder. Auf Grund der Komplexität und Vielfalt der Wärmeversorgungsanlagen mit Wärmepumpen kann auf Basis der Kostenfeststellungen jedoch keine Aussage zur Energieeffizienz des Systems getroffen werden. Für entsprechende Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind diese Auswertungen somit nicht unmittelbar zu nutzen.

Als Basis für eine genauere Analyse könnten die detaillierten Kostenfeststellungen in Verbindung mit Fachunternehmererklärungen dienen, wie sie als Voraussetzung bei der Förderung von Wärmepumpenanlagen durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle eingefordert werden.

- Lüftungsanlagen: Die Kostenfunktion für zentrale Lüftungsanlagen mit effizienter Wärmerückgewinnung basiert auf 56 Kostenfeststellungen und ist damit gut abgesichert. Die Basis für die Kostenfunktion der Abluftanlagen mit insgesamt neun 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 (PS & MF): Vollkosten	2,431 €/cm * X cm Dämmstoff + 87,35 €
Außenwand WDVS (PS & MF): energiebedingte Mehrkosten	2,431 €/cm * X cm Dämmstoff + 15 €
Kellerdecke, Dämmung von unten, mit Bekleidung: Vollkosten	1,368 €/cm * X cm Dämmstoff + 40,77 €
Kellerdecke, Dämmung von unten, ohne Bekleidung: Vollkosten	1,04 €/cm * X cm Dämmstoff + 26,5 €
Steildach: Vollkosten	2,702 €/cm * X cm Dämmstoff + 172,8 €
Steildach: energiebedingte Mehrkosten	2,21 €/cm * X cm Dämmstoff + 0 €
oberste Geschossdecke - begehrbar: Vollkosten	1,92 €/cm * X cm Dämmstoff + 26 €
oberste Geschossdecke - nicht begehrbar: Vollkosten	1,167 €/cm * X cm Dämmstoff + 0,213 €
2-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, Alu Randverbund (EFH)	290 bis 340 €/m <sup>2</sup>
3-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, "warme Kante" (EFH)	340 bis 390 €/m <sup>2</sup>
2-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, Alu Randverbund (MFH)	240 bis 280 €/m <sup>2</sup>
3-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, "warme Kante" (MFH)	290 bis 330 €/m <sup>2</sup>
Gas	1307 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,64 * X m <sup>2</sup>
Öl	1472 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,63 * X m <sup>2</sup>
Pellet	4570 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,71 * X m <sup>2</sup>
Solar (WW)	307,65 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,426 * X m <sup>2</sup>
Gas/Öl & Solar (WW)	793,69 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,434 * X m <sup>2</sup>
Pellet & Solar (WW)	2999,3 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,592 * X m <sup>2</sup>
Solar (WW&H)	1137 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,47 * X m <sup>2</sup>
Gas/Öl & Solar (WW&H)	1884 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,52 * X m <sup>2</sup>
Pellet & Solar (WW&H)	4381 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,64 * X m <sup>2</sup>
Wärmeverteilnetze	130,44 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,3466 * X m <sup>2</sup>
Zum Vergleich: RLT mit WRG > 80 %, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m <sup>2</sup> )	356,9 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> /Wohneinheit] ^ -0,39 * X m <sup>2</sup>
Zum Vergleich: Abluft, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m <sup>2</sup> )	1330 €/m <sup>2</sup> * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,87 * X m <sup>2</sup>
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (EFH)	18,05 * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,22 * X [m <sup>2</sup> ]
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (MFH)	9,67 * X [m <sup>2</sup> ] ^ -0,100 * X [m <sup>2</sup> ]

Tabelle 7: Kostenfunktionen (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. Details zu den berücksichtigten Kosten und den Bezugsflächen sind im Bericht dargestellt.

Beispiel	äquivalente Dämmdicke [cm]	Kosten [€/m <sup>2</sup> Bauteil]		energiebedingte Mehrkosten [€/m <sup>2</sup> Bauteil]
Außenwand WDVS (PS & MF): Vollkosten	15	124		
Außenwand WDVS (PS & MF): energiebedingte Mehrkosten	15	--		51
Kellerdecke, Dämmung von unten, mit Bekleidung: Vollkosten	8	52		52
Steildach: Vollkosten	19	224		42
Steildach: energiebedingte Mehrkosten	19	--		
Anm: 19 cm äquiv. = 14 cm Zwischen + 10 cm Aufsparrendämmung				
oberste Geschossdecke - begehrbar: Vollkosten	20	64		64
oberste Geschossdecke - nicht begehrbar: Vollkosten	20	24		24
	U <sub>w</sub> [W/(m <sup>2</sup> K)]			
2-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, Alu Randverbund	1,25 bis 1,30	290 bis 340		
3-Scheiben, Holz- oder Kunststoffrahmen, "warme Kante"	0,90 bis 1,00	340 bis 390		50
	Wohnfläche je Gebäude ab mind. 100 m <sup>2</sup> [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€/m <sup>2</sup> Wohnfläche]	Kosten [€]	energiebedingte Mehrkosten [€]
Gas	185	46	8560	--
Öl	185	55	10157	
Pellet	185	112	20768	12208
Solar (WW)	185	33	6158	6158
Gas/Öl & Solar (WW)	185	82	15236	6676
Pellet & Solar (WW)	185	136	25236	16677
Solar (WW&H)	185	98	18087	18087
Gas/Öl & Solar (WW&H)	185	125	23085	14525
Pellet & Solar (WW&H)	185	155	28692	20132
hydraulischer Abgleich als separate Dienstleistung (EFH)	185	5,7	1059	1059
Wärmeverteilnetze	185	21	3952	--
	Wohnfläche je Wohneinheit [m <sup>2</sup> ]	Kosten [€/m <sup>2</sup> Wohnfläche]	Kosten [€]	energiebedingte Mehrkosten [€]
Zum Vergleich: RLT mit WRG > 80 %, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m <sup>2</sup> )	92,5	61	5648	3252
Zum Vergleich: Abluft, zentral (Wohnfläche je WE < 300 m <sup>2</sup> )	92,5	26	2396	--

Tabelle 8: Beispiel: Kosten bzw. energiebedingte Mehrkosten (brutto) für energiesparende Maßnahmen im Wohngebäudebestand auf Basis der oben dargestellten Kostenfunktionen für ein Wohngebäude mit 185 m<sup>2</sup> Wohnfläche mit 2 Wohneinheiten.

## 6 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 CO<sub>2</sub>-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 und Kosten: Welche Maßnahmen gibt es und was bringen sie?“; Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und 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 und Landesentwicklung, Wiesbaden, 2007
- (Jagnow; 2001) OPTIMUS – Abschlussbericht Teil 2 „Technische Optimierung und Energieeinsparung“; Jagnow, Wolff; Wolfenbüttel; 2001
- (Bine; 2009) „ProjektInfo 09/09 – Neue Fensterrahmen: Hoher Dämmwert, niedriges Gewicht“; BINE Informationsdienst; Karlsruhe; 2009
- (empirica/LUWOG; 2010) „Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen im Berliner Mietwohnungsbestand“; Simons (empirica), Baum, Peischl (LUWOG – consult); empirica – Berlin; LUWOG consult GMBH – Ludwigshafen; 2010
- (PHI; 2008) „Bewertung energetischer Anforderungen im Lichte steigender Energiepreise für die EnEV und die KfW-Förderung“; Kah, Feist, Pfluger u. a.; Passivhaus Institut – Darmstadt; 2008