



INSTITUT WOHNEN
UND UMWELT GmbH

Forschungseinrichtung
des Landes Hessen
und der Stadt Darm-
stadt

Rheinstraße 65
64295 Darmstadt
Tel. 0 61 51 / 29 04-0
Fax 0 61 51 / 29 04-97
eMail: info@iwu.de

Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten

Endbericht

Autor: Eberhard Hinz, Institut Wohnen und Umwelt

Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Darmstadt, den 10.08.2015

Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten – Endbericht

Autor: Eberhard Hinz

Reprotechnik: Reda Hatteh

1. Auflage

Darmstadt, den 10.08.2015

ISBN-Nr.: 978-3-941140-50-9

IWU-Bestellnummer: 07/15

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH

Rheinstraße 65

64295 Darmstadt

Telefon: 06151/2904-0 / Fax: -97

Internet: www.iwu.de

Aufgabenstellung	7
Zusammenfassung	8
Abstract	10
1 Datenbasis	11
2 Kosten und Kostenfunktionen – baulicher Wärmeschutz	15
2.1 Außenwand	17
2.2 Kellerdecke	24
2.3 Fenster und Fenstertüren	28
2.4 Haustüren	35
2.5 Steildach ohne Dachgauben	36
2.6 Dachgauben	40
2.7 Dachflächenfenster	41
2.8 Flachdach ohne Lichtkuppeln	42
2.9 Lichtkuppeln	46
2.10 Oberste Geschossdecke	47
3 Kosten und Kostenfunktionen – Wärmeerzeugungssysteme	49
3.1 Wärmeerzeugungsanlagen als Einzelmaßnahme	51
3.2 Wärmeerzeugungsanlagen mit Solar (WW)	52
3.3 Wärmeerzeugungsanlagen mit Solar (WW & Heizung).....	53
3.4 Heizungspannweite	54
3.5 Wärmeerzeugungsanlagen – vergleichende Darstellung der Ergebnisse.....	56
3.6 Hausanschlüsse	58
3.7 Lüftungsanlagen	59
4 Kosten und Kostenfunktionen – sonstige Maßnahmen	62
4.1 Architekten und Energieberatungsleistungen	62
4.2 Gerüste	64
5 Zusätzliche statistische Auswertungen	66
5.1 p-Value	67
5.2 Residuenplot.....	69
5.3 Geschätzte Kostenfunktionen und Definition von Kostenbereichen	70
5.4 Ableitung von Kostenbereichen: „niedrige Kosten“ und „hohe Kosten“	71
5.5 Hebelpunkte	74
6 Auswertung Vergleichsstudien	75

7 Wirtschaftlichkeitstool „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“	99
7.1 „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db" - Arbeitsblätter.....	99
7.2 Arbeitsblatt "Parameter"	100
7.3 Ergebnisdarstellung – Diagramm	102
7.4 Arbeitsblatt "HDB"	106
8 Zusammenfassung und Ausblick.....	108
9 Quellenverzeichnis.....	115

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Räumliche Verteilung der ausgewerteten Kostenfeststellungen	14
Abbildung 2: spezifische Kosten und Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem sowie mit einer nachträglichen Kerndämmung	19
Abbildung 3: Kostenstruktur für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung bei der energietechnischen Modernisierung einer Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung	22
Abbildung 4: spezifische Kosten und Kostenfunktion: nachträgliche unterseitige Dämmung Kellerdecke ohne/mit zusätzlichen Schutz vor mechanischer Beschädigung / Einblasdämmung von oben zwischen die Bodenbalken	26
Abbildung 5: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren (passivhaustauglich / 3-WSV mit konventionellem Rahmen / 2-WSV) mit Holz- oder Kunststoffrahmen in EFH & MFH, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden und Fensterbänke, inkl. Demontage, fachgerechte Entsorgung und Montage mit allen Nebenarbeiten wie oben dargestellt.....	30
Abbildung 6: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren (passivhaustauglich / 3-WSV mit konventionellem Rahmen / 2-WSV) mit Holz- oder Kunststoffrahmen in EFH	32
Abbildung 7: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren (passivhaustauglich / 3-WSV mit konventionellem Rahmen / 2-WSV) mit Holz- oder Kunststoffrahmen in MFH.....	32
Abbildung 8: spezifische Kosten von Fenster & Fenstertüren in EFH und MFH (Holz- oder Kunststoffrahmen, gegebenenfalls passivhaustauglich, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden und Fensterbänke, inkl. Demontage, fachgerechte Entsorgung und Montage mit allen Nebenarbeiten wie oben dargestellt) sowie Rollläden	33
Abbildung 9: spezifische Kosten einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen (ohne Dachgauben/neue Dachflächenfenster).....	37
Abbildung 10: Kostenstruktur einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen (ohne Dachgauben / Dachflächenfenster) ...	39
Abbildung 11: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung eines Flachdaches (ohne Lichtkuppeln, Dachausstiege)	44
Abbildung 12: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung einer obersten Geschossdecke (begehbar / nicht begehbar) inkl. Nebenarbeiten	48
Abbildung 13: spezifische Kosten für Heizanlagen (Pellet / Gas / Öl) in Wohngebäuden	51
Abbildung 14: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung in Wohngebäuden.....	52
Abbildung 15: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solarer Unterstützung bei der Warmwasserbereitung und Heizung	53
Abbildung 16: spezifische Kosten in der Heizungsperipherie für zusätzliche Maßnahmen außerhalb der Bilanzgrenze Heizraum / Brennstofflager / Schornstein, aber innerhalb der Gebäudehülle	55
Abbildung 17: Kosten für verschiedene Heizsysteme und Maßnahmen in der Heizungsperipherie (Gebäude mit 185 m ² Wohnfläche)..	56
Abbildung 18: spezifische Kosten für Hausanschlüsse Fernwärme / Gas ohne Gartenarbeiten	58
Abbildung 19: Kosten je Wohneinheit für den nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden	60
Abbildung 20: spezifische Kosten für Architektenleistungen & Energieberatung	63
Abbildung 21: spezifische Kosten für Gerüste, Kräne und Sicherungen	65
Abbildung 22: Residuenplot - Vollkosten Wärmedämmverbundsystem	69
Abbildung 23: Wärmedämmverbundsystem, Kostenbereiche Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten.....	72
Abbildung 24: Steildach, Kostenbereiche Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten	72
Abbildung 25: Flachdach, Kostenbereiche Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten	73
Abbildung 26: Arbeitsblatt "Parameter", zentrale Eingabemaske zu „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db"	102
Abbildung 27: „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“, ohne vorzeitige Sanierung Außenwand, ohne Restwert	104
Abbildung 28: „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“, mit vorzeitiger Sanierung Außenwand, ohne Restwert	105
Abbildung 29: „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ mit vorzeitiger Sanierung Außenwand, mit Restwert.....	105
Abbildung 30: „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db" - Hausdatenblatt.....	107

Tabelle 1: Umfang der ausgewerteten Projekte in der Datenbank	14
Tabelle 2: U_w für Fenster mit unterschiedlicher energietechnischer Qualität.....	34
Tabelle 3: statistische Auswertungen: Regressionskoeffizienten, Datenbasis, Bestimmtheitsmaß, Standardfehler, p-Value	68
Tabelle 4: statistische Auswertungen: Schätzwerte und Konfidenzintervalle für die Regressionskoeffizienten.....	70
Tabelle 5: Auswertung Vergleichsstudien, Vollkosten, Teil 1	93
Tabelle 6: Auswertung Vergleichsstudien, Vollkosten, Teil 2	94
Tabelle 7: Auswertung Vergleichsstudien, Vollkosten, Teil 3	95
Tabelle 8: Auswertung Vergleichsstudien, energiebedingte Mehrkosten, Teil 1	96
Tabelle 9: Auswertung Vergleichsstudien, energiebedingte Mehrkosten, Teil 2	97
Tabelle 10: mittlere Abweichungen der Kostenkennwerte der Vergleichsstudien zur hier vorliegenden Studie	98
Tabelle 11: Koeffizienten für die Kostenfunktionen (Schätzwerte, niedrige Kosten, hohe Kosten) sowie Geltungsbereiche	112
Tabelle 12: spezifische Kosten - Schätzwert, niedrige Kosten, hohe Kosten, Geltungsbereiche.....	113

Aufgabenstellung

Die energietechnischen Anforderungen beim Neubau und bei der Modernisierung von Wohngebäuden sind in der Energieeinsparverordnung (EnEV) definiert. Die EnEV basiert als Verordnung auf dem Energieeinspargesetz, das in § 5 ein Wirtschaftlichkeitsgebot enthält. Dieses Wirtschaftlichkeitsgebot ist eine wesentliche Rahmenbedingung für die in der EnEV Anlage 3 formulierten „bedingten Anforderungen“ an die energietechnische Modernisierung und besagt, dass diese Mindestanforderungen „wirtschaftlich vertretbar“ sein müssen. Ein Beispiel: Die Anforderung der EnEV an die nachträgliche energetische Modernisierung einer Außenwand greift nur unter den Prämissen, dass die Außenwand vor Modernisierung energietechnisch sehr schlecht ist ($U_w > 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und gleichzeitig auch der Außenputz großflächig erneuert werden muss. Dieser Ansatz entspricht dem sogenannten Kopplungsprinzip: „Wenn schon – denn schon“. Dies bedeutet vereinfacht: Wenn ohnehin saniert werden muss, dann auch richtig. Dieser Ansatz über die „bedingten Anforderungen“ birgt systematisch das Problem der Zuordnung der anfallenden Kosten in sich: Welcher Anteil der „Vollkosten“ ist im Rahmen des Kopplungsprinzips einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung der Fassade zuzuordnen und welcher Anteil entspricht den „energiebedingten Mehrkosten“, d. h. den Kosten, die zusätzlich durch die nachträgliche energetische Modernisierung entstehen.

Die Frage der Wirtschaftlichkeit

Für die Beurteilung der „wirtschaftlichen Vertretbarkeit“ energiesparender Maßnahmen bei der energetischen Modernisierung ist somit die Frage zu beantworten: Wie hoch sind die zusätzlichen Kosten für die energetische Modernisierung, und in welchem Verhältnis stehen diese zusätzlichen Kosten zu den eingesparten Energiekosten. Diese Frage wird in der Fachwelt und der Politik, aber auch bei potenziellen Investoren, sehr kontrovers diskutiert – auch wegen fehlender statistisch abgesicherter Grundlagen für die Bestimmung der Kosten. Gesicherte Aussagen zu den Kosten energiesparender Maßnahmen und deren Wirtschaftlichkeit sind jedoch nicht nur vor dem Hintergrund der oben dargestellten ordnungspolitischen Entscheidungen relevant, sondern auch wichtig für Investoren als diejenigen, die entsprechende Maßnahmen finanzieren und refinanzieren müssen. Verbesserte Planungssicherheit führt zu besserer Kalkulierbarkeit, damit zu geringerem Risiko und letztlich zu verstärkten Investitionen in energiesparende Maßnahmen.

Ziele des Vorhabens

Die übergeordneten Ziele des Vorhabens sind, mehr Transparenz in die kontroverse Diskussion der Kosten, der energiebedingten Mehrkosten und der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen zu bringen, durch höhere Planungssicherheit verstärkt Investitionen in energiesparende Maßnahmen im Gebäudebestand auszulösen, somit die Zahl der Sanierungsmaßnahmen zu erhöhen und letztlich einen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen zu leisten.

Förderhinweis

Das Vorhaben wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit gefördert.



Zusammenfassung

Auf Basis abgerechneter Bauvorhaben liefert die Studie statistisch abgesicherte Kostenfunktionen für die Vollkosten und die energiebedingten Mehrkosten für Maßnahmen zur energietechnischen Modernisierung von Wohngebäuden im Bestand. Damit stellt die Studie wichtige Eingangsdaten zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen an Wohngebäuden zur Verfügung.

Datenbasis

Die Ergebnisse beruhen auf der Auswertung von gewerkebezogenen Kostenfeststellungen an insgesamt 1177 Wohngebäuden, davon 784 Ein- und Zweifamilienhäuser. Mit 669 bzw. 57 % stammt die Mehrzahl der ausgewerteten Kostenfeststellungen aus Gebäuden bis 300 m² Wohnfläche. Insgesamt wurden für die Kostengruppe 300 (Wärmedämmung / Fenster) Maßnahmen mit einer Fläche von 264543 m² berücksichtigt. Das Investitionsvolumen beträgt 41,4 Mio. €. In der Kostengruppe 400 (Heizung / Lüftung) wurden 924 Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von 16,0 Mio. € ausgewertet. Insgesamt enthält die Datenbank ausgewertete Kostenfeststellungen im Umfang von mehr als 60 Mio. €.

Kostenfunktionen

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

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

Über Regressionsanalysen wurden die Regressionskoeffizienten der Kostenfunktionen für die Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen abgeleitet. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde durch weitergehende statistische Auswertungen überprüft und abgesichert. Mit den Regressionskoeffizienten können statistisch abgesicherte Schätzwerte für „typische“ Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten bestimmt werden. Dabei müssen zwei wesentliche Ergebnisse der Auswertungen berücksichtigt werden:

- In der Regel ist der unmittelbare Zusammenhang zwischen der energetischen Qualität einer Maßnahme und den abgerechneten Kosten gering. D. h., offensichtlich werden die Kosten der Maßnahmen wesentlich durch Faktoren bestimmt, die ursächlich nicht im Zusammenhang mit der Verbesserung der energetischen Qualität stehen. Dies bedeutet, dass energiesparendes Bauen nicht unbedingt zu hohen Kosten führen muss.
- Die Streuung der Kosten für die ausgewerteten Maßnahmen in der Regel groß. Dies bedeutet, dass im 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.

Typische Kosten vor dem Hintergrund der EnEV

Die Einteilung in Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten erfolgt entsprechend der Zielsetzung der Studie vor dem Hintergrund der bedingten Anforderungen der EnEV, für die das Wirtschaftlichkeitsgebot nach dem Energieeinspargesetz erfüllt sein muss: Die bedingten Anforderungen müssen auf der Basis durchschnittlicher Kosten und unter Beachtung des Kopplungsprinzips wirtschaftlich vertretbar sein. Die detaillierte Darstellung der Kostenstrukturen ermöglicht es jedoch, von dieser Systematik abzuweichen und im Einzelfall die Zuordnung zu modifizieren. Dies könnte z. B. für den Fall der vorzeitigen energietechnischen Modernisierungen einer Fassade erforderlich werden.

Typische Kosten für Portfolioanalysen

Die über die Kostenfunktionen ermittelten Schätzwerte können im Kontext von Portfolioanalysen in Wohnungsunternehmen genutzt werden mit dem Ziel, typische Kosten und energiebedingte Mehrkosten bei der energietechnischen Modernisierung von größeren Gebäudebeständen abzubilden. Die Kostenfunktionen können hierfür über Regionalfaktoren an die örtliche Situation angepasst werden.

Kostenbereiche in der Energieberatung

Für den Einzelfall der objektbezogenen Energieberatung werden die nach den Kostenfunktionen ermittelten typischen Kosten dagegen praktisch nie zutreffen. Vielmehr werden die Kosten im Einzelfall in einem mehr oder weniger großen Bereich um diese typischen Kosten liegen. Daher werden in der Studie Koeffizienten zur Bestimmung von Kostenbereichen (niedrige / hohe Kosten) angegeben. Im Kontext der objektbezogenen Energieberatung ist dieser Aspekt wichtig, weil als Ergebnis Kostenbereiche genannt werden können, in denen die Kosten vermutlich liegen werden.

Geltungsbereich

Ziel der Studie war, einen möglichst repräsentativen Querschnitt typischer Kosten solcher energiesparenden 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.

Abstract

This study presents typical investment costs of energy saving measures as a basis for the evaluation of the economical efficiency of actual and future standards for the energetic refurbishment of the residential building stock in Germany.

The results base on the analysis of investment costs of energy saving measures in 1177 projects; among these 784 single family houses. Most of the projects (57 %) have a living area less than 300 m². The overall area of measures in the thermal envelope of the building (thermal insulation, windows) is 264.543 m², the total amount invested is up to € 41.4 million. 924 heating and ventilation systems were evaluated with an amount invested up to € 16.0 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, district heating)
- Exhaust ventilation systems

Functions of full costs as well as for additional costs were developed by the method of regression analysis. With these functions “typical” costs of energy saving measures can be estimated. In addition to this a range of low costs to high costs was defined. This range of costs should be used in the context of individual energy consulting. The statistical significance of the results was tested by further statistical evaluations. 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 cannot 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.

Furthermore the functions were included into a calculation - tool. This tool offers the economical assessment of different energy saving measures. It is possible to investigate the influence of different parameters to the result of the economical assessment.

1 Datenbasis

Entsprechend der Aufgabenstellung wurden als Datenbasis ausschließlich abgerechnete Projekte aus dem Bereich der energietechnischen Modernisierung von Wohngebäuden herangezogen. Es wurden keine Kostenschätzungen oder Kostenvoranschläge berücksichtigt. Die Daten für die Auswertungen stammen aus drei Quellen:

- **Primärdaten – KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“**

Die Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen in Wohngebäuden stellt einen wichtigen Baustein in der deutschen Energie- und Klimaschutzpolitik der letzten Jahre dar, wobei die KfW Bankengruppe als Förderbank des Bundes und der Länder eine zentrale Rolle einnimmt. Das in diesem Zusammenhang wichtigste Produkt der KfW ist das Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“, über das energiesparende Modernisierungsvorhaben mit dem Ziel der Reduktion von Treibhausgasen gefördert werden. Dabei werden sowohl Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen als auch Gesamtpakete zur Erreichung eines der verschiedenen KfW-Effizienzhausstandards gefördert. 2012 neu hinzugekommen ist der Förderstandard „KfW - Effizienzhaus Denkmal“, der für Baudenkmäler und besonders erhaltenswerte Bausubstanz in Anspruch genommen werden kann.

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. Förderfähig sind die durch die energetischen Maßnahmen unmittelbar bedingten Kosten, einschließlich der Beratungs- und Planungsleistungen sowie Kosten für notwendige 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.

Für das Forschungsvorhaben hat das IWU Kostenfeststellungen zu energiesparenden Maßnahmen in 896 von der KfW im Programm "Energieeffizient Sanieren" geförderten Wohngebäuden ausgewertet.

- **Primärdaten – weitere Förderprogramme**

Aus Förderprogrammen von Energieagenturen konnten Kostenfeststellungen zu Maßnahmen in weiteren 232 Wohngebäuden in die Datenbank eingelesen werden. Der regionale Schwerpunkt dieser Förderprogramme lag im Raum Hannover sowie in der Region um Mannheim.

- **Primärdaten – private Ingenieurbüros**

Als Ergänzung zu den genannten Quellen wurden weitere Kostenfeststellungen durch private Ingenieurbüros zur Verfügung gestellt. Dabei lag der Schwerpunkt der ausgewerteten Maßnahmen bei der Dämmung der obersten Geschossdecke mit Schütt- bzw. Einblasdämmstoffen. Aus diesen Datenquellen wurden Kostenfeststellungen zu 49 geförderten Projekten ausgewertet.

Bewertung der Datenbasis

Die Datenbasis der Studie beruht im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen aus dem KfW Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ ab dem Jahr 2011 und damit auf aktuellen Projekten aus dem bundesweiten Breiten-Förderprogramm. Diese Datenbasis wurde ergänzt um Kostenfeststellungen aus regionalen Förderprogrammen. Dabei wurden vorwiegend Maßnahmen gefördert und ausgewertet, die erprobt und am Markt eingeführt sind. Die Datenbasis kann als typisch für die Kosten energiesparender Maßnahmen im Bestand angesehen werden. Die Ergebnisse beruhen auf der Auswertung von Maßnahmen aus insgesamt 1177 Wohngebäuden; davon sind 784 der Gebäude Ein- und Zweifamilienhäuser. Mit 669 Gebäuden stammt die Mehrzahl der ausgewerteten Kostenfeststellungen aus Gebäuden bis 300 m² Wohnfläche.

Nach Durchsicht dieser Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass die Maßnahmen teilweise auf Basis fehlender oder unzureichender Ausschreibungen durchgeführt und abgerechnet wurden. Andererseits gab es aber auch Projekte, die auf Basis einer detaillierten Ausschreibung abgerechnet wurden. Dieses heterogene Bild 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 energiesparenden 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 dem Passivhausstandard übertragen werden.

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 25 % bei Heizungs- und Solaranlagen) nicht berücksichtigt.

Baupreisindex

Der Preisstand der Studie ist das 1. Quartal 2015. 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 alle Veränderungen der Produktivität sowie der Gewinnmargen des Bauunternehmens ein. Der Baupreisindex wird quartalsweise vom Deutschen Statistischen Bundesamt veröffentlicht.

Honorare für Architekten und Energieberatungsleistungen sind dagegen nicht Bestandteil des Baupreisindex. Vereinfachend wurden diese im Rahmen der Studie jedoch mit dem Baupreisindex auf den Stand 1. Quartal 2015 umgerechnet.

Regionalfaktoren

Alle Primärdaten sind über Regionalfaktoren aus dem Jahr 2014 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 maximal 1,45 (München) und minimal 0,70 (Landkreis Nienburg Weser).

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 zu einer geringeren Streuung der Ergebnisse.

Räumliche Verteilung der ausgewerteten Projekte

Die Kostenfeststellungen wurden unsystematisch aus der Datenbank der KfW ausgelesen und anonymisiert ausgewertet. Diese Daten sind ergänzt um weitere Kostenfeststellungen vor allem aus den Förderprogrammen in den Regionen Hannover und Mannheim. Abbildung 1 zeigt die räumliche Verteilung der ausgewerteten Projekte in Deutschland.

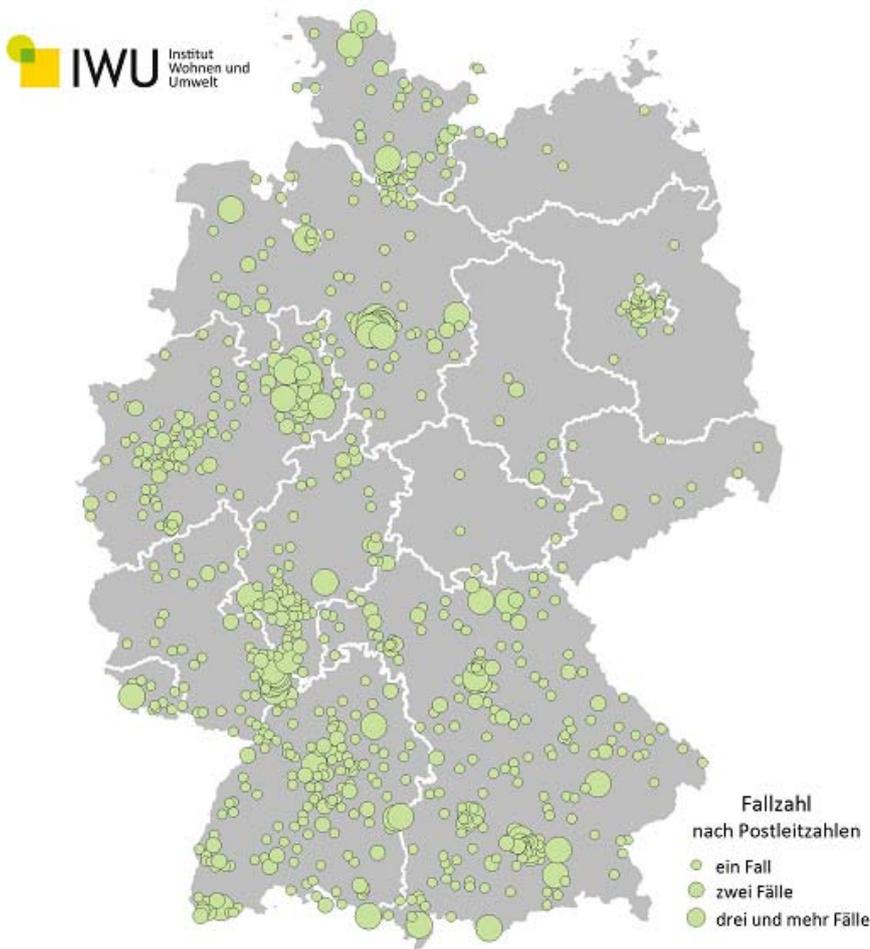


Abbildung 1: Räumliche Verteilung der ausgewerteten Kostenfeststellungen

Umfang der Datenbank

Tabelle 1 zeigt die für die Auswertungen genutzte Datenbasis. Insgesamt wurden für die Kostengruppe 300 (Wärmedämmung / Fenster) 2124 Kostenfeststellungen für Maßnahmen mit einer Fläche von 264543 m² berücksichtigt. Das Investitionsvolumen beträgt ca. 41,4 Mio. €. In der Kostengruppe 400 (Heizung / Lüftung) wurden 1454 Kostenfeststellungen für Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von 18,9 Mio. € ausgewertet. Insgesamt enthält die Datenbank ausgewertete Kostenfeststellungen im Umfang von 60,4 Mio. €.

	Maßnahmen [n]	Elemente [n]	[m ² Bt]	[m ² Wf]	Invest [€]
Fenster	1.125	10.863	26.530	0	9.594.178
Rolläden	96	834	2.072	0	430.201
Außenwand	346	346	103.836	0	13.651.780
Kellerdecke	141	141	20.912	0	941.049
oberste Geschossdecke	149	149	36.671	0	1.611.712
Flachdach	86	209	38.427	0	7.169.462
Steildach	148	148	36.095	0	8.044.992
Heizanlagen	735	0	0	154.633	11.728.787
Lüftungsanlagen	189	0	0	25.663	4.247.119
Gerüste	302	0	0	306.634	1.795.760
Energieberatung & Architekten	228	0	0	232.480	1.201.576
Summe	3.545	12.690	264.543	719.410	60.416.615

Tabelle 1: Umfang der ausgewerteten Projekte in der Datenbank

2 Kosten und Kostenfunktionen – baulicher Wärmeschutz

Die folgenden Abbildungen zeigen die im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandhaltung bzw. Modernisierung entstehenden Kosten und zusätzlichen energiebedingten Mehrkosten als Folge zusätzlicher energiesparender Maßnahmen.

Kopplungsprinzip als Prämisse

Bei der Differenzierung geht die Studie systematisch vom sogenannten Kopplungsprinzip aus: Maßnahmen zur Energieeinsparung werden nur dann ergriffen, wenn an einem Bauteil oder der Heizungsanlage aus Gründen der Bauinstandhaltung bzw. Verkehrssicherungspflicht größere Maßnahmen erforderlich werden. Dies entspricht der Systematik der bedingten Anforderungen der EnEV und bedeutet z. B. für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem, dass die angesetzten Kosten unter der Prämisse einer ohnehin anstehenden größeren Putzsanierung zugeordnet werden. Unter dieser Prämisse sind die Kosten für einen Grund- und Deckputz im Rahmen der Instandhaltung ohnehin erforderlich und somit keine energiebedingten Mehrkosten. Im Falle einer vorzeitigen Modernisierung einer Außenwand mit einem weitestgehend intakten Deckputz ändert sich dies jedoch. Die Kosten für den Grund- und Deckputz im neuen Wärmedämmverbundsystem sind nun als energiebedingte Mehrkosten anzusetzen.

Entsprechendes gilt für die Aufteilung von Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten auch für Maßnahmen im Steildach / Flachdach. Diese Zuordnung der Kosten kann einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen haben und wird immer wieder kontrovers diskutiert. Vor diesem Hintergrund 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 als „x“ dokumentiert.

Brutto

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

Äquivalente Dämmdicke

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

Kostenfunktion

Als ein wesentliches Ergebnis sind in den folgenden Grafiken lineare Kostenfunktionen der Form $y(x) = a \cdot x + b$ für die spezifischen Vollkosten bzw. die spezifischen energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen über der äquivalenten Dämmdicke x dargestellt. Der erste Term der Kostenfunktion beschreibt als Steigung a die linear zuwachsenden Kosten je cm Dämmstoff [$\text{€}/\text{cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$]. Diese Kosten sind von der energetischen Qualität der Maßnahme (äquivalente Dämmdicke) abhängig. Die Konstante b [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] beschreibt die Fixkosten, die im Zuge einer Modernisierung unabhängig von der äquivalenten Dämmdicke anfallen¹.

Die Kostenfunktionen werden auf Basis der kleinsten Fehlerquadrate bestmöglich an die Streudiagramme (Punktwolken) angepasst. Dazu wird für jeden Punkt der Punktwolke eines Diagramms das Quadrat der Differenz zwischen dem für diesen Punkt nach Kostenfunktion erwarteten y -Wert und dem tatsächlichen y -Wert aus der Punktwolke berechnet. Iterativ wird die Kostenfunktion so optimiert, dass die Residualquadratsumme ein Minimum erreicht.

Bestimmtheitsmaß

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

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

Bezugsfläche

Die Bezugsfläche für die linearen Kostenfunktionen ist immer die Bauteilfläche.

¹ Hiervon abweichend wird für Fenster eine Kostenfunktion als Potenzialfunktion abgeleitet, wie einleitend zu Kapitel 3 beschrieben.

2.1 Außenwand

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem mit Dämmstoff Polystyrol (Basis: n = 268 Kostenfeststellungen) und Mineralfaser (Basis: n = 49 Kostenfeststellungen). Dargestellt sind die Vollkosten der Maßnahmen [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] sowie die gemeinsame Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit den unterschiedlichen Dämmstoffen. Ergänzend enthält Abbildung 2 auch die Kosten für den Dämmstoff und das Verkleben des Dämmstoffs (keine Trennung in Polystyrol und Mineralfaser) in der Fassadenfläche ohne weitere Nebenarbeiten oder Anschlüsse (n = 177). Als dritte Punktwolke zeigt Abbildung 2 die Kosten für eine nachträgliche Kerndämmung in zweischaligen Wänden (Basis: n = 29 Kostenfeststellungen).

Basis der Auswertung sind ausschließlich in sich schlüssige und vollständige Kostenfeststellungen. Jedoch wurden solche Kostenfeststellungen nicht übernommen, 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 zu untypischen Kosten führten. Sehr niedrige Vollkosten ergeben sich zum Teil auch bei Kostenfeststellungen, in denen zwar die einzelnen Positionen auf der Basis einer Leistungsbeschreibung detailliert aufgeführt sind, schließlich aber die Gesamtleistung „pauschal“ berechnet wird. Auch diese Projekte wurden für die Auswertung nicht übernommen.

Bezugsfläche

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. 8 % der in den Kostenfeststellungen ausgewiesenen Fläche für die Wärmedämmverbundsysteme.

Bei Energiebilanzberechnungen werden dagegen die tatsächlichen Flächen der thermischen Hülle berücksichtigt. Da die hier vorgestellten Ergebnisse als eine Grundlage für Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Zusammenhang mit Energiebilanzberechnungen genutzt werden sollen, sind die unten dargestellten spezifischen Kosten auf diese um 8 % kleinere tatsächlich gedämmte Fläche bezogen. Durch diesen Bezug auf die tatsächliche Wandfläche lassen sich die Kostenangaben unmittelbar für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Beurteilung energiesparender Maßnahmen nutzen.

Berücksichtigte Kosten

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

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 für neue Balkongeländer, dem Anstrich von Dachüberständen, Balkondecken 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 (separate Auswertung) und die oberseitige nachträgliche Dämmung von Böden auf Balkonen und Loggien. Nicht berücksichtigt sind zudem die Kosten für neue Balkonanlagen, die im Zuge einer Modernisierung z. B. als thermisch getrennte, vorgeständerte Konstruktionen errichtet werden.

Für die nachträgliche Kerndämmung wurden alle in den zugehörigen Kostenfeststellungen ausgewiesenen Positionen wie z. B. für Vor- / Nachuntersuchungen, Kosten für Bohrungen und deren Verschluss bzw. Abdichtung, die Verarbeitung des Dämmmaterials, Fahrtkostenpauschalen und Erschwerniszulagen erfasst.

Kostenfunktion – Wärmedämmverbundsystem

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

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

Kostenfunktion – Dämmstoff in der Fläche

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 für die Dämmstoffe Polystyrol und Mineralfaser angegeben. Dies sind Arbeiten, die im Zuge einer energietechnischen Modernisierung immer anfallen. Die in rot dargestellte Kostenfunktion hat einen Fixkostenanteil von 11,63 €/m²_{Bauteil} und zuwachsende Kosten von 1,11 €/cm_{Dämmstoff}/m²_{Bauteil}. Diese Kosten sind deutlich geringer als die zuwachsenden Kosten für das Wärmedämmverbundsystem von 2,81 €/cm_{Dämmstoff}/m²_{Bauteil}.

Da diese Arbeiten präziser definiert sind als die umfangreichen Maßnahmen für eine vollständiges Wärmedämmverbundsystem, ist erwartungsgemäß auch das Bestimmtheitsmaß mit R² ≈ 0,22 im Vergleich größer, wenn auch noch immer klein.

Vergleich der Kostenfunktionen

Die unterschiedliche Steigung der Kostenfunktion belegt die These, dass mit höherer Dämmdicke auch umfangreichere Nebenarbeiten erforderlich werden: Bei höheren Dämmdicken 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 von Balkonen oder dem Abstemmen von Fensteranschlügen u.a.m. Diese Kosten sind in der Systematik der Studie dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet und zeigen sich in der überproportional großen Steigung der Kostenfunktion.

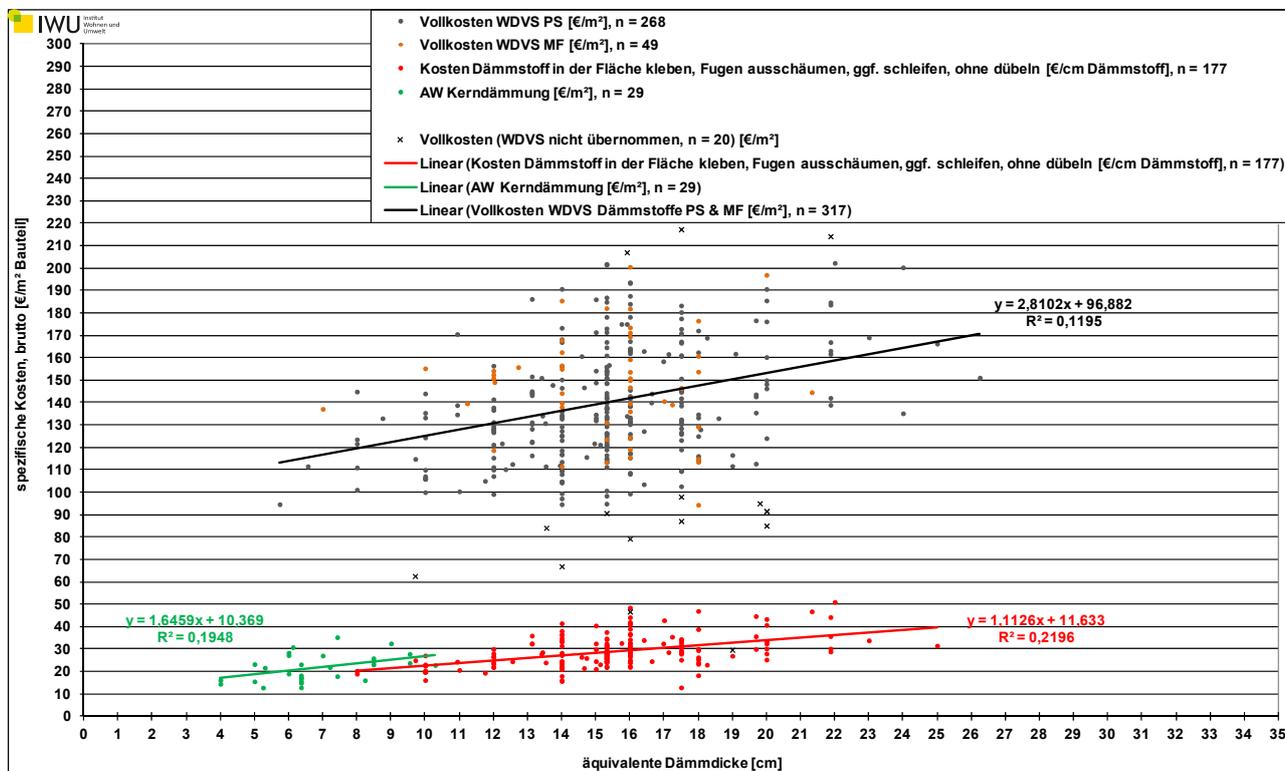


Abbildung 2: spezifische Kosten und Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem sowie mit einer nachträglichen Kerndämmung

Nicht ausgewertete Kostenfeststellungen

In Abbildung 2 sind zudem solche Kostenkennwerte als "x" abgebildet, die z. B. wegen sehr umfangreicher Stuckarbeiten auf der Fassade oder umfassender Kellerabdichtungen ungewöhnlich hoch waren. Mit einem "x" abgebildet sind auch sehr niedrige Kennwerte aus Kostenfeststellungen, in denen zwar die einzelnen Positionen detailliert aufgeführt sind, schließlich aber die Gesamtleistung "pauschal" berechnet wurde. Die als "x" gekennzeichneten Kennwerte wurden für die Ableitung der Kostenfunktionen nicht übernommen, zur Dokumentation aber in der Abbildung wiedergegeben.

Kostenfunktion – Kerndämmung

Die in Abbildung 2 in grün dargestellte Gerade zeigt als dritte Kostenfunktion die Kosten für nachträgliche Kerndämmungen in zweischaligen Außenwänden. Die mit dieser Maßnahme erreichbaren äquivalenten Dämmdicken liegen nach den ausgewerteten Projekten bei maximal 10 cm. Dieser Wert erscheint jedoch angesichts der zu erwartenden baulichen Situationen in zweischaligen Konstruktionen im Wohngebäudebestand als relativ hoch, fast unrealistisch. Es ist daher nicht auszuschließen, dass die entsprechenden Kostenfeststellungen unzutreffende Angaben enthalten. Dennoch wurden diese Kostenfeststellungen in die Auswertung mit übernommen. Ausgehend von einem Fixkostenbetrag von $10,37 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ steigen die Kosten mit $1,65 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff/m}^2_{\text{Bauteil}}}$. Für eine 6 cm dicke Kerndämmung resultieren hieraus etwa 20 €/m^2 Bauteil.

Nach den umfangreichen Erfahrungen der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, Kiel, liegen die ausgewerteten Kosten für Kerndämmungen in EFH aktuell in einem Bereich von 17 €/m^2 bis 32 €/m^2 für 4 cm bis 6 cm Dämmung ($0,035 \text{ W/(mK)}$ bis $0,04 \text{ W/(mK)}$). Der Medianwert beträgt 24 €/m^2 . Damit liegen von der ARGE ermittelten Kosten mindestens 4 €/m^2 über den Kosten nach der vorliegenden Kostenstudie.

Einzelanalyse – Wärmedämmverbundsystem

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

- 17,5 cm Dämmung für 109 €/m^2 : In den detaillierten Kostenfeststellungen zu diesem Projekt sind keine Kosten steigernden Nebenarbeiten für das Wärmedämmsystem ausgewiesen. Zudem werden sehr niedrige Kosten von lediglich $12,88 \text{ €/m}^2_{\text{Dämmstoff}}$ für das Kleben des Dämmstoffs (16 cm / WLG 032) in der Fläche angegeben. Damit erscheinen die sehr niedrigen spezifischen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem in diesem Zweifamilienhaus mit 250 m^2 Wohnfläche plausibel.
- 12 cm Dämmung für 149 €/m^2 : Die überdurchschnittlichen Kosten für die Dämmung der Außenwand in diesem Einfamilienhaus mit 100 m^2 Wohnfläche lassen sich aus der Kostenfeststellung erklären: Im Rahmen der Vorarbeiten für die Dämmung wurden auf einer Fläche von 147 m^2 vorhandene Eternitplatten mit einer Mineralfaserdämmung zwischen einer Lattung abgebrochen und zu hohen Kosten entsorgt, wobei die asbesthaltigen Eternitplatten als Sondermüll eingestuft wurden.

- 15 cm Dämmung für 186 €/m²: Bei diesem Gebäude mit 146 m² Wohnfläche und 191 m² gedämmter Fläche musste der Dachüberstand an Ortgang und Traufe verlängert werden. Zudem wurde die vorhandene Eingangsüberdachung abgerissen und im Zuge der Modernisierung durch eine neue Holz- / Glaskonstruktion ersetzt. Die Kosten für die neue Überdachung betragen etwa 15 % der Gesamtkosten und tragen wesentlich zu den überdurchschnittlich hohen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem bei.
- 16 cm Dämmung für 172 €/m²: Bei diesem Gebäude mit 255 m² Wohnfläche wurden über insgesamt 218 laufende Meter vorhandene Fensteranschlüsse zur Vermeidung von Wärmebrücken abgeschlagen bzw. abgeschnitten. Weiter wurden insgesamt 21 systemgerechte Montageplatten für Verankerung von Lampen und Markisen montiert. Zudem waren die Kosten für das Verlegen und Dübeln (Thermodübel) des Dämmstoffs in der Fläche (MF, 16 cm, WLG 035) mit 48,5 €/m² (netto) relativ hoch. Diese Summe dieser Maßnahmen begründen die relativ hohen spezifischen Kosten für das Wärmedämmverbundsystem.
- 15 cm Dämmung für 138 €/m²: Bei diesem Mehrfamilienhaus mit 1069 m² Wohnfläche wurden umfangreiche Dämmarbeiten im Bereich von Loggien mit hochwertigem Dämmstoff ausgeführt. Die relativ niedrigen Kosten für das Verlegen des Dämmstoffs auf der großen Fassadenfläche wurden durch die relativ hohen Kosten für die Dämmung der Loggien wieder ausgeglichen. In der Summe resultieren Kosten, die sehr nahe bei den geschätzten Kosten entsprechend der Kostenfunktion liegen.

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.

- Kosten aus ohnehin erforderlichen Maßnahmen zur 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 Balkongeländer, Fenstergitter oder für neue Fallrohre. Zudem entstehen Kosten für den Deckputz im Sockelbereich und auf der Fassade und den Fensterleibungen mit allen Nebenarbeiten und Zulagen. Als ohnehin erforderlich werden auch die Kosten für die Erneuerung von Vordächern angesehen.

Die in Abbildung 3 ausgewiesenen Kosten von durchschnittlich 46 €/m²_{Bauteil} sind im Zuge einer baulichen Instandsetzung ohnehin erforderlich und weitgehend unabhängig von einer eventuell an diese Instandsetzung gekoppelte Modernisierung mit einem Wärmedämmverbundsystem.

- Zusätzliche Kosten für das Wärmedämmverbundsystem von durchschnittlich $62 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ resultieren aus dem Dämmstoff (Material), dem Verlegen des Dämmstoffs (kleben, schäumen, schleifen) sowie allen Nebenarbeiten für das Wärmedämmverbundsystem wie z. B. die Dämmung im Sockelbereich, im Bereich von Loggien oder Fensterleibungen, den Sockelschienen, dem Dübeln des Dämmstoffs, aus eventuell erforderlichen Brandschutzausbildungen, systemgerechten Fensterbänken, dem evtl. erforderlichen Verlängern von Dachüberständen sowie aus allen zusätzlichen Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken und kleineren Nebenarbeiten wie z. B. dem Verlängern von Elektroanschlüssen.
- Grundputz und Armierung: Sowohl für das Wärmedämmverbundsystem als auch bei einer umfangreichen Putzinstandsetzung ist ein Grundputz erforderlich, der bei der Putzinstandsetzung im Altbau in der Regel auch armiert sein muss. Bei den hier ausgewerteten Kostenfeststellungen zu Wärmedämmverbundsystemen kostet dieser armierte Grundputz auf Fassade und Fensterleibungen durchschnittlich 31 €/m^2 . Auf Basis der Auswertungen aus dem BKI-Kostenplaner resultieren Kosten für einen entsprechenden armierten Grundputz im Altbau im Zuge einer Putzinstandsetzung zwischen $22 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bis zu $48 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Der armierte Grundputz in der Altbausanierung ist damit häufig teurer als der armierte Grundputz für das Wärmedämmverbundsystem. In einer ersten Näherung können diese Kosten gegeneinander verrechnet werden: Es entstehen somit keine Mehrkosten aus dem Grundputz bei der Putzinstandsetzung gegenüber dem Wärmedämmverbundsystem.

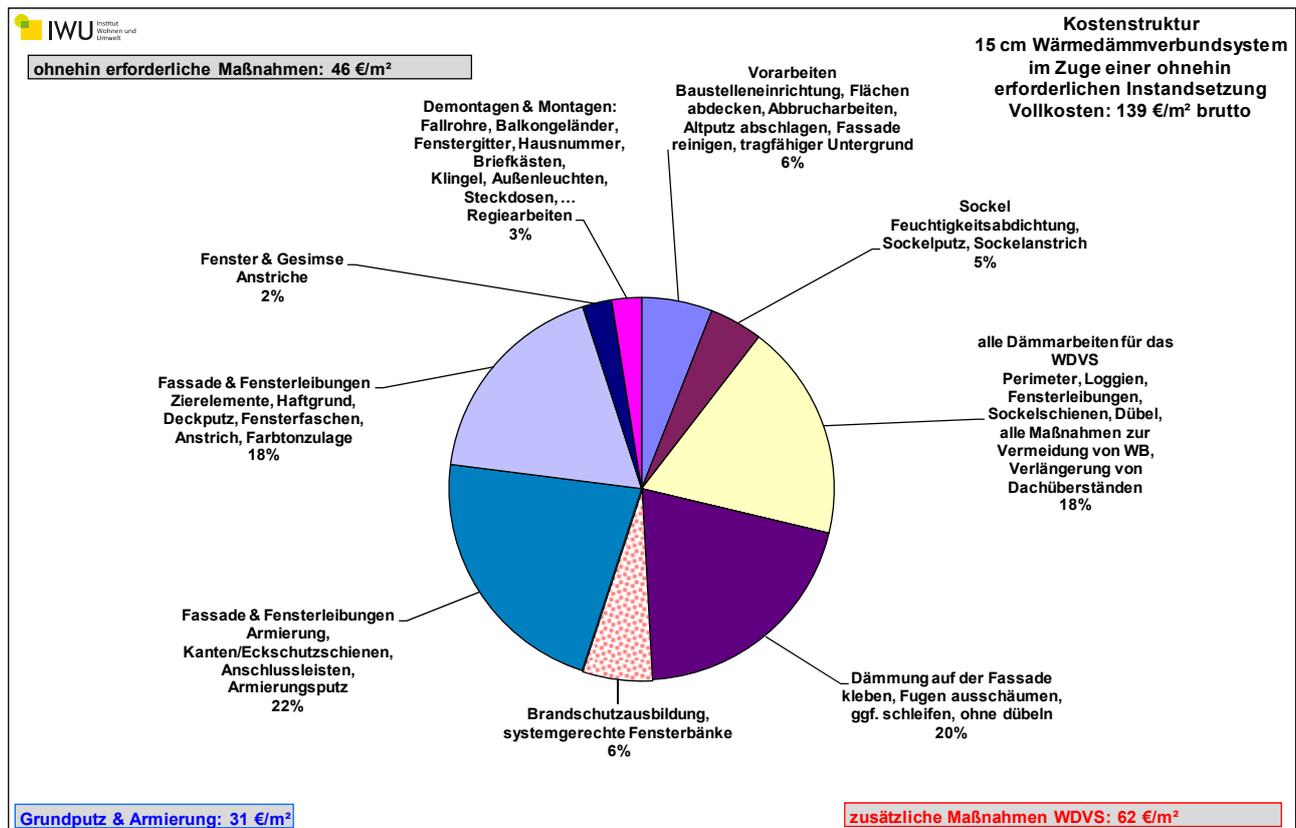


Abbildung 3: Kostenstruktur für ein Wärmedämmverbundsystem mit 15 cm Dämmung bei der energietechnischen Modernisierung einer Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung

Energiebedingte Mehrkosten – Wärmedämmverbundsystem

Wird eine Fassade im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung mit einem Wärmedämmverbundsystem gedämmt, dann entstehen mit jedem cm Dämmstoff zuwachsende energiebedingte Kosten von $2,81 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ 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 $8,14 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Diese Kosten sind energiebedingte Mehrkosten. Hinzu kommen, entsprechend der Kostenfunktion, weitere Fixkosten von etwa $11,63 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für z. B. das Verkleben, gegebenenfalls das Ausschäumen von Fugen und Schleifen des Dämmstoffs. Damit kann in der Summe mit Fixkosten von $19,77 \text{ €/m}^2$ für das Wärmedämmverbundsystem gerechnet werden.

Damit betragen die zuwachsenden energiebedingten Mehrkosten für eine nachträgliche Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem im Zuge einer ohnehin erforderlichen baulichen Instandsetzung $2,81 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$. Zusätzlich entstehen von der Dämmdicke unabhängige Fixkosten von $19,77 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Ohnehin erforderliche Kosten

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

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

Energiebedingte Mehrkosten – Kerndämmung

Für die nachträgliche Kerndämmung einer Außenwand entstehen zuwachsende Kosten von $1,65 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$. Die von der Dämmdicke im Wesentlichen unabhängigen Fixkosten betragen $10,37 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Diese Kosten sind vollständig als energiebedingte Mehrkosten anzusehen.

Dabei muss erwähnt werden, dass die zur Verfügung stehende Datenbasis kritisch zu beurteilen ist. Die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, Kiel, kommt auf Basis umfangreicherer ausgewerteter Kostenfeststellungen zu mindestens $4 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ höheren Kosten.

2.2 Kellerdecke

Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Auswertungen für die nachträgliche unterseitige Dämmung einer Kellerdecke ohne zusätzliche Bekleidung als Schutz vor mechanischer Beschädigung für die Dämmstoffe Polystyrol ($n = 54$), Mineralfaser ($n = 13$) und Polyurethan ($n = 20$). Dargestellt sind die spezifischen Vollkosten [$\text{€}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$] und die als blaue Linie dargestellte gemeinsame Kostenfunktion für die drei Dämmstoffe über der äquivalenten Dicke [cm]. Als schwarze Punktwolke für alle Dämmstoffe ($n = 29$) zeigt Abbildung 4 zudem die Kosten für unterseitige Dämmungen von Kellerdecken mit zusätzlichen Bekleidungen als Schutz vor mechanischen Beschädigungen. Zusätzlich zeigt Abbildung 4 auch die Kosten für die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke von oben durch Einblasen von Dämmstoff zwischen die Deckenbalken ($n = 24$) sowie die entsprechende Kostenfunktion.

Einige vorliegende Kostenfeststellungen waren im Detail nicht nachvollziehbar. So war z. B. 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. Um die Ergebnisse statistisch besser absichern zu können, wurde die vorliegende Datenbasis daher mit 32 Kostenfeststellungen aus der Vorgängerstudie [BMVBS; 2012] ergänzt.

Bezugsfläche

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

Äquivalente Dämmdicke

Bei der Berechnung der äquivalenten Dämmdicke für die oberseitige Dämmung der Kellerdecke zwischen den Bodenbalken wurde ein Holzanteil von 20 % berücksichtigt.

Berücksichtigte Kosten

Angegeben sind die Vollkosten der Maßnahmen inkl. dem Aus- und Einräumen von Kellern, dem Abdecken von Flächen, dem Vorbereiten des Untergrundes (Entfernen von losem Putz, loser Farbschichten, Grundieren, ...), der Kosten für eventuelle erforderliche Nebenarbeiten wie die Demontage und Wiedermontage von Einbauten oder Deckenleuchten mit entsprechenden wärme-gedämmten Dübeln oder auf entsprechenden gedämmten Montageplatten oder das u. U. erforderliche Kürzen von Türen oder Lattenverschlügen infolge der Dämmmaßnahmen.

Enthalten sind auch die Kosten für die zusätzliche Dämmung von Kellerinnenwänden, für das Ausschäumen von Randbereichen zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung sowie Kosten für das lückenfreie Anschließen von Durchdringungen wie Heizungs-, Abfluss- oder Elektroleitungen an die Dämmung. Berücksichtigt sind auch Kosten für Regiearbeiten, Kleinflächenzuschläge oder Erschwerniszuschläge z. B. infolge einer Vielzahl abgehängter Rohre und Leitungen.

Nach Durchführung der Maßnahme sind die Dämmplatten verklebt, gedübelt und geschliffen. Bei den „ohne Bekleidung“ deklarierten Maßnahmen ist eine Armierung des Dämmstoffs als verbesserter Schutz vor mechanischer Beschädigung oder eine andersartige Bekleidung nicht vorhanden.

Aus den Kostenfeststellungen ist nicht erkennbar, ob es sich bei der nachträglich gedämmten Decke um eine ebene oder gewölbte Decke handelt. Dies muss als eine wichtige Einschränkung bei der Nutzung der Kostenfunktionen angesehen werden, da über die Art der Decke (eben oder gewölbt) u. U. deutlich unterschiedliche Kostenniveaus definiert.

Bei den Einblasdämmungen zwischen den Deckenbalken sind neben den Kosten für die Dämmung selbst auch Fahrtkostenpauschalen oder auch die Kosten für das Herstellen der erforderlichen Einblasöffnungen, z. B. durch das Aufnehmen einzelner Bodendielen, sowie das Verschließen der Öffnungen sowie die Kosten für alle Nebenarbeiten berücksichtigt.

Kostenfunktion – unterseitig ohne Bekleidung

Wie in Abbildung 4 dargestellt, steigt die Kostenfunktion für die unterseitige Dämmung der Kellerdecke ohne zusätzlichen Schutz vor mechanischer Beschädigung mit $1,25 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$. Zusätzlich entstehen Fixkosten von $30,75 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für solche Maßnahmen, die unabhängig von der Dicke der Dämmung anfallen. Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktion beträgt $R^2 \approx 0,10$. 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, wie z. B. die Art der Decke (eben / gewölbt) oder die Größe der gedämmten Fläche.

Einzelanalyse

- Die in Abbildung 4 als Punkt dargestellte Kellerdeckendämmung mit 18,7 cm äquivalenter Dämmdicke für 32 €/m^2 wurde auf einer kleinen Fläche von lediglich 67 m^2 ausgeführt. Zudem wurden bei diesem Projekt zur Vermeidung von Wärmebrückeneffekten zusätzlich die oberen Abschlüsse der aufsteigenden Kellerwände gedämmt. Trotz dieser zusätzlichen Dämmung resultieren sehr niedrige Kosten.
- Dagegen wurde in dem Bauvorhaben mit 71 €/m^2 eine Kellerdecke von 104 m^2 ohne zusätzliche Bekleidung mit lediglich 8 cm gedämmt. Allerdings ist die Kellerdecke entsprechend den Angaben aus der Kostenfeststellung als Kappendecke ausgeführt.
- In dem Bauvorhaben mit Kosten von 63 €/m^2 wurde eine Kellerdecke von 58 m^2 ohne zusätzliche Bekleidung mit einer äquivalenten Dämmdicke von 8,7 cm in zwei Lagen gedämmt. Der Grund für die Dämmung in zwei Lagen ist aus der Kostenfeststellung nicht zu erkennen. Aus dem erhöhten Arbeitsaufwand sind jedoch die überdurchschnittlich hohen Kosten für diese Maßnahme zu erklären.

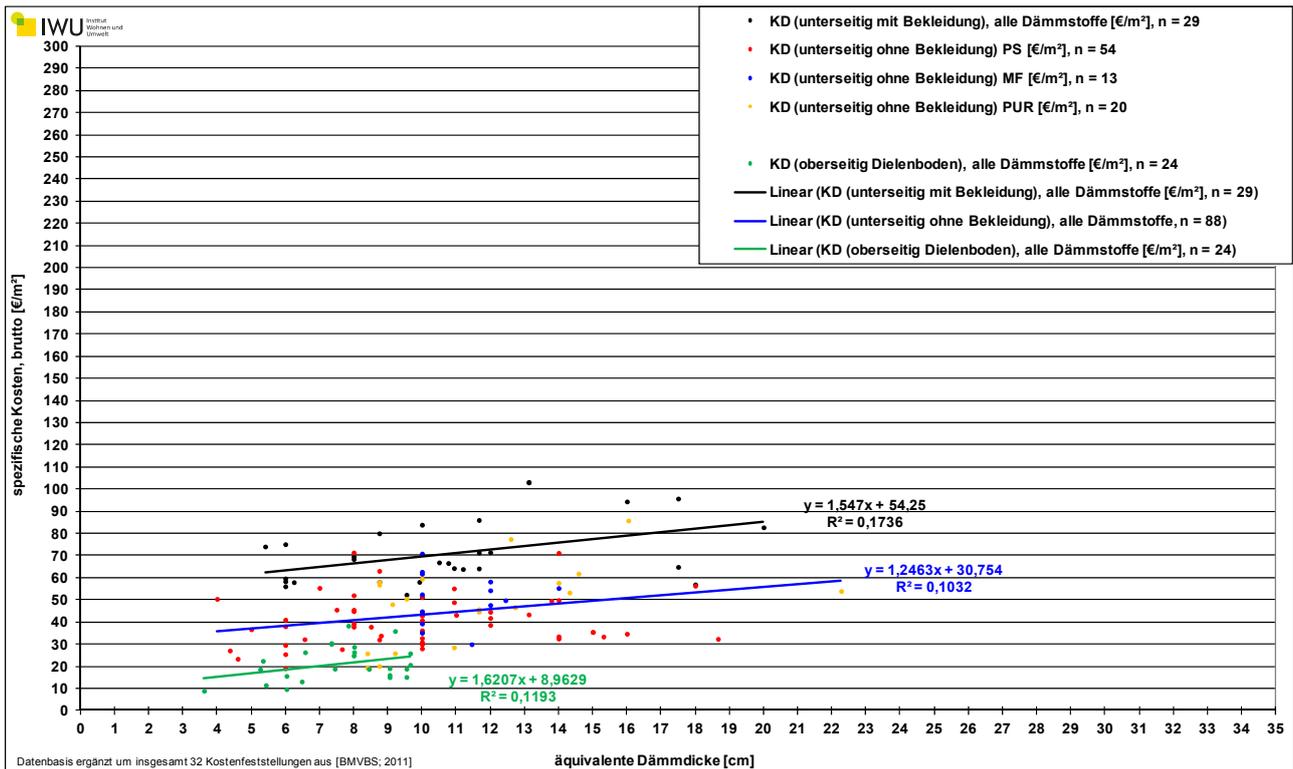


Abbildung 4: spezifische Kosten und Kostenfunktion: nachträgliche unterseitige Dämmung Kellerdecke ohne/mit zusätzlichen Schutz vor mechanischer Beschädigung / Einblasdämmung von oben zwischen die Bodenbalken

Kostenfunktion – unterseitig mit Bekleidung

Vergleichend wurden auch Kostenfeststellungen ausgewertet, die zusätzlich auch eine Armierung oder Verkleidung des Dämmstoffs als Schutz vor mechanischen Beschädigungen beinhalten. Die Kostenfunktion für diese Maßnahme steigt mit 1,55 €/cm_{Dämmstoff}/m²_{Bauteil} und verläuft näherungsweise parallel zur Kostenfunktion der Dämmung ohne zusätzlichen Schutz. Mit einem Fixkostenbeitrag von 54,25 €/m²_{Bauteil} resultieren ca. 25 €/m²_{Bauteil} Mehrkosten für die Bekleidung als zusätzlicher Schutz vor mechanischer Beschädigung. 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 – allerdings eingeschränkten – Schutz vor mechanischer Beschädigung aufweisen, dabei aber deutlich günstiger sind.

Kostenfunktion – oberseitige Dämmung

Mit der oberseitigen Einblasdämmung der Kellerdecke zwischen den Deckenbalken wurden äquivalente Dämmdicken bis etwa 10 cm realisiert. Die damit verbundenen Kosten sind im Vergleich zur unterseitigen Dämmung niedrig: Zwar ist die Steigung der Kostenfunktion mit 1,62 €/cm_{Dämmstoff}/m²_{Bauteil} ähnlich, die Fixkosten sind dagegen deutlich geringer und betragen lediglich 8,96 €/m²_{Bauteil}.

Energiebedingte Mehrkosten – unterseitig mit / ohne Bekleidung

Die zuwachsenden Kosten für eine nachträgliche unterseitige Dämmung einer Kellerdecke ohne Bekleidung betragen $1,25 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ und resultieren im Wesentlichen aus den zusätzlichen Kosten für den Dämmstoff, Deckenleuchten, Aussparungen von Rohrleitungen, das Kürzen von Türen und Verschlägen oder das Ein- und Ausräumen von Kellern sowie das Kleben und Schleifen der Dämmplatten. Die von der Dämmdicke unabhängigen Fixkosten betragen $30,75 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Soll der Dämmstoff zum Schutz vor mechanischer Beschädigung zusätzlich armiert bzw. verkleidet werden, entstehen weitere Kosten von $25 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, dass bei der Auswertung der Kostenfeststellungen nicht zwischen Maßnahmen an ebenen oder gewölbten Kellerdecken unterschieden werden konnte. Bei Maßnahmen an gewölbten Kellerdecken können u. U. deutlich höhere Kosten entstehen.

Energiebedingte Mehrkosten – oberseitig

Wird die Kellerdecke im Zuge einer Modernisierung oberseitig durch Einblasen von Dämmstoff zwischen die Balken gedämmt, entstehen zuwachsende Kosten von $1,62 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W}/(\text{mK})$. Die von der Dämmdicke unabhängigen Grundkosten betragen $8,96 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

2.3 Fenster und Fenstertüren

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der Auswertung für den Austausch von Fenstern (Elemente kleiner 2,5 m² Fläche) und Fenstertüren (Elemente größer 2,5 m² Fläche) in Wohngebäuden. Basis der Auswertung sind in der Summe für EFH und MFH n = 125 Kostenfeststellungen zu passivhaustauglichen Fenstern, n = 279 Kostenfeststellungen zu Fenstern mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (3-WSV) in einem konventionellen Rahmen sowie n = 157 zu Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung (2-WSV).

Bezugsfläche

Bezugsfläche ist die in den Rechnungen ausgewiesene äußere Rahmenfläche der Elemente.

Berücksichtigte Kosten

Angegeben sind die spezifischen Vollkosten der Maßnahmen inkl. Demontage der alten Fenster mit z. B. Spezialfräsen und der fachgerechten Entsorgung, der Montage der neuen Fenster mit Dübeln oder Mauerankern inkl. dem Füllen und dem inneren / äußeren Abdichten von Anschlussfugen, der Abdeckung der Fugen mit Deckleisten und kleinere Putzarbeiten im Bereich der Leibungen. Enthalten sind auch die Kosten für Rahmenverbreiterungen, Stulpe und Kämpfer, Anschlussprofile, Rolloschienen oder zusätzliche Kosten für z. B. satinierte Verglasungen und Beschläge.

Alle Elemente wurden als Dreh- oder Dreh- / Kipp-Fenster ausgeführt, teilweise mit Kämpfer bzw. Stulp und teilweise mit mehreren Flügeln. Die großflächigen Fenster(tür)elemente bestehen häufig aus offenbaren Fenstern bzw. Fenstertüren mit zusätzlichen festverglasten Elementen. Die Kosten für ein solches großflächiges Fenster(tür)element sind für die Auswertung zu einem Element mit der oben definierten Bezugsfläche zusammengefasst.

Schiebetüren wurden nicht in die Auswertung übernommen. Die Datenbasis enthält zudem keine Fenster mit echten oder aufgesetzten Sprossen, Sonnenschutzverglasungen oder Fenster mit außergewöhnlichen zusätzlichen Elementen wie Verschlussüberwachungen. Nicht enthalten sind auch die Kosten für Innenfensterbänke, Außenfensterbänke (systematisch dem Element Außenwand zugeordnet), Rollläden, Fensterläden, Lüftungselemente, für Stemm- und Putzarbeiten zur Vergrößerung der Maueröffnung für neue Fenster (nicht energierelevant) oder die Kosten für das Abstemmen von Anschlägen (systematisch der Außenwand zugeordnet).

Die hier untersuchten Fenster sind mit einem „konventionellen“ Holz- oder Kunststoffrahmen mit Bautiefen von zumeist 70 mm bis 86 mm gefertigt. Fenster mit Rahmen-Mischkonstruktionen wie z. B. Holz / Alu sind zur Ermittlung der Kosten nicht berücksichtigt. Die Fenster mit 3-WSV weisen zumeist einen thermisch verbesserten Randverbund („warme Kante“) auf.

Zusätzlich wurde die Kategorie „passivhaustaugliche Fenster“ gebildet. Diese Fenster sind mit hochwertiger 3-WSV und passivhaustauglichen Rahmen gefertigt. Überproportional viele Kostenfeststellungen für passivhaustaugliche Fenster stammen aus der Region Hannover, bedingt durch die Förderung solcher Fenster durch den dortigen Klimaschutzfonds.

Zuordnung der Kosten für Demontage, Entsorgung und Montage

Häufig werden in den Rechnungen neben den Kosten für die Fenster und Fenstertüren die Kosten für die Demontage, Entsorgung und Montage in der Summe pauschal ausgewiesen. Damit ergibt sich das Problem der anteiligen Zuordnung dieser pauschalen Kosten zu den einzelnen Elementen Fenster, Fenstertür und auch für Haustüren. Daher wurden diese Kosten vereinfachend anteilig entsprechend der Anzahl der jeweiligen Elemente zugeordnet. Sofern sich aus diesem Ansatz unplausibel erscheinende Kosten ergaben, wurde von diesem Modus in Einzelfällen abgewichen.

Die Kosten für Demontage und Entsorgung wurden entsprechend dem dargestellten Modus separat erfasst und betragen im Mittel für Fenster im EFH ca. 29 €/m² und im MFH bei 21 €/m². Für die größeren Fenstertüren liegen diese spezifischen Kosten für Fenster im EFH bei lediglich 22 €/m² und im MFH 12 €/m². Fehlten Kostenangaben zu Demontage und Entsorgung in einzelnen Kostenfeststellungen, so wurden diese entsprechend den hier genannten Kennwerten ergänzt. Auffällig ist, dass in den Kostenfeststellungen der in der Praxis höhere Aufwand für die Montage von dreifach verglasten Fenstern nicht ausgewiesen wird. Zu vermuten ist, dass der Mehraufwand in andere Kostenelemente eingepreist wird.

Kostenfunktion

Wie der Verlauf der Kostenfunktionen in Abbildung 5 zeigt, steigen die Kosten mit kleiner werdenden Elementflächen. Dabei verlaufen die Kurven für Fenster mit 2-WSV und solchen mit 3-WSV nahezu parallel. Die Kosten für passivhaustaugliche Elemente steigen dagegen mit kleiner werdender Fläche stärker an. Da diese Fenster mit besonders hochwertigen Rahmenprofilen gefertigt werden und der Rahmenanteil mit kleiner werdenden Elementflächen steigt, erscheint dieser überproportionale Anstieg der Kosten plausibel.

Auffällig ist die starke Streuung der Kosten in den Punktwolken, die sich auch im geringen Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktionen widerspiegelt. Zu erwarten wäre eine deutlich geringere Streuung der Kosten, da theoretisch die Fenster für den jeweiligen energietechnischen Standard im Wesentlichen gleich konstruiert sind. Damit sollten sich die Kosten für die Verglasungen und die Rahmenprofile in diesen Standards über der Fensterfläche nicht wesentlich unterscheiden. Um jedoch realistische Kosten für den Austausch von Fenstern und Fenstertüren als Basis für entsprechende realistische Kosten für Investoren zu erhalten, wurden für die Ableitung der Kostenfunktion nicht nur die Kosten für Rahmen und Verglasung berücksichtigt, sondern ebenso die Kosten für alle weiteren o. g. zusätzlichen Elemente. Es ist zu vermuten, dass daraus die große Streuung der Kosten zu begründen ist. Ein Vorteil der gewählten Systematik ist, dass die auf dieser Basis ermittelten Kosten höher und somit realistischer an den tatsächlichen, typischen Kosten für Fenster und Fenstertüren liegen. Zudem kann durch den gewählten Ansatz die Datenbasis erweitert werden, da nur wenige Kostenfeststellungen für sehr einfach gebaute Fenster und Fenstertüren ohne weitere Elemente vorliegen.

In Abbildung 5 sind auch solche Kostenkennwerte abgebildet, die nicht in die Auswertung übernommen wurden. Dabei handelt es sich bei den sehr großen Kostenkennwerten um passivhaustaugliche Fenster mit Verbundrahmen aus z. B. Alu und Holz. Für diese ergaben sich auch Kostenkennwerte deutlich über 1000 €/m². Die sehr günstigen Kennwerte ergaben sich vorwiegend für Fenster mit 3-WSV oder passivhaustaugliche Fenster. Da diese niedrigen Kennwerte für solche Fenster unrealistisch erschienen, wurden sie nicht in die Auswertung übernommen.

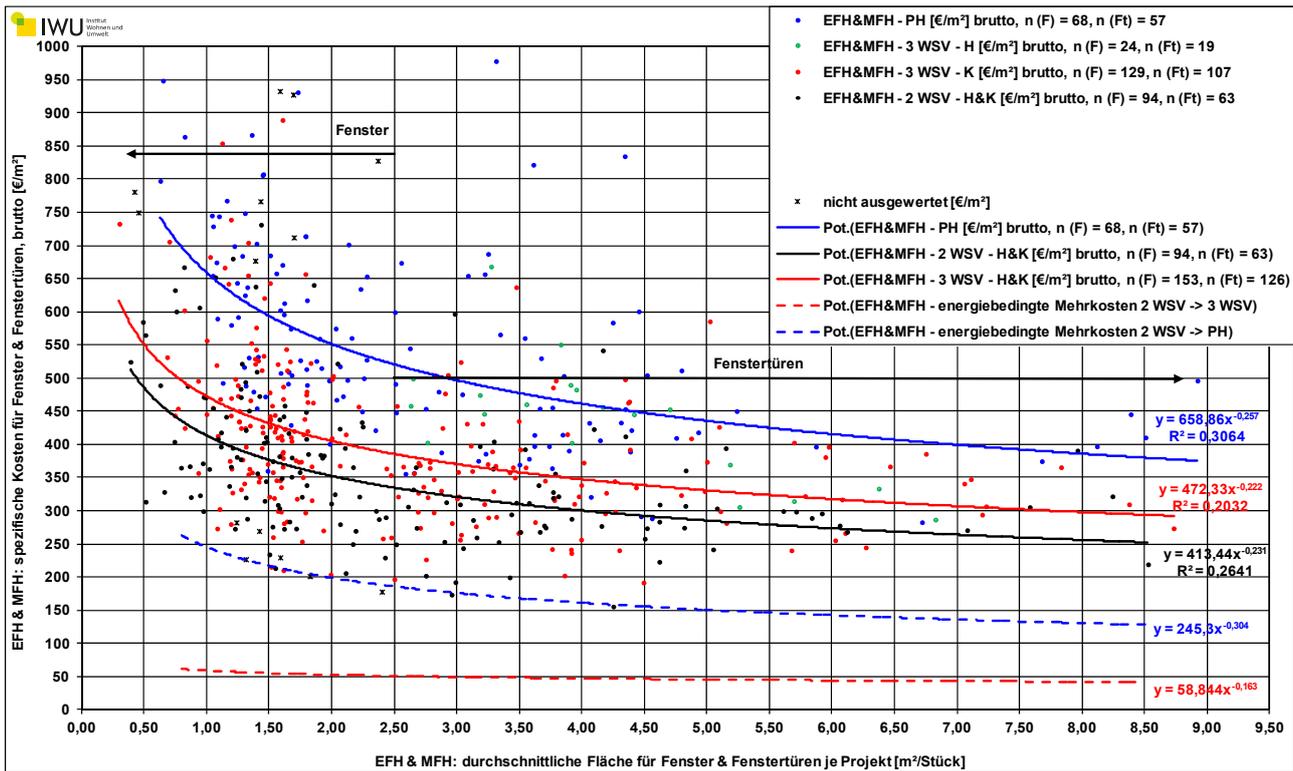


Abbildung 5: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren (passivhaustauglich / 3-WSV mit konventionellem Rahmen / 2-WSV) mit Holz- oder Kunststoffrahmen in EFH & MFH, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden und Fensterbänke, inkl. Demontage, fachgerechte Entsorgung und Montage mit allen Nebenarbeiten wie oben dargestellt

Energiebedingte Mehrkosten

Gegenüber der 2-WSV ergeben sich energiebedingte Mehrkosten für hochwertigere Fenster aus der Differenz der jeweiligen Kostenfunktionen. Diese sind in Abbildung 5 als zusätzlich gestrichelte Kurvenverläufe dargestellt. Während die energiebedingten Mehrkosten für Fenster mit 3-WSV über der Fenstergröße mit ca. 50 €/m² Bauteil nahezu konstant bleiben (rote gestrichelte Linien), steigen die energiebedingten Mehrkosten vor allem für kleinere passivhaustaugliche Fenster deutlich an. Dies ist zu erklären durch die überproportional steigenden spezifischen Kosten für hochwertigere Rahmen.

Aktuelle Entwicklungen hochwertiger Rahmenprofile

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

Unterscheidung in Holz- und Kunststofffenster

In Abbildung 5 sind die einzelnen Kostenkennwerte (rote / grüne Punkte) für Fenster und Fenstertüren mit Holz- oder mit Kunststoffrahmen und ansonsten gleichwertiger 3-WSV getrennt dargestellt. Im Vergleich zeigt sich, dass Holzfenster gegenüber Kunststofffenstern tendenziell in einem höheren Kostenniveau liegen. Für die Auswertung wurden Holz- und Kunststofffenster jedoch zusammengefasst, weil die Datenbasis für eine separate Auswertung von Holzfenstern zu gering ist.

Unterscheidung in EFH und MFH

Ergänzend wurden die in Abbildung 5 dargestellten Kostenkennwerte für EFH und MFH getrennt ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 (für EFH) und Abbildung 7 (für MFH) dargestellt.

Die Kostenfunktionen für 2-WSV und 3-WSV verlaufen beim EFH und beim MFH sehr ähnlich zu dem in Abbildung 5 dargestellten Verlauf, allerdings beim EFH auf einem etwas höheren, beim MFH auf einem etwas niedrigeren Niveau. Hier zeigen sich demnach Unterschiede im Kostenniveau bei EFH und MFH. Vermutlich kann dieser Unterschied auf Masseneffekte oder auf eine bessere Verhandlungsposition für den Auftraggeber wegen größerer Auftragsvolumina zurückgeführt werden. So werden nach den hier ausgewerteten Kostenfeststellungen für die nach KfW-Standards geförderten Bauvorhaben im Mittel im EFH 10 Fenster und 4 Fenstertüren ausgetauscht, im MFH dagegen im Mittel 35 Fenster und 24 Fenstertüren.

Die Kostenfunktionen für passivhaustaugliche Fenster unterscheiden sich dagegen stärker. Dies kann jedoch an der deutlich unterschiedlichen Datenbasis liegen: Während im EFH zu 95 Projekten Kostenfeststellungen ausgewertet werden konnten, sind dies im MFH lediglich Kostenfeststellungen zu 30 Projekten.

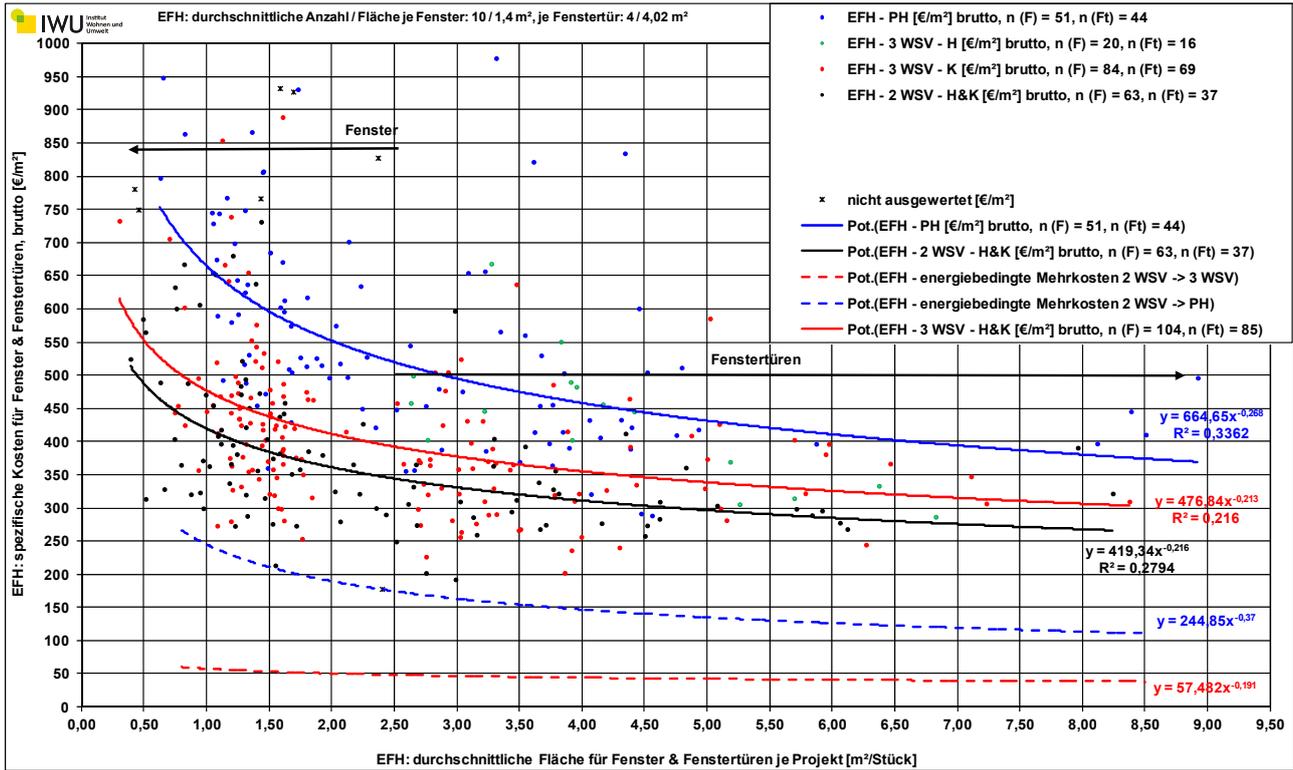


Abbildung 6: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren (passivhaustauglich / 3-WSV mit konventionellem Rahmen / 2-WSV) mit Holz- oder Kunststoffrahmen in EFH

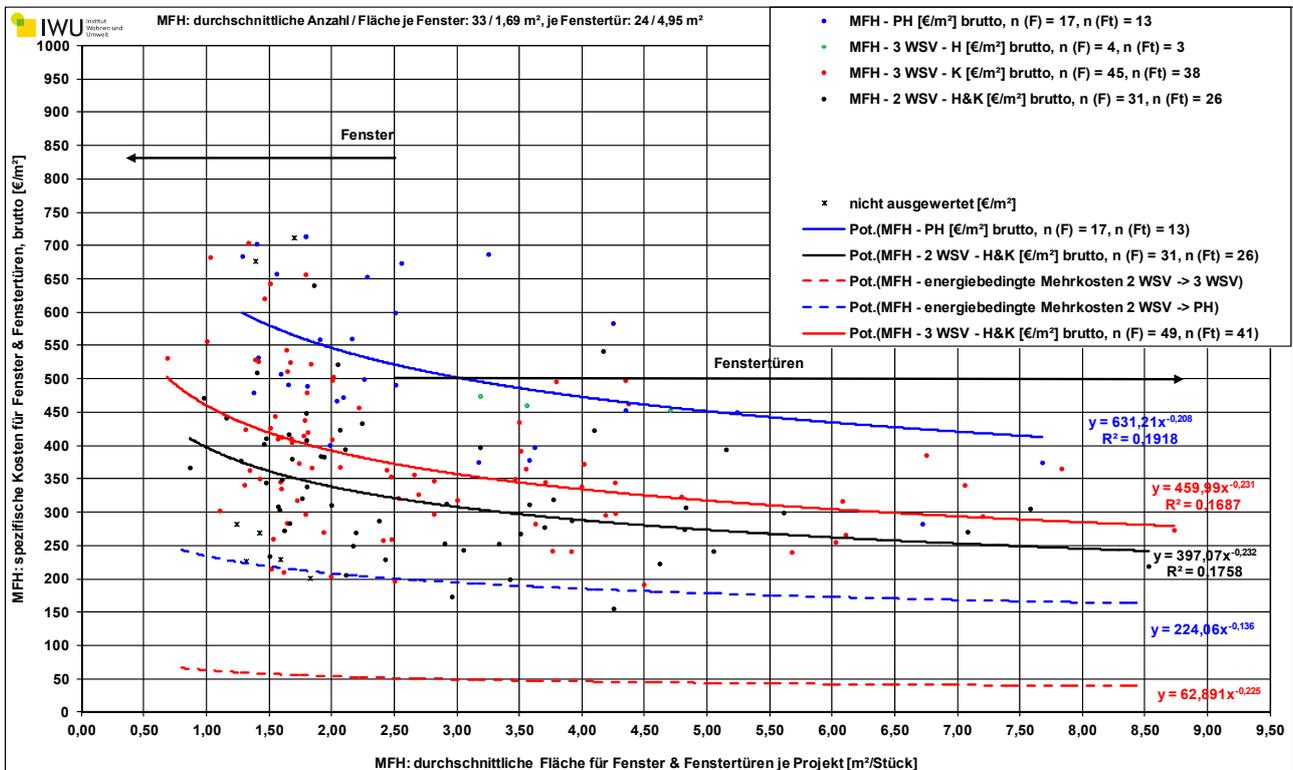


Abbildung 7: spezifische Kosten von Fenstern und Fenstertüren (passivhaustauglich / 3-WSV mit konventionellem Rahmen / 2-WSV) mit Holz- oder Kunststoffrahmen in MFH

Ableitung spezifischer Kosten für typische Fensterflächen

Aus der Datenbank ergeben sich durchschnittliche Elementflächen für Fenster & Fenstertüren von 2,00 m² je Element im EFH und 2,83 m² je Element im MFH. Die mittleren Flächen der Fenster- und Fenstertüren, die im Zuge einer Modernisierung eingesetzt werden, unterscheiden sich zwischen EFH und MFH. Aus Basis der Datenbank betragen diese typischen durchschnittlichen Flächen für neue Fenster bzw. Fenstertüren im EFH 1,40 m² bzw. 4,02 m² und in MFH 1,69 m² bzw. 4,95 m². Nach der vorliegenden Datenbasis werden neue Fenster im MFH somit tendenziell größer als im EFH ausgeführt. Im Mittel größere Elemente führen jedoch zu geringeren spezifischen Kosten. Entsprechend den in Abbildung 5 dargestellten Kostenfunktionen und den genannten mittleren Flächen ergeben sich die in Abbildung 8 beispielhaft dargestellten Kosten für Fenster und Fenstertüren in EFH und MFH. Ein Ergebnis dieser Auswertung ist, dass die Mehrkosten eines konventionellen Fensters mit 3-WSV gegenüber einem konventionellen Fenster mit 2-WSV zwischen 54 €/m² und 56 €/m² betragen. Bei den großflächigen Fenstertüren liegen die Mehrkosten zwischen 45 €/m² und 47 €/m². Die ermittelten Mehrkosten für Passivhausfenster liegen dagegen mit 151 €/m² bis 222 €/m² deutlich höher.

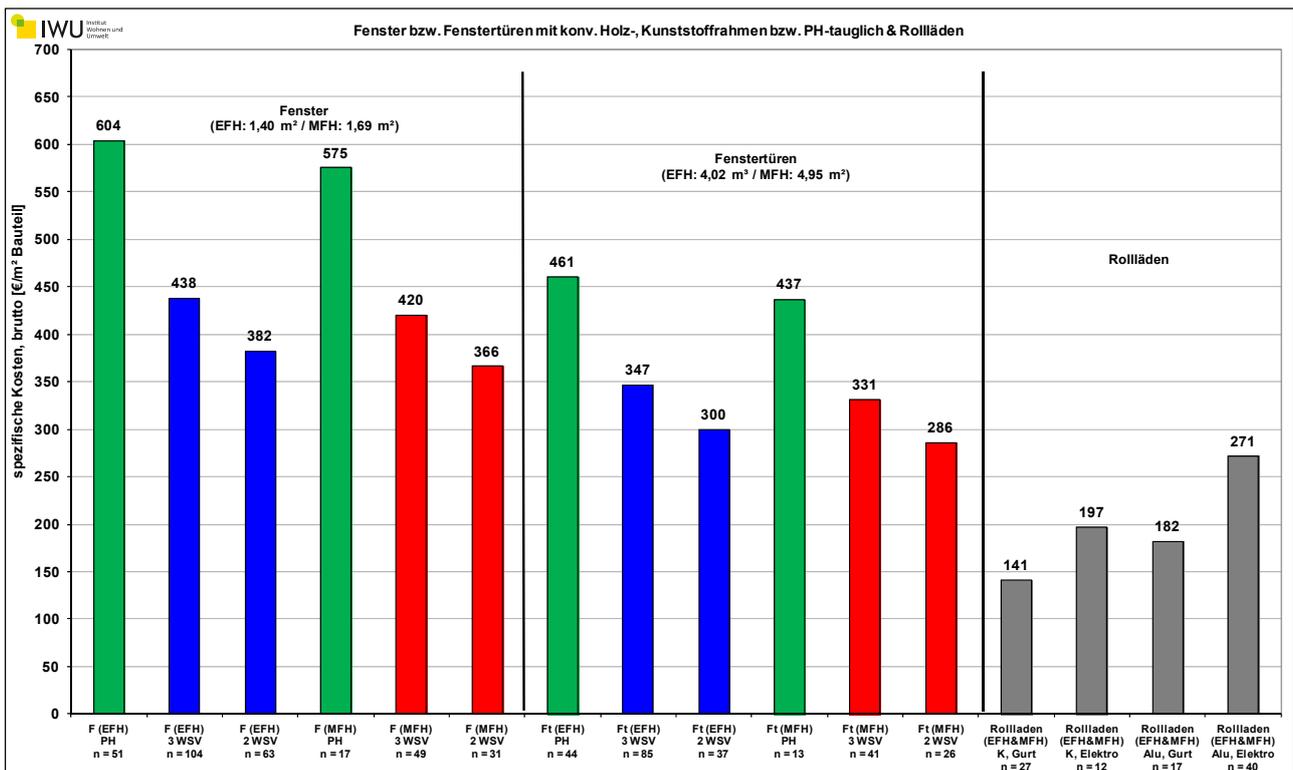


Abbildung 8: spezifische Kosten von Fenster & Fenstertüren in EFH und MFH (Holz- oder Kunststoffrahmen, gegebenenfalls passivhaustauglich, Dreh-Kipp, keine Sprossen, ohne Rollläden und Fensterbänke, inkl. Demontage, fachgerechte Entsorgung und Montage mit allen Nebenarbeiten wie oben dargestellt) sowie Rollläden

Zum Vergleich – Kosten für Vorbaurolläden

Zum Vergleich enthält Abbildung 8 auch die Kosten für Vorbaurolläden verschiedener Ausführung. Demnach kostet ein Vorbaurolladen mit Kunststofflamellen und Gurt im Mittel $141 \text{ €/m}^2_{\text{Rollladen}}$. Häufig wurden jedoch Vorbaurolläden mit Alu-Lamellen und Elektroantrieb eingesetzt. Diese kosten im Durchschnitt $271 \text{ €/m}^2_{\text{Rollladen}}$ und liegen damit fast auf dem Niveau der spezifischen Kosten für Fenstertüren mit 2-WSV im MFH. Es wurden jedoch auch Vorsatzrolladenkästen mit Aluminium-Lamellen und Elektroantrieb mit Fernbedienung mit Kosten deutlich über $350 \text{ €/m}^2_{\text{Rollladen}}$ abgerechnet.

Umrechnung der Ergebnisse auf U_w

Häufig sind in den Kostenfeststellungen 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 i. W. 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 $1,35 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ angesetzt. Elemente mit 2-WSV wurden mit einem ALU-Randverbund und mit 3-WSV mit einem thermisch verbesserten Randverbund („warme Kante“) gerechnet. Weiter verbesserte Standards wurden für die passivhaustauglichen Fenster angesetzt. Die Ergebnisse der Umrechnung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Fläche Fenster [m ²]	U_g [W/(m ² K)]	U_f [W/(m ² K)]	ψ [W/(mK)]	U_w [W/(m ² K)]
1,23 * 1,48 = 1,82 (ca. 68% Glasfläche)	1,1 (2-WSV, Alu)	1,35	0,08	≈ 1,35
	0,7 (3-WSV, „warme Kante“)	1,35	0,06	≈ 1,05
	0,6 (PH)	0,95	0,03	≈ 0,80
1,64 * 2,13 = 3,50 (ca. 77% Glasfläche)	1,1 (2-WSV, Alu)	1,35	0,08	≈ 1,30
	0,7 (3-WSV, „warme Kante“)	1,35	0,06	≈ 1,00
	0,6 (PH)	0,95	0,03	≈ 0,75

Tabelle 2: U_w für Fenster mit unterschiedlicher energietechnischer Qualität

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 können Elemente mit 2-WSV und $U_g = 1,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, Kunststoffrahmen mit $U_f = 1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und Alu-Randverbund angesetzt werden. Der U_w -Wert eines solchen Fensters liegt bei etwa $1,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. In der Praxis werden am Markt kaum noch Fenster angeboten, die unter diesem energietechnischen Mindeststandard liegen. Daher werden für solche Fenster, mit denen die Mindestanforderungen der EnEV im Bereich der energietechnischen Altbaumodernisierung gerade eingehalten werden, keine energiebedingten Mehrkosten angesetzt.

Energiebedingte Mehrkosten können aus der in Abbildung 5 dargestellten Kostenfunktionen berechnet werden. Vereinfachend können beim Übergang von der 2-WSV zur 3-WSV mit verbessertem Randverbund energiebedingte Mehrkosten von $55 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$ angesetzt werden. Der U_w -Wert eines solchen Fensters liegt bei etwa $1,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

Der Übergang zu passivhaustauglichen Elementen mit U_w -Werten von $0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ und besser führt je nach Fenstergröße zu energiebedingten Mehrkosten von etwa 150 bis $220 \text{ €/m}^2_{\text{Fenster}}$ gegenüber konventionellen Fenstern mit 2-WSV.

2.4 Haustüren

Auf Basis von Kostenfeststellungen zu $n = 170$ Haustüren im EFH und $n = 53$ im MFH wurden durchschnittliche spezifische Kosten für dieses Element ermittelt.

Berücksichtigte Kosten

Es wurden alle Kosten berücksichtigt, die im Zuge der Modernisierung des Eingangsbereiches angefallen sind. Dazu gehören neben den Kosten für die Demontage, Montage und Entsorgung der Elemente selbst alle weiteren Kosten für z. B. Schließ- und Sprechanlagen, Briefkästen bzw. Briefkastenanlagen oder Zulagen für erhöhte sicherheitstechnische Standards.

Vollkosten

Im Mittel betragen die spezifischen Kosten für neue Haustüranlagen im EFH $1433 \text{ €/m}^2_{\text{Haustür}}$ bei einer durchschnittlichen Fläche je Haustür von $2,79 \text{ m}^2$. Die Kosten für Haustüranlagen im MFH liegen mit durchschnittlich $1.222 \text{ €/m}^2_{\text{Haustür}}$ spezifisch niedriger. Allerdings sind Haustüranlagen im MFH im Mittel mit $3,65 \text{ m}^2_{\text{Haustür}}$ größer ausgeführt.

Energiebedingte Mehrkosten

In der Regel wurden in den Kostenfeststellungen die U-Werte für das gesamte Element Haustür nicht angegeben. Typische energietechnische Kennwerte oder energiebedingte Mehrkosten konnten für das Element auf Basis der Kostenfeststellungen daher nicht abgeleitet werden.

2.5 Steildach ohne Dachgauben

Es lagen nur wenige Kostenfeststellungen mit Einblasdämmungen aus z. B. Zellulose vor. Zudem ergab sich für diese häufig das Problem, dass entweder Dämmdicken oder die gedämmte Fläche aus den Rechnungen nicht zu erkennen waren. Darüber hinaus waren eventuell erforderliche Kosten für Leichtbauarbeiten z. B. für das Herstellen des Hohlraums häufig nicht eindeutig zuzuordnen. Diese können für die nachträgliche Dämmung des Steildaches, der obersten Geschossdecke oder z. B. der Drepfels anfallen – oder eventuell auch für gänzlich andere Bauteile. Damit ist eine statistisch abgesicherte Auswertung von Kosten für Einblasdämmungen in Steildächern auf Basis der vorliegenden Kostenschätzungen nicht möglich.

Die hier vorgestellten Ergebnisse der Auswertungen beziehen sich daher ausschließlich auf die nachträgliche Dämmung von Steildächern mit Mineralfaser- oder Hartschaumdämmstoffen. Die Auswertung basiert auf insgesamt $n = 148$ Kostenfeststellungen.

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 pauschal 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 oder Umdeckung inkl. aller Kosten für Anschlüsse, Spengler- und Nebenarbeiten. Dazu gehören auch die Kosten für den Aus- und Wiedereinbau vorhandener Dachflächenfenster oder Dachausstiegsluken, Kaminsanierungen inkl. neuer Abdeckhauben, Laufroste, Regenrinnen (ohne Arbeiten an Fallrohren / Standrohren: systematisch der Außenwand zugeordnet) oder auch neue Antennen, SAT-Anlagen oder Blitzschutzanlagen.

Die Auswertung basiert ausschließlich auf solchen Projekte, die mit Dachziegeln (Ton) oder Dachsteinen (Beton) eingedeckt wurden. Steildächer mit Eindeckungen aus Metall oder in Schiefer wurden dagegen nicht berücksichtigt, um die Streuung der Punktwolke einzugrenzen.

Nicht enthalten sind die Kosten für das Gerüst (separat ausgewertet) sowie für eventuell erforderliche Verlängerungen von Dachüberständen infolge einer Außenwanddämmung (systematisch der Außenwanddämmung zugeordnet). Systematisch nicht enthalten sind zudem die Kosten für neue Dachflächenfenster und Dachgauben. Diese sind weiter unten separat ausgewiesen.

Kostenfunktion – Steildach ohne Dachgauben

In Abbildung 9 sind als Punktwolke mit der dazugehörigen gemeinsamen Kostenfunktion (rote Gerade) die spezifischen Kosten für die

- Dämmung zwischen den Sparren (zumeist Dämmstoff Mineralfaser) mit den Elementen innen liegende Dampfbremse, der eventuell erforderlichen Aufdopplung der Sparren mit den Arbeiten zum Anpassen von Ortgang- bzw. Traufbrettern, das Verlegen der Dämmung, zusätzliche Arbeiten z. B. an Dachflächenfenstern, Dachausstiegen oder Kaminen für z. B. gedämmte Anschlüsse, die Unterspannbahn / Unterdach inkl. dem luftdichten Anschließen aller Durchdringungen und die Konterlattung und für die
- Aufsparrendämmung (Dämmstoff zumeist Polyurethan) die Kosten für die innen liegende Dampfbremse, angepasste Trauf- bzw. Ortgangbretter, das Verlegen der Dämmung mit / als festes Unterdach, zusätzliche Arbeiten an Dachflächenfenstern und Ausstiegen sowie gedämmte Anschlüsse und die Konterlattung dargestellt. Zusätzlich enthalten die als Aufsparrendämmungen definierten Maßnahmen häufig auch eine Zwischensparrendämmung. Die Kosten hierfür sind ebenfalls im System Aufsparrendämmung berücksichtigt.

Mit diesen Elementen sind die Kosten für beide Systeme – die Aufsparrendämmung und die Zwischensparrendämmung – unmittelbar vergleichbar, weil ein ähnlicher Konstruktionszustand des Daches beschrieben wird: Die Dampfbremse ist luftdicht angeschlossen inkl. aller Durchdringungen, die Dämmung und das Unterdach sowie die Konterlattung sind verlegt. In diesem konstruktiv ähnlichen Zustand ergeben sich für beide Dämmsysteme vergleichbare Kosten über der äquivalenten Dämmdicke. Dabei werden für die Zwischensparrendämmung durch die Berücksichtigung des Holzanteils im Vergleich zur Aufsparrendämmung eher niedrigere äquivalente Dämmdicken erzielt.

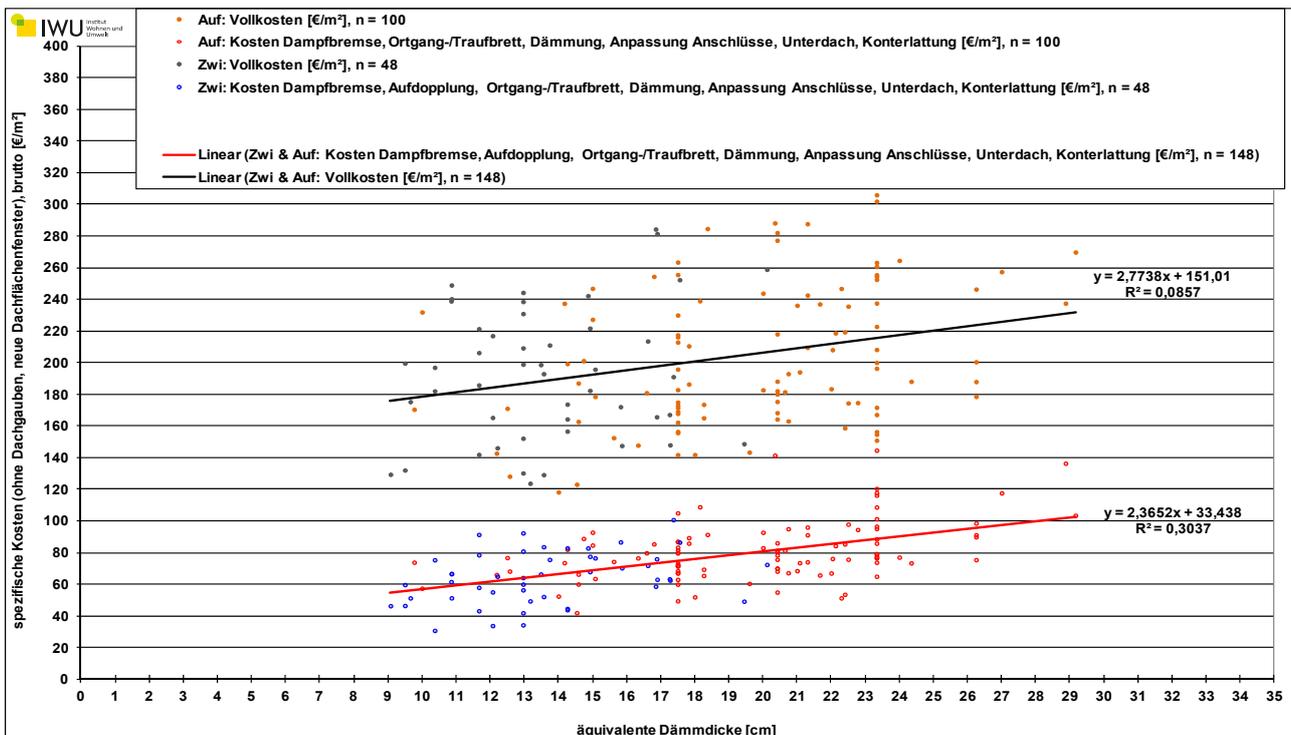


Abbildung 9: spezifische Kosten einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen (ohne Dachgauben/neue Dachflächenfenster)

Unter Berücksichtigung aller Nebenarbeiten, die mit der nachträglichen Dämmung des Steildaches erforderlich werden, steigen diese Kosten mit $2,37 \text{ €/m}^2_{\text{Dämmstoff}}$. Der unmittelbare Zusammenhang zwischen den Kosten und der äquivalenten Dämmdicke ist mit $R^2 \approx 0,31$ erkennbar.

Abbildung 9 zeigt auch die spezifischen Vollkosten und die gemeinsame Kostenfunktion für die Zwischen- und Aufsparrendämmung eines Steildaches von außen über der äquivalenten Dämmdicke (schwarze Gerade). Die Vollkosten steigen mit $2,77 \text{ €/m}^2_{\text{Dämmstoff}}$ etwa entsprechend den Kosten für die Dämmsysteme. Mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 \approx 0,09$ besteht dagegen nur ein geringer unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Vollkosten der Dachsanierung und der energetischen Qualität des Bauteils nach Sanierung.

Detailanalyse – Steildach ohne Dachgauben

Die Detailanalyse in Abbildung 10 zeigt die Zuordnung der Kostenanteile für die nachträgliche Dämmung des Steildaches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Dachsanierung. Dabei sind die Kosten für neue Dachflächenfenster und Dachgauben systematisch nicht berücksichtigt. Die äquivalente Dämmdicke beträgt im dargestellten Beispiel 19 cm mit einem äquivalenten Wärmeleitwert von $0,035 \text{ W/(mK)}$. Dies entspricht einer Dämmung von 14 cm zwischen den Sparren zuzüglich ca. 10 cm auf den Sparren.

Die Kosten für die nachträgliche Dämmung inkl. der erforderlichen Nebenarbeiten betragen in der Summe $56,25 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ entsprechend 27 % der Vollkosten von $204 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Darin enthalten sind die Kosten für die Dämmung, die eventuell erforderliche Aufdopplung von Sparren, die Kosten für Trauf- und Ortgangbretter sowie die Kosten für alle energierelevanten Anschlüsse und Nebenarbeiten. Dazu zählt wie oben dargestellt z. B. das Höhersetzen vorhandener Dachflächenfenster oder auch die Deckung des Höhenausgleichs zu benachbarten Dächern infolge einer Aufsparrendämmung durch z. B. Dachplatten oder Bleche. In der Mehrzahl der ausgeführten nachträglichen Dämmungen im Steildach wurde ein gedämmtes, festes Unterdach eingebaut. Die Kosten hierfür werden ebenfalls als energierelevant angesetzt.

Aus bauphysikalischen Gründen und somit im Zuge der Dachsanierung ohnehin erforderlich ist eine innen liegende Luftdichtung / Dampfbremse mit Kosten von $13,97 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ bzw. 7 % der Vollkosten.

$68,22 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ entsprechend 34 % der Vollkosten werden verursacht durch die Traglattung, die Neu- oder Umdeckung des Daches mit Dachsteinen oder Dachziegeln inkl. aller Anschlüsse und Nebenarbeiten. Hinzu kommen $8,16 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ entsprechend 4 % der Vollkosten für die Konterlattung. Aus Spenglerarbeiten für ohnehin erforderliche Anschlüsse in Metall resultieren $33,36 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ entsprechend 16 % der Vollkosten. Dazu zählt vereinfachend auch das u. U. erforderliche Höhersetzen von Dachrinnen im Zuge der nachträglichen Dämmung im Steildach. Für Abriss und Entsorgung entstehen Kosten von $23,67 \text{ €/m}^2$ entsprechend 12 % der Vollkosten.

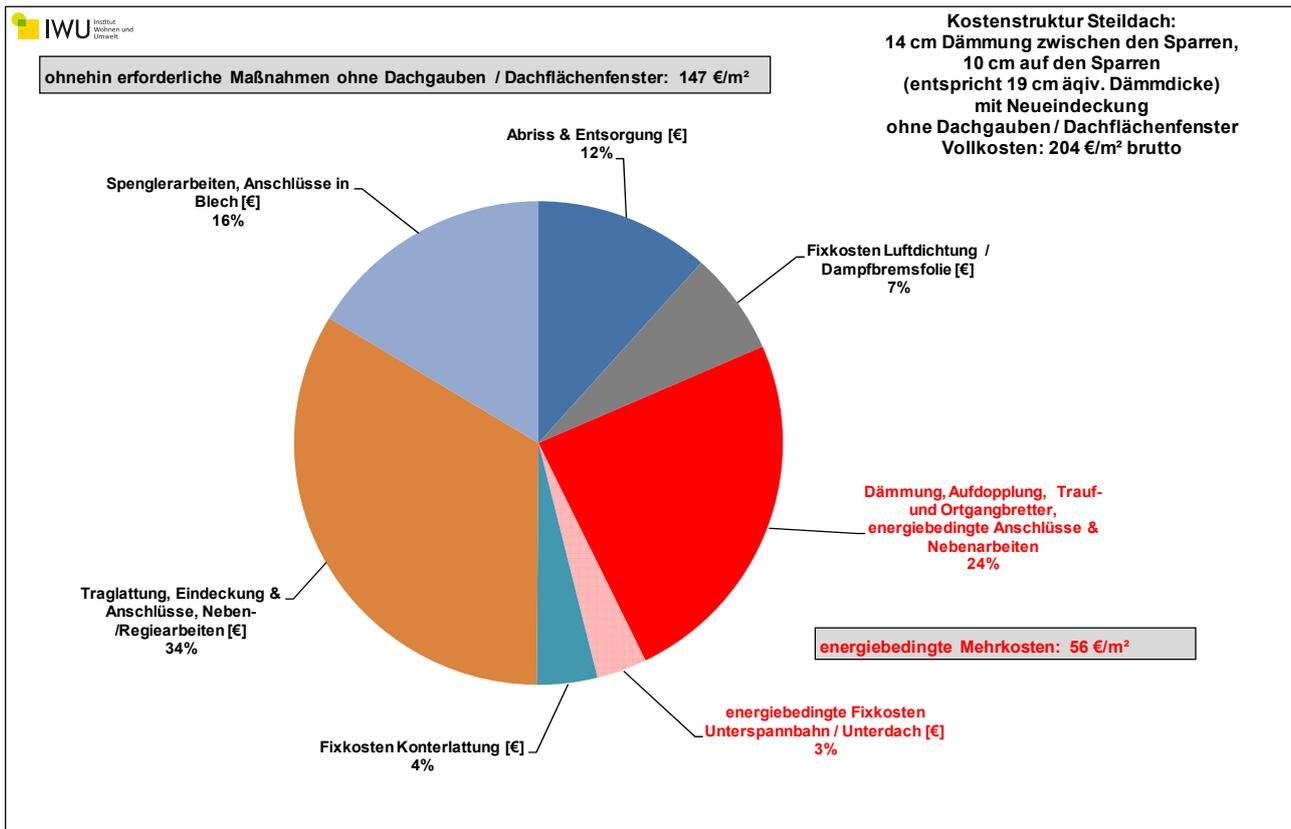


Abbildung 10: Kostenstruktur einer nachträglichen Dämmung des Steildaches von außen (ohne Dachgauben / Dachflächenfenster)

Energiebedingte Mehrkosten – Steildach ohne Dachgauben

Wird die Wärmedämmung des Daches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Dachsanierung durchgeführt, resultieren energiebedingte Mehrkosten aus der eventuell erforderlichen Aufdopplung der Sparren, Arbeiten an Trauf- und Ortgangbrettern, dem erforderlichen Höhersetzen vorhandener Dachflächenfenster und Dachausstiege, dem Einbringen der Dämmung zwischen bzw. auf den Sparren inkl. der Dämmung von Anschlüssen wie z. B. Kamine, Fußpfetten oder Brandwände. Weiter wurden systematisch auch die Kosten für ein festes Unterdach (z. B. aus Holzfaserplatten) als energierelevant angesetzt.

Aus der in Abbildung 10 dargestellten Detailanalyse ergeben sich Fixkosten von 13,97 €/m²_{Bauteil} für die Luftdichtung / Dampfbremse und 8,16 €/m²_{Bauteil} für die Konterlattung, die im Zuge der Sanierung des Daches aus bauphysikalischen Gründen bzw. der Neueindeckung ohnehin anfallen. In der Summe sind dies 22,13 €/m²_{Bauteil}. Aus der Kostenfunktion in Abbildung 9 ergibt sich ein Fixkostenanteil für die nachträgliche Dämmung im Steildach von 33,44 €/m²_{Bauteil}, in dem diese nicht energierelevanten Fixkosten enthalten sind.

Rechnet man die aus bauphysikalischen Gründen anfallenden und nicht energierelevanten Kosten von 22,13 €/m²_{Bauteil} für die innen liegende Luftdichtung / Dampfbremse und die Konterlattung aus der Kostenfunktion in Abbildung 9 heraus, verbleiben energiebedingte Mehrkosten für eine nachträgliche Dämmung im Steildach im Zuge einer ohnehin anstehenden Sanierung von 2,37 €/cm_{Dämmstoff}/m²_{Bauteil} zuzüglich Fixkosten von 11,31 €/m²_{Bauteil} bei einem äquivalenten Wärmeleitwert von 0,035 W/(mK). Zusätzlich fallen Kosten für neue Dachflächenfenster und Arbeiten an Dachgauben an.

2.6 Dachgauben

Separat ausgewertet wurden die Kosten für Arbeiten an $n = 39$ Steildächern mit insgesamt 113 Dachgauben, die gleichzeitig mit dem Steildach energietechnisch modernisiert wurden.

Berücksichtigte Kosten

Die den Gauben zugewiesenen Kosten umfassen alle in den Kostenfeststellungen ausgewiesenen Arbeiten an den Gauben. Darunter fallen auch die Anschlüsse des Steildaches an Gaubenwände und Abrissarbeiten. Problematisch ist die systematische Zuordnung der Spenglerarbeiten an den Gauben auf Basis der Kostenfeststellungen. Vereinfachend wurden daher alle Spenglerarbeiten dem Steildach zugeordnet, sofern diese nicht explizit im Zusammenhang mit der Modernisierung von Gauben ausgewiesen wurden. Kosten für neue Gaubenfenster wurden systematisch nicht berücksichtigt.

Vollkosten

Auf Grund der unklaren Zuordnung von Kostenelementen ist die Ableitung von Kostenfunktionen auf Basis der ausgewerteten Kostenfeststellungen nicht möglich. Vielmehr wurden auf Basis der Datenbank pauschale Vollkosten für die energietechnische Modernisierung von Dachgauben abgeleitet. Diese betragen im EFH 5.191 € je Dachgaube, im MFH lediglich 2.203 € je Gaube. Dabei ist die durchschnittliche Fläche einer Dachgaube im EFH mit 11,0 m² gegenüber 6,3 m² im MFH deutlich größer.

Energiebedingte Mehrkosten

Auf Basis der Kostenfeststellungen für die Steildächer mit Dachgauben ist eine systematische Zuordnung der Kosten in ohnehin erforderliche Kosten und energiebedingte Mehrkosten bei der Modernisierung der Gauben nicht möglich. Welcher Anteil der oben genannten Zuschläge auf die Vollkostenfunktion energierelevant ist, muss im Einzelfall entschieden werden.

2.7 Dachflächenfenster

In einer Detailanalyse wurden Kennwerte für neue Dachflächenfenster aus $n = 129$ Projekten mit insgesamt 505 Fenstern ermittelt.

Berücksichtigte Kosten

Berücksichtigt sind die Kosten für die neuen Fenster inkl. Eindeckrahmen, für zusätzliche Sonnenschutzelemente, Stellkurbeln, Stellmotoren mit elektrischen Anschlussarbeiten sowie zugehöriger Fernbedienung und Montagerahmen. Berücksichtigt sind auch die Kosten für neue Sparrenwechsel, sofern diese aus den Kostenfeststellungen zugeordnet werden konnten.

Vollkosten

Die Vollkosten je neuem Dachflächenfenster sind im EFH und im MFH sehr ähnlich und betragen im Mittel für EFH 1430 €/Stück und für MFH 1435 €/Stück. Auch die mittlere Flächen je Fenster sind mit 1,06 m²/Fenster im EFH und 1,04 m²/Fenster im MFH sehr ähnlich. Unterschiedlich ist jedoch die Steildachfläche je Dachflächenfenster: Im EFH wird im Steildach je 29 m² Dachfläche ein Dachflächenfenster eingebaut, im MFH dagegen lediglich je 51 m² Steildach.

Energiebedingte Mehrkosten

In der Regel enthalten die Kostenfeststellungen keine Angaben zur energetischen Qualität der Fenster, insbesondere in Kombination mit dem zugehörigen Eindeckrahmen, so dass hier kein Zusammenhang zu den Kosten hergestellt werden kann.

2.8 Flachdach ohne Lichtkuppeln

Basis der Auswertung sind n = 86 abgerechnete Projekte aus der energietechnischen Modernisierung von Flachdächern.

Bezugsfläche

Bezugsfläche ist die in den Kostenfeststellungen ausgewiesene Fläche der Dämmung inkl. der Fläche der gedämmten Attika.

Berücksichtigte Kosten

Eine Zwischenauswertung der Kostenfeststellungen hat gezeigt, dass die Zuordnung der Kostenelemente in „ohnehin erforderlich“ und „energiebedingt“ beim Flachdach zu kurz greift. Daher wurden die Kosten systematisch insgesamt vier Gruppen zugeordnet:

- **Kosten für Maßnahmen zur Wärmedämmung**

Unter diesem Punkt werden die Kosten für die Dämmung in der Fläche, wärmegeämmte Anschlüsse an z. B. Attiken inkl. eventuell erforderlichen Attikaerhöhungen oder Dachrandaufkantungungen mit entsprechenden Unterkonstruktionen infolge der Erhöhung, Kosten für wärmegeämmte Anschlüsse an angrenzenden Bauteile oder Schornsteine, generell die Kosten für neue Dachrand- / Traufbohlen, Maßnahmen zur Vergrößerung des Dachüberstandes für den späteren Anschluss einer Wärmedämmung auf der Fassade, vereinfachend generell die Kosten für neue Dachgullys und Dachentlüftungen inkl. eventuell erforderlichen Aufstockelemente zusammengefasst.

- **Kosten für Spengler- und Metallarbeiten**

Unter diesem Punkt werden systematisch alle Kosten für Spengler- und Metallarbeiten an Attiken und Traufen, für Einfassungen und Bekleidungen z. B. für Kamine oder aufsteigende Wände, für Rohre, Anschlüsse und Kaminabdeckungen aus Metall sowie alle Spenglerarbeiten zur Entwässerung des Daches zusammengefasst.

- **Kosten für Abbruch & Entsorgung**

Unter diesem Punkt sind die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung von alten Dachbelägen wie z. B. Kies oder Platten, Abdichtungen, Dämmstoffe, Dachschalungen, Einfassungen aus Metall für z. B. Kamine und Attiken, Dachrinnen, Dachausstiege und Lichtkuppeln sowie für Container zusammengefasst.

- **Vollkosten**

Bei den Vollkosten werden neben den oben genannten Positionen auch die Kosten für die Baustelleneinrichtung, den Voranstrich, die Dampfsperre, alle Abdichtungslagen auf dem Dach inkl. der Kosten für alle abdichtenden Anschlüsse, die Kosten für eventuell erforderliche neue Lattungen und Schalungen oder die Kosten für weitere Sanierungsarbeiten an z. B. Kaminen und angrenzenden Bauteilen (außer Metall), die Kosten für neue Kiesschüttungen, begehbare Beläge oder für alle Elemente eines begrünten Daches sowie für Regiearbeiten zusammengefasst. Damit sind unter den Vollkosten alle Kosten erfasst, die im Zuge der Modernisierung des Flachdaches anfallen.

Nicht berücksichtigt sind die Kosten für Dachausstiege und Lichtkuppeln mit entsprechenden Aufsatzkränzen, die Kosten für das Abdichten der Anschlüsse an diese Elemente, für Spindeln, Kurbelstangen bzw. E-Motoren usw. Diese sind separat ausgewiesen. Zudem sind die Kosten für Gerüst nicht enthalten.

Kostenfunktion – Flachdach ohne Lichtkuppeln

Abbildung 11 zeigt Kostenfunktionen für die nachträgliche Dämmung eines Flachdaches im Zuge einer ohnehin anstehenden umfassenden Instandsetzung über der äquivalenten Dicke. Die Darstellung der Kosten ist kumulativ.

- **Kosten für Wärmedämmung**

Wie in Abbildung 11 (rote Punktwolke und Trendlinie) dargestellt, steigen die Kosten für die Wärmedämmung mit $2,01 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$, die Fixkosten betragen $12,95 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. In diesen Kosten sind alle Kosten enthalten, die im unmittelbaren Zusammenhang mit der nachträglichen Dämmung des Flachdaches anfallen. Das Bestimmtheitsmaß ist mit $R^2 \approx 0,41$ relativ groß.

Sofern unter den o. g. Kosten für die Wärmedämmung alle energierelevanten Kosten erfasst sind, sollte diese Steigung der Kostenfunktion für die Wärmedämmung etwa der Steigung der Kostenfunktion für die Vollkosten zur Modernisierung des Flachdaches entsprechen, da diese theoretisch von einer energietechnischen Modernisierung unabhängig sind.

- **Kostenfunktion Vollkosten**

Tatsächlich steigen die Vollkosten (schwarze Punktwolke und Trendlinie) jedoch mit $4,11 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$. Diese Steigung der Vollkosten steht in deutlichem Gegensatz zur Steigerung der Kosten für die Wärmedämmung mit lediglich $2,01 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$. Offensichtlich entstehen weitere Kosten infolge der energietechnischen Modernisierung, die bei den Kosten zur Wärmedämmung nicht berücksichtigt werden. Das Bestimmtheitsmaß ist mit $R^2 \approx 0,30$ deutlich geringer.

- Kostenfunktion für Wärmedämmung, Spengler & Metall

Als grüne Punktvolke und grüne Trendlinie sind in Abbildung 11 die Summe der Kosten für die Maßnahmen zur Wärmedämmung, für Spenglerarbeiten und Arbeiten in Metall dargestellt. Die Steigung der gemeinsamen Kostenfunktion beträgt $2,58 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$, die Fixkosten betragen $25,17 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Dies bedeutet, dass im Zuge einer energietechnischen Modernisierung zusätzliche Spenglerarbeiten ausgeführt werden und zwar umso umfangreicher, je besser der Wärmeschutz ausgeführt wird. Ansonsten müsste die Steigung der Funktion gegenüber der Kostenfunktion für die Maßnahmen zur Wärmedämmung unverändert bleiben. Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 \approx 0,33$ und ist damit noch relativ groß.

- Kostenfunktion für Wärmedämmung, Spengler & Metall, Abruch & Entsorgung

Als gelbe Punktvolke und Trendlinie sind in Abbildung 11 die Summe der Kosten für Maßnahmen zur Wärmedämmung, für Spengler- und Metallarbeiten sowie den Abriss und die Entsorgung der Materialien dargestellt. Für die Summe dieser Kosten ergibt sich mit $3,78 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ wiederum eine größere Steigung der Kostenfunktion. Dies bedeutet, dass auch die Kosten für Abriss & Entsorgung bei höherwertig gedämmten Dächern überproportional steigen. Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 \approx 0,38$ und ist damit groß.

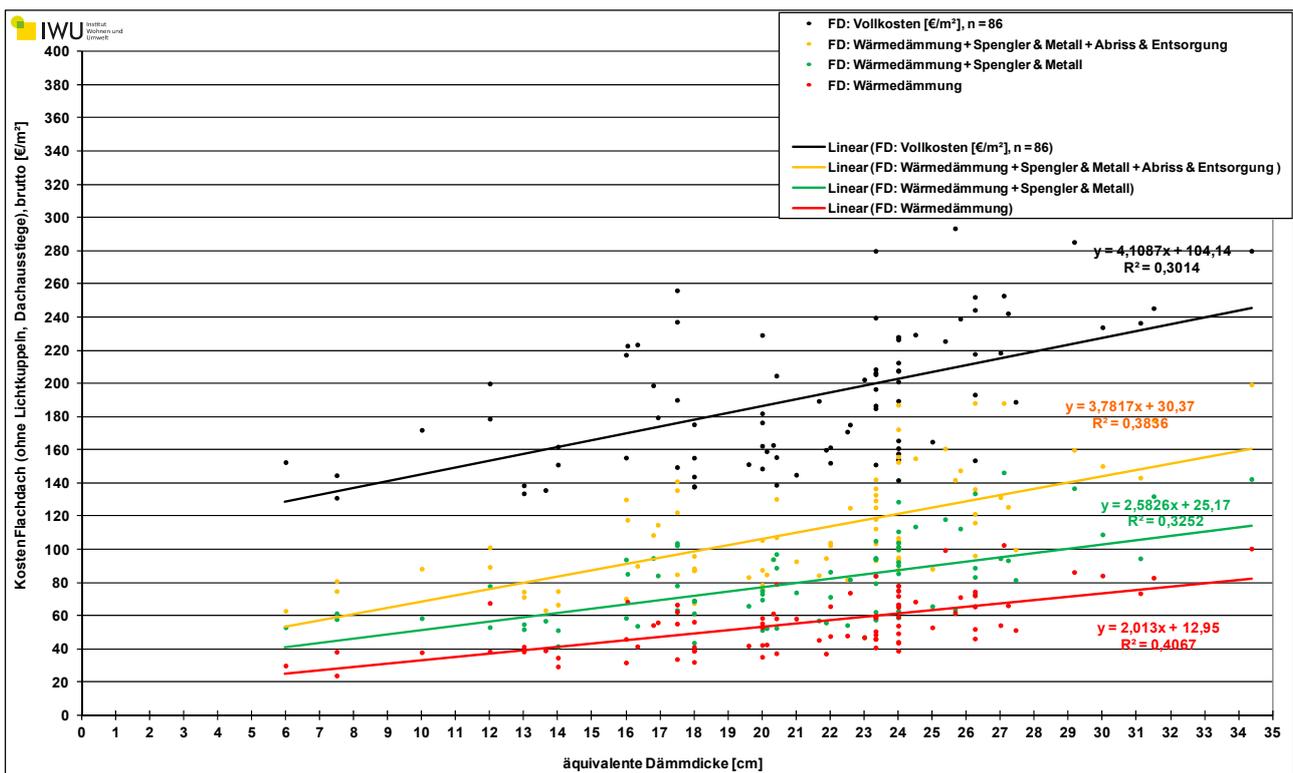


Abbildung 11: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung eines Flachdaches (ohne Lichtkuppeln, Dachausstiege)

Energiebedingte Mehrkosten

Wie erläutert, kann die sukzessive Annäherung der Steigungen der Kostenfunktionen in dem Sinne interpretiert werden, dass im Zuge der energetischen Modernisierung des Flachdaches mit höherwertigen Dämmstandards offensichtlich zusätzliche Abriss- sowie Spengler- und Metallarbeiten realisiert werden, die bei niedrigen Dämmdicken nicht bzw. weniger umfangreich durchgeführt werden. Offensichtlich werden in der Praxis relativ dünne nachträgliche Dämmungen eher auf das vorhandene Dach ohne größere Abrissmaßnahmen aufgebracht. Bei höherwertigen Maßnahmen werden dagegen eher umfassendere Abrissarbeiten durchgeführt, bevor das Dach mit dem deutlich verbesserten Wärmeschutz und umfangreicheren Zusatzarbeiten neu aufgebaut wird.

Auf Basis der Kostenfeststellungen kann nicht quantifiziert werden, welche Anteile der Kosten für Spenglerarbeiten sowie für Abriss und Entsorgung energierelevant sind. Da mit verbessertem Wärmeschutz aus diesen Arbeiten offensichtlich jedoch zusätzliche Kosten entstehen, werden diese pauschal und vereinfachend mit 50 % energierelevant angesetzt.

Für die nachträgliche Dämmung eines Flachdaches im Zuge einer ohnehin anstehenden Erneuerung ergeben sich somit Fixkosten aus der Wärmedämmung des Daches von $12,95 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ zuzüglich Fixkosten von $8,71 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ aus 50 % der Kosten für Spenglerarbeiten sowie für Abriss & Entsorgung, die im Zuge der energietechnischen Modernisierung realisiert werden. In der Summe sind dies $21,66 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$.

Die zuwachsenden Kosten betragen aus der Dämmung des Daches $2,01 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff/m}^2_{\text{Bauteil}}}$ zuzüglich $0,89 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff/m}^2_{\text{Bauteil}}}$ aus 50 % der Kosten für Spenglerarbeiten sowie für Abriss & Entsorgung. In der Summe sind dies $2,90 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff/m}^2_{\text{Bauteil}}}$.

2.9 Lichtkuppeln

Aus $n = 33$ Projekten konnten Kostenfeststellungen für Lichtkuppeln ausgewertet werden, wobei die überwiegende Mehrzahl von $n = 27$ Projekten mit insgesamt 113 Lichtkuppeln für die MFH vorlagen. Dagegen lagen lediglich Kostenfeststellungen für $n = 6$ Projekte mit insgesamt 10 Lichtkuppeln in EFH vor.

Berücksichtigte Kosten

Berücksichtigt sind alle Kosten, die mit dem Ersatz von vorhandenen Lichtkuppeln im Zuge einer Instandsetzung eines Flachdaches anfallen. Das sind die Kosten für den Ausbau und die Entsorgung der vorhandenen Lichtkuppeln, den Einbau der neuen Elemente mit entsprechenden Aufsatzkränzen, den Kosten für das Abdichten von Anschlüssen, für Spindeln, Kurbelstangen bzw. E-Motoren.

Vollkosten

Die Vollkosten für den Ersatz von Lichtkuppeln im Zuge der Modernisierung des Flachdaches unterscheiden sich die mit 1589 €/Stück im EFH nur wenig von den Kosten für die Lichtkuppeln in MFH mit 1516 €/Stück. Unterschiedlich ist jedoch die durchschnittliche Flachdachfläche je Lichtkuppel: Im EFH wird durchschnittlich je 113 m² Flachdach eine Lichtkuppel eingebaut, im MFH je 168 m² Flachdach.

Energiebedingte Mehrkosten

In der Regel enthalten die Kostenfeststellungen keine Angaben zur energetischen Qualität der Lichtkuppeln, insbesondere in Kombination mit zugehörigen Aufsatzkränzen, so dass hier kein Zusammenhang zu den Kosten hergestellt werden kann.

Die Mehrkosten für Flachdächer mit Lichtkuppeln können vereinfacht in der Kostenfunktion für Flachdächer ohne Lichtkuppeln über eine Konstante berücksichtigt werden. Im EFH sind dies $1589 \text{ €/Stück} / 113 \text{ m}^2_{\text{Flachdach}}/\text{Stück} = 14,02 \text{ €/m}^2_{\text{Flachdach}}$, im MFH entsprechend $9,03 \text{ €/m}^2_{\text{Flachdach}}$.

2.10 Oberste Geschossdecke

Abbildung 12 zeigt die Kostenfunktionen für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit / ohne begehbarem Belag über der äquivalenten Dicke. Basis der Kostenfunktionen sind $n = 89$ abgerechnete Projekte mit begehbarer und $n = 60$ Projekte mit nicht begehbarer Dämmung.

Bezugsfläche

Bezugsfläche ist die Fläche der innen liegenden Dampfbremse.

Äquivalente Dämmdicke

Zur Berechnung der äquivalenten Dämmdicke bei einer Dämmung zwischen den Deckenbalken wurde ein Holzanteil von 20 % berücksichtigt.

Berücksichtigte Kosten

Berücksichtigt sind Kosten aus vorbereitenden Arbeiten wie dem Öffnen des Daches (Materialtransport), aus Umräumarbeiten, Abdeck- und Schutzmaßnahmen auf dem Dachboden, dem Abriss und Entsorgung von z. B. Einbauten oder Schüttungen zwischen Deckenbalken, der Reinigung des Dachbodens, dem luftdichten Verlegen der Dampfbremse, dem Verlegen und dem Anarbeiten der Dämmung an An- und Abschlüsse (Treppenaufgänge, Kamine, Rohre, Pfosten, Fußpfetten, aufgehende Wände wie z. B. Treppenaufgang, ...), dem Ausschäumen / Verfüllen von Fugen, dem nachträglichen Dämmen von Dachbodenluken sowie Randbohlenrahmen um Dachbodenluken, dem Anpassen von Dachbodentreppen oder von Lattentüren / Lattenwänden (Kürzen / Höhersetzen / Einbau einer neuen Türschwelle) bzw. deren Ersatz. Berücksichtigt sind zudem Kosten infolge zusätzlicher brandschutztechnischer Auflagen, z. B. durch den Einsatz nicht brennbarer Dämmstoffe im Bereich von Kaminen (bei Aufblasdämmung gegebenenfalls Einbau einer Manschette) sowie aus Zulagen für erschwertes Arbeiten (Kriechflächen).

Bei Dämmungen zwischen den Deckenbalken sind zusätzlich die Kosten für das Öffnen und abschließende Verschließen des vorhandenen Bodenaufbaus berücksichtigt. Für begehbare oberste Geschossdecken sind zusätzlich die Kosten für die Aufständering und den neuen Bodenbelag inkl. aller Nebenarbeiten (Zuschnitte, Anschlussleisten, ...) berücksichtigt.

Vollkosten – begehbarer Bodenbelag

Nach der gemeinsamen Kostenfunktion für alle Dämmstoffe resultieren für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke Fixkosten von $28,03 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ und zuwachsend Kosten von $1,78 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die begehbare Dämmung.

In den Kostenfeststellungen wurden die Kosten für das Verlegen des begehbaren Belages ohne Nebenarbeiten separat ausgewiesen. Diese belaufen sich auf im Mittel $22 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Berücksichtigt man zusätzlich den Aufwand für die Herstellung der Unterkonstruktion und die erforderlichen Anschlüsse, so erscheinen die auf Basis der Kostenfunktion ermittelten Fixkosten von $28,03 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für den begehbaren Bodenbelag inkl. der Fixkosten für die Dämmarbeiten gegenüber $3,72 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ für die Dämmung der obersten Geschossdecke ohne begehbaren Dämmung plausibel.

Vollkosten – nicht begehbare Bodenbelag

Für die nicht begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke ergeben sich zuwachsende Kosten von $1,06 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$. Damit steigen die Kosten im Vergleich zur begehbaren Decke mit verbessertem Wärmeschutz weniger stark an. Tatsächlich war aus den Kostenfeststellungen zu erkennen, dass bei nicht begehbaren Dämmungen weniger zusätzliche Dämmarbeiten z. B. im Bereich von Fußpfetten oder angrenzenden Bauteilen in den Rechnungen ausgewiesen wurden. Daraus kann qualitativ die geringere Steigung der Kostenfunktion erklärt werden.

Einblas- und Aufblasdämmungen

Generell fällt auf, dass die spezifischen Kosten für Einblas- / Aufblasdämmungen insbesondere bei Dämmungen mit begehbarem Belag im Mittel niedriger sind als mit PS / PUR / MF. Dies zeigt sich in Abbildung 12 an den jeweils mit dünnen Linien dargestellten Kostenfunktionen. Die Unterschiede erscheinen jedoch nicht so gravierend, dass daraus separate Kostenfunktionen für die einzelnen Dämmstoffe abgeleitet werden.

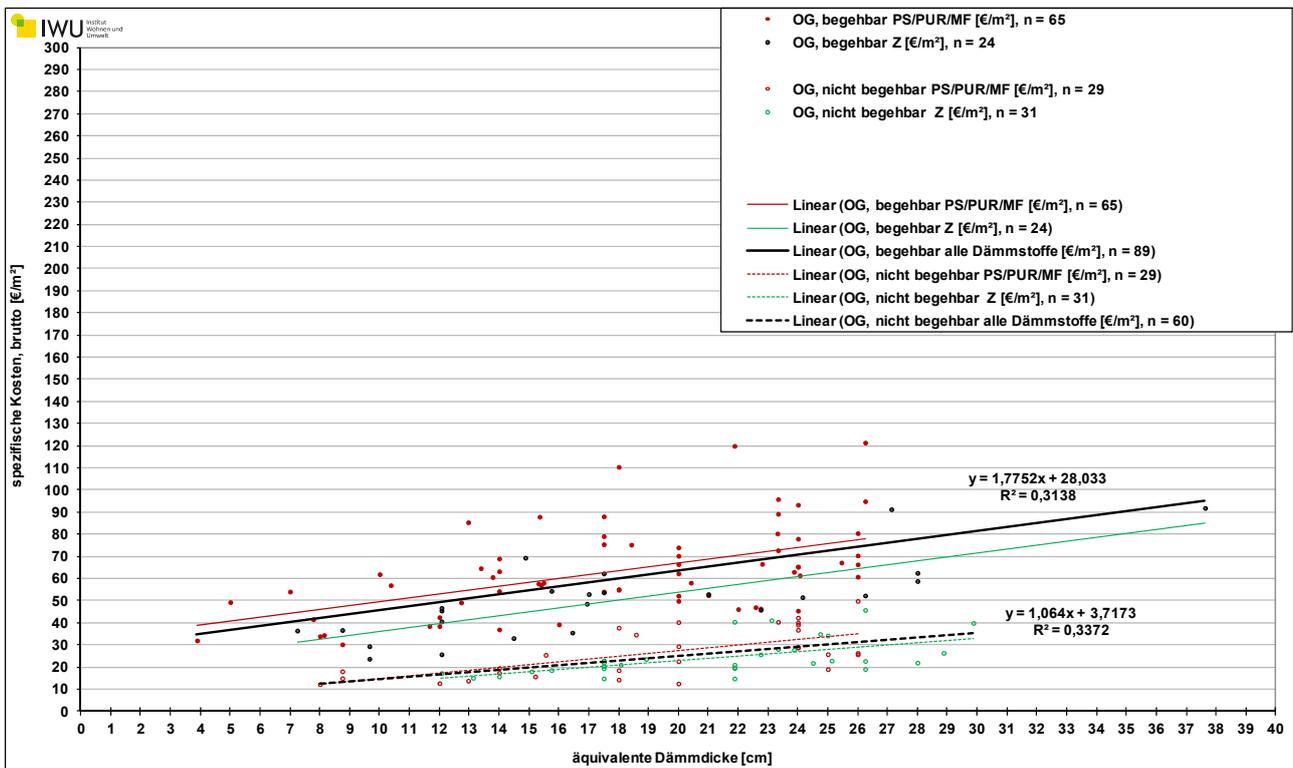


Abbildung 12: spezifische Kosten der nachträglichen Dämmung einer obersten Geschossdecke (begehbar / nicht begehbar) inkl. Nebenarbeiten

Energiebedingte Mehrkosten

Da Instandsetzungen an der obersten Geschossdecke in der Regel nicht vorgenommen werden, sind die gesamten Kosten der Maßnahmen als energiebedingte Mehrkosten anzusetzen. Für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (nicht begehbar) ergeben sich zuwachsende Kosten von $1,07 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$ und Fixkosten von $3,72 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$. Für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke (begehbar) ergeben sich Fixkosten von $28,03 \text{ €/m}^2_{\text{Bauteil}}$ mit zuwachsenden Kosten von $1,78 \text{ €/cm}_{\text{Dämmstoff}}/\text{m}^2_{\text{Bauteil}}$.

3 Kosten und Kostenfunktionen – Wärmeerzeugungssysteme

Auf Basis der Primärdaten wurden die Kosten und Kostenfunktionen für neue Heizanlagen als Einzelmaßnahme, in Kombination mit solarer Unterstützung der Warmwassererzeugung oder mit solarer Unterstützung der Heizung und Warmwassererzeugung, Maßnahmen in der Heizungsperipherie, Kosten für Hausanschlüsse bei leitungsgebundenen Energieträgern und für Lüftungsanlagen abgeleitet. Die Heizanlagen sind über die Endenergieträger Heizöl, Erdgas und Pellet befeuert. Zusätzlich wurden auch Kostenfeststellungen für fernwärmebeheizte Gebäude ausgewertet.

Kostenfeststellung für z. B. Scheitholzkessel 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.

Kopplungsprinzip als Prämisse

Die Studie geht systematisch vom Kopplungsprinzip aus: Dies bedeutet für die hier untersuchten Wärmeversorgungssysteme, dass Modernisierungen nur dann ergriffen werden, wenn die Heizungsanlage technisch veraltet ist.

Kostenfunktionen

Als wesentliches Ergebnis der Auswertung sind in den folgenden Grafiken die spezifischen Vollkosten der Maßnahmen als Potenzfunktionen der Form $y(x) = a \cdot x^b$ über der Wohnfläche dargestellt. Der Exponent b ist negativ, d. h. die Funktionen laufen mit größer werdender Wohnfläche asymptotisch auf null zu. Die Kostenfunktionen werden auf Basis der kleinsten Fehlerquadrate bestmöglich an die Streudiagramme (Punktwolken) angepasst.

Flächenbezug

Die Kosten für die Heizanlagen werden auf die Wohnfläche bezogen. Der Bezug der Kosten für unterschiedliche Wärmeversorgungssysteme auf die Nennleistung der Kessel führt zu keinen plausiblen Ergebnissen. Das liegt zum einen daran, dass die Nennleistung der Kessel sich für die untersuchten Wohngebäude nicht wesentlich unterscheidet. Zum andern sind die Kessel nur eine einzelne Komponente im Wärmeversorgungssystem. Die Kosten für diese einzelne Komponente werden u. U. von anderen Systemkomponenten wie z. B. Solarkollektoren, Speicher, Hauswasserstationen deutlich übertroffen. Damit entsteht für komplexere Wärmeversorgungssysteme eine Punktwolke über der Kesselleistung, die nicht auswertbar ist.

Berücksichtigte Kosten – Heizanlagen

Berücksichtigt sind die Kosten für Demontage und Entsorgung des alten Kessels inkl. aller Anlagenkomponenten wie Wasseraufbereitungsanlagen, Speicher und Pumpen oder die Schlammabsaugung / Entsorgung alter Öltanks. Für die neue Heizanlage werden alle Kosten für die Montage inkl. aller damit verbundenen Arbeiten für Durchbrüche und Rohrleitungen im Heizungskeller und deren Dämmung, Kosten für Speicher, differenzdruckgeregelte Heizungspumpen, Neutralisationsanlagen und Kondensatpumpen, Ausdehnungsgefäße, Heizkreisverteiler und Regelungen, Kosten für das Spülen des Rohrsystems, neue Gasleitungen, Wärmemengenzähler, Elektroarbeiten,

Hauswasserstationen, den hydraulischen Abgleich der Heizanlage, die Inbetriebnahme und Einweisung bzw. Übergabe oder die Abnahme durch den Schornsteinfeger berücksichtigt. Die Kosten erfassen zudem alle Arbeiten an Kaminen wie z. B. Einzugsrohre für den raumluftunabhängigen Betrieb der Anlage mit allen Komponenten inkl. der Schornsteinkopfabdeckung und eventuell erforderlicher Stemm- und Mauerarbeiten, die im Zuge der Heizungsmodernisierung erforderlich werden. Bei den Anlagen mit Festbrennstoffen sind zusätzlich auch die Kosten für das Brennstofflager (Pellet / Heizöl) und alle weiteren erforderlichen Anlagenteile wie z. B. Saug- oder Fördereinrichtungen enthalten (Pellet). Systematisch nicht erfasst sind die Kosten für einen neuen Hausanschluss bei Energieträgerwechsel auf Gas / Fernwärme. Diese Kosten sind separat ausgewiesen.

Die Systemgrenze für die Ermittlung der Kosten ist somit der Heizraum inkl. der Abgasanlage (Schornstein) und des Brennstofflagers. Abweichend hiervon werden zusätzlich auch die Kosten für den hydraulischen Abgleich mit dem eventuell erforderlichen Austausch von Thermostatventilen bzw. -köpfen, dem Einstellen der Ventile sowie die Kosten für Gasleitungen / Fernwärmeleitungen (innerhalb des Gebäudes) berücksichtigt, die außerhalb dieser Systemgrenze anfallen können.

Berücksichtigte Kosten – Solaranlagen

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 sowie die Inbetriebnahme oder die Abnahme der Anlage durch z. B. den Schornsteinfeger.

Energiebedingte Mehrkosten – Heizanlagen

Die Systemgrenze für die Bestimmung der energiebedingten Mehrkosten ist der Heizungskeller, 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, sofern die Anlagen im Zuge einer ohnehin anstehenden Modernisierung erneuert werden. 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.

Berücksichtigte Kosten – Heizungsperipherie

Unter dem Begriff „Heizungsperipherie“ wurden alle weiteren Kosten zusammengefasst, die in den Kostenfeststellungen zusätzlich aufgeführt wurden. So wird in der Systematik dieser Studie die Umstellung einer dezentralen Heizanlage auf eine zentrale Versorgung mit Heizwärme und Warmwasser als eine Modernisierung des Gebäudes angesehen, die ursächlich nicht in Verbindung mit einer energietechnischen Modernisierung oder in Verbindung mit den Anforderungen der EnEV zu sehen ist, sondern vielmehr eine Modernisierung auf zeitgemäßen Standard darstellt. Die hierfür entstandenen Kosten sind daher nicht energiebedingte Mehrkosten, sondern werden unter dem Begriff "Heizungsperipherie" zusammengefasst. 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.

Auch der Austausch vorhandener Heizkörper im Zuge einer Heizungsmodernisierung und Umstellung auf eine niedrigere Vorlauftemperaturen ist nicht mit energierelevanten Mehrkosten verbunden, da vorhandene Heizkörper im ungedämmten Gebäude in der Regel 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 Instandhaltung ist somit letztlich nicht bedingt durch die Erneuerung der Heizanlage.

3.1 Wärmeerzeugungsanlagen als Einzelmaßnahme

Abbildung 13 zeigt die spezifischen Kosten für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme ohne Solaranlagen in Wohngebäuden. Basis der Auswertung sind n = 32 Kostenfeststellungen für Pelletkessel, n = 23 Kostenfeststellungen für Ölkessel (Brennwert), n = 84 Kostenfeststellungen für Gaskessel (Brennwert) und n = 86 Kostenfeststellungen für Fernwärme. Dabei sind für Gas und Fernwärme mögliche Kosten für neue Hausanschlüsse infolge eines Energieträgerwechsels nicht berücksichtigt. Diese sind separat ausgewertet.

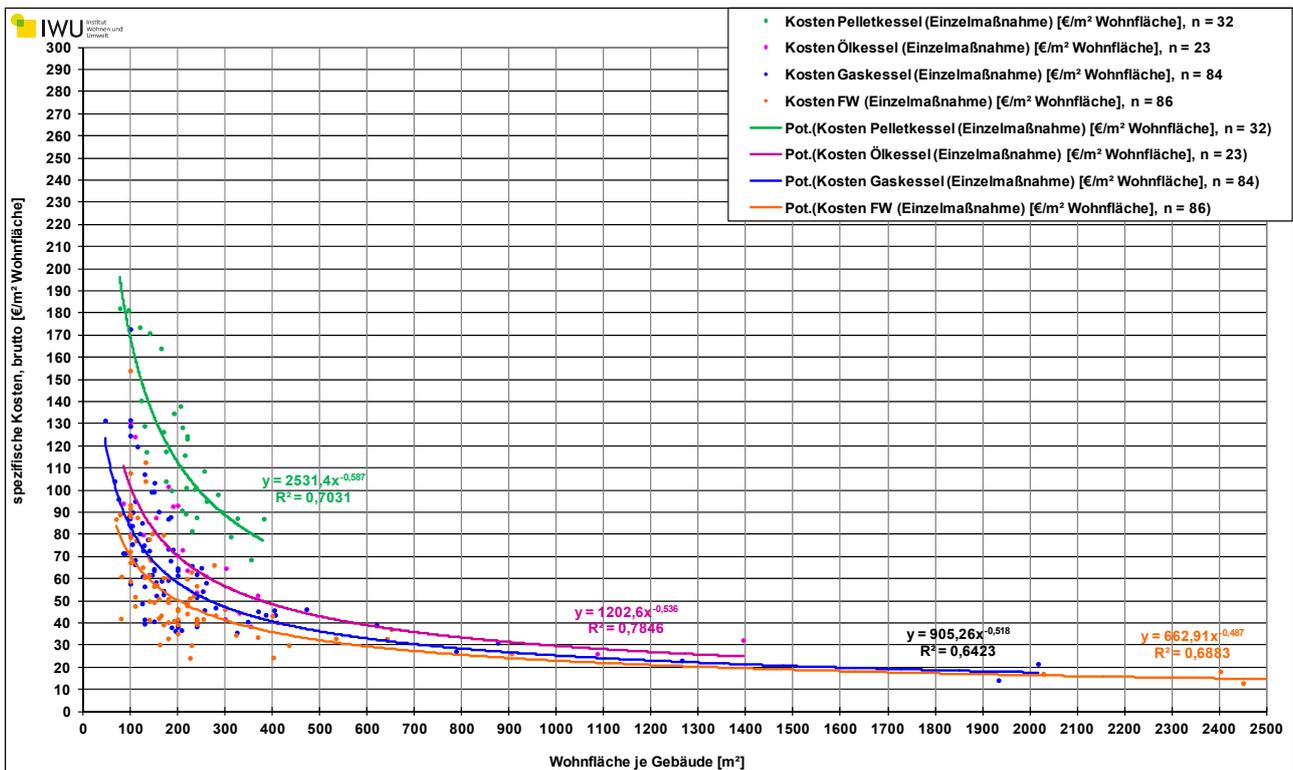


Abbildung 13: spezifische Kosten für Heizanlagen (Pellet / Gas / Öl) in Wohngebäuden

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktionen liegt für alle Heizanlagen über $R^2 \approx 0,64$. Damit besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen den spezifischen Kosten der Anlagen und der Wohnfläche je Gebäude. Nach den Kostenfunktionen sind neue Heizanlagen mit Gaskessel im Vergleich zu neuen Heizanlagen mit Ölkesseln günstiger zu realisieren. Deutlich teurer in der Modernisierung sind Heizanlagen mit Pelletkessel, günstiger dagegen neue Heizanlagen mit Fernwärme. Die Datenbasis ist für Wohngebäude mit mehr als ca. 600 m² gering, so dass die Kostenfunktionen nur unter Vorbehalt für größere Gebäude genutzt werden können.

3.2 Wärmeerzeugungsanlagen mit Solar (WW)

Abbildung 14 zeigt die spezifischen Kosten für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung. Die getrennte Auswertung der Kostenfeststellungen zu Öl- und Gas-Heizanlagen führt zu ähnlichen Ergebnissen, so dass für diese Systeme eine gemeinsame Kostenfunktion auf der Basis von n = 75 Kostenfeststellungen abgeleitet wurde. Basis der Auswertung für Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung bei gleichzeitiger Erneuerung mit Pellet-Heizkessel sind n = 22 Kostenfeststellungen. Zusätzlich enthält Abbildung 14 auch die Kosten für nachträglich eingebaute Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung inkl. der Einbindung in eine bestehende Heizanlage aus n = 34 Projekten.

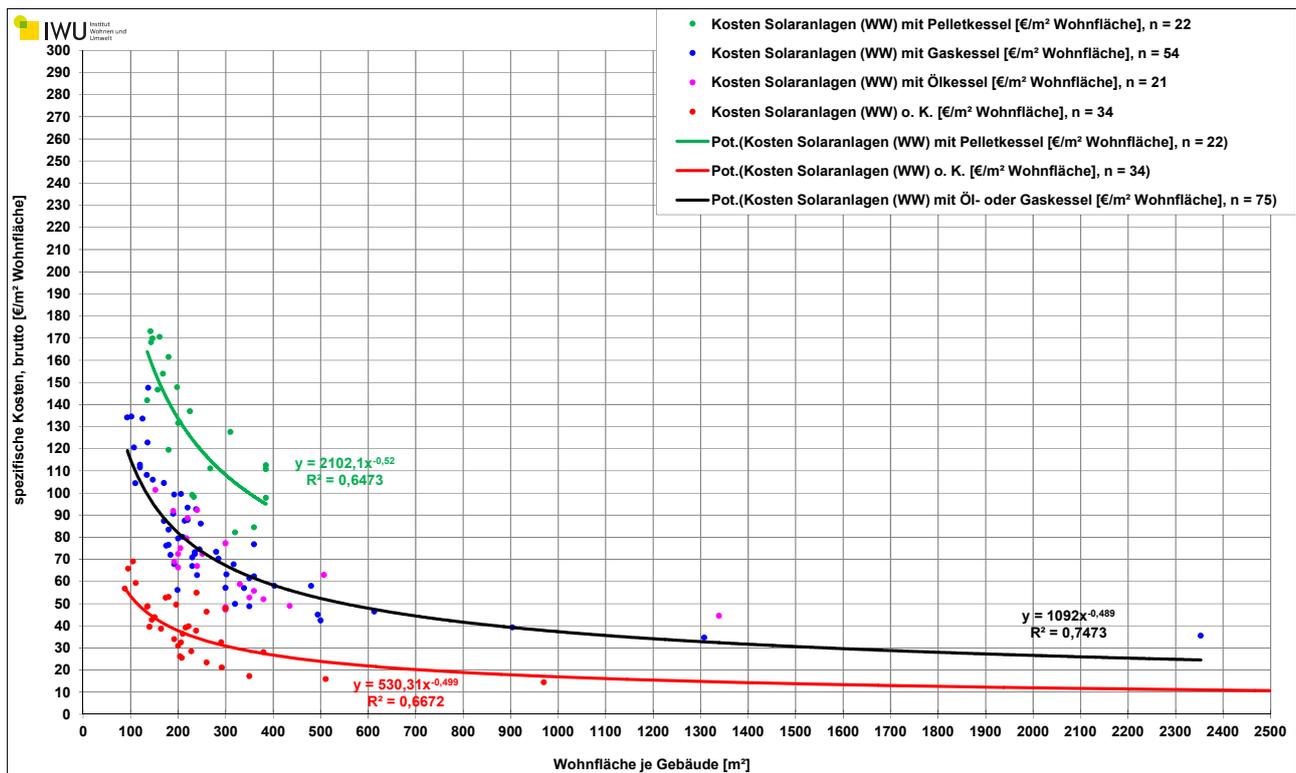


Abbildung 14: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung in Wohngebäuden

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktionen ist für die drei untersuchten Varianten mit $R^2 > 0,65$ groß. Allerdings ist die Datenbasis für Wohngebäude mit mehr als ca. 500 m² gering, dass die Kostenfunktionen nur unter Vorbehalt für größere Gebäude genutzt werden können.

3.3 Wärmeerzeugungsanlagen mit Solar (WW & Heizung)

Abbildung 15 zeigt die spezifischen Kosten für die Modernisierung verschiedener Wärmeerzeugungssysteme 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 = 78 Kostenfeststellungen für entsprechende Solaranlagen bei gleichzeitiger Erneuerung vorhandener Öl- oder Gaskessel. Die spezifischen Kosten gehen für entsprechende Anlagen in großen Gebäuden auf etwa 40 €/m² Wohnfläche zurück.

Die Kostenfunktion für entsprechende Solaranlagen mit dem gleichzeitigen Einbau einer Pellet-Heizanlage basiert auf n = 34 Kostenfeststellungen. Zusätzlich enthält die Abbildung auch die Ergebnisse der Auswertung von n = 37 Kostenfeststellungen für nachträglich eingebaute Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung und Heizung mit der Einbindung in eine bestehende Heizanlage.

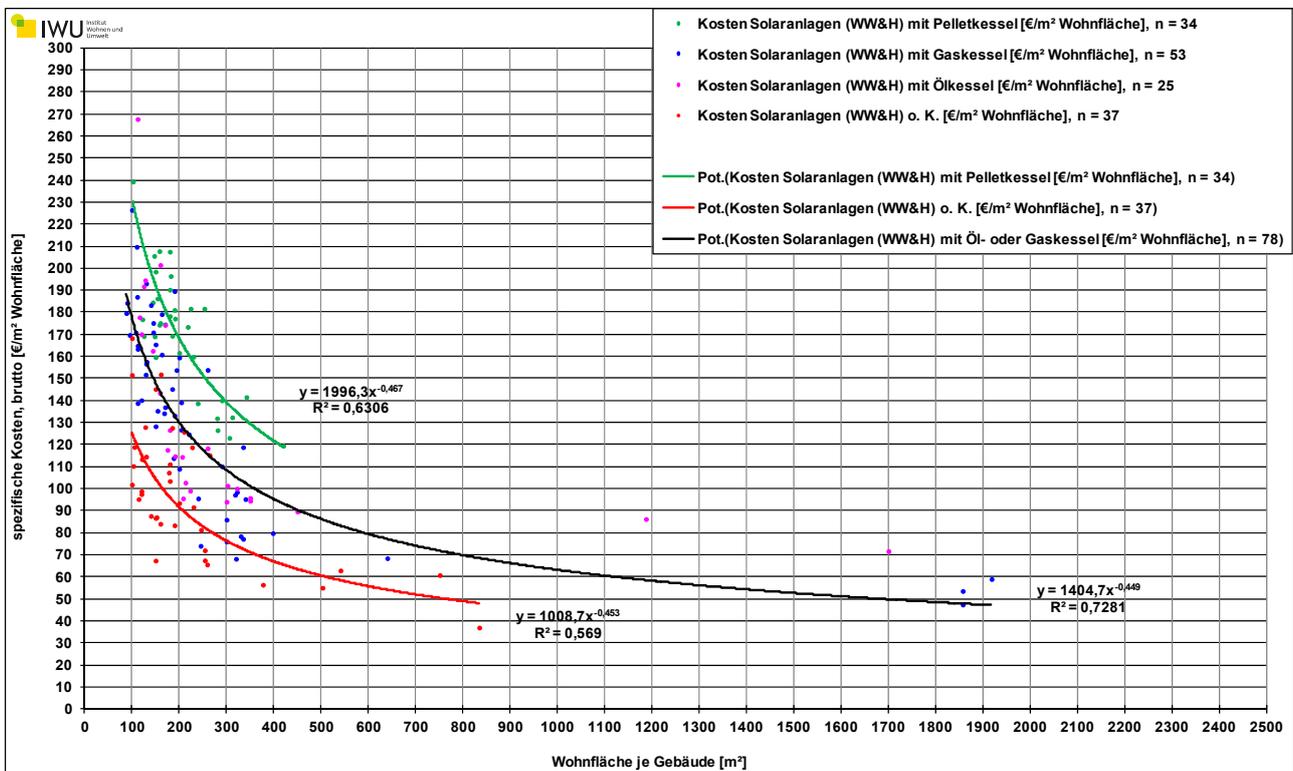


Abbildung 15: spezifische Kosten für Heizanlagen mit solarer Unterstützung bei der Warmwasserbereitung und Heizung

Das Bestimmtheitsmaß der Kostenfunktionen ist mit $R^2 > 0,57$ für die drei untersuchten Varianten wiederum groß. Jedoch liegen auch für diese Systeme auswertbare Kostenfeststellungen im Wesentlichen für Gebäude bis ca. 400 m² Wohnfläche vor, so dass die Ergebnisse der Kostenfunktion nur bedingt auf große Gebäude übertragen werden können.

3.4 Heizungsperipherie

Neben den oben genannten Kosten entstehen im Zuge der Erneuerung der Wärmeerzeugungssysteme auch Kosten in der Heizungsperipherie innerhalb des Gebäudes, aber außerhalb der oben genannten Bilanzgrenze für die Wärmeerzeugungsanlagen. Diese zusätzlichen Kosten wurden auf Basis von $n = 141$ abgerechneter Projekte ermittelt.

Bezugsfläche

Die Bezugsgröße ist die Wohnfläche der Gebäude.

Berücksichtigte Kosten

Im Zuge der Erneuerung der Wärmeerzeugungssysteme entstehen auch Kosten in der Heizungsperipherie, z. B. durch die Erneuerung von Verteilleitungen, Heizkörpern oder neuer Fußbodenheizungen. Dazu kommen Kosten aus der Erneuerung von Kaltwasserleitungen sowie aus dem Bereich Sanitär, die in den vorliegenden Kostenfeststellungen ausgewiesen sind. Dabei ist zu erkennen, dass in einzelnen Projekten mit dem Einbau der Heizanlage erstmalig eine zentrale Wärmeverteilung aufgebaut wurde bzw. ein bestehendes Verteilsystem erweitert wurde. Die hierfür entstandenen zusätzlichen Kosten sind unter der Bezeichnung „Heizungsperipherie“ erfasst. 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 systematisch nicht erfasst werden. Sofern diese Maßnahmen aber plausibel zugeordnet werden konnten, wurden diese den Kosten für Maßnahmen in der Heizungsperipherie zugeordnet.

Kostenfunktion

Die Kosten für Maßnahmen in der Heizungsperipherie werden aus einer Differenzbetrachtung ermittelt: Die aus den einzelnen Projekten ermittelten spezifischen Vollkosten für die vollständige Modernisierung der Heizungsanlagen inkl. aller Nebenarbeiten innerhalb des Gebäudes sind in Abbildung 16 als schwarze Punktwolke / Kostenfunktion dargestellt. Zusätzlich sind als rote Punktwolke / Kostenfunktion die aus den zugehörigen Projekten unter Beachtung der Bilanzgrenze ermittelten Kosten für die jeweiligen Wärmeerzeugungsanlagen angegeben. Diese sind somit eine Teilmenge der in Abbildung 13 bis Abbildung 15 dargestellten Projekte. Aus der Differenz der Kostenkennwerte wird die blaue Punktwolke erzeugt. Diese beschreibt damit die außerhalb der Bilanzgrenze für die Wärmeerzeugungsanlagen in der „Heizungsperipherie“ anfallenden Kosten in den einzelnen Projekten.

Auffällig ist, dass nach dieser Näherung nur etwa $2/3$ der gesamten Kosten für die Modernisierung auf die Heizungsanlage selbst entfallen. Etwa $1/3$ der gesamten Kosten wird für die Modernisierung der Heizungsperipherie aufgebracht.

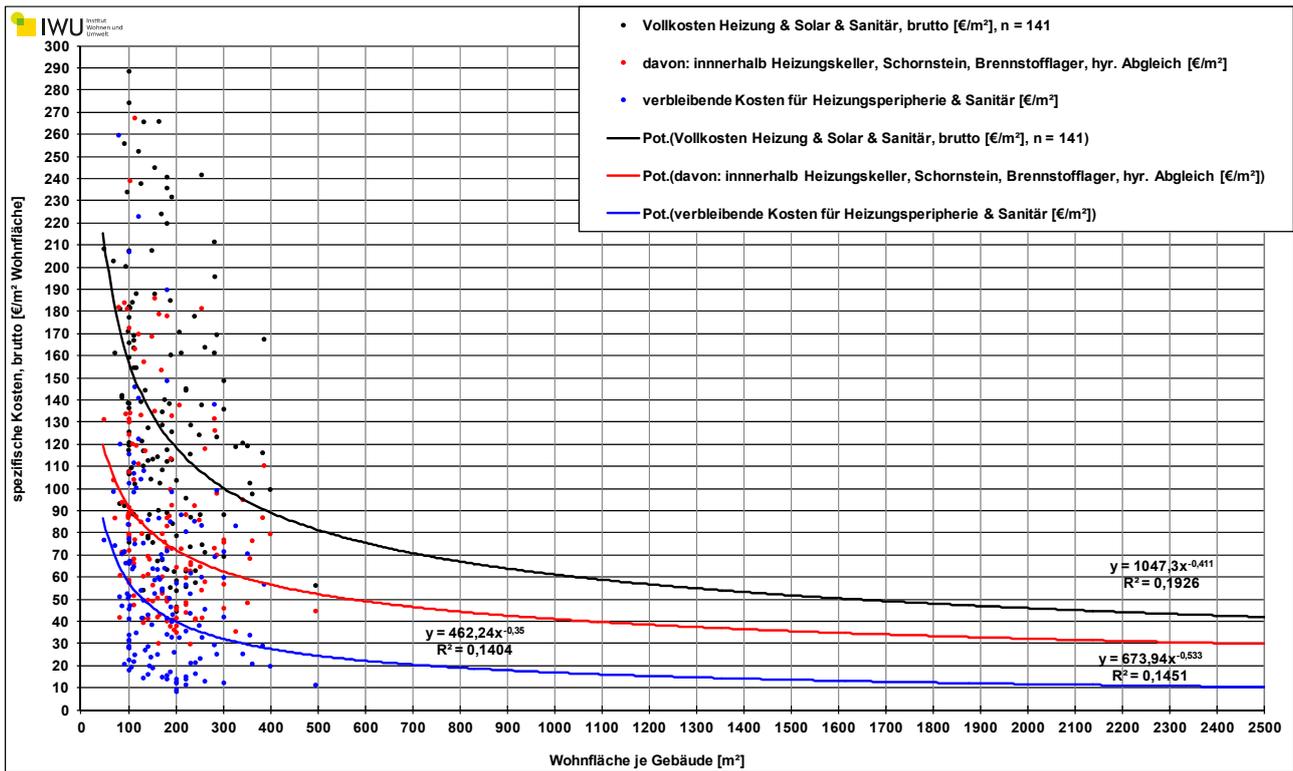


Abbildung 16: spezifische Kosten in der Heizungsperipherie für zusätzliche Maßnahmen außerhalb der Bilanzgrenze Heizraum / Brennstofflager / Schornstein, aber innerhalb der Gebäudehülle

Energiebedingte Mehrkosten

Die Kosten für Maßnahmen in der Heizungsperipherie werden aus den einleitend zu diesem Kapitel genannten Gründen systematisch nicht der energetischen Modernisierung zugeordnet, sondern als Kosten angesehen, die im Zuge einer umfassenden Modernisierung der Wärmeversorgung, der Kaltwasserversorgung und der Sanitäreinrichtungen des Gebäudes ohnehin anfallen.

3.5 Wärmeerzeugungsanlagen – vergleichende Darstellung der Ergebnisse

Abbildung 17 zeigt die Kosten für die Modernisierung von Wärmeerzeugungssystemen in einem Wohngebäude mit 185 m², beispielhaft berechnet aus den oben dargestellten Kostenfunktionen. Die Grafik unterscheidet (von links nach rechts) in

- Kesselaustausch als Einzelmaßnahme (BW-Gas, BW-Öl, Pellet, Fernwärme)
- Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwassererzeugung als Einzelmaßnahme
- Solaranlagen zur Unterstützung der Warmwassererzeugung in Kombination mit einem Kesselaustausch (BW-Gas / 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 / Öl, Pellet)
- Kosten für Maßnahmen in der Heizungsperipherie

Die Abbildung zeigt, dass in der Höhe und in Bezug auf die Abstimmung der Kosten untereinander die aus den Kostenfunktionen ermittelten Kosten für die untersuchten Wärmeerzeugungsanlagen plausibel erscheinen.

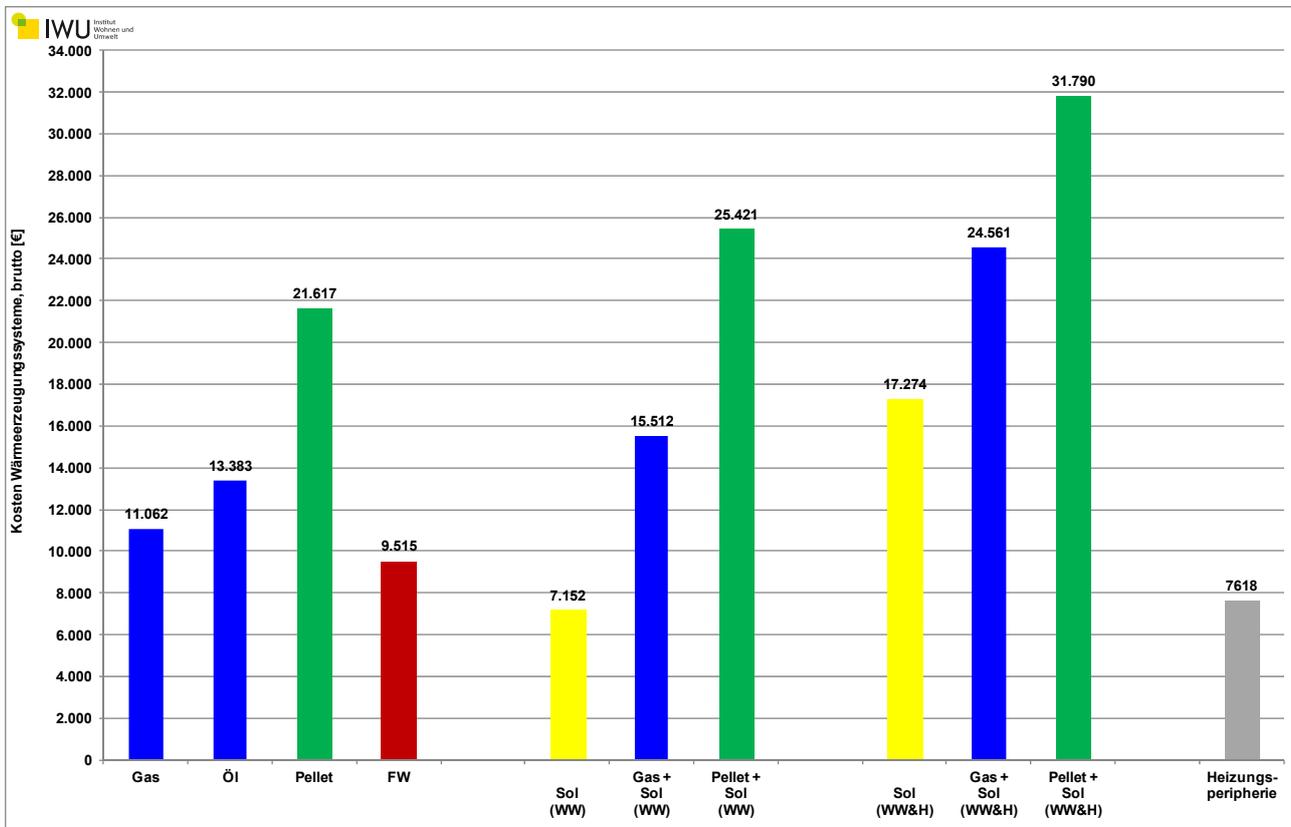


Abbildung 17: Kosten für verschiedene Heizsysteme und Maßnahmen in der Heizungsperipherie (Gebäude mit 185 m² Wohnfläche)

Heizkessel als Einzelmaßnahme ohne Solaranlage

Eine neue Heizanlage mit Gaskessel kostet 11.062 € und mit einem Ölkessel 13.383 €. Die Pellet-Heizanlage erfordert deutlich größere Investitionen von 21.617 €. 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 7.152 €. Die Kosten für die Erneuerung einer Heizanlage in Verbindung mit einer Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserbereitung betragen bei Gas- / Ölkessel 15.512 €. Diese Kosten sind 3.862 € niedriger als die Summe der Einzelinvestitionen für einen Gas- / Ölkessel (im Mittel ca. 12.222 €) und der Solaranlage zur Warmwasserbereitung (7.152 €).

Die entsprechenden Kosten für die Erneuerung einer Heizanlage betragen bei Pelletkessel 25.421 €. Dieser Betrag ist 3.348 € geringer als die Summe der Einzelinvestitionen für einen Pelletkessel und eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung. Diese Differenz der Kosten deckt sich mit der entsprechenden Differenz der Kosten bei Heizanlagen mit Gas- / Ölkessel.

Heizanlagen mit solar unterstützter Warmwasserbereitung Heizung

Die Kosten für eine Solaranlage zur Unterstützung der Heizung und Warmwasserbereitung als Einzelmaßnahmen betragen 17.274 €. 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 24.561 €. Damit resultiert aus diesem Maßnahmenpaket eine Kostenersparnis von 4.936 € gegenüber den Einzelmaßnahmen Solaranlage (17.274 €) sowie Kesselaustausch (im Mittel 12.222 €). 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 31.790 €. Damit resultiert aus diesem Maßnahmenpaket eine Kostenersparnis von 7.101 € gegenüber den Einzelmaßnahmen Solaranlage (17.274 €) und Pelletheizanlage (21.617 €). Diese Differenz der Kosten stimmt gut überein mit der entsprechenden Differenz der Kosten bei Heizanlagen mit Gas- / Ölkessel.

Heizungsperipherie

Für Maßnahmen in der Heizungsperipherie fallen nach der Kostenfunktion für das Gebäude mit 185 m² Wohnfläche weitere Kosten in Höhe von 7618 € an.

3.6 Hausanschlüsse

Für leitungsgebundene Endenergieträger sind in n = 55 Projekten Kosten für neue Hausanschlüsse für Fernwärme und n = 32 für Gas ausgewiesen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 18 dargestellt.

Bezugsfläche

Die Bezugsgröße ist die Wohnfläche der Gebäude.

Berücksichtigte Kosten

Erfasst sind alle Kosten, die mit der Herstellung des Hausanschlusses außerhalb des Gebäudes entstehen. Auf Grund der unklaren Zuordnung auf Basis der Kostenfeststellungen sind zusätzliche Kosten für Wiederherstellungsarbeiten in Vorgärten systematisch nicht erfasst.

Kostenfunktion

Plausibel erscheint, dass die Kosten für die Herstellung des Hausanschlusses bei Fernwärme im Vergleich zu Gas höher sind. Allerdings liegen auch hier wiederum nur wenige Kostenfeststellungen für große Gebäude vor, so dass die Kostenfunktionen für diese Gebäude nur unter Vorbehalt genutzt werden können.

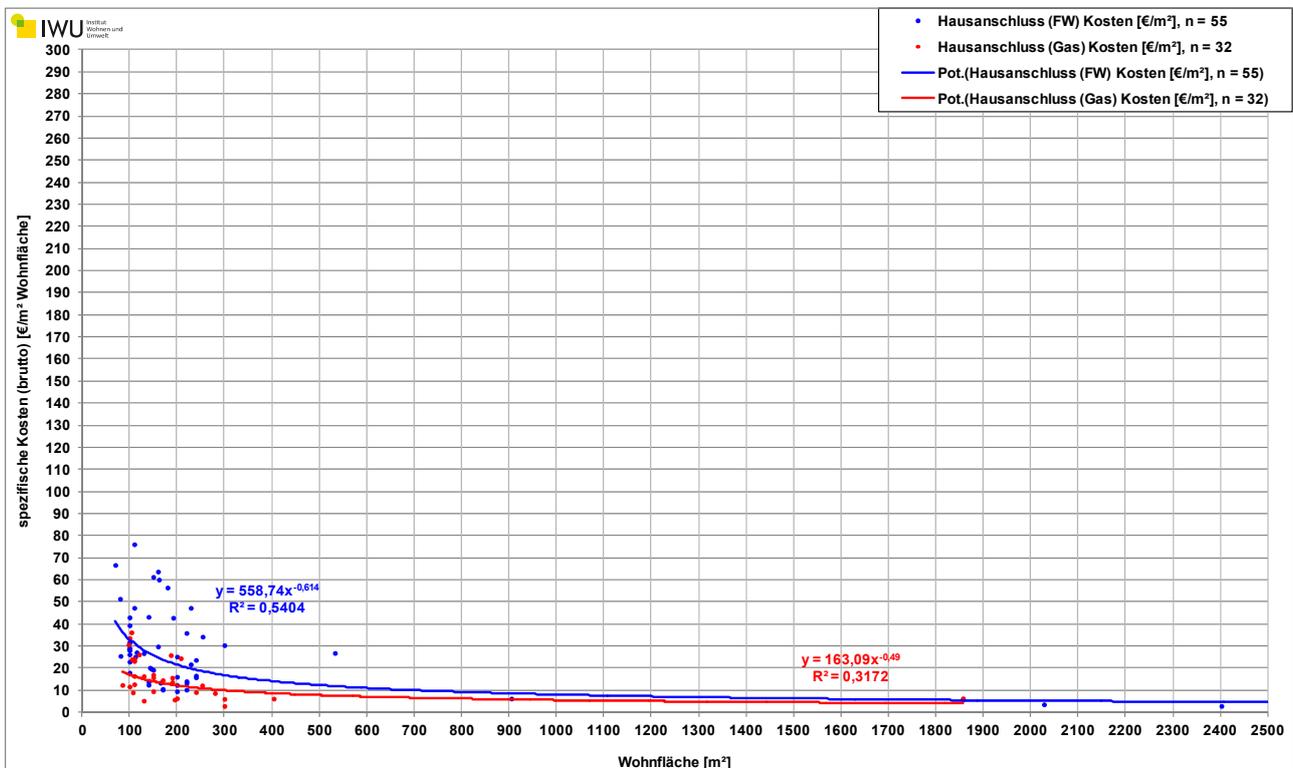


Abbildung 18: spezifische Kosten für Hausanschlüsse Fernwärme / Gas ohne Gartenarbeiten

3.7 Lüftungsanlagen

Aus den Primärdaten konnten insgesamt die Kostenfeststellungen für 189 Lüftungsanlagen ausgewertet werden. Darunter sind insgesamt 85 Kostenfeststellungen aus der Vorgängerstudie [BBSR; 2012] enthalten, die zur Erweiterung und Absicherung der Datenbasis in die hier vorliegende Auswertung übernommen wurden. Für die Auswertung wurde unterschieden in zentrale Abluftanlagen ohne Wärmerückgewinnung ($n = 19$) mit Außenluftnachströmung über Fenster- oder Wanddurchlässe, zentrale Lüftungsanlagen mit Kanalsystem für Zu- und Abluft und effizienter Wärmerückgewinnung (Temperaturbereitstellungsgrad über 80 %, $n = 126$) und dezentrale Einzellüfter (intermittierender Betrieb, Zu- / Abluft) mit Wärmerückgewinnung ($n = 44$).

Bezugsfläche

Die Bezugsgröße ist die Wohnfläche je Wohneinheit.

Berücksichtigte Kosten

Berücksichtigt sind alle Kosten für die Komponenten der Lüftungsanlagen wie z. B. das Wärmetauscheraggregat, gegebenenfalls Nachheizregister, Frostschutzmittel, die Steuerung und Regelungstechnik inkl. Fühlern, Fernbedienungen oder Schalter, das Kanalnetz mit allen Schalldämpfern, Filtern und Außenhauben, Muffen, Rohrleitungen und Abzweigen inkl. aller Formteile, Dichtungen und Isolierungen, Filter, Kosten für Maurerarbeiten wie das Durchbrechen und Schließen von Maueröffnungen oder Dächern 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 – zentrale Abluftanlagen

Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abbildung 19 als spezifische Kosten der Anlagen über der Wohnfläche je Wohneinheit dargestellt. Wohnflächen je Wohneinheit unter etwa 100 m² entsprechen vorwiegend Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, Wohnflächen je Wohneinheit über etwa 100 m² entsprechen vorwiegend Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Entsprechend den Kostenfunktionen konnten Abluftanlagen in den relativ kleinen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern je nach Wohnungsgröße für ca. 30 €/m²_{Wohnfläche} bis 45 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung realisiert werden. In einzelnen Fällen kosteten die Anlagen aber auch über 50 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung. Das Bestimmtheitsmaß ist mit $R^2 \approx 0,51$ groß. Allerdings ist die Datenbasis mit $n = 19$ insgesamt gering, vor allem für Beurteilung von Abluftanlagen in Einfamilienhäusern.

Kostenfunktion – dezentrale Einzellüfter mit Wärmerückgewinnung

Bei dezentralen Einzellüftern mit Wärmerückgewinnung ist gegenüber zentralen Abluftanlagen mit etwa 10 €/m²_{Wohnfläche} höheren Kosten zu rechnen. Allerdings hängen die Kosten im konkreten Fall stark von der Anzahl der eingesetzten dezentralen Lüfter ab, was die große Streuung in der Punktwolke zum Teil erklären kann. Im Mittel wurden 3,5 Lüfter je Wohneinheit eingesetzt.

Kostenfunktion – zentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung

Entsprechend den Kostenfunktionen konnten effiziente Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in den relativ kleinen Wohnungen in Mehrfamilienhäusern je nach Wohnungsgröße für 70 €/m²_{Wohnfläche} bis 95 €/m²_{Wohnfläche} je Wohnung realisiert werden. In einigen Fällen kosteten die Anlagen aber auch deutlich über 100 €/m²_{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 auf 55 €/m²_{Wohnfläche} bis 45 €/m²_{Wohnfläche}.

Das Bestimmtheitsmaß beträgt $R^2 \approx 0,18$. Die Datenbasis ist mit $n = 126$ gut. Auffällig ist die große Streuung der spezifischen Kosten, die jedoch plausibel und praxisgerecht ist. Zwei Beispiele:

- Die sehr niedrigen Kosten von 25 €/m²_{Wohnfläche} in dem Gebäude mit 160 m² Wohnfläche resultieren aus sehr günstigen baulichen Voraussetzungen. In diesem Projekt konnten die Lüftungskanäle kosteneffizient in einem stillgelegten Kamin verlegt werden.
- Gänzlich andere Voraussetzungen waren in dem Projekt mit den hohen Kosten von 86 €/m²_{Wohnfläche} in dem Gebäude mit 185 m² Wohnfläche gegeben: Hier waren mit der Verlegung des Kanalnetzes umfangreiche Bohrungen, zum Teil auch durch Betonwände, verbunden. Die Kosten sind entsprechend plausibel und hoch.
- Gleiches gilt auch für das Projekt mit 191 m² Wohnfläche und spezifischen Kosten von 91 €/m²_{Wohnfläche}: auch hier waren umfangreiche Bohrungen durch Betonwände und Decken innerhalb des Gebäudes zur Verlegung des Leitungssystems erforderlich.

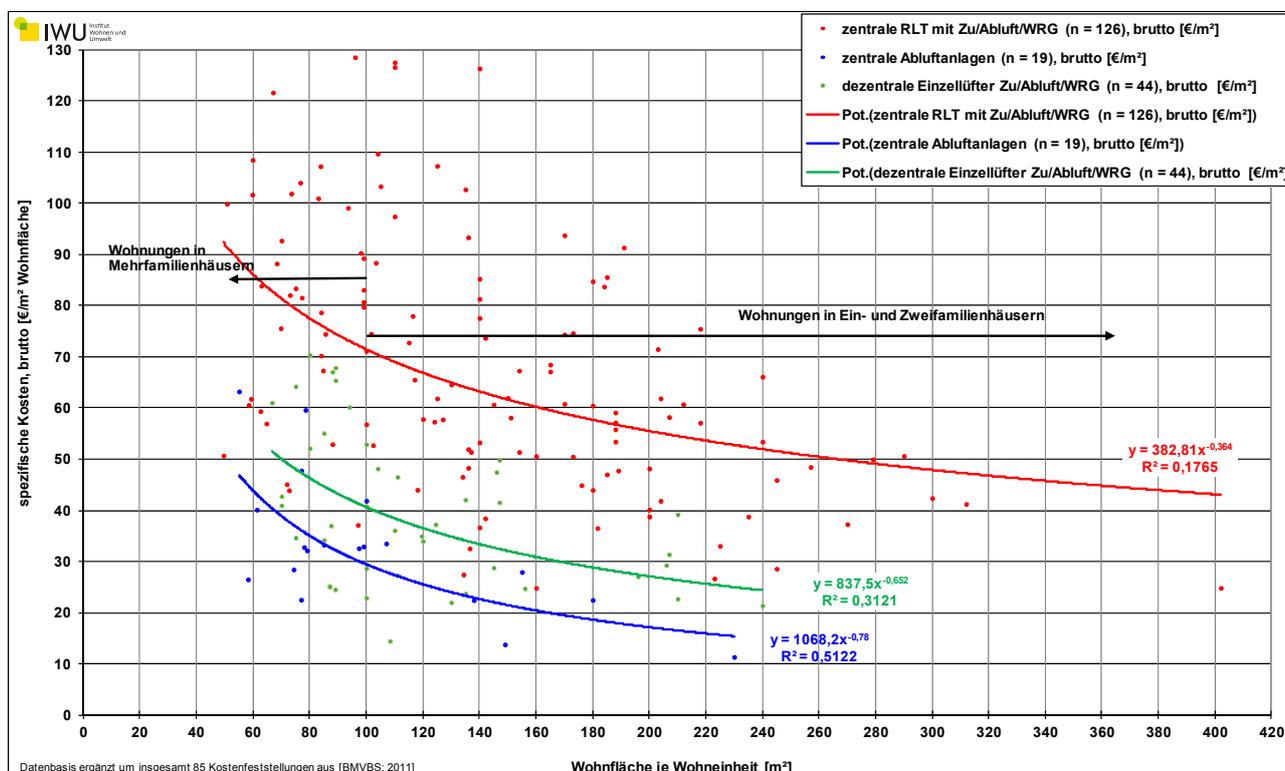


Abbildung 19: Kosten je Wohneinheit für den nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in Wohngebäuden

Energiebedingte Mehrkosten

Der Einsatz von zentralen Abluftanlagen dient in erster Linie zur Gewährleistung einer dauerhaft hohen Raumluftqualität in den Wohnräumen. Zentrale Abluftanlagen sind damit primär keine Maßnahme zur Energieeinsparung, sondern sichern vielmehr einen zeitgemäßen Luftqualitätsstandard. Energiebedingte Mehrkosten werden für diese Anlagen nicht angesetzt.

Zentrale 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.

Eine Alternative zu zentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung sind dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, sofern lediglich einzelne Räume kontrolliert belüftet werden sollen. Für einzelne Geräte liegen inzwischen Passivhaus-Zertifizierungen vor. Mit dem deutlich geringeren Montageaufwand sind die spezifischen Kosten für diese Geräte gegenüber zentralen Anlagen mit Wärmerückgewinnung deutlich geringer.

Einflussfaktoren auf die Kosten

Der Einfluss der baulichen Gegebenheiten auf die spezifischen Kosten der Anlagen wurde bereits erwähnt. In der Praxis können die Kosten für Lüftungsanlagen aber auch durch die frühzeitige Einbindung des Lüftungsplaners in den Planungsprozess beeinflusst werden, um z. B. Investitionskosten für das Kanalsystem oder Kosten aus brand- / schallschutztechnischen Anforderungen einzusparen. Zudem können laufende Betriebskosten durch ein strömungsoptimiertes Kanalnetz mit geringen Druckverlusten und die sorgfältige korrekte Einregulierung der Anlage reduziert werden.

Ziel der hier vorliegenden Studie war es nicht, Kostenstrukturen für Lüftungsanlagen herauszuarbeiten. Dennoch ist zu vermuten, dass auch infolge der Weiterentwicklung einzelner Komponenten von Lüftungsanlagen zukünftig Investitionskosten eingespart werden können. Als Fortführung der Studie könnte eine entsprechende Auswertung der vorliegenden Kostenfeststellungen erfolgen.

4 Kosten und Kostenfunktionen – sonstige Maßnahmen

In den folgenden Abbildungen werden die Kosten und Kostenfunktionen für weitere Maßnahmen dargestellt, die im Zuge der energietechnischen Modernisierung anfallen. Dazu zählen baubegleitende und qualitätssichernde Leistungen von Architekten und von Energieberatern, Kosten für Blower-Door-Messungen und Kosten für Gerüste.

4.1 Architekten und Energieberatungsleistungen

Abbildung 20 zeigt die spezifischen Kosten für Architekten- und Energieberatungsleistungen im Zuge der energetischen Modernisierung. Basis der Auswertung sind $n = 85$ ausgewertete Projekte für Architektenleistungen und $n = 143$ Projekte für Dienstleistungen von Energieberatern.

Bezugsfläche

Die Bezugsfläche für die Ableitung der Kostenfunktion ist die Wohnfläche. Die Ableitung einer Kostenfunktion auf Basis der Investitionskosten oder der Anzahl der durchgeführten Maßnahmen führt dagegen zu keinen plausiblen Ergebnissen.

Berücksichtigte Kosten – Architekten

Unter den Kosten für Architekten sind alle von Architekturbüros in Rechnung gestellten Kosten erfasst, die im Sinne einer Bauplanung & Baubegleitung deutlich über Energieberatungsleistungen hinausgehen und häufig auf Basis der HOAI in Rechnung gestellt wurden. Solche Rechnungen von Architekten liegen vor allem für die Projekte vor, in denen nach den Kostenfeststellungen umfangreiche Modernisierungen durchgeführt wurden.

Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die hier ermittelten Kosten nicht mit auf Basis konkreter Projekte nach HOAI ermittelten Kosten verglichen werden können. Das ist nicht das Ziel der Auswertung, sondern es sollen vielmehr möglichst umfassend die Kosten ermittelt werden, die im Zuge energietechnischer Modernisierungen von Kunden im Mittel gezahlt werden. Dazu gehören die in den Rechnungen ausgewiesenen Kosten für Architekten, sofern diese zumindest teilweise in den Bauprozess eingebunden waren und ihre Leistungen in Rechnung gestellt haben.

Berücksichtigte Kosten – Energieberatung

Unter Energieberatungsleistungen sind Kosten für Förderanträge, EnEV-Berechnungen, für die Grundlagenermittlung und für die Beratung durch Energieberater erfasst, sofern diese nicht von Architekten übernommen wurden. In einzelnen Fällen wurden zudem Kosten für detaillierte Wärmebrückenberechnungen ausgewiesen, die ebenfalls berücksichtigt wurden.

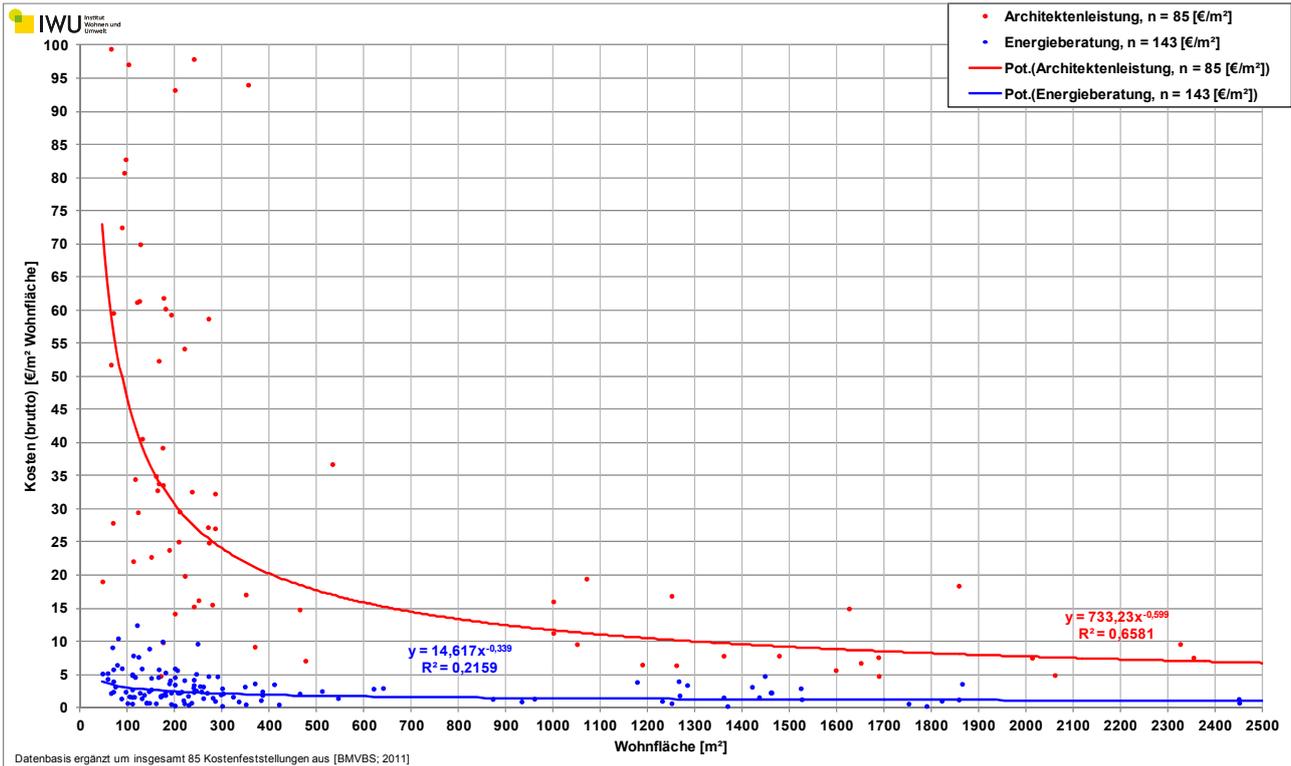


Abbildung 20: spezifische Kosten für Architektenleistungen & Energieberatung

Kostenfunktion – Architekten und Energieberatung

Die spezifischen Kosten für Architektenleistungen sind mit $30 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ bis über $50 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ vor allem für kleine Gebäude nicht zu vernachlässigen. Nach der Kostenfunktion liegen die spezifischen Vollkosten für Energieberatungsleistungen dagegen auch bei kleinen Gebäuden unter $4 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$.

Energiebedingte Mehrkosten

Die ausgewiesenen durchschnittlichen Kosten für die energietechnische Beratung sind vollständig als energiebedingte Mehrkosten anzusehen. Dagegen ist eine anteilige Zuordnung der Architektenleistungen zu den energiebedingten Mehrkosten auf Basis der Kostenfeststellungen nicht möglich.

4.2 Gerüste

Kosten für Gerüste, Gerüstsicherungen und für Kräne lassen sich bei den zum Teil sehr umfangreichen Maßnahmen an den einzelnen Projekten nicht eindeutig einzelnen Maßnahmen zurechnen. Daher wurden die Kosten für Gerüste separat ausgewertet. Grundlage der Auswertung sind $n = 302$ Projekte, die entsprechende Punktwolke ist in Abbildung 21 dargestellt.

Bezugsfläche

Zur Ableitung der Kostenfunktion sind die Kosten für Gerüste auf die Wohnfläche bezogen.

Berücksichtigte Kosten

Berücksichtigt sind alle Kosten, die im Zusammenhang mit dem Gerüst entstehen: darunter fallen die Kosten für Arbeits-, Ausleger- und Schutzgerüste selbst sowie die Kosten für das Überbrücken von Anbauten, Vordächern oder Ähnlichem, die Kosten für das Vorhalten der Gerüste, für Schutzabdeckungen von Fenstern, Türen, Naturstein, Rasenflächen und anderen Bauteilen, alle Kosten für Erschwernisse z. B. infolge von Hanglagen, die Kosten für Innenkonsolen infolge eines größeren Wandabstandes (>30 cm) z. B. für die spätere Montage eines Wärmedämmverbundsystems mit hoher Dämmdicke oder für Dachdeckerschutzrichtungen wie Fangnetzen und Ähnlichem. Erfasst sind zudem die Kosten für Verkehrssicherungsmaßnahmen und Genehmigungen für die Nutzung öffentlichen Verkehrsraumes sowie die Kosten für Baukräne und Materialaufzüge, die in einzelnen Projekten eingesetzt wurden.

Kostenfunktion

Die Kosten für das Einrüsten der Gebäude im Zuge einer energetischen Modernisierung lassen sich nicht eindeutig zuordnen, weil die Gerüste für unterschiedliche Maßnahmen in unterschiedlichem Umfang erforderlich sind. Tatsächlich enthält die Datenbank sowohl Bauvorhaben mit sehr umfangreichen Umbau- und Erweiterungsmaßnahmen als auch Projekte mit lediglich einer Maßnahme und sehr niedrigen spezifischen Kosten für die Gerüste.

In der vorliegenden Studie wurden daher die Kosten für Gerüste systematisch von den Maßnahmenkosten getrennt und sind in Abbildung 21 für jedes einzelne Projekt separat erfasst dargestellt. Für die Ableitung der Kostenfunktion wurden solche Projekte mit spezifischen Kosten für Gerüste von weniger als $3 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$ nicht berücksichtigt.

Aus den Kostenfeststellungen ist zudem nicht erkennbar, ob bzw. in welchem Umfang die Gerüste noch für weitere, nicht förderungsrelevante Maßnahmen genutzt wurden. Die Streuung der Kosten für Gerüste ist somit auf Basis der vorliegenden Kostenfeststellungen nicht zu erklären, das Ergebnis der Auswertung erscheint jedoch in sich plausibel.

Wie sich zeigt, steigen die spezifischen Kosten für Gerüste bei der energetischen Modernisierung der Gebäude von kleinen Gebäuden deutlich an, in einzelnen Projekten auf über $50 \text{ €/m}^2_{\text{Wohnfläche}}$. Diese hohen spezifischen Kosten resultieren vor allem aus verlängerten Standzeiten infolge umfangreicher Baumaßnahmen, die weit über die energietechnische Modernisierung einzelner Bauteile der thermischen Hülle gehen.

Zum Beispiel wurde in dem Projekt mit 100 m² Wohnfläche und spezifischen Kosten für das Gerüst von 72 €/m²_{Wohnfläche} der komplette Dachstuhl abgerissen und neu errichtet. Solche Maßnahmen in kleinen Gebäuden führen zu hohen spezifischen Kosten für Gerüste. Aber auch die hohen spezifischen Kosten von 31 €/m²_{Wohnfläche} in dem Gebäude mit 1180 m²_{Wohnfläche} sind eine Folge deutlich verlängerter Standzeiten.

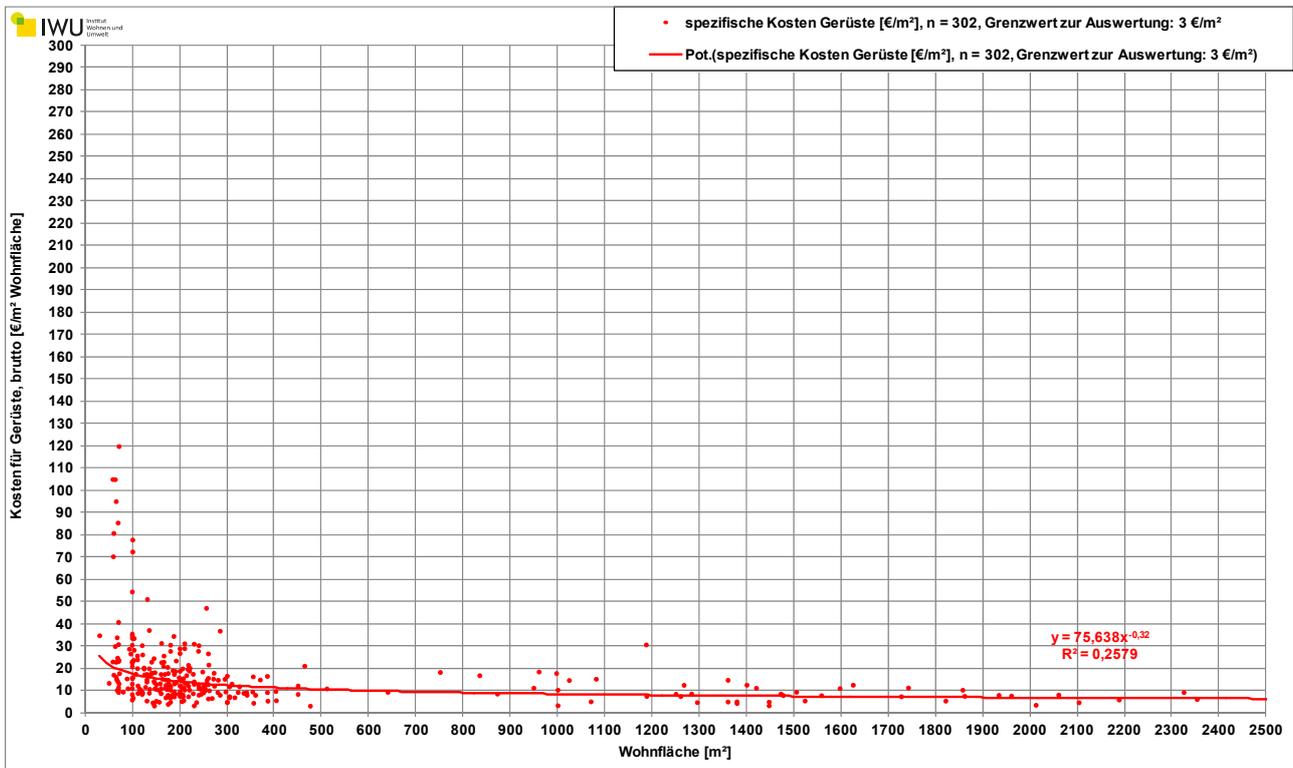


Abbildung 21: spezifische Kosten für Gerüste, Kräne und Sicherungen

Energiebedingte Mehrkosten

Eine systematische Zuordnung der Kosten für Gerüste nach zusätzlichen energiebedingten Kosten und ohnehin erforderlichen Kosten ist auf Basis der Kostenfeststellung nicht möglich. Plausibel erscheint ein Ansatz von pauschal 50 % der Vollkosten als energiebedingte Mehrkosten.

5 Zusätzliche statistische Auswertungen

In Tabelle 3 und Tabelle 4 sind die wesentlichen Ergebnisse der zusätzlichen statistischen Auswertungen dokumentarisch zusammengefasst. Zum besseren Verständnis der Ergebnisse sind die wesentlichen statistischen Grundlagen im Folgenden kurz beschrieben.

- Regressionsgleichung

Für die einfache lineare Regression wird das Ergebnis der Regressionsanalyse über eine lineare Gleichung der Form $y = a + bx$ beschrieben, wobei die beiden Regressionskoeffizienten a für den Achsenabschnitt und b für die Steigung der Funktion mithilfe der empirisch erhobenen Daten bestimmt bzw. „geschätzt“ werden². x wird allgemein als unabhängige oder erklärende, y entsprechend als abhängige oder zu erklärende Variable bezeichnet. Die beiden Regressionskoeffizienten werden nach dem Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate iterativ bestimmt bzw. geschätzt, um die optimale Anpassung der Regressionsgleichung an die empirischen Daten zu erreichen.

Die oben beschriebene Gleichung wurde zur Ableitung der Kostenfunktionen für die baulichen Maßnahmen an opaken Bauteilen genutzt unter der sachlogischen Vermutung, dass die spezifischen Kosten der Maßnahmen direkt proportional zur Dämmdicke steigen. Dagegen wurde eine Potenzfunktion der Form $y = ax^b$ zur Ableitung der Kostenfunktionen für die Anlagentechnik, die Gerüste, Energieberatungs- und Architektenleistung sowie für die Fenster genutzt unter der sachlogischen Annahme, dass die spezifischen Kosten für diese Maßnahmen über der Wohnfläche bzw. der Bezugsfläche bei den Fenstern nichtlinear kleiner werden. Zur Schätzung der Regressionsparameter wurde die obige Potenzfunktion durch Logarithmieren linearisiert. Die Ergebnisse wurden anschließend wieder als Potenzfunktion dargestellt.

- Regressionskoeffizient a

In der linearen Regressionsgleichung entspricht der geschätzte Regressionskoeffizient a dem Wert der abhängigen Variablen y , der sich ergibt, wenn die unabhängige Variable x den Wert 0 aufweist. In den hier dargestellten Kostenfunktionen hat der Regressionskoeffizient a die Dimension €/m² und stellt somit Fixkosten je m² Bauteil für die Maßnahmen dar, die unabhängig von der Dämmdicke anfallen.

- Regressionskoeffizient b

In der linearen Regressionsgleichung beschreibt der geschätzte Regressionskoeffizient b den auf Stichprobenbasis gemessenen Einfluss der unabhängigen Variable x auf die abhängige Variable 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 €/(m²cm) und beschreibt somit zuwachsende Kosten je cm Dämmstoffdicke und m² Bauteilfläche.

² Entsprechend der statistischen Konvention kennzeichnet man Schätzer mit einem „^“ über dem Koeffizienten. Aus Gründen der Lesbarkeit wird von dieser Konvention abgewichen. Damit stehen die Regressionskoeffizienten a und b ohne „^“ im Folgenden für die geschätzten Regressionskoeffizienten.

- Bestimmtheitsmaß R^2

Das Bestimmtheitsmaß ist ein Indikator dafür, wie gut die unabhängige Variable x geeignet ist, über eine lineare Regression die Varianz der abhängigen Variablen y zu erklären bzw. deren Werte vorherzusagen. Das Bestimmtheitsmaß nimmt immer Werte zwischen 0 (unbrauchbares Modell) und 1 (ideale Modellanpassung) an. Das Bestimmtheitsmaß ist in den Abbildungen in Kapitel 2 bis Kapitel 4 sowie in Tabelle 3 für die einzelnen Kostenfunktionen dargestellt.

- Normalverteilung

Für eine gegebene Merkmalsausprägung der unabhängigen Variablen verteilen sich die Beobachtungen (Messwerte), d. h. die beobachteten y -Werte, um ihren Mittelwert. Die meisten liegen nah am Mittelwert. Die Dichte der Beobachtungen nimmt mit zunehmender Distanz zum Mittelwert ab. Nimmt die Dichte der Beobachtungen nach beiden Seiten hin symmetrisch ab, so spricht man von einer Normalverteilung. Für viele Berechnungen, wie z. B. des p -Values oder von Konfidenzintervallen wird vorausgesetzt, dass die Beobachtungen normal verteilt sind.

- Standardfehler

Werden über verschiedene Stichproben Regressionsgleichungen geschätzt, so werden die geschätzten Regressionskoeffizienten 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 können die Regressionskoeffizienten geschätzt werden. Der Standardfehler gibt somit einen Anhalt zur Streuung, wenn dieselben Berechnungen mit anderen Stichproben unter sonst gleichen Rahmenbedingungen durchgeführt würden. Im Idealfall ist er sehr klein.

Der Standardfehler lässt sich unter der Voraussetzung einer Normalverteilung der Beobachtungen einfach interpretieren: Im Intervall Schätzwertwert (nach Kostenfunktion) plus / minus Standardfehler liegen 68 % der geschätzten Regressionskoeffizienten, im Intervall Schätzwert (nach Kostenfunktion) plus / minus $2 \cdot$ Standardfehler liegen 95 %.

5.1 p-Value

Der p -Value (engl. Probability value) ist eine wichtige Kenngröße zur statistischen Absicherung der geschätzten Regressionskoeffizienten und damit letztlich der geschätzten Kostenfunktionen. Der p -Value gibt an, wie groß die Wahrscheinlichkeit eines Irrtums ist, wenn behauptet wird, dass ein Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variablen x (d. h. der äquivalenten Dämmdicke) und der abhängigen Variablen y (d. h. den spezifischen Kosten) besteht. Je kleiner diese Irrtumswahrscheinlichkeit (p -Value) ist, desto „sicherer“ ist das Ergebnis. Man spricht im Allgemeinen von einem „knapp signifikanten Effekt“, wenn $p < 0,05$ und somit die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 5 % ist. Dies bedeutet, dass ein in den Daten sichtbarer Effekt in höchstens 5 % der Fälle durch Zufall zustande gekommen ist. Damit kann ein Zusammenhang zwischen der unabhängigen und der abhängigen Variablen als gesichert gelten. Der Zusammenhang wird als „signifikant“ bezeichnet für $p < 0,01$ und als „hoch signifikant“ für $p < 0,001$. Liegt p dagegen zwischen 0,05 und 0,1, wird im Allgemeinen von einem Trend gesprochen.

In Tabelle 3 ist der p-Value für die Konstante a und die Steigung b der linearen Kostenfunktionen bzw. für den Koeffizienten a und den Exponenten b der Potenzfunktion dargestellt. Für die große Mehrzahl der Kostenfunktionen ist ein hoch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen. Knapp signifikant ist die Kostenfunktion zur Kerndämmung der Außenwand. Die Verlässlichkeit des Modells für die oberseitige Dämmung der Kellerdecke und für die nicht begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke ist dagegen nach dem Ergebnis zu hinterfragen.

Preisstand 1'2015	Schätzwert						Standardfehler		p-Value		F krit
	a		b		n	R ²	a	b	a	b	
	Bezeichnung	[€/m ² cm]	[€/m ²]	[€/m ²]							
Kostenfunktion	I = (a x + b) [€/m ²]		I = a x ^b [€/m ²]								
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH&MFH für F&Ft	-	-	658,86	-0,257	125	0,31	0,035	1,037	0,000	0,000	0,000
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	472,33	-0,222	279	0,20	0,026	1,026	0,000	0,000	0,000
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	413,45	-0,231	157	0,26	0,031	1,030	0,000	0,000	0,000
WDVS - Vollkosten	2,81	96,88	-	-	317	0,12	0,430	6,725	0,000	0,000	0,000
WDVS - energiebed. Mehrkosten	2,81	19,77	-	-	317	0,40	0,195	3,046	0,000	0,000	0,000
AW - Kerndämmung - Vollkosten	1,65	10,37	-	-	29	0,19	0,644	4,525	0,017	0,030	0,017
Keller, unterseitig, ohne Bekleidung	1,25	30,75	-	-	88	0,10	0,396	4,444	0,002	0,000	0,002
Keller, unterseitig, mit Bekleidung	1,55	54,25	-	-	29	0,17	0,650	7,478	0,025	0,000	0,025
Keller, oberseitig, Einblasen zwischen die Dielen	1,62	8,96	-	-	24	0,12	0,939	7,283	0,098	0,231	0,098
oberste Geschossdecke, begehrbar	1,78	28,03	-	-	89	0,31	0,281	5,353	0,000	0,000	0,000
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar	1,06	3,72	-	-	60	0,34	0,196	4,108	0,000	0,369	0,000
Flachdach ohne Lichtkuppeln - Vollkosten	4,11	104,14	-	-	86	0,30	0,683	14,927	0,000	0,000	0,000
Flachdach mit Lichtkuppeln EFH - Vollkosten	4,11	118,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flachdach mit Lichtkuppeln MFH - Vollkosten	4,11	113,16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flachdach - energiebedingte Mehrkosten	2,90	21,66	-	-	86	0,54	0,297	6,490	0,000	0,003	0,000
Steildach - Vollkosten	2,77	151,01	-	-	148	0,09	0,750	13,783	0,000	0,000	0,000
Steildach - energiebedingte Mehrkosten	2,37	11,31	-	-	148	0,49	0,201	3,695	0,000	0,004	0,000
Gaskessel, Einzelmaßnahme	-	-	905,26	-0,518	84	0,64	0,043	1,251	0,000	0,000	0,000
Ölkessel, Einzelmaßnahme	-	-	1.202,60	-0,536	23	0,78	0,061	1,399	0,000	0,000	0,000
Pelletkessel, Einzelmaßnahme	-	-	2.531,40	-0,587	32	0,70	0,070	1,447	0,000	0,000	0,000
Fernwärme, Einzelmaßnahme	-	-	662,91	-0,487	86	0,69	0,036	1,215	0,000	0,000	0,000
Solar für WW, Einzelmaßnahme	-	-	530,31	-0,499	34	0,67	0,062	1,406	0,000	0,000	0,000
Solar für WW mit Gaskessel	-	-	1.092,00	-0,489	75	0,75	0,033	1,204	0,000	0,000	0,000
Solar für WW mit Ölkessel	-	-	1.092,00	-0,489	75	0,75	0,033	1,204	0,000	0,000	0,000
Solar für WW mit Pelletkessel	-	-	2.102,10	-0,520	22	0,65	0,086	1,590	0,000	0,000	0,000
Solar für WW mit Fernwärme	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Solar für WW&H, Einzelmaßnahme	-	-	1.008,70	-0,453	37	0,57	0,067	1,421	0,000	0,000	0,000
Solar für WW&H mit Gaskessel	-	-	1.404,70	-0,449	78	0,73	0,031	1,186	0,000	0,000	0,000
Solar für WW&H mit Ölkessel	-	-	1.404,70	-0,449	78	0,73	0,031	1,186	0,000	0,000	0,000
Solar für WW&H mit Pelletkessel	-	-	1.996,30	-0,467	34	0,63	0,063	1,395	0,000	0,000	0,000
Maßnahmen in der Heizungsperipherie	-	-	673,94	-0,533	141	0,15	0,110	1,755	0,000	0,000	0,000
Hausanschluss Gas	-	-	163,09	-0,490	32	0,32	0,131	1,992	0,001	0,000	0,001
Hausanschluss Fernwärme	-	-	558,74	-0,614	55	0,54	0,078	1,515	0,000	0,000	0,000
Lüftungsanlage mit WRG, zentral	-	-	382,81	-0,364	126	0,18	0,071	1,415	0,000	0,000	0,000
Lüftungsanlage mit WRG, dezentral	-	-	598,76	-0,584	44	0,20	0,178	2,317	0,002	0,000	0,002
Abluftanlage, zentral	-	-	1.068,20	-0,780	19	0,51	0,185	2,330	0,001	0,000	0,001
Gerüste	-	-	75,64	-0,320	302	0,26	0,031	1,194	0,000	0,000	0,000
Energieberatung	-	-	14,62	-0,339	143	0,22	0,054	1,393	0,000	0,000	0,000
Architektenleistungen	-	-	733,23	-0,599	85	0,66	0,047	1,349	0,000	0,000	0,000

Tabelle 3: statistische Auswertungen: Regressionskoeffizienten, Datenbasis, Bestimmtheitsmaß, Standardfehler, p-Value

Die Auswertung hat somit die These bestätigt, dass für die gewählten Ansätze der Kostenfunktionen statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den unabhängigen Variablen x und den abhängigen Variablen y bestehen. Die theoretischen Modelle sind somit bis auf die Ausnahmen der oberseitigen Dämmung der Kellerdecke und der obersten Geschossdecke (nicht begehrbar) bestätigt.

5.2 Residuenplot

Das lineare Regressionsmodell beruht auf grundlegenden Modellannahmen, die als Voraussetzung für die Anwendung erfüllt sein müssen. Dazu gehört die Unkorreliertheit der Störterme und die Homoskedastizität. Unkorreliertheit bedeutet, dass die einzelnen Beobachtungen der abhängigen Variablen y mit unabhängigen (und normalverteilten) Fehlern behaftet sind. Homoskedastizität bedeutet, dass diese Fehler mit steigenden x -Werten nicht größer werden, dass also die bedingten Standardfehler konstant bleiben.

Eine anschauliche Methode zur Überprüfung dieser Voraussetzungen ist der Residuenplot: Der Residuenplot bildet auf der Abszisse die aus der Regressionsgleichung berechneten fitted values (Schätzwerte) und auf der Ordinate die zugehörigen Abweichungen der abhängigen Variablen Y (Beobachtungen) von ihren auf der Regressionsgeraden liegenden Schätzwerten (Residuen) ab. Besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der unabhängigen Variablen x und der abhängigen Variablen Y und erfüllen die Fehlerterme die Annahmen der Unkorreliertheit und Homoskedastizität, dann sind die Datenpunkte im Residuenplot gleichmäßig über beide Seiten der horizontalen Nulllinie verteilt.

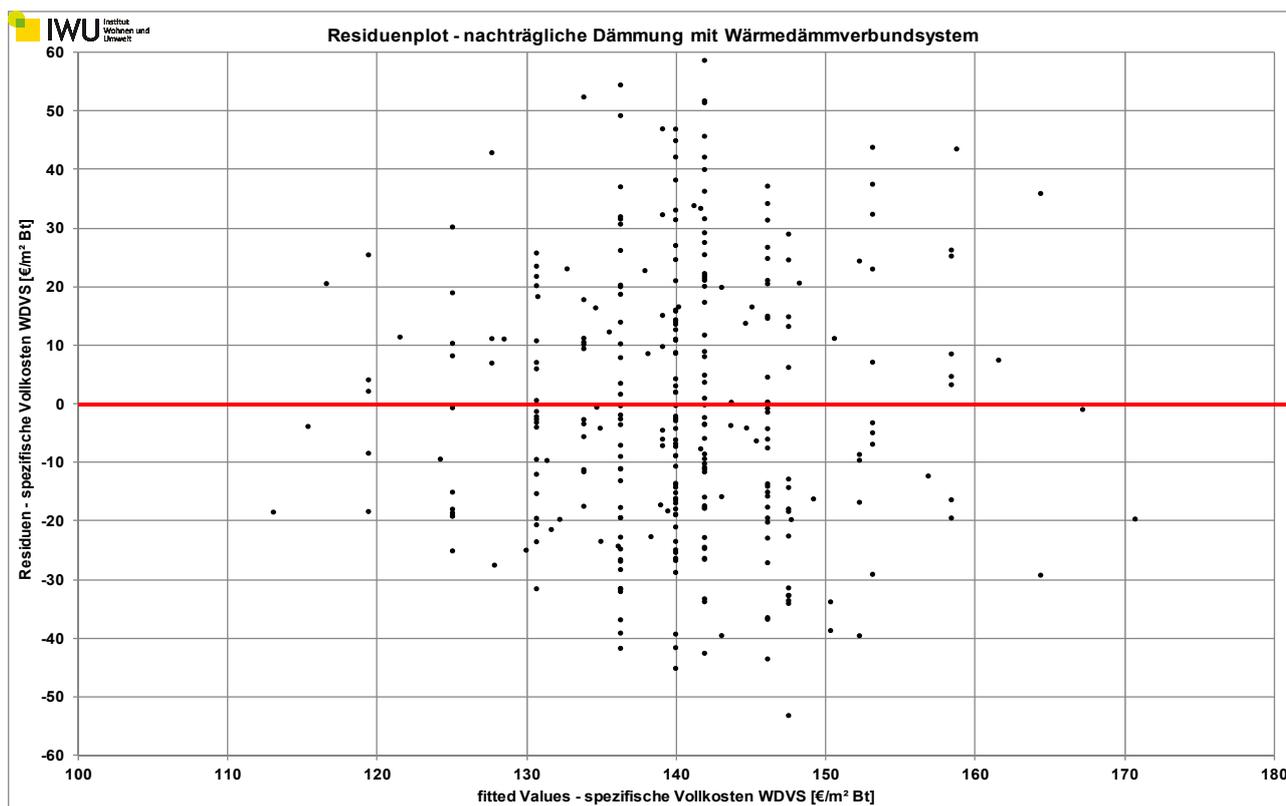


Abbildung 22: Residuenplot - Vollkosten Wärmedämmverbundsystem

Abbildung 22 zeigt beispielhaft den Residuenplot für die Auswertung der Kostenfeststellungen zur nachträglichen Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystemen. Der Plot zeigt das Bild eines korrekt spezifizierten linearen Modells mit unabhängigen, homoskedastischen und normalverteilten Fehlern.

5.3 Geschätzte Kostenfunktionen und Definition von Kostenbereichen

Die aus den empirisch erhobenen Daten geschätzten Kostenfunktionen sind zwangsläufig Näherungen. Auf Basis der zu Grunde liegenden Stichprobe lassen sich Bandbreiten für die Koeffizienten schätzen, innerhalb derer diese mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegen werden. Diese Bereiche werden als Vertrauensbereich oder Konfidenzintervall bezeichnet. Die in Tabelle 4 angegebenen 95 %-Konfidenzintervalle sind in dem Sinn zu verstehen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,95 die Regressionskoeffizienten im Bereich zwischen der angegebenen Unter- und Obergrenze liegen. Entsprechendes gilt für das 50 % Konfidenzintervall.

Preisstand 1'2015	Schätzwert				95%-Konfi - untere		95%-Konfi - obere		50%-Konfi - untere		50%-Konfi - obere	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	[€/m²cm]	[€/m²]	[€/m²]	[-]								
Bezeichnung												
Kostenfunktion	l = (a x + b) [€/m²]		l = a x'b [€/m²]									
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH&MFH für F&Ft	-	-	658,86	-0,257	613,63	-0,33	707,44	-0,19	643,04	-0,28	675,077	-0,234
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	472,33	-0,222	448,83	-0,27	497,05	-0,17	464,13	-0,24	480,667	-0,204
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	413,45	-0,231	389,62	-0,29	438,71	-0,17	405,13	-0,25	421,920	-0,210
WDVS - Vollkosten	2,81	96,88	-	-	1,96	83,65	3,66	110,11	2,52	92,34	3,100	101,423
WDVS - energiebed. Mehrkosten	2,81	19,77	-	-	2,42	13,85	3,19	25,84	2,67	17,79	2,937	21,905
AW - Kerndämmung - Vollkosten	1,65	10,37	-	-	0,32	1,09	2,97	19,66	1,21	7,32	2,081	13,427
Keller, unterseitig, ohne Bekleidung	1,25	30,75	-	-	0,46	21,92	2,03	39,59	0,98	27,75	1,514	33,754
Keller, unterseitig, mit Bekleidung	1,55	54,25	-	-	0,21	38,91	2,88	69,59	1,11	49,20	1,986	59,300
Keller, oberseitig, Einblasen zwischen die Dielen	1,62	8,96	-	-	-0,33	-6,14	3,57	24,07	0,99	4,04	2,255	13,881
oberste Geschossdecke, begehrbar	1,78	28,03	-	-	1,22	17,39	2,33	38,67	1,59	24,42	1,965	31,648
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar	1,06	3,72	-	-	0,73	2,31	1,40	5,13	0,95	3,24	1,178	4,197
Flachdach ohne Lichtkuppeln - Vollkosten	4,11	104,14	-	-	2,75	74,46	5,47	133,82	3,65	94,06	4,570	114,220
Flachdach mit Lichtkuppeln EFH - Vollkosten	4,11	118,16	-	-	2,75	88,47	5,47	147,84	3,65	108,08	4,570	128,236
Flachdach mit Lichtkuppel MFH - Vollkosten	4,11	113,16	-	-	2,75	83,48	5,47	142,85	3,65	103,08	4,570	123,245
Flachdach - energiebedingte Mehrkosten	2,90	21,66	-	-	2,31	7,08	3,49	32,89	2,70	15,60	3,104	24,370
Steildach - Vollkosten	2,77	151,01	-	-	1,29	123,78	4,26	178,25	2,27	141,71	3,280	160,322
Steildach - energiebedingte Mehrkosten	2,37	11,31	-	-	2,00	3,47	2,80	18,08	2,26	8,28	2,535	13,271
Gaskessel, Einzelmaßnahme	-	-	905,26	-0,518	580,03	-0,60	1.412,87	-0,43	777,92	-0,55	1.053,455	-0,489
Ölkessel, Einzelmaßnahme	-	-	1202,60	-0,536	598,65	-0,66	2.415,97	-0,41	955,31	-0,58	1.513,983	-0,495
Gas/Ölkessel als Einzelmaßnahme	-	-	887,75	-0,506	602,31	-0,58	1.308,47	-0,43	777,65	-0,53	1.013,444	-0,481
Pelletkessel, Einzelmaßnahme	-	-	2531,40	-0,587	1.189,73	-0,73	5.386,18	-0,44	1.966,70	-0,63	3.258,301	-0,540
Fernwärme, Einzelmaßnahme	-	-	662,91	-0,487	449,82	-0,56	976,95	-0,42	580,88	-0,51	756,530	-0,463
Solar für WW, Einzelmaßnahme	-	-	530,31	-0,499	264,74	-0,63	1.062,26	-0,37	420,22	-0,54	669,230	-0,457
Solar für WW mit Gaskessel	-	-	1092,00	-0,489	754,69	-0,56	1.580,21	-0,42	963,08	-0,51	1.238,290	-0,466
Solar für WW mit Ölkessel	-	-	1092,00	-0,489	754,69	-0,56	1.580,21	-0,42	963,08	-0,51	1.238,290	-0,466
Solar für WW mit Pelletkessel	-	-	2102,10	-0,520	799,50	-0,70	5.527,19	-0,34	1.528,97	-0,58	2.890,183	-0,462
Solar für WW&H, Einzelmaßnahme	-	-	1008,70	-0,453	494,38	-0,59	2.057,92	-0,32	793,92	-0,50	1.281,488	-0,408
Solar für WW&H mit Gaskessel	-	-	1404,70	-0,449	999,97	-0,51	1.973,28	-0,39	1.251,30	-0,47	1.576,938	-0,428
Solar für WW&H mit Ölkessel	-	-	1404,70	-0,449	999,97	-0,51	1.973,28	-0,39	1.251,30	-0,47	1.576,938	-0,428
Solar für WW&H mit Pelletkessel	-	-	1996,30	-0,467	1.013,56	-0,60	3.931,98	-0,34	1.590,87	-0,51	2.505,118	-0,424
Maßnahmen in der Heizungsperipherie	-	-	673,94	-0,533	221,73	-0,75	2.048,44	-0,32	460,77	-0,61	985,725	-0,459
Hausanschluss Gas	-	-	163,09	-0,490	39,92	-0,76	666,33	-0,22	101,88	-0,58	261,089	-0,401
Hausanschluss Fernwärme	-	-	558,74	-0,614	242,71	-0,77	1.286,28	-0,46	421,31	-0,67	741,017	-0,561
Lüftungsanlage mit WRG, zentral	-	-	382,81	-0,364	192,54	-0,50	761,13	-0,22	302,67	-0,41	484,171	-0,317
Lüftungsanlage mit WRG, dezentral	-	-	598,76	-0,584	109,84	-0,94	3.264,12	-0,23	338,02	-0,70	1.060,625	-0,464
Abluftanlage, zentral	-	-	1068,20	-0,780	179,31	-1,17	6.363,78	-0,39	596,33	-0,90	1.913,562	-0,655
Gerüste	-	-	75,64	-0,320	53,35	-0,38	107,25	-0,26	67,10	-0,34	85,266	-0,299
Energieberatung	-	-	14,62	-0,339	7,59	-0,45	28,15	-0,23	11,68	-0,38	18,290	-0,302
Architektenleistungen	-	-	733,23	-0,599	404,38	-0,69	1.329,49	-0,50	598,70	-0,63	897,984	-0,567

Tabelle 4: statistische Auswertungen: Schätzwerte und Konfidenzintervalle für die Regressionskoeffizienten

5.4 Ableitung von Kostenbereichen: „niedrige Kosten“ und „hohe Kosten“

Die Angabe von niedrigen und hohen Kosten ist neben der Darstellung der Schätzwerte aus den Kostenfunktionen vor allem vor dem Hintergrund der objektbezogenen Energieberatung wichtig, da bei einer konkreten Maßnahme die tatsächlichen Kosten praktisch nie dem Schätzwert nach Kostenfunktion entsprechen werden. Vielmehr werden die Kosten in einem Bereich um den Schätzwert liegen. Für die objektbezogene Energieberatung liegt es daher nahe, ein Kostenintervall um den Schätzwert anzugeben, in dem die Maßnahmen bei niedrigen oder hohen Kosten vermutlich liegen werden.

Zur Definition von linearen Kostenfunktionen für niedrige Kosten und hohe Kosten wurde der geschätzte Regressionskoeffizient a nicht variiert. Der Regressionskoeffizient b wurde dagegen bei den baulichen Maßnahmen entsprechend dem 95 %-Konfidenzintervall um den Schätzwert festgelegt. Ausnahme hiervon ist die nachträgliche Dämmung im Keller, bei der der Regressionskoeffizient b entsprechend dem 50 %-Konfidenzintervall festgelegt wurde, um sinnvolle zuwachsende Kosten je cm Dämmstoff zu erhalten.

Bei den anlagentechnischen Maßnahmen (Heizung / Lüftung) sowie bei den Fenstern, beim Gerüst, der Energieberatung und für Architektenleistungen wurde dagegen der Regressionskoeffizient a entsprechend dem 50 %-Konfidenzintervall variiert, um die Kostenspanne zu begrenzen.

Abbildung 23 bis Abbildung 25 zeigen beispielhaft für die komplexen Maßnahmen der nachträglichen Dämmung einer Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem sowie der nachträglichen Dämmung im Steildach und im Flachdach, die Regressionsgleichungen mit den Regressionskoeffizienten der 95 %-Konfidenzintervalle. Die Abbildungen verdeutlichen den großen Bereich, in dem die tatsächlichen spezifischen Kosten der Maßnahmen nach diesem Ansatz im Einzelfall liegen können. So liegen die spezifischen Vollkosten für die nachträgliche Dämmung einer Fassade mit einem 15 cm Wärmedämmverbundsystem unter dem gewählten Ansatz zwischen 126 €/m² Bauteil und 152 €/m² Bauteil. Für ein freistehendes EFH mit 150 m² Fassade resultieren hieraus Vollkosten zwischen 18.900 € und 22.800 € für die Dämmung der Fassade. Diese Bandbreite muss als realistisch angesehen werden. Die für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der energiesparenden Maßnahmen wichtigen energiebedingten Mehrkosten für 15 cm Wärmedämmverbundsystem liegen unter dem gewählten Ansatz zwischen 56 €/m² Bauteil bis 68 €/m² Bauteil bzw. 8.400 € bis 10.200 €. Es liegt auf der Hand, dass diese Bandbreite der energiebedingten Mehrkosten das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erheblich beeinflussen kann. Zur Veranschaulichung sind in Abbildung 23 als rote Linie auch die Kosten aufgetragen, die aus der Dämmung der Fassade ohne jegliche Nebenarbeiten resultieren.

In Abbildung 25 sind als rote Linie die Kosten aufgetragen, die unmittelbar aus der nachträglichen Dämmung des Flachdaches resultieren. Wie in Kapitel 2.8 dargestellt, fallen jedoch weitere energiebedingte Kosten an, die über diese unmittelbaren Kosten für die Wärmedämmung nicht erfasst sind. Diese wurden entsprechend der in Kapitel 2.8 dargestellten Systematik zugeordnet. Das Ergebnis ist die als blaue Linie dargestellte Funktion für die energiebedingten Mehrkosten mit den entsprechenden Kostenbereichen.

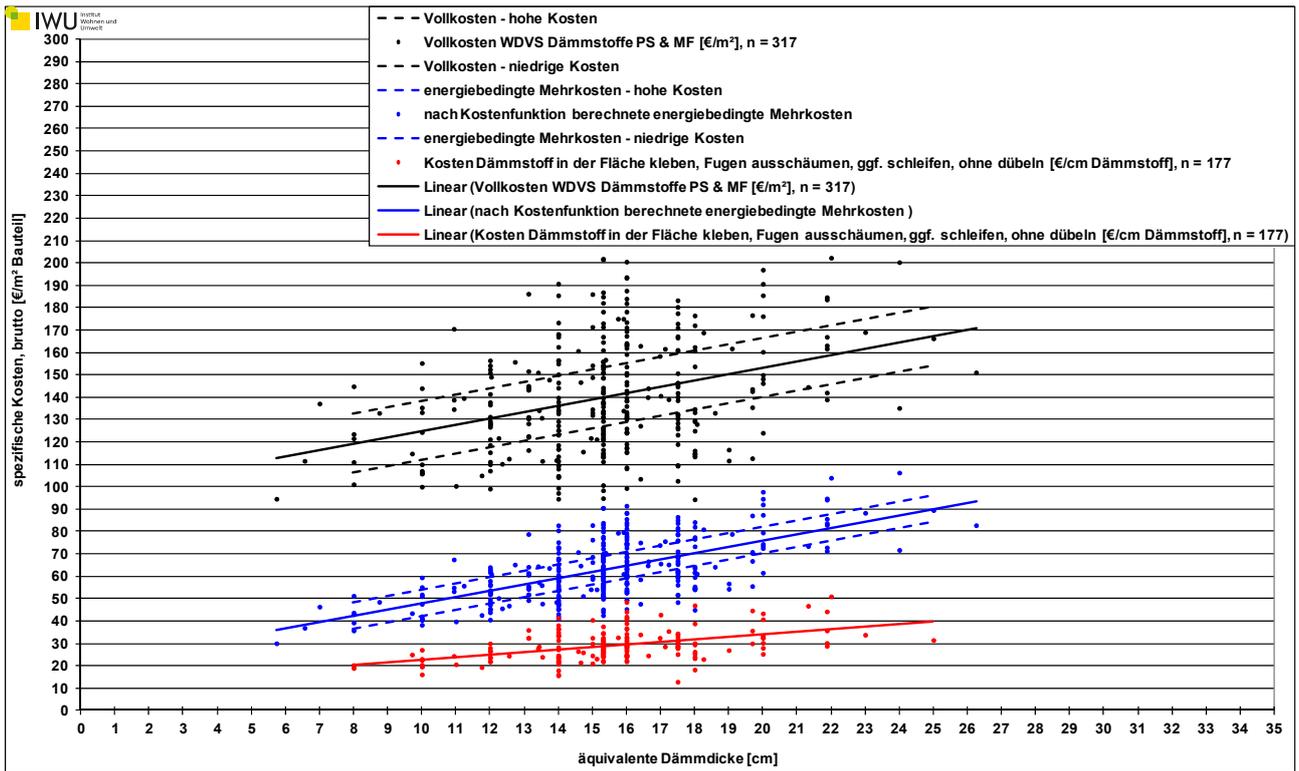


Abbildung 23: Wärmedämmverbundsystem, Kostenbereiche Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

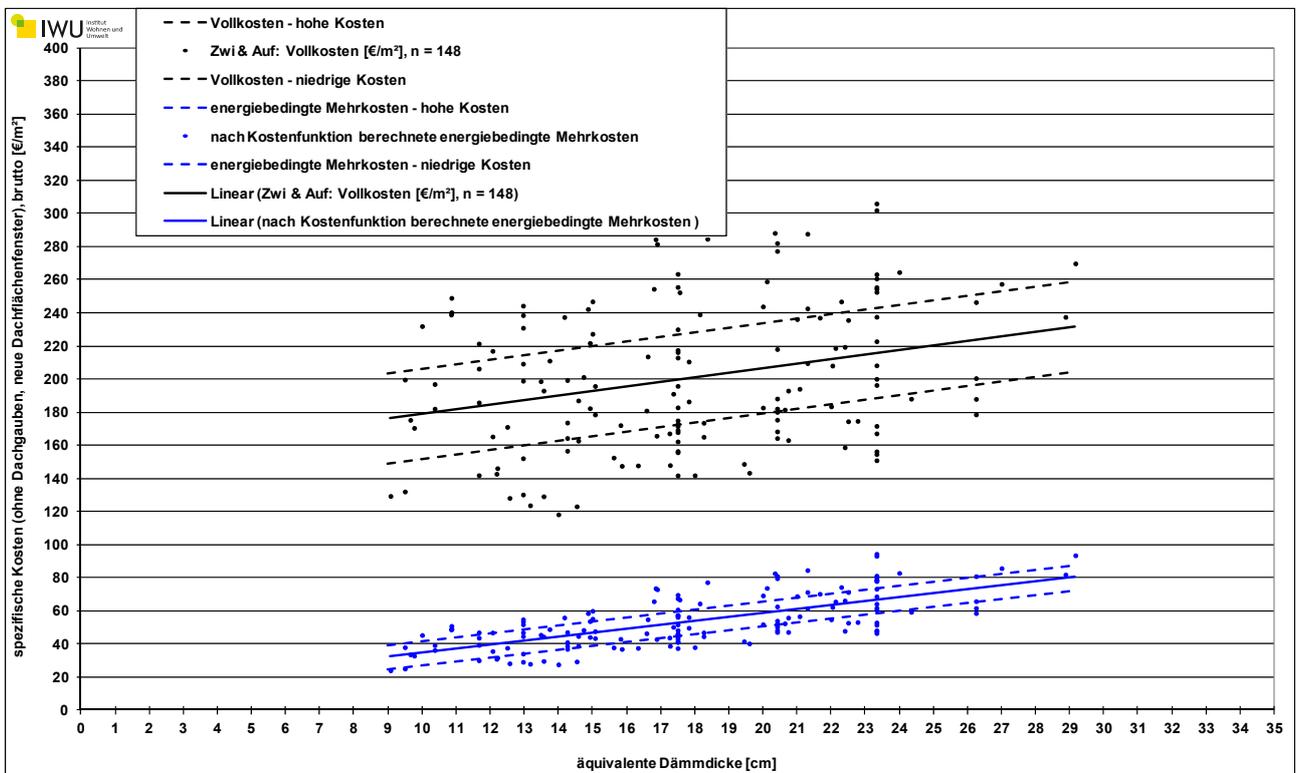


Abbildung 24: Steildach, Kostenbereiche Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

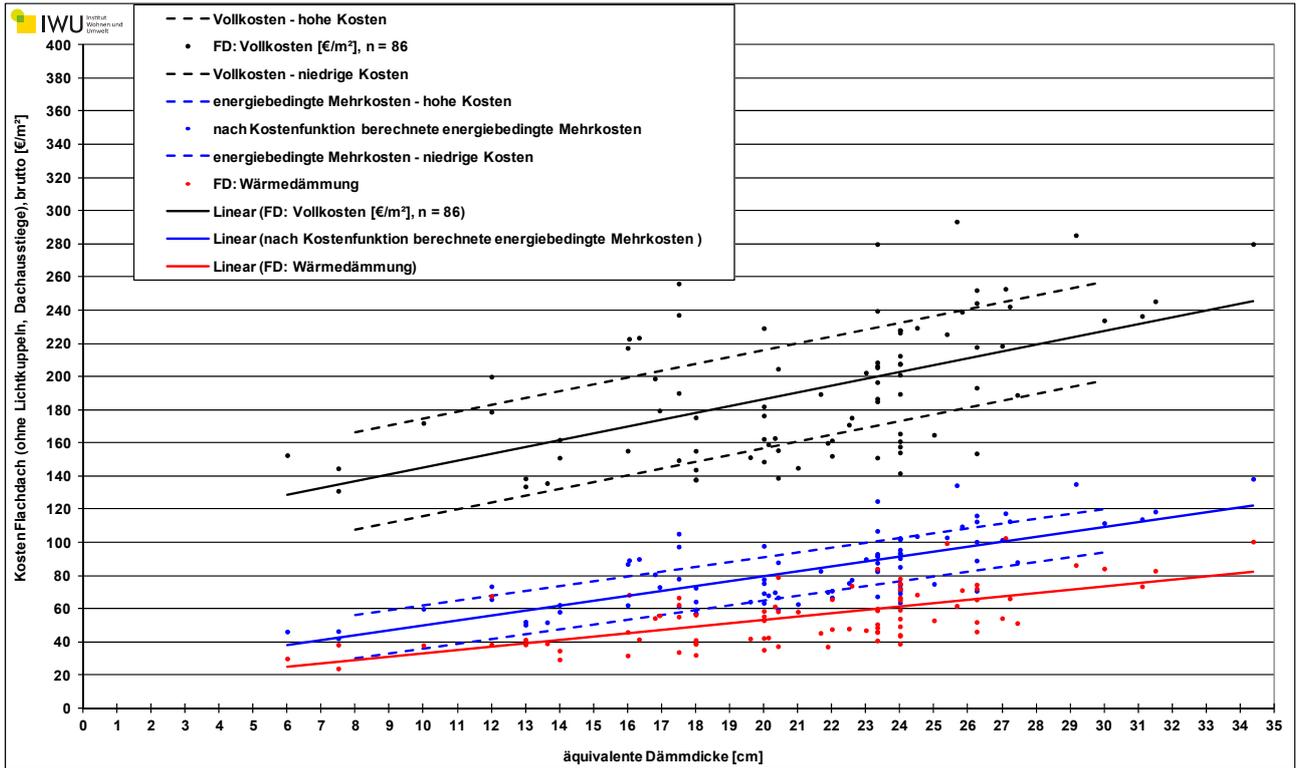


Abbildung 25: Flachdach, Kostenbereiche Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten

5.5 Hebelpunkte

Im linearen Modell haben nicht alle Datenpunkte denselben Einfluss auf das Ergebnis der Regression. Liegt ein Punkt in x-Richtung weit abseits vom Zentrum der Punktwolke, so hat er ein potenziell größeres Gewicht als Punkte in Zentrumsnähe. Einen solchen Punkt nennt man auch Hebelpunkt, weil er in Analogie zum Hebel-Gesetz nur wenig "Kraft" benötigt um einen starken Einfluss auf die Regressionsgerade auszuüben. Hebelpunkte müssen aber nicht unbedingt auch Ausreißer in y-Richtung sein. Besitzt ein Hebelpunkt zusätzlich noch ein großes Residuum, so wird er zum influential datapoint, d. h. seine potenzielle Kraft wirkt sich voll aus und zieht die Regressionsgerade stark an sich. Entfernt man einen solchen einflussreichen Datenpunkt aus der Regression, so verändert sich die Lage der Regressionsgeraden drastisch und man erhält ein völlig anderes Ergebnis.

Zwei solcher Hebelpunkte sind in Abbildung 23 bei der äquivalenten Dämmdicke von 26,4 cm und von 5,7 cm erkennbar. Beide Beobachtungswerte können durch ihre exponierte Lage die Regressionsgleichung überproportional beeinflussen, heben sich aber in ihrer Hebelwirkung auf das Ergebnis der Regression gegenseitig auf. Ein weiterer Hebelpunkt ist der beobachtete Werte bei 34,5 cm äquivalenter Dämmdicke in Abbildung 25. Tatsächlich beeinflusst dieser Hebelpunkt das Ergebnis der Regression deutlich: Ohne diesen beobachteten Wert verringert sich die Steigung der Regressionsgleichung von 4,11 €/((cm m²)) auf 3,91 €/((cm m²)). Nach der zugehörigen Kostenfeststellung zu dieser Maßnahme erscheint der beobachtete Werte jedoch plausibel und wurde daher mit in die Auswertung übernommen. Die Darstellung zeigt jedoch, wie leicht selbst bei einer umfangreich erscheinenden Datenbasis von 86 Beobachtungen das Ergebnis über Hebelpunkte beeinflusst werden kann. Gleiches gilt für die Ableitung aller Regressionsgleichungen zu den anlagentechnischen Maßnahmen. Hier gilt generell, dass einerseits für große Wohngebäude relativ wenige Beobachtungspunkte vorliegen, andererseits diese wenigen Beobachtungen das Ergebnis der Regression deutlich beeinflussen können. Dennoch erscheinen die geschätzten Kostenfunktionen in ihrer Abstimmung untereinander und in ihrer Höhe plausibel, wie in Kapitel 3.5 gezeigt wurde. Zur Absicherung sollte die Datenbasis vor allem um Kostenfeststellungen für anlagentechnische Maßnahmen in größeren Wohngebäuden und bauliche Maßnahmen mit hochwertigen energietechnischen Standards erweitert werden.

6 Auswertung Vergleichsstudien

In Tabelle 5 bis Tabelle 9 sind die aus insgesamt 11 verschiedenen Studien zusammengetragenen Vollkosten und für die baulichen Maßnahmen zudem die energiebedingten Mehrkosten verschiedener energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden preisbereinigt zusammengetragen. Die Studien stammen aus den Jahren von 2005 bis 2014. Die Tabellen zeigen zum Vergleich in der 3. Spalte von rechts die Kostenkennwerte nach den Kostenfunktionen dieser Studie und in den Spalten rechts davon mittlere prozentuale Abweichungen der Kostenkennwerte aus den Vergleichsstudien zu dem Kostenkennwert nach dieser Studie. Diese "mittlere prozentuale Abweichung" ist nicht systematisch ermittelt, sondern orientiert sich an den in den Vergleichsstudien vorgegebenen Maßnahmen. Dennoch erlaubt der Vergleich, die Kostenkennwerte dieser Studie vor dem Hintergrund der Vergleichsstudien tendenziell einzuordnen. Die Vergleichsstudien werden im Folgenden kurz dargestellt.

Problematisch – ungenügende Dokumentation der Datengrundlagen und Systematik

Auf eine grundlegende Schwierigkeit beim Vergleich der Studien muss einleitend hingewiesen werden: In der Regel fehlen in den Vergleichsstudien nähere Angaben zur Datenbasis, zur Systematik der Kostenzuordnung oder auch detaillierte Maßnahmenbeschreibung. Dies liegt häufig auch daran, dass die Studien nicht mit dem Ziel einer Kostenerhebung, sondern dem Ziel einer Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt wurden. Dazu werden von den Autoren Kosten entsprechend verschiedener Quellen angesetzt, die zumeist jedoch ungenügend dokumentiert sind. Dagegen sind die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, entsprechend der Zielsetzung der Studien, detailliert dargestellt. Diese ungenügende Dokumentation der Kostenansätze kann zu einer Fehlinterpretation der Kostenangaben in den Vergleichsstudien führen und somit zu einzelnen möglicherweise fehlerhaften Darstellungen in den folgenden Tabellen.

- **Quelle: [BBSR; 2012]**

Auf Grund der Beschlüsse des Bundeskabinetts zum Integrierten Energie- und Klimaschutzprogramm war für 2012 eine weitere Verschärfung der Energieeinsparverordnung (EnEV) vorgesehen. Dabei war das Wirtschaftlichkeitsgebot aus dem Energieeinspargesetz zu beachten, nach dem die Maßnahmen „wirtschaftlich vertretbar“ sein müssen. Die Verschärfung der EnEV ist somit über den Nachweis der Wirtschaftlichkeit abzusichern. Eine Grundlage für entsprechende Wirtschaftlichkeitsberechnungen sind die Investitionskosten für die energiesparenden Maßnahmen, wobei insbesondere die mit den Maßnahmen verbundenen energiebedingten Mehrkosten relevant sind. Als eine Basis für die Fortschreibung der EnEV wurden daher im Auftrag des BBSR systematisch die Kosten energiesparender Maßnahmen im Wohngebäudebestand aus abgerechneten Projekten untersucht. Ziel war eine validierte, auf Praxiserkenntnissen fußende und mit Fach- und Interessenkreisen abgestimmte Kostendatenbank für energietechnische Modernisierungen im Wohngebäudebestand als Basis für Wirtschaftlichkeitsberechnungen im Zug der Novelle der EnEV.

Die Ergebnisse beruhen auf der Auswertung von Kostenfeststellungen zu insgesamt 531 abgerechneten Projekten; davon 399 Ein- / Zweifamilienhäuser. Insgesamt wurden für die Kostengruppe 300 (Wärmedämmung / Fenster) Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von 19,6 Mio. € ausgewertet; in der Kostengruppe 400 (Heizung / Lüftung) 509 Maßnahmen mit einem Investitionsvolumen von 9,7 Mio. €. Die Datenbank enthält somit ausgewertete Kostenfeststellungen im Umfang von mehr als 30 Mio. €. Die Kostenfeststellungen stammen im Wesentlichen aus dem KfW-Gebäudemodernisierungsprogramm „Energieeffizient Sanieren“ ab den Jahren 2007 bis 2009 und damit aus einem bundesweiten Breitenförderprogramm. Bei den Fördermittelnehmern handelt es sich vorwiegend um private, nicht-professionelle Investoren. Ergänzt wurde die Datenbasis um abgerechnete Vorhaben aus dem dena-Projekt „Niedrigenergiehaus im Bestand“.

Über Regressionsanalysen wurden Kostenfunktionen für die Vollkosten und die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmen abgeleitet. Aus den Kostenfunktionen können unmittelbar „typische“ Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten verschiedener energiesparender Maßnahmen bestimmt werden. In [BBSR; 2012] wurde erstmalig die Signifikanz der Ergebnisse durch weitergehende statistische Auswertungen überprüft und abgesichert.

Die systematischen Grundlagen und die Ergebnisse sind in der Studie im Detail dokumentiert. Die Systematik der Studie und die Ergebnisse in Form der Kostenfunktionen wurden in zwei ganztägigen Workshops mit Vertretern von Bundespolitik und Bundesverbänden intensiv diskutiert. Dabei wurden sowohl der systematische Ansatz der Studie als auch die Ergebnisse im Wesentlichen bestätigt. Mit der Studie lag erstmals für Deutschland eine in einer einheitlichen Systematik durchgeführte und statistisch abgesicherte Auswertung von abgerechneten Maßnahmen bei der energietechnischen Modernisierung bestehender Wohngebäuden vor. Die Kostenfunktionen der hier vorliegenden aktuellen Studie sind auf der Basis der in [BBSR; 2012] entwickelten Systematik und Datenbankstruktur, aber nach einer vollständig neuen Primärdatenerhebung, abgeleitet. Die Ergebnisse beider Studien sind daher gut vergleichbar.

Außenwand: Die Kostenfunktionen beider Studien für das Wärmedämmverbundsystem führen preisbereinigt zu sehr ähnlichen Ergebnissen, wobei die nach [BBSR; 2012] ermittelten energiebedingten Mehrkosten vor allem bei geringen Dämmdicken etwas niedriger liegen.

Kellerdecke: Die aktuell ermittelten Kosten für die Dämmung der Kellerdecke ohne Bekleidung liegen im Mittel 6 % über den Kosten nach [BBSR; 2012], die Kosten für die Dämmung mit Bekleidung liegen dagegen mit 17 % deutlich über den Kosten nach [BBSR; 2012].

Steildach: Nach der aktualisierten Studie sind die Vollkosten für die nachträgliche Dämmung im Steildach im Mittel mit 17 % deutlich niedriger. Dies ist über die modifizierte Methodik zu begründen, nach der Kosten für Dachgauben und metallgedeckte Dächer bei den aktuellen Kostenfunktionen nicht berücksichtigt sind. Die energiebedingten Mehrkosten sind jedoch deutlich mit im Mittel 23 % erheblich höher, bei niedrigen Dämmdicken bis zu 31 %. Dies liegt vor allem an den Fixkosten von 11,31 €/m²_{Bt} für die energietechnische Modernisierung, die in [BBSR; 2012] mit 0 €/m²_{Bt} angesetzt sind.

Oberste Geschossdecke: Nach der aktualisierten Studie sind die Vollkosten für die nachträgliche begehbare Dämmung einer obersten Geschossdecke mit im Mittel 11 % deutlich niedriger. Ein Grund hierfür liegt in der zur Verfügung stehenden Datenbasis: Ein bei den o. g. Workshops genannter wesentlicher Kritikpunkt an [BBSR; 2012] war die zu geringe Berücksichtigung von Maßnahmen an MFH. Um dieser Kritik gerecht zu werden, wurden für die vorliegende Studie verstärkt Kostenfeststellungen für MFH ausgewertet. Dies gilt insbesondere für die oberste Geschossdecke mit nun ca. 60 % der ausgewerteten Kostenfeststellungen, in [BBSR; 2012]] beträgt dieser Anteil lediglich 40 %. Die in den MFH gedämmten Flächen von obersten Geschossdecken sind jedoch im Vergleich zum EFH im Mittel deutlich größer mit der Konsequenz niedrigerer spezifischer Kosten, vor allem für Anschlussarbeiten bei der Dämmung und das Verlegen des begehbaren Belages. Dieser Effekt zeigt sich auch bei der Auswertung der aktuellen Datenbasis, wonach die spezifischen Kosten um etwa 0,01 €/m² gedämmter oberster Geschossdecke abnehmen. Die Kosten für eine nicht begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke stimmen dagegen sehr gut überein.

Fenster & Fenstertüren: Die nach beiden Studien ermittelten Vollkosten für Fenster und Fenstertüren im EFH sind vergleichbar, während die Vollkosten für Fenster und Fenstertüren im MFH in der aktuellen Studie im Mittel 12 % höher liegen. Diese Abweichung der Kosten kann über die abgeänderte Systematik zur Ermittlung der Kosten begründet werden.

Gerüste: In [BBSR; 2012] wurde für Gerüste keine Kostenfunktion abgeleitet, sondern ein spezifischer Kennwert. Nach der jetzt vorliegenden Kostenfunktion liegen die Kosten für Gerüste im Mittel 11 % über den Kosten nach [BBSR; 2012].

Lüftungsanlagen: Die spezifischen Vollkosten für Abluftanlagen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung liegen in der aktuellen Studie 11 % bzw. 10 % über den Kosten nach [BBSR; 2012]. Dies entspricht bei den Abluftanlagen spezifischen Kosten von etwa 3 €/m²_{Wf} und bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung spezifischen Kosten von etwa 7 €/m²_{Wf}. Angesichts der großen Streuung der Kostenkennwerte und der geringen absoluten Beträge ist dieses Ergebnis plausibel.

Heizanlagen: Die spezifischen Vollkosten für Heizanlagen sind im Mittel über alle Maßnahmen 4 % günstiger als nach [BBSR; 2012]. Die neu ermittelten Kosten für Solaranlagen als Einzelmaßnahme sind mit 7 % bis 20 % im Vergleich zu [BBSR; 2012] deutlich günstiger. Eine Begründung kann in der ausgewerteten Datenbasis liegen: Für die aktuelle Studie beträgt die Kollektorfläche im Mittel über alle ausgewerteten Solaranlagen 9,1 m² je Kollektor, in [BBSR; 2012] 11,1 m² je Kollektor. Hieraus sind im Mittel geringere Kosten für die aktuelle Studie zu erwarten. Zudem liegen den aktuellen Kostenkennwerten zu 82 % Solaranlagen mit relativ kostengünstigen Flachkollektoren zu Grunde, in [BBSR; 2012] sind dies lediglich 75 %. Auch hieraus sind niedrigere Kosten für die aktuelle Auswertung zu erwarten.

- **Quelle: [BBSR; 2014]**

„Die Bundesregierung plant ausgehend vom Jahr 2010 eine Reduzierung des Heizenergieverbrauchs der Bundesliegenschaften um 20 % bis zum Jahr 2020. Dieses Ziel macht eine umfangreiche energetische Sanierung von Bundesliegenschaften notwendig. Die Bereitstellung von Haushaltsmitteln im Rahmen eines energetischen Sanierungsfahrplans setzt eine möglichst exakte Kostenkalkulation der energierelevanten Sanierungsmaßnahmen voraus. Die Grundlage dieser Kostenkalkulation soll eine Auswertung der in großem Umfang verfügbaren Kostenabrechnungen zu energetischen Maßnahmen bilden, welche im Rahmen des Energieeinsparprogramms der Bundesregierung (EEP) und des Konjunkturpaketes II (KPII) durchgeführt wurden. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der Studie die Ableitung von Kostenkennwerten bzw. -funktionen aus statistischen Daten zu typischen energetischen Sanierungsmaßnahmen aus dem verfügbaren Datenbestand zu EEP- und KPII-geförderten Maßnahmen. Während der Bearbeitung 2012 bis 2013 wurde ein Großteil der zugänglichen Unterlagen zu den geförderten Maßnahmen gesichtet und ausgewertet. Die Untersuchung, insbesondere die Darstellung der Ergebnisse, konzentriert sich weniger auf die detaillierte Interpretation der Ursprungsdaten als vielmehr auf die Schaffung praxisnah anwendbarer Möglichkeiten zur Erstellung belastbarer Kostenprognosen. Die im Rahmen der vorliegenden Studie ausgewerteten Daten bzw. die daraus abgeleiteten Kostenfunktionen erlauben Kostenschätzungen für häufige Maßnahmen an der Gebäudehülle.“ [BBSR; 2014]

Die Studie differenziert entsprechend der Zielsetzung systematisch in Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten. Die Systematik ist für die baulichen Maßnahmen eng angelehnt an [BBSR; 2012] und ist für die einzelnen Maßnahmen im Detail beschrieben. Für anlagentechnische Maßnahmen sind die Kostenfunktionen jedoch nicht wie in der hier vorliegenden Studie für Wohngebäude über der Wohnfläche abgeleitet, sondern über der Leistung des Wärmeerzeugers. Die Ableitung von Kostenfunktionen über die Leistung der Wärmeerzeuger führt dagegen auf Basis der hier vorliegenden Kostenfeststellungen für Wohngebäude zu keinen sinnvollen Ergebnissen.

Die Datenbasis ist dokumentiert, in der Regel jedoch vom Umfang gering. So basiert die Ableitung der Kostenfunktion für das Wärmedämmverbundsystem auf lediglich 25 Datensätzen für die Vollkosten und 15 Datensätzen für die energiebedingten Mehrkosten. Für die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke von unten liegen lediglich 13 Datensätze vor. Für die nachträgliche Dämmung des Daches liegen 39 Datensätze für die Vollkosten und 35 Datensätze für die energiebedingten Mehrkosten vor, wobei darunter Maßnahmen an Steil- und Flachdächern zusammengefasst sind. Aufgrund des geringen Primärdatenumfanges erfolgte eine statistische Absicherung der Kostenfunktionen nicht. Dennoch ist diese Studie ein erster wesentlicher Schritt, auch für den Bereich der Nichtwohngebäude eine abgesicherte Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu erhalten. Allerdings ist die Datenbasis zu erweitern, um die angegebenen Kostenfunktionen statistisch absichern zu können. Hierzu werden auch entsprechende Vorschläge im Fazit der Studie formuliert.

Bezüglich der Datenbasis gibt es zwischen der vorliegenden Studie und [BBSR; 2014] grundsätzliche Unterschiede. Die in [BBSR; 2014] ausgewerteten Kosten wurden für den speziellen Bereich des Bauens und Sanierens der öffentlichen Hand ermittelt und können nach Einschätzung der Autoren nicht ohne Weiteres auf den privaten Bereich übertragen werden. „Sämtliche der einbezogenen Maßnahmen wurden an Liegenschaften des Bundes durchgeführt. Es ist nicht auszuschließen, dass dieser Umstand in statistisch wirksamem Maße Einfluss auf die ausgewerteten Kosten hat. Nur beispielhaft sei auf sicherheitsrelevante Ausstattungsmerkmale verwiesen; auch die Anwendung spezieller Kalkulationsansätze durch die ausführenden Unternehmen bei Aufträgen

durch den Bund oder Behörden im weiteren Sinn ist nicht auszuschließen" [BBSR; 2014]. Diese Einschätzung mag die höheren Kosten nach [BBSR; 2014] zum Teil begründen. Ein weiterer Grund mag in der im Vergleich zur vorliegenden Studie älteren Datenbasis für die Nichtwohngebäude liegen. Abschließend könnten Unterschiede auch aus dem zu geringen Umfang der Datenbasis der Studie für die Nichtwohngebäude erklärt werden, da mit einem anderen „örtlichen Schwerpunkt“ [BBSR; 2014] auch andere – d. h. niedrigere, allerdings auch höhere – Kennwerte ermittelt werden könnten.

Außenwand: [BBSR; 2014] kommt bzgl. der Vollkosten zu ähnlichen Ergebnissen wie in der vorliegenden Studie. Die je cm zuwachsenden energiebedingten Kosten sind in der vorliegenden Studie mit 2,81 €/m²*cm im Vergleich zu [BBSR; 2014] mit 1,90 €/m²*cm deutlich größer angegeben, wobei die Fixkosten der energietechnischen Modernisierung in der vorliegenden Studie mit 19,77 €/m² gegenüber 26,0 €/m² in [BBSR; 2014] geringer sind. Letztlich führt der Ansatz im Mittel zu 34 % niedrigeren Vollkosten im Vergleich zur hier vorliegenden Studie. Die energiebedingten Mehrkosten liegen in [BBSR; 2014] je nach Dämmdicke zwischen 9 % bei 12 cm Dämmdicke und 23 % bei 28 cm Dämmdicke unter den hier ermittelten Kosten. [BBSR; 2014] weist allerdings darauf hin, dass die Bezugsfläche der in der Studie genannten Kostenfunktionen üblicherweise das Aufmaß nach Leistungsverzeichnis bzw. der Schlussrechnung ist. „Bei dem Bezug auf die tatsächlich gedämmte Fläche ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen als hier ermittelt“ [BBSR; 2014]. Im Vergleich der Kosten mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist dies zu beachten, da hier die Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem auf die näherungsweise ermittelte tatsächlich gedämmte Fläche bezogen ist.

Ähnlich wie in der hier vorliegenden Studie wurde auch in [BBSR; 2014] die Abhängigkeit der spezifischen Kosten von der Größe der gedämmten Fläche untersucht. Die Ergebnisse sind vergleichbar: Auch nach dieser Untersuchung zeigt sich kein belastbarer Zusammenhang zwischen der Größe der gedämmten Fläche und den spezifischen Kosten der Maßnahme.

Kellerdeckendämmung: „Die Streuung der Einzelwerte fällt sehr hoch aus. Die verhältnismäßig kleine Stichprobe lässt keinen belastbaren Zusammenhang zwischen Dämmdicke und -kosten erkennen; sie kann daher nur herangezogen werden, um das Kostenniveau ... zu schätzen“ [BBSR; 2014]. Im Ergebnis liegen die Kosten in [BBSR; 2014] im Mittel 10 % über den Kosten der hier vorliegenden Studie. Dabei weist die Studie darauf hin, dass „angesichts der üblicherweise umfangreicheren und komplexeren Haustechnik in vielen Nichtwohngebäuden“ [BBSR; 2014] die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke in diesen Gebäuden höhere Kosten verursacht.

Steildachdämmung mit Erneuerung der Dachhaut: In [BBSR; 2014] wird eine gemeinsame Kostenfunktion für die nachträgliche Dämmung von Steil- und Flachdächern im Zuge der ohnehin erforderlichen Erneuerung der Dachhaut auf Basis von 16 Kostenkennwerten für die Vollkosten und 13 Kostenkennwerten für die energiebedingten Mehrkosten abgeleitet. Arbeiten an Dachflächenfenstern werden nicht erfasst. Die spezifischen Fixkosten im Zuge der ohnehin erforderlichen Erneuerung der Dachhaut werden mit 115 €/m² und die energiebedingten Mehrkosten mit 1,90 €/m²*cm angegeben. Die nach [BBSR; 2014] ermittelten spezifischen Vollkosten und die ener-

giebedingten Mehrkosten liegen im Mittel mit 34 % bzw. 55 % ganz erheblich unter den spezifischen Kosten nach der vorliegenden Studie für die nachträgliche Dämmung eines Steildaches ohne Gauben.

Die Kostenfunktion nach [BBSR; 2014] ist jedoch bezogen auf die Aufmaßflächen nach Leistungsverzeichnis bzw. Schlussrechnung. „Bei einem Bezug der Kosten auf die tatsächliche gedämmte Fläche ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen“ [BBSR; 2014]. Die Studie weist zudem darauf hin, „dass Ausgleichsfunktionen bei kleinen Stichproben oft noch relativ stark schwanken, sobald Kostenwerte der Stichprobe hinzugefügt oder aus ihr entfernt werden. Insofern erscheint die vorliegende Stichprobe für Dachdämmungen im Zuge der Erneuerung der Dachhaut wenig belastbar in Bezug auf die ermittelten Kostenanstiege“ [BBSR; 2014]. Daher wurde die Kostenfunktion „im Sinne möglichst belastbarer Kostenprognosen ... so angepasst, dass sie hinsichtlich Kostenanstieg mit Dämmungen von Außenwänden und begehbaren Dämmungen von obersten Geschossdecken vergleichbar ist“ [BBSR; 2014].

Dämmung der obersten Geschossdecke: die Ableitung der Kostenfunktionen basiert auf 14 Datensätzen für begehbare und 9 Datensätzen für nicht begehbare Ausführungen. Die dabei erfassten Einzelmaßnahmen entsprechen der Systematik dieser Studie. In [BBSR; 2014] wird darauf hingewiesen, dass „hinsichtlich des Leistungsumfangs eine deutliche Überschneidung mit nachträglichen Dachdämmungen von innen festzustellen ist. Oft werden auch beide Maßnahmen in Kombination durchgeführt. Darüber hinaus erlauben die ausgewerteten Daten z. T. keine eindeutige Zuordnung zu einem der beiden Bauteile.“ Dies deckt sich mit den Erfahrungen zur Auswertung der Kostenfeststellungen in [BBSR; 2012] und in der vorliegenden Studie. So ist im Einzelfall z. B. der Aufwand für die nachträgliche Dämmung von Abseiten aus den Kostenfeststellungen nicht immer eindeutig zu erkennen bzw. zuzuordnen. Hieraus ergeben sich zwangsläufig Unsicherheiten in Bezug auf die Kosten.

Für die begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke weist [BBSR; 2014] Fixkosten von 20,0 €/m² und zuwachsende Kosten von 1,80 €/(m²*cm) aus. Im Vergleich zur vorliegenden Studie sind die auf Basis der Kostenfunktionen nach [BBSR; 2014] ermittelten Vollkosten je nach Dämmdicke 8 % bei 32 cm Dämmung und 16 % bei 14 cm Dämmung niedriger. Für die nicht begehbare Ausführung werden im günstigsten Fall Fixkosten von 5,2 €/m² und zuwachsende Kosten von 1,30 €/(m²*cm) ermittelt. Die daraus ermittelten Vollkosten liegen im Mittel 21 % über den Kosten nach dieser Studie. Diese große Abweichung überrascht, kann aber auf Basis der vorliegenden Kostenfeststellungen nicht erklärt werden.

Fenster: Die nach [BBSR; 2014] systematisch berücksichtigten Kosten für den Einbau neuer Fenster in Nichtwohngebäuden entsprechen etwa dem in der vorliegenden Studie gewählten Ansatz. So wurden als wichtige Einschränkung, wie in der vorliegenden Studie auch, explizit nur Kostenfeststellungen zu Dreh-Kipp-Fenstern ausgewertet. Allerdings wurden in [BBSR; 2014] in geringem Umfang auch Arbeiten an den äußeren Fensterbänken berücksichtigt, sofern diese in den Kostenfeststellungen „pauschal eingepreist“ wurden. In der hier vorliegenden Studie werden diese Kosten systematisch nicht erfasst. Als wesentlicher systematischer Unterschied werden in [BBSR; 2014] die Kosten für die Demontage und die fachgerechte Entsorgung abgängiger Fenster separat und näherungsweise mit 35 €/Fenster zuzüglich 19 €/m² Fensterfläche ausgewiesen. Dagegen sind diese Kosten in der vorliegenden Studie systematisch in die Kostenkennwerte eingepreist.

Im Rahmen der Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse wird in [BBSR; 2014] festgehalten: „Die Stichprobe belegt die Abhängigkeit der Fensterkosten von der Fenstergröße deutlich. Darüber hinaus zeigen sich erwartungsgemäß deutliche Kostenunterschiede zwischen Fenstern mit Kunststoffrahmen und Fenstern mit Holz- / Alurahmen“. Nach [BBSR; 2014] scheint für Fenster mit „Holz- / Aluminiumrahmen die energetische Qualität keinen wesentlichen Einfluss auf das Kostenniveau zu haben.“ Dieses Ergebnis deckt sich prinzipiell mit den Erfahrungen aus der Auswertung der Kostenfeststellungen zu der vorliegenden Studie.

Weiter wird in [BBSR; 2014] festgestellt: „Eine Differenzierung nach energetischen Kriterien lässt sich an Hand der Stichprobe jedoch kaum vornehmen. Der Kosteneinfluss energetischer Kriterien ist in der Überlagerung sonstiger Kosteneinflüsse, welche im Rahmen dieser Auswertung als zufällige Einflüsse zu werten sind, praktisch nicht zu erkennen.“ Nach Rücksprache mit den Autoren der BBSR-Studie zeigen die nicht komprimierten Kostenkennwerte im Einzelnen eine erhebliche regionale, zeitliche und zufällige Streuung. Die Kosten für nach den Kostenfeststellungen identische Leistungsumfänge unterscheiden sich zum Teil gravierend. Dies deckt sich mit den Erfahrungen aus der Auswertung der Kostenfeststellungen zu der vorliegenden Studie. „Um den Einfluss energetischer Kriterien dennoch abzubilden, wurden die Kostenfunktionen auf Grundlage der Ausgleichsfunktion unter Maßgabe sinnvoller Randbedingungen und unter einer noch relativ guten Approximation der Stichprobe konstruiert“ [BBSR; 2014]. Dabei wird in Bezug auf die energetische Qualität unterschieden zwischen Fenstern mit $U_w \approx 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und solchen mit $U_w \approx 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Da in der hier vorliegenden Studie Fenster mit Holz- / Aluminiumrahmen nicht untersucht wurden, kann ein Vergleich der Kosten lediglich für Kunststofffenster erfolgen. Nach [BBSR; 2014] betragen die Kosten für solche Fenster mit $U_w \approx 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 35 €/m_{Umfang} zuzüglich 150 €/m² „Flächenkosten“ (entsprechend Fenster-Außenmaß) und für Fenster mit $U_w \approx 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ 40 €/m_{Umfang} für einen hochwertigeren Rahmen zuzüglich 170 €/m² Flächenkosten für eine hochwertige Verglasung. Die aus dieser Kostenfunktion nach [BBSR; 2014] ermittelten Kosten liegen mit im Mittel 19 % deutlich über den Kosten nach der vorliegenden Studie.

Ein Grund für die deutliche Abweichung könnte sein, dass die Datenbasis für die Ableitung der Kostenfunktion in [BBSR; 2014] aus den Jahren von 2007 bis 2012 stammt. Dagegen ist die Datenbasis für die Ableitung der Kostenkennwerte in der hier vorliegenden Studie aus dem Zeitraum vom 4. Quartal 2010 bis zum 2. Quartal 2014 deutlich aktueller. Auf diesen Aspekt weisen auch die Autoren der Vergleichsstudie, denn: "Läge ... der zeitliche und der örtliche Schwerpunkt in einer ähnlichen Auswertung anders, könnten sich durchaus auch andere Ergebnisse zeigen". Vor diesem Hintergrund betonen die Autoren auch die „heutzutage wahrscheinlich noch recht dynamische Preisentwicklung bei Fenstern. Fenster gleichen Niveaus werden tendenziell günstiger bzw. es können für denselben Preis heute tendenziell bessere Fenster erworben werden.

Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung: Der Auswertung liegen insgesamt 18 Datensätze zu Grunde. Die erfassten Kosten entsprechen der in [BBSR; 2012] und in dieser Studie gewählten Systematik. Als wesentlicher Unterschied wird die ermittelte Kostenfunktion nicht auf die Wohnfläche je Wohneinheit sondern auf den Nenn-Volumenstrom bezogen, abgeleitet. Dabei wird der Nennvolumenstrom über die konditionierte Grundfläche nach Tabelle 5 DIN V 18599-10 ermittelt. Die Ergebnisse sind somit nicht direkt vergleichbar, da in der hier vorliegenden Studie die spezifischen Kosten über der Wohnfläche dargestellt werden.

In [BBSR; 2014] werden beispielhaft zur Umrechnung 25 m² Büro 80 m² Wohnfläche gleichgesetzt. Mit diesem Ansatz resultieren aus den Kostenfunktionen für die vorliegende Studie ca. 88 % höhere Kosten. Diese sehr große Abweichung bei vergleichbarer Systematik der Kostenzuordnung kann letztlich nur durch die These erklärt werden, dass Kostenfeststellungen aus Projekten in Nichtwohngebäuden nicht ohne Weiteres auf Wohngebäude übertragen werden können.

Heizungstechnik: Die in [BBSR; 2014] angegebenen weiteren Kostenfunktionen für die Heizungstechnik in Nichtwohngebäuden lassen sich nicht unmittelbar mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie für Wohngebäude vergleichen, da u. a. die Kostenfunktionen auf abweichende Kenngrößen bezogen sind. So wird z. B. die Kostenfunktion für Gas-Brennwert-Kessel als Funktion der Heizleistung abgeleitet. Dieser Ansatz führt bei den Kostenfeststellungen für Wohngebäude zu keinen sinnvollen Ergebnissen. Teilweise ist zudem die Systematik der zugeordneten Kosten unterschiedlich.

Plausibilitätsprüfung im Abgleich mit BKI: Im Sinne einer Plausibilitätsprüfung wurden die Ergebnisse in [BBSR; 2014] unter anderem mit Ergebnissen einer Kostenermittlung nach [BKI, 2011] verglichen. Dabei zeigte sich ein prinzipielles Problem bei der Ermittlung von Kosten bzw. energiebedingten Mehrkosten auf Basis von [BKI, 2011], das sich in gleicher Form auch schon bei der Erstellung der Vorgängerstudie [BBSR; 2012] zu dieser Studie zeigte. „Dem BKI ist eine sehr weite Preisspanne für Außenwanddämmungen, ausgeführt als Wärmedämmverbundsystem, zu entnehmen. Während der berücksichtigte Leistungsumfang anhand von beispielhaft ausgeführten Textpositionen recht gut beurteilt werden kann, fehlt den angegebenen Kostenwerten jedoch eine Zuordnung ... zur Dämmdicke“ [BBSR; 2014]. Gleiches gilt prinzipiell auch für Maßnahmen an den weiteren Bauteilen der thermischen Hülle eines Gebäudes.

- **Quelle: [VFF; 2014]**

Die Studie zum deutschen Fenstermarkt setzt eine Reihe von Untersuchungen fort, die der Verband Fenster + Fassade (VFF) seit 2002 regelmäßig veröffentlicht. Datenbasis der Studie sind aktualisierte statistische Grunddaten des Verbandes aus 2011, die über eine verbandsinterne Befragung ermittelt wurden. Über die Art der Datenerhebung sind alle Vertriebswege erfasst, also u. a. auch der Direktvertrieb an den Investor ohne Zwischenhändler. Die Datenerhebung ergab eine große Streuung der Kosten, die nach Rücksprache mit den Autoren jedoch plausibel und repräsentativ ist. Letztlich führte die Mittelwertbildung nach Einschätzung der Autoren zu in sich schlüssigen Ergebnissen.

[VFF; 2014] basiert auf der Einschätzung der Kosten für die Lieferung und die Montage eines einflügeligen Standardfensters (1,3 m * 1,3 m) mit Rahmen aus Kunststoff, Holz oder Holz-Aluminium mit „marktüblicher, durchschnittlicher Ausstattung ohne Extras (z. B. Schlösser, Rollladenschienen, Ornamentglas, besondere Sicherheitsmerkmale, mechatronische Steuerungen, Sprossen etc.). Aufgrund der großen Schwankungsbreite wurden die Kosten für den Ausbau und die Entsorgung nicht berücksichtigt.

Fenster: In [VFF; 2014] werden Kosten für die Demontage und Entsorgung nicht angesetzt. Nach der hier vorliegenden Studie betragen diese im Mittel für Fenster im EFH und MFH 20,58 €/m². Selbst wenn diese Kosten auf die Kennwerte nach [VFF; 2014] angerechnet werden, kommt [VFF; 2014] zu günstigeren Vollkosten. Der Unterschied beträgt bei Holzfenstern zwar im Mittel lediglich 10 %, bei Kunststofffenstern dagegen 43 %. Die in beiden Studien genannten energiebedingten Mehrkosten sind dagegen nahezu gleich.

Nach Diskussion mit den Autoren kann das deutlich niedrigere Kostenniveau durch die Datenbasis erklärt werden. Während in [VFF; 2014] alle Vertriebswege erfasst wurden, basieren die Ergebnisse der vorliegenden Studie ausschließlich auf Kostenfeststellungen von ausführenden Schreibern / Glasern. Damit fließen Kostenfeststellungen aus der direkten Vermarktung in die vorliegende Studie nicht mit ein. Vor allem aber ist das in [VFF; 2014] definierte Standardfenster sehr einfach konstruiert: es ist ein einflügeliges Dreh- / Kippfenster ohne jegliche Elemente, die zusätzliche Kosten verursachen. Damit weicht die vorliegende Studie an dieser Stelle systematisch von [VFF; 2014] ab. Zwar werden auch hier lediglich Dreh- / Kippfenster berücksichtigt. Um für diesen Fenstertyp jedoch ein realitätsnahes durchschnittliches Kostenniveau abzubilden, wurden im Zuge eines Fensteraustauschs übliche zusätzliche Kosten für z. B. mehrflügelige Ausführungen, Rahmenverbreiterungen, Rolloschienen, satinierte Verglasungen und hochwertigere Beschläge ebenfalls berücksichtigt. Zudem wurden diese Fenster z. T. auch mit Kämpfer bzw. Stulp ausgeführt, was zu entsprechend höheren Kosten führt. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren lässt sich nach Meinung der Autoren der VFF-Studie das in der vorliegenden Studie genannte höhere Kostenniveau qualitativ erklären.

- **Quelle: [Shell BDH; 2013]**

In der Shell BDH Hauswärmestudie werden u. a. im Rahmen einer Potenzialanalyse Einsparpotenziale der wichtigsten Heiztechniken untersucht. Darauf aufbauend werden verschiedene Szenarien untersucht mit der Fragestellung, wie sich heutige und zukünftige Heiztechniken im Wohnungssektor in den kommenden 20 Jahren entwickeln werden. Vor diesem Hintergrund werden beispielhaft Wirtschaftlichkeitsberechnungen für – nach Rückfrage bei den Autoren – energiesparende Maßnahmen an einem EFH mit 150 m² Wohnfläche und einem MFH mit 6 Wohneinheiten und 500 m² Wohnfläche durchgeführt. Die dabei angesetzten Kosten für die baulichen Maßnahmen wurden aus [BBSR; 2012] übernommen und werden daher hier nicht weiter diskutiert.

Die Datenbasis und die Systematik der Zuordnung einzelner Kostenelemente für die anlagentechnischen Maßnahmen sind in der Studie nicht dokumentiert. Nach Rücksprache mit den Autoren resultieren die Kostenansätze aus Kalkulationen des ITG auf Basis von Herstellerlisten inkl. der Kosten für die Montage, Inbetriebnahme und unter Berücksichtigung möglicher Rabatte.

[Shell BDH; 2013] unterscheidet in Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten. Die Autoren betonen, dass „für Fenster eine Trennung zwischen energiebedingten Mehrkosten und Ohnehin-Kosten schwierig ist, da heutige Standardfenster energetisch deutlich besser sind als ältere Fenster und damit eine Sanierung ohne energetische Verbesserung kaum realisierbar ist. Energiebedingte Mehrkosten sind nur für eine weitere Verbesserung des U-Werts gegenüber dem geforderten Standard auszuweisen“ [Shell BDH; 2013]. Die Autoren gehen weiter davon aus, dass „Gas / Öl-Kesselmodernisierungen auf Brennwerttechnik inzwischen als Stand der Technik gewertet wer-

den, der ohne energiebedingte Mehrkosten zu realisieren ist" [Shell BDH; 2013]. Dies entspricht der Systematik der hier vorliegenden Studie.

[Shell BDH; 2013] verweist auf die Problematik unterschiedlicher Rest-Lebensdauern von Bauteilen und Anlagentechnik, die bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu berücksichtigen sind. So führen „vorzeitige Gebäudesanierungsmaßnahmen zu höheren energiebedingten Sanierungskosten, denn hier müsste ein Teil der geplanten / normalen Nutzungsdauer von Fassade / Wand / Fenster / Decke vorzeitig abgeschrieben werden“ [Shell BDH; 2013]. Dies gilt prinzipiell auch für Heizungsanlagen. „Allerdings existiert ein großer Teil von Heizungssystemen (vor allem Konstanttemperaturkessel), die längst abgeschrieben sind, so dass hier auch bei beschleunigter Modernisierung keine / kaum Abschreibungskosten bzw. gegebenenfalls nur geringe Restwertverluste entstünden“ [Shell BDH; 2013].

Heizanlagen / Lüftungsanlagen: Im Mittel liegen die Kosten nach [Shell BDH; 2013] deutlich unter den Kostenkennwerten nach der vorliegenden Studie, bei Heizanlagen im Mittel 45 %. Auch die Kostenkennwerte für Lüftungsanlagen sind erheblich kleiner: bei Abluftanlagen 32 % und bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung 117 %. Da die Systematik der Kostenzuordnung in [Shell BDH; 2013] nicht nachvollziehbar dokumentiert ist, können diese Abweichungen hier nicht erklärt werden.

- **Quelle: [ARGE; 2011]**

Die von der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen in Kiel durchgeführte Studie wurde im Auftrag verschiedener Verbände der deutschen Bau- und Wohnungswirtschaft, der Baustoffindustrie und in enger Kooperation mit Verbänden der privaten, gewerblichen und freien Wohnungswirtschaft und deren Unternehmen sowie zahlreichen Hauseigentümern erstellt. Die Studie befasst sich „mit der bestehenden Bausubstanz im weitgehend selbst genutzten Wohnungsbau der Ein- und Zweifamilienhäuser und der kleinen Mehrfamilienhäuser (3 bis 12 Wohneinheiten) im vermieteten Wohnungsbau“ [ARGE; 2011]. Die Studie weist u. a. Baukosten bzw. Kostenkennwerte für Einzelmaßnahmen in verschiedenen Gebäudetypen und für verschiedene energietechnische Modernisierungsstandards aus. Die Kostenkennwerte für Bauteile der Gebäudehülle und die Anlagentechnik wurden auf der Basis von über 2000 Datensätzen zu abgerechneten Modernisierungsprojekten ermittelt. Die Datensätze stammen im Schwerpunkt aus dem Zeitraum von 2007 bis 2010 und wurden entsprechend dem Procedere der vorliegenden Studie über Regionalfaktoren und den Baupreisindex auf eine einheitliche Basis umgerechnet. Anfallende Baunebenkosten, wie z. B. Architekten-, Ingenieur- sowie Sachverständigenhonorare, Gebühren oder Versicherungsbeiträge wurden nicht in die Betrachtung mit einbezogen. Gleiches gilt für eventuell gewährte Rabatte oder Sonderabschläge. Die genaue Ableitung der Kostenkennwerte ist in der Studie nicht dokumentiert. Hinweise auf eine statistische Absicherung werden in der Studie nicht gegeben.

Die Kennwerte wurden im Rahmen der ARGE-Studie für den Bereich der energietechnischen Modernisierung im Sinne einer Plausibilitätsprüfung mit den in [BBSR; 2012] ermittelten Kostenkennwerten verglichen³. [ARGE; 2011] kommt dabei zusammenfassend zu dem Ergebnis, „dass die

³ In [ARGE; 2011] wird dazu auf einen Entwurf des Endberichtes zu [BBSR; 2012] aus 2010 Bezug genommen.

Größenordnungen der Auswertungsergebnisse für die Bauteile der Gebäudehülle bzw. für die Anlagentechnik bei beiden Untersuchungen weitestgehend identisch sind.“

Außenwand: Im Tabellenband zu [ARGE; 2011] wird ein Bereich von "niedrigen" und "hohen" Kostenkennwerten angegeben. Danach werden in einem EFH für ein Wärmedämmverbundsystem mit 16 cm Dämmung auf einer Fassade mit 114 m² Kosten von 120 €/m² bis 150 €/m² Bauteilfläche angesetzt, in einem MFH für ein Wärmedämmverbundsystem mit 20 cm Dämmung auf einer Fassade mit 684 m² Kosten von 105 €/m² bis 120 €/m² Bauteilfläche. Dieser deutliche Kosteneffekt konnte in der vorliegenden Studie nicht nachgewiesen werden. Die Kostenfunktionen nach der hier vorliegenden Studie führen bei der Außenwand im Mittel zu 13 % höheren Kosten.

Fenster: Bei passivhaustauglichen Fenstern im MFH werden nach der vorliegenden Studie im Mittel 54 % höhere Vollkosten als in [ARGE; 2011] ermittelt, bei den entsprechenden Fenstern im EFH dagegen 6 % niedrigere Kosten. Dabei ist in [ARGE; 2011] die zugehörige durchschnittliche Fläche eines Fensters nicht ausgewiesen, so dass die Abweichung auch aus der angesetzten Fensterfläche resultieren kann.

Kellerdecke: Auch für die Kellerdecke rechnet [ARGE; 2011] mit deutlich unterschiedlichen Kostenkennwerten für EFH und MFH. Die in [ARGE; 2011] ausgewiesenen Kosten der nachträglichen Dämmung einer Kellerdecke mit Bekleidung liegen im Mittel 7 % über den Kosten nach der vorliegenden Studie.

Steildach: Dagegen resultieren aus der nachträglichen Dämmung von Steildächern ohne Gauben nach der vorliegenden Studie im Mittel 31 % geringere Vollkosten. Allerdings sind darin mögliche Kosten für Dachgauben und Dachflächenfenster nicht enthalten, woraus ein Teil der Abweichung erklärt werden kann.

Heizanlagen / Lüftungsanlagen: Für die Modernisierung von Heizanlagen fallen nach der hier vorliegenden Studie im Mittel 31 % geringere Vollkosten an, bei zentralen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im Mittel 10 % höhere Vollkosten.

Energiebedingte Mehrkosten: In [ARGE; 2011] wurde „bei der Festlegung der Investitionskosten und der energiebedingten Mehrkosten nach dem Vollkostenansatz verfahren. Hierbei werden in den Berechnungen die Gesamtkosten einer Maßnahme angesetzt und der entsprechenden Modernisierung zugeordnet. Somit entsprechen die energiebedingten Mehrkosten den Investitionskosten“ [ARGE; 2011]. Dieser Ansatz ist schlüssig vor dem Hintergrund der Annahme, dass nach [ARGE; 2011] „bei der wirtschaftlichen Bewertung von Modernisierungen und Sanierungen nur Vollkostenbetrachtungen für die durchzuführenden Baumaßnahmen zielführend sind. Diese müssen mit der Portfolioplanung des jeweiligen Wohnungsunternehmens oder des Eigentümers, bzw. mit individuell festzustellendem Instandhaltungs- oder Modernisierungsanteil der Maßnahme abgeglichen werden.“

- **Quelle: [empirica / Luwoqe; 2010]**

Die Studie „untersucht die Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen im Berliner Wohngebäudebestand... Es werden sowohl die Kosten als auch die Erträge verschiedener energetischer Maßnahmen in verschiedenen Gebäuden sehr detailliert berechnet“ [empirica / Luwoqe; 2010]. Ziel der Studie ist es, „die Wirtschaftlichkeit von energetischen Sanierungsmaßnahmen im gesamten Berliner Mietwohnungsbestand abzuschätzen, nicht nur für solche mit Instandsetzungsbedarf. Daher wird in der Studie ein Vollkostenansatz angewendet und die Kosten werden nicht rein rechnerisch um Sowieso-Kosten vermindert“ [empirica / Luwoqe; 2010]. In der Studie wurden die „Baukosten detailliert auf Bauteilebene ermittelt. Neben den eigentlichen energietechnischen Sanierungsmaßnahmen wurden zusätzliche notwendige Arbeiten wie die Baustelleneinrichtung, Baunebenkosten und Kosten für Unvorhergesehenes berücksichtigt“ [empirica / Luwoqe; 2010]. Die Baukosten wurden u. a. auf Basis der Publikationen des Baukosteninformationszentrums Stuttgart (BKI) und auf Basis aktueller Baukosten von LUWOGE consult Projekten abgeschätzt. Regionale Baukostenunterschiede sind in der Studie berücksichtigt.

Die Studie enthält keine differenziertere Angaben bzgl. der Systematik der Zuordnung von Kostenelementen oder dem Umfang der Datenbasis. Die Maßnahmen sind rudimentär in den entsprechenden Kapiteln beschrieben. So ist beispielsweise aus der Studie nicht erkennbar, ob die Kosten für die unterseitige Dämmung der Kellerdecke mit oder ohne Bekleidung ermittelt wurden. Ungewöhnlich ist z. B. auch der in der Studie nicht begründete Ansatz von Sowiesokosten bei der nachträglichen Dämmung der obersten Geschossdecke. Zudem wird die Qualität des Dämmstoffs nicht genannt. Auch werden mögliche Abweichungen bei der Kostenermittlung aus den eigenen Projekten der Autoren mit z. B. den Ergebnissen der Kostenermittlung nach dem BKI nicht erwähnt oder diskutiert. Dies erfolgt z. B. in [BBSR; 2014], wonach die nach BKI ermittelten Kosten für den Bereich energiesparender Maßnahmen kritisch zu beurteilen sind.

Obwohl in [empirica / Luwoqe; 2010] Aussagen zur Wirtschaftlichkeit bewusst auf Basis des Vollkostenansatzes getroffen werden, sind in der Studie neben Vollkosten auch „Sowiesokosten“ und „energiebedingte Mehrkosten“ dokumentiert. Allerdings sind in [empirica / Luwoqe; 2010] die Bezugsflächen nicht definiert.

Vollkosten: Die nach [empirica / Luwoqe; 2010] ermittelten Kosten liegen durchweg alle ganz erheblich über den nach der hier vorliegenden Studie ermittelten Kosten: bei der nachträglichen Dämmung der Außenwand z. B. um 42 %. Allerdings rechnet empirica / LUWOGE 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 €/m². Zudem rechnet empirica / LUWOGE mit zusätzlichen Baunebenkosten („HOAI-Leistungen, 12 %“) sowie einem Zuschlag von 10 % für „Unvorhergesehenes“ für die Gesamtmodernisierung des Gebäudes. Diese Kosten werden nach [empirica / LUWOGE; 2010] entsprechend anteilig dem Wärmedämmverbundsystem zugerechnet. Dabei muss betont werden, 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 in den Kostenfeststellungen und somit in den Kostenfunktionen bereits berücksichtigt. Die hohe Abweichung ist daraus nicht zu erklären.

Für die weiteren Maßnahmen an der Gebäudehülle werden nach [empirica / Luwoge; 2010] noch erheblich höhere Kosten angesetzt: bei der Kellerdeckendämmung ohne Bekleidung 75 %, beim Flachdach 82 %, bei der 2-WSV 48 %, bei der Fernwärmeübergabestation 24 %. Lediglich für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit einem begehbaren Belag wird mit ähnlichen Kosten gerechnet. Eine weitergehende Interpretation der Ergebnisse ist auf Grund der in [empirica / Luwoge; 2010] fehlenden Dokumentation der Datengrundlagen und fehlenden Beschreibung der Systematik der Auswertung nicht möglich. Die systematischen Unterschiede können jedoch nicht über den Regionalfaktor für Berlin erklärt werden, der etwa 1,0 beträgt.

- **Quelle: [PHI; 2008] & [Feist; 2010]**

Ziel der Studie war es, Empfehlungen für neue Effizienzanforderungen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden sowie bei Änderungen im Bestand zu erarbeiten. Die Ergebnisse sollten als eine Entscheidungsgrundlage für eine Fortschreibung der Energieeinsparverordnung dienen [PHI; 2008]. Ein Vergleich der in [PHI; 2008] genannten Kosten mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist nur bedingt möglich, weil in [PHI; 2008] weder die Datenbasis noch die Systematik der Kostenermittlung dokumentiert ist. Darüber hinaus ist die Studie bereits sieben Jahre alt, die Datenbasis der Studie entsprechend älter.

Bauliche Maßnahmen: Die Kostenfunktionen nach der hier vorliegenden Studie führen bei der Außenwand im Mittel zu 43 % höheren Kosten. Allerdings werden mit diesen Kosten alle im Zuge der Modernisierung anfallenden Kosten an der Fassade erfasst. Dies kann einen Teil dieser erheblichen Mehrkosten ausmachen. Gleiches gilt für die nachträgliche Dämmung im Steildach / Flachdach, die nach der vorliegenden Studie im Mittel 46 % / 56 % teurer ist. Im Vergleich noch teurer ist die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke begehbar / nicht begehbar mit 73 % / 43 %.

Fenster: Die in [PHI; 2008] angesetzten Kosten wurden entsprechend Musterkalkulationen und durchgeführter Maßnahmen inkl. Planung und Montage ermittelt. Diese im Grunde veralteten Kostenansätze wurden in einer neueren Publikation des PHI aus 2010 [Feist; 2010] korrigiert. In dem Artikel beruft sich der Autor bei der Herleitung der Kosten auf die Ergebnisse einer Vielzahl von abgerechneten Passivhaus-Bauvorhaben in Deutschland und Österreich. Weitergehende Angaben zur Datenbasis und zur Systematik der Auswertung fehlen in dem Artikel.

Für konventionelle Fenster mit 3-WSV resultieren aus der vorliegenden Studie im Mittel 24 %, für passivhaustaugliche Fenster im Mittel 45 % höhere Vollkosten. Dieses insgesamt höhere Kostenniveau kann durch die Systematik der Kostenerfassung in der vorliegenden Studie zu begründen sein, nach der für die Kostenermittlung nicht das konstruktiv einfache einflügelige Standardfenster herangezogen wird, sondern Fenster mit zum einen erheblich komplexerer Rahmengenometrie und zusätzlichen Elementen. Unter der Prämisse, dass der Musterkalkulation nach [PHI; 2008] ein ähnlich einfach konstruiertes Fenster wie nach [VFF; 2014] zu Grunde liegt, ist das höhere Kostenniveau zu erklären.

Lüftungsanlagen: Aus dem Vergleich der Kostenangaben ergeben sich nach dem Ansatz der vorliegenden Studie für zentrale Abluftanlagen deutlich niedrige Kosten von im Mittel -21 %. Die Abweichung kann auf Grund der fehlenden Dokumentation der Datenbasis und Systematik in [PHI; 2008] nicht begründet werden. Dagegen stimmen die Ansätze für zentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung gut überein.

In [AKKP 42, 2013] wird auf den Einfluss der Wohnungsgröße auf die spezifischen Kosten hingewiesen. Demnach nehmen die Investitionskosten bei kleinerer Wohnfläche je Wohneinheit zu, weil der Aufwand für das Zentralgerät bei wohnungsweiser Wärmerückgewinnung bezogen auf den m² Wohnfläche überproportional steigt. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Ergebnis der vorliegenden Studie. Nach [AKKP 42, 2013] liegt bei zentralen Anlagen der Schwerpunkt der Investitionskosten mit über 60 % beim Kanalnetz, während bei wohnungsweisen Anlagen etwa 50 % der Investitionskosten für das Zentralgerät aufgewendet werden muss.

Energiebedingte Mehrkosten: Die Systematik der Herleitung der energiebedingten Mehrkosten in [PHI; 2008] entspricht der der vorliegenden Studie. Allerdings wird in der inzwischen sieben Jahre alten Studie noch von einem energiebedingten Mehraufwand für den Ersatz eines alten Niederdruckkessels mit einem Brennwertkessel ausgegangen. Inzwischen ist dieser Ansatz überholt. In jüngeren Studien des PHI werden hierfür, entsprechend der vorliegenden Studie, keine energiebedingten Mehrkosten berücksichtigt, weil die Brennwertnutzung als Stand der Technik angesehen wird.

Für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand liegen die energiebedingten Mehrkosten nach der vorliegenden Studie nur 8 % über dem Ansatz nach [PHI; 2008]. Nach der in Kapitel 2.8 beschriebenen Systematik resultieren für das komplexe Bauteil Flachdach 23 % höhere energiebedingte Mehrkosten gegenüber [PHI; 2008]. Auch die energiebedingten Mehrkosten für Fenster unterscheiden sich deutlich und sind entsprechend der vorliegenden Studie für konventionelle Fenster mit 3-WSV 59 % höher, für passivhaustaugliche Fenster +151 %. Diese gravierenden Unterschiede lassen sich auf Grund der fehlenden Dokumentation in [PHI; 2008] nicht plausibel erklären.

- **Quelle: [BSI; 2008]**

Auch bei dieser Studie geht es um die Frage der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen vor dem Hintergrund einer weiteren Novelle der damaligen Energieeinsparverordnung. Die dabei angesetzten Vollkosten der energiesparenden Maßnahmen basieren nicht auf einer gesicherten empirischen Grundlage, sondern auf der Auswertung verschiedener in [BSI; 2008] genannter Quellen. Eine systematische Analyse abgerechneter Projekte mit der Ableitung von Kostenfunktionen wie in [BBSR; 2012] lag damals noch nicht vor.

Vor diesem Hintergrund wurden die für [BSI; 2008] gewählten Kostenansätze für die energiebedingten Mehrkosten zwischen dem Auftraggeber BSI und dem IWU als Autoren der Studie intensiv und kontrovers diskutiert. So wurden „auf Wunsch des Auftraggebers bezüglich der anteiligen Kosten für die energetische Modernisierung bei der Außenwand 70 % der Vollkosten als Modernisierung und 30 % der Vollkosten als Instandsetzung angesetzt. Bei den Fenstern werden 30 % der

Vollkosten als Modernisierung und 70 % der Vollkosten als Instandsetzung angesetzt. Diese Aufteilung stellt aus Sicht des Auftraggebers den immobilienwirtschaftlich üblichen Fall dar... Im Hinblick auf die EnEV ist zu beachten, dass dort beim baulichen Wärmeschutz weitgehend nur sogenannte bedingte Anforderungen definiert werden, d. h. die Vorgaben greifen erst zu dem Zeitpunkt, wenn entsprechende Maßnahmen am jeweiligen Bauteil durchgeführt werden“ [BSI; 2008]. Dies entspricht im Grundsatz dem Kopplungsprinzip. Unter dieser Prämisse galten die damaligen üblichen Ansätze des IWU für die nachträgliche Dämmung einer Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem von pauschal 50 % der Vollkosten als Modernisierungskosten und für den Austausch alter Fenster gegen neue Fenster mit 2-WSV von 10 % der Vollkosten als Modernisierungskosten.

Vollkosten: Die nach der vorliegenden Studie ermittelten Vollkosten liegen zumeist über den in [BSI; 2008] angesetzten Kosten: bei der Kellerdeckendämmung ohne Bekleidung 21 %, bei der nachträglichen begehbaren Dämmung der obersten Geschossdecke 18 %, beim Steildach 43 %, bei der Modernisierung der Heizung mit einem Gas-Brennwert-Kessel 53 %. Lediglich bei der 2-WSV werden die Kosten in [BSI; 2008] 19 % geringer angesetzt, bei der Außenwand fast identisch.

Energiebedingte Mehrkosten: Dagegen liegen die nach der vorliegenden Studie ermittelten energiebedingten Mehrkosten generell unter den in [BSI; 2008] angesetzten energiebedingten Mehrkosten: bei der Außenwand 40 % und beim Steildach 7 %. Bei einer 2-WSV werden in [BSI; 2008] 135 €/m² als energiebedingte Mehrkosten angesetzt, in der vorliegenden Studie dagegen keine.

- **Quelle: [IWU; 2007]**

Vor dem Hintergrund der in 2002 in Luxemburg neu eingeführten Energieeinsparverordnung schätzt [IWU; 2007] u. a. die Kosten für energietechnische Modernisierungen an vier verschiedenen Modellgebäuden ab. Die in der Studie angesetzten Kosten werden als Mittelwerte über die Angaben aus insgesamt acht verschiedenen Studien, erstellt zwischen 1990 bis 2003, ermittelt. Dabei werden die Grundlagen dieser Studien nicht weiter dargestellt.

Auf Grund der damals unzureichenden Datenbasis wurden für die baulichen Maßnahmen in [IWU; 2007] keine Kostenfunktionen abgeleitet, sondern lediglich für definierte Dämmdicken und rudimentär beschriebene Maßnahmen Vollkosten abgeschätzt. Dagegen werden für Wärmeerzeuger Kostenfunktionen auf Basis von „Preisaukünften bei Herstellern und Handwerksbetrieben sowie einer breit angelegten Literaturrecherche“ [IWU; 2007] ermittelt. Diese sind jedoch als Funktion der Leistung des Kessels abgeleitet, so dass ein Vergleich mit den Kostenfunktionen der vorliegenden Studie nicht unmittelbar möglich ist. Zudem ist auch die Systematik der Zuordnung der Kosten in [IWU; 2007] abweichend zur hier vorliegenden Studie. So sind z. B. in [IWU; 2007] die Kosten für eine neue Brennwert-Heizanlage ohne die Kosten für die Abgasanlage ermittelt.

Vollkosten: Trotz der veralteten Datenbasis stimmen die nach [IWU; 2007] ermittelten Vollkosten überraschend gut mit den Ergebnissen der hier vorliegenden Studie überein, die 6 % bis 17 % höher liegen. Lediglich für die Fenster werden nach der vorliegenden Studie deutlich geringere Vollkosten ermittelt (2-WSV: - 24 % / 3-WSV: - 36 %). Die großen Abweichungen bei den Fenstern lassen sich durch die veraltete Datenbasis in [IWU; 2007] und der gleichzeitig hohen Dynamik bei der Entwicklung von einerseits hochwertigen und andererseits kostengünstigen Verglasungen und Rahmenprofilen bei Fenstern erklären.

Energiebedingte Mehrkosten: Die energiebedingten Mehrkosten wurden in [IWU; 2007] pauschal als Prozentanteile der Vollkosten angesetzt unter der Prämisse, dass die Maßnahmen im Zuge ohnehin erforderlicher Instandsetzungen umgesetzt werden (Kopplungsprinzip). Die so ermittelten energiebedingten Mehrkosten weichen unsystematisch von den energiebedingten Mehrkosten nach der vorliegenden Studie ab.

- **Quelle: [HMWVL; 2005]**

Der „Ratgeber zur energetischen Gebäudemodernisierung“ zeigt im Überblick mögliche Maßnahmen zur Energieeinsparung im Wohngebäudebestand. Zu den vorgeschlagenen Maßnahmen nennt die Studie Orientierungswerte zu Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten. Dabei wird in der Studie auf das Kopplungsprinzip und eine möglichst sinnvolle Maßnahmenkombination hingewiesen, Beispiele hierfür werden skizziert. Die mit Kosten hinterlegten Maßnahmen selbst sind nur in Stichworten beschrieben. Die Herleitung der genannten Kosten ist nicht dokumentiert. Es wird allerdings der Bezug hergestellt zu anno „2005 umfassend untersuchten Gebäuden, die 2000 im Hessischen Wettbewerb „Energetische Gebäudemodernisierung“ oder in Modernisierungswettbewerben der KfW-Förderbank ausgezeichnet wurden“ [HMWVL; 2005].

Vollkosten: Die nach der vorliegenden Studie ermittelten Vollkosten liegen zumeist deutlich über den in [HMWVL; 2005] angegebenen Vollkosten: bei der Kellerdeckendämmung ohne Bekleidung 23 %, bei der nachträglichen begehbaren Dämmung der obersten Geschossdecke im Mittel 20 %, beim Steildach im Mittel 15 % und beim Flachdach im Mittel 8 %. Lediglich bei der 2-WSV werden die Kosten in [HMWVL; 2005] 30 % höher angesetzt. Die Vollkosten für das Wärmedämmverbundsystem werden fast identisch angegeben.

Energiebedingte Mehrkosten: Nach der vorliegenden Studie resultieren im Vergleich zu [HMWVL; 2005] 27 % höhere energiebedingte Mehrkosten für das Wärmedämmverbundsystem und 20 % niedrigere energiebedingte Mehrkosten für die nachträgliche Dämmung eines Flachdaches. Dagegen stimmen die Ergebnisse der beiden Studien für die energiebedingten Kosten beim Steildach gut überein.

- **Quelle: [dena; 2010]**

Im Rahmen des dena-Projektes „Niedrigenergiehaus im Bestand“ wurden bundesweit Häuser energieeffizient modernisiert. Ziel des dena-Projektes war es, auf Basis der gewonnenen Erfahrungen übertragbare praxisnahe Handlungsempfehlungen für wohnungswirtschaftlich sinnvolle Maßnahmen zur energietechnischen Modernisierung von Wohngebäuden abzuleiten. Das Forschungsvorhaben wurde vom IWU wissenschaftlich begleitet. Die Ergebnisse wurden u. a. in [dena; 2010] veröffentlicht. Die der Studie zugrunde gelegten Kostenansätze entsprechen [BBSR; 2012] und wurden daher nicht nochmals in die Tabellen übernommen. Dabei ging in [BBSR; 2012] auch die Auswertung von Kostenfeststellungen zu dem oben genannten dena-Projekt mit ein.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu den energiesparenden Maßnahmen in [dena; 2010] wurden die Kosten für sonstige wohnwertverbessernde Maßnahmen und für notwendige Instandsetzungen von Gebäudeschäden, die ohnehin durchgeführt werden müssen, nicht betrachtet. „Denn diese Maßnahmen ergeben sich aus den Mindestanforderungen des Wohnungsmarktes mit dem Ziel, die langfristige Vermietbarkeit zu sichern. Diese Kosten können nicht ursächlich im Zusammenhang mit der Energieeinsparung diskutiert werden. Sie müssen vor dem Hintergrund der strategischen Entwicklung des Gebäudebestandes und unter Beachtung der Anforderungen des Wohnungsmarktes (Zuschnitt und Ausstattung der Wohnungen, demografische Entwicklungen, Stadt- und Regionalplanung) beurteilt werden“ [dena; 2010].

In [dena; 2010] wurden auf Basis der Kostenfunktionen aus dem Entwurf des Endberichtes zu [BBSR; 2012] Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten der Modernisierung auf verschiedene energietechnische Standards ermittelt und mit Angaben der dena-Projektteilnehmer abgeglichen. Dabei zeigten sich z. T. gravierende Unterschiede. In [dena; 2010] werden diese qualitativ auf mehrere Ursachen zurückgeführt:

- "Nach den Angaben der Projektteilnehmer kam es bei den modernisierten Gebäuden zu insgesamt ca. 8 Prozent Wohnraumerweiterung gegenüber dem Zustand vor Modernisierung. Nach Durchsicht der vorliegenden Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass die damit verbundenen Kosten zum Teil als energierelevant zugeordnet wurden.
- Die Durchsicht der vorliegenden Kostenfeststellungen zu den Projekten legt zudem den Schluss nahe, dass auch allgemeine wohnwertverbessernde Maßnahmen und Sanierungsmaßnahmen zum Teil als energierelevant angesehen wurden.
- Allgemein wurden die Kosten für den nachträglichen Einbau zentraler Heizsysteme bzw. für Abluftanlagen vollständig als energierelevant angesehen.
- Die von den Projektteilnehmern genannten Vollkosten der energierelevanten Maßnahmen für unterschiedliche energetische Standards unterliegen einer sehr starken Streuung. Nach Auswertungen von InWIS nimmt die Streuung umso mehr zu, je mehr der EnEV2007-Standard unterschritten wird. Die entsprechende Regressionsanalyse ergibt einen Determinationskoeffizienten von $R^2 = 0,071$, das heißt, dass lediglich 7 Prozent der Beobachtungswerte durch die Regression erklärt werden können. Im Allgemeinen werden Determinationskoeffizienten in sozialwissenschaftlichen Forschungsprojekten von mindestens 0,2 als gerade noch ausreichend angesehen. Ein Grund für die starke Streuung mag auch darin liegen, dass die entsprechenden Kosten von den Projektteilnehmern zum Teil erst nach Abschluss der Modellprojekte erhoben wurden.

- Die von den Projektteilnehmern genannten energiebedingten Mehrkosten sind zudem nicht differenziert dargestellt und orientieren sich vermutlich an den üblichen umlagefähigen Kosten des § 559 BGB. Diese mietrechtlich motivierten Modernisierungskosten sind insbesondere für die Außenwand und die Fenster häufig höher als die hier im Rahmen des Kopplungsprinzips aus technischer Sicht angesetzten energiebedingten Mehrkosten.
- Darüber hinaus differierten die Angaben der Projektteilnehmer zu den energiebedingten Mehrkosten in sehr großen Bandbreiten von 140 bis 850 €/m²_{Wohnfläche}. „Offensichtlich herrscht eine große Unsicherheit in Bezug auf die Bestimmung der relevanten energiebedingten Mehrkosten.“ Dies zeigt sich auch in der Bandbreite der „Einschätzungen“ der Projektteilnehmer in Bezug auf die energiebedingten Mehrkosten, die von 24,5 Prozent bis über 83 Prozent reichen. Diese Darstellung macht deutlich, wie wichtig eine systematische Auswertung abgerechneter Projekte in Bezug auf die Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten als Basis für Wirtschaftlichkeitsberechnungen ist.
- Nicht zuletzt wurden in einzelnen Projekten bewusst zum Teil innovative Systeme und Technologien eingesetzt, um diese an der Schwelle der Markteinführung stehenden Lösungen weiter zu erproben und die Markteinführung zu unterstützen. Ziel war dabei nicht das möglichst kosteneffiziente Erreichen eines bestimmten energetischen Niveaus, sondern das Erproben neuer Techniken und Lösungen. So wurden einzelne Pilotprojekte genutzt, um verschiedene Wärmeschutzsysteme und Anlagentechniken zu testen und miteinander zu vergleichen, was teilweise zu verhältnismäßig hohen Kosten geführt hat. Andererseits konnten erhebliche Kostenreduktionen durch eine enge Zusammenarbeit mit Herstellern in den Projekten der Pilotphase erzielt werden, da die Hersteller Möglichkeiten sahen, eine Marktöffnung zu erreichen und dafür wichtige Referenzen aufzubauen. Außerdem erhofften sich die Hersteller Rückmeldungen für die Produktentwicklung. Für die Projektteilnehmer bedeutet dies gegenüber der energetischen Modernisierung mit Standardlösungen in der Regel einen erheblich größeren Aufwand in Planung und Ausführung und auch in Bezug auf die Kosten der energiesparenden Maßnahmen.

Diese qualitativen Argumente lassen die hohen Abweichungen zwischen den Angaben der Projektteilnehmer mit der festgestellten hohen Streuung und den Ergebnissen der Berechnungen plausibel erscheinen. Es sei aber an dieser Stelle nochmals betont, dass die im Rahmen des Projekts „Niedrigenergiehaus im Bestand“ geförderten Maßnahmen Modellcharakter haben. Der Aufwand der Projektteilnehmer und die damit verbundenen Kosten dürfen und müssen vernünftigerweise relativ hoch sein, was auch ein Grund für die hohe investive Förderung der Vorhaben war" [dena; 2010].

- **Weitere Quellen**

Neben den genannten Quellen gibt es weitere ältere Kostenstudien, die aufgrund der weit zurückliegenden Datenbasis hier nicht weiter berücksichtigt wurden. Darüber hinaus liegt eine Vielzahl aktueller Studien vor, die Kostenkennwerte jedoch auf Basis individueller Erfahrungen (z. B. in [dena; 2006]) oder auf der Basis einzelner Bauvorhaben benennen. Da das Ziel der vorliegenden Studie jedoch durchschnittliche bzw. typische Kostenkennwerte sind, werden diese Studien ebenfalls nicht die Auswertung übernommen.

Quelle / Maßnahme	Vollkosten, brutto [€/m ²]										Abweichung je Maßnahme [%]	mittlere Abweichung [%]	
	BBSR; 2012	BBSR; 2014	VFF; 2014	SHELL / BDH; 2013	ARGE; 2011	empiricalLuWoGe; 2010	Feist; 2010	PHI; 2008	BSI; 2008	IWU; 2007			HMWWL; 2005
Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 1'15													
Wärmedämmverbundsystem													
	äquivalente Dämmdicke [cm]												
Maßnahmen nach Kap. 2.1	12	128										131	2%
Maßnahmen nach Kap. 2.1	15	136										139	2%
Maßnahmen nach Kap. 2.1	20	150										153	2%
Maßnahmen nach Kap. 2.1	28	171										176	3%
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	12		99									131	32%
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	15		105									139	33%
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	20		114									153	34%
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	28		129									176	36%
niedr. Kosten, EFH68, 114 m ² Bauteilfläche	16				129							128	0%
hohe Kosten, EFH68, 114 m ² Bauteilfläche	16				161							155	-3%
niedr. Kosten, MFH68, 684 m ² Bauteilfläche	20				107							136	27%
hohe Kosten, MFH68, 684 m ² Bauteilfläche	20				129							170	32%
70er Jahre Gebäude inkl. aller Nebenarbeiten, Unvorhergesehenes	20					264						153	-42%
im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung	28							129				176	36%
im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung	19							100				150	51%
WDVS auf Altputz (15 cm, WLG 040)	13								135			133	-1%
WDVS auf Altputz	12									124		131	6%
niedr. Kosten	12										113	120	7%
hohe Kosten	12										150	141	-6%
Kellerdecke unterseitig mit / ohne Bekleidung													
	äquivalente Dämmdicke [cm]												
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (ohne Bekleidung)	6	36										38	6%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (ohne Bekleidung)	10	41										43	6%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (ohne Bekleidung)	12	43										46	7%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	6	54										64	18%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	10	60										70	16%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	12	63										73	16%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	6		56									64	13%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	10		64									70	10%
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	12		67									73	8%
ohne Bekleidung, niedr. Kosten, 86 m ² Bauteilfläche, EFH68	12				43							42	-1%
ohne Bekleidung, hohe Kosten, 86 m ² Bauteilfläche, EFH68	12				54							49	-9%
ohne Bekleidung, niedr. Kosten, 330 m ² Bauteilfläche, MFH68	12				32							42	32%
ohne Bekleidung, hohe Kosten, 330 m ² Bauteilfläche, MFH68	12				43							49	14%
ohne Bekleidung, Stahlbetondecke inkl. Nebenarb., Unvorhergesehenes	12					182						46	-75%
Untersicht gespachtelt	9							57				42	-27%
Stahlbetondecke (ohne Bekleidung)	8								34			41	21%
ohne Bekleidung	6									34		38	11%
niedr. Kosten	6										23	37	62%
hohe Kosten	6										38	40	6%
Steildach mit / ohne Neueindeckung													
	äquivalente Dämmdicke [cm]												
inkl. Neueindeckung, Gauben, Dachausstieg	25	264										220	-17%
inkl. Neueindeckung, Gauben, Dachausstieg	20	250										206	-17%
inkl. Neueindeckung, Gauben, Dachausstieg	14	232										190	-18%
Dämmung im Zuge der Erneuerung der Dachhaut, ohne Dachfenster	25		164									220	34%
Dämmung im Zuge der Erneuerung der Dachhaut, ohne Dachfenster	20		155									206	34%
Dämmung im Zuge der Erneuerung der Dachhaut, ohne Dachfenster	14		143									190	33%
16 Zwi / 10 Auf inkl. Neueindeckung, niedr. Kosten, 79 m ² Bf, EFH68	20				268							177	-34%
16 Zwi / 10 Auf inkl. Neueindeckung, hohe Kosten, 79 m ² Bf, EFH68	20				321							236	-27%
25 cm Zwischen / Auf	18							141				201	42%
22 cm (0,04) Auf	19							140				204	45%
32 cm (0,04) Auf	28							152				229	50%
14 cm Zwi / 6 cm Auf	15								135			193	43%
20 cm zwischen den Sparren inkl. Aufdopplung, inkl. Neueindeckung	13									151		187	24%
Aufsparendämmung, inkl. Neueindeckung	14									172		190	11%
20 cm Zwischen (niedr. Kosten)	13										150	168	12%
20 cm Zwischen (hohe Kosten)	13										181	206	14%
20 cm (0,04) Auf (niedr. Kosten)	18										150	174	16%
20 cm (0,04) Auf (hohe Kosten)	18										181	228	26%
Flachdach													
	äquivalente Dämmdicke [cm]												
Warmdach inkl. aller Nebenarbeiten, Unvorhergesehenes	12					836						153	-82%
22 cm (0,04)	19											182	48%
32 cm (0,04)	28											219	64%
Warmdach, Dämmplatten auf alter Dachhaut	12									144		153	6%
Warmdach, niedr. Kosten	20										120	159	32%
Warmdach, hohe Kosten	20										226	213	-5%

Tabelle 5: Auswertung Vergleichsstudien, Vollkosten, Teil 1

Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 1'15		Vollkosten, brutto [€/m²]										Abweichung je Maßnahme [%]		mittlere Abweichung [%]
Quelle / Maßnahme	BBSR; 2012	BBSR; 2014	VFF; 2014	SHELL / BDH; 2013	ARGE; 2011	empiricalLuWoGe; 2010	Feist; 2010	PHI; 2008	BSI; 2008	IWU; 2007	HMWU; 2005	aktuelle Auswertung 2015	Abweichung je Maßnahme [%]	mittlere Abweichung [%]
oberste Geschossdecke, begehrbar		äquivalente Dämmdicke [cm]												
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14	58										53	-9%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18	66										59	-10%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20	71										64	-10%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25	81										72	-11%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	32	96										85	-12%	-11%
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14		46									53	16%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18		52									59	14%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20		57									64	12%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25		66									72	10%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	32		78									85	8%	12%
niedr. Kosten, 52 m² Bauteilfläche	30				86							76	-12%	
hohe Kosten, 52 m² Bauteilfläche	30				91							87	-4%	
niedr. Kosten, 330 m² Bauteilfläche	24				64							66	3%	
hohe Kosten, 330 m² Bauteilfläche	24				70							75	8%	-1%
inkl. aller Nebenkosten, Unvorhergesehenes, 626 m² Bauteilfläche	20					68						64	-7%	-7%
28 cm (0,04)	25							43				72	70%	
36 cm (0,04)	32							48				85	76%	73%
Stahlbetondecke	14								45			53	18%	18%
Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen	20									55		64	16%	16%
niedr. Kosten	20										45	60	32%	
hohe Kosten	20										58	67	17%	25%
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar		äquivalente Dämmdicke [cm]												
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14	18										19	2%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18	23										23	-2%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20	26										25	-4%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25	32										30	-6%	-2%
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14		24									19	-21%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18		29									23	-21%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20		32									25	-21%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25		38									30	-20%	-21%
28 cm (0,04)	25							21				30	42%	
34 cm (0,04)	30							25				36	44%	43%
niedr. Kosten	20										30	25	-17%	
hohe Kosten	20										38	25	-34%	-25%
Fenster		Bauteilfläche [m²]												
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, EFH	2,00	319										332	4%	
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, EFH	2,00	374										359	-4%	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, EFH	2,00	374										385	3%	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, EFH	2,00	429										412	-4%	0%
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, MFH	2,83	264										306	16%	
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, MFH	2,83	308										332	8%	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, MFH	2,83	319										356	12%	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, MFH	2,83	363										382	5%	10%
2-WSV, Uw ≈ 1,10 W/(m²K), K, inkl. Demontage/Entsorgung, MFH	1,67		478									367	-23%	
2-WSV, Uw ≈ 1,30 W/(m²K), K, inkl. Demontage/Entsorgung, MFH	1,67		429									367	-14%	-19%
2-WSV, Uw ≈ 1,30 W/(m²K), H, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69			332								366	10%	
2-WSV, Uw ≈ 1,30 W/(m²K), K, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69			250								366	46%	
3-WSV, Uw ≈ 0,95 W/(m²K), H, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69			384								420	9%	
3-WSV, Uw ≈ 0,95 W/(m²K), K, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69			299								420	41%	27%
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, niedr. Kosten, MFH68	1,69				353							536	52%	
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, hohe Kosten, MFH68	1,69				396							590	49%	50%
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, niedr. Kosten, EFH68	1,69				589							536	-9%	
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, hohe Kosten, EFH68	1,69				643							590	-8%	-9%
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), MFH, inkl. Nebenarb, Unvorhergesehenes	1,69					708						366	-48%	-48%
2-WSV, Uw ≈ 1,46 W/(m²K)	1,69						298					366	23%	
3-WSV, Uw ≈ 1,0 W/(m²K)	1,69						339					420	24%	
3-WSV, Uw ≈ 0,8 W/(m²K)	1,69						397					576	45%	31%
2-WSV, Uw ≈ 1,4 W/(m²K)	1,69								448			366	-18%	-18%
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K)	1,69									481		366	-24%	
3-WSV, Uw ≈ 0,85 W/(m²K), PH-Rahmen	1,69									659		420	-36%	-30%
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), niedr. Kosten	1,69										451	345	-24%	
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), hohe Kosten	1,69										602	374	-38%	-31%
Gerüste		Wohnfläche je Gebäude [m²]												
Gerüst, niedr. Kosten	500	12										9	-24%	
Gerüst, hohe Kosten	112	12										19	56%	16%
Gerüst, niedr. Kosten	636				8							9	5%	
Gerüst, hohe Kosten	636				10							11	4%	
Gerüst, niedr. Kosten	112				12							15	24%	
Gerüst, hohe Kosten	112				13							19	44%	19%

Tabelle 6: Auswertung Vergleichsstudien, Vollkosten, Teil 2

Quelle / Maßnahme	Vollkosten, brutto [€/m²]										Abweichung je Maßnahme [%]	mittlere Abweichung [%]		
	BBSR; 2012	BBSR; 2014	VFF; 2014	SHELL / BDH; 2013	ARGE; 2011	empiricalLuWoGe; 2010	Feist; 2010	PHI; 2008	BSI; 2008	IWU; 2007			HMWWL; 2005	aktuelle Auswertung 2015
Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 1'15														
Abluftanlage														
Wohnfläche je Wohneinheit [m²/WE]														
Abluftanlage, DC Ventilator	85	31										33	9%	
Abluftanlage, DC Ventilator	135	21										23	14%	11%
bedarfsgeregelt, EFH	150				17							21	26%	
bedarfsgeregelt, MFH	83				25							34	38%	32%
Abluftanlage, DC Ventilator, Stromeffizienz: 0,12 Wh/m³	85							36				33	-7%	
Abluftanlage, DC Ventilator, Stromeffizienz: 0,12 Wh/m³	135							36				23	-35%	-21%
zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung														
Wohnfläche je Wohneinheit [m²/WE]														
WRG > 80 %	85	69										76	9%	
WRG > 80 %	135	58										64	11%	10%
mittelgroße Anlage	80		42									78	86%	
große Anlage	135		34									64	89%	88%
EFH	150				27							62	126%	
MFH	83				37							77	108%	117%
niedr. Kosten	53					80						90	12%	
hohe Kosten	53					86						90	5%	9%
DC Ventilator, 0,35 Wh/m³, WRG = 80%	120							57				67	17%	
DC Ventilator, 0,35 Wh/m³, WRG = 92%	120							62				67	9%	13%
mittelgroße Anlage	85								70			76	9%	
große Anlage	135								65			64	-1%	4%
Heizanlagen														
Wohnfläche je Gebäude [m²]														
Öl BW, Maßnahmen nach Kap. 3.1 & hyd. Abgl.	150	76										82	9%	
Gas BW, Maßnahmen nach Kap. 3.1 & hyd. Abgl.	150	65										68	4%	
Pellet, Maßnahmen nach Kap. 3.1 & hyd. Abgl.	150	150										134	-11%	
Einzelmaßnahme Solar WW, Maßnahmen nach Kap. 3.2 & hyd. Abgl.	150	47										44	-7%	
Einzelmaßnahme Solar WW, Maßnahmen nach Kap. 3.3 & hyd. Abgl.	150	125										104	-17%	
Öl BW, Maßnahmen nach Kap. 3.1 & hyd. Abgl.	500	38										43	13%	
Gas BW, Maßnahmen nach Kap. 3.1 & hyd. Abgl.	500	33										36	11%	
Pellet, Maßnahmen nach Kap. 3.1 & hyd. Abgl.	500	67										66	-1%	
Einzelmaßnahme Solar WW, Maßnahmen nach Kap. 3.2 & hyd. Abgl.	500	30										24	-20%	
Einzelmaßnahme Solar WW, Maßnahmen nach Kap. 3.3 & hyd. Abgl.	500	73										60	-17%	-4%
Öl BW inkl. Demontage Kessel/Speicher/Öltank, neuer Öltank, EFH	150				81							82	1%	
Gas BW inkl. Demontage Kessel/Speicher, EFH	150				46							68	47%	
Pellet inkl. Pelletförderung & Pelletlager, EFH	150				132							134	1%	
Fernwärme, EFH	150				40							58	43%	
Gas Hausanschluss, EFH	150				13							14	8%	
Fernwärme Hausanschluss EFH	150				23							26	14%	
Mehrkosten Solar WW, EFH	150				29							27	-9%	
Mehrkosten Solar WW & Heizung, EFH	150				53							81	53%	
Öl BW inkl. Demontage Kessel/Speicher/Öltank, neuer Öltank, MFH	500				30							43	44%	
Gas BW inkl. Demontage Kessel/Speicher, MFH	500				16							36	131%	
Pellet inkl. Pelletförderung & Pelletlager, MFH	500				43							66	53%	
Fernwärme, MFH	500				13							32	141%	
Gas Hausanschluss, MFH	500				5							8	72%	
Fernwärme Hausanschluss MFH	500				7							12	72%	
Mehrkosten Solar WW, MFH	500				18							16	-13%	
Mehrkosten Solar WW & Heizung, MFH	500				30							50	66%	45%
Solaranlage (WW) inkl. Optimierung Heizsystem, niedr. Kosten	112					57						50	-12%	
Solaranlage, WW) inkl. Optimierung Heizsystem, hohe Kosten	112					81						50	-38%	
Solaranlage, WW&H) inkl. Optimierung Heizsystem, niedr. Kosten	112					105						119	13%	
Solaranlage, WW&H) inkl. Optimierung Heizsystem, hohe Kosten	112					143						119	-17%	
Gas, BW) & Solar, WW&H) inkl. Optimierung Heizsystem, niedr. Kosten	636					77						77	0%	
Gas, BW) & Solar, WW&H) inkl. Optimierung Heizsystem, hohe Kosten	636					96						77	-19%	-12%
Fernwärme inkl. Heizkörper, Nebenkosten, Unvorhergesehenes, MFH	1142						36					28	-24%	-24%
Öl-Brennwert, ohne Verteilung/Heizflächen, EFH	156								78			80	3%	
Gas-Brennwert, ohne Verteilung/Heizflächen, EFH	156								57			66	15%	
Pelletheizung, ohne Verteilung/Heizflächen, EFH	156								117			131	12%	
Solaranlage (WW), kleine kostengünstige Anlage	120								32			49	51%	
Solaranlage (WW), kleine hochwertige Anlage	120								57			49	-15%	
Solaranlage (WW), große kostengünstige Anlage	270								23			32	39%	
Solaranlage (WW), große hochwertige Anlage	270								26			32	24%	18%
Gas-Brennwert, EFH ohne Verteilung/Heizflächen	111										63	96	53%	53%

Tabelle 7: Auswertung Vergleichsstudien, Vollkosten, Teil 3

Quelle / Maßnahme	energiebedingte Mehrkosten, brutto [€/m²]										Abweichung [%]	mittlere Abweichung [%]			
	BBSR; 2012	BBSR; 2014	VFF; 2014	SHELL / BDH; 2013	ARGE; 2011	empiricalLuWoGe; 2010	Feist; 2010	PHI; 2008	BSI; 2008	IWI; 2007			HMWWL; 2005	aktuelle Auswertung 2015	
Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 1'15															
Wärmedämmverbundsystem															
	äquivalente Dämmdicke [cm]														
Maßnahmen nach Kap. 2.1	12	49										53	10%		
Maßnahmen nach Kap. 2.1	15	57										62	9%		
Maßnahmen nach Kap. 2.1	20	70										76	9%		
Maßnahmen nach Kap. 2.1	28	91										98	8%	9%	
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	12		49									53	9%		
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	15		55									62	12%		
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	20		65									76	18%		
Maßnahmen nach Kap. 2.1 (Bezugsfläche nach LV bzw. Aufmaß)	28		80									98	23%	15%	
niedr. Kosten, EFH68, 114 m² Bauteilfläche	16											59	-54%		
hohe Kosten, EFH68, 114 m² Bauteilfläche	16											71	-56%		
niedr. Kosten, MFH68, 684 m² Bauteilfläche	20											68	-36%		
hohe Kosten, MFH68, 684 m² Bauteilfläche	20											84	-35%	-45%	
70er Jahre Gebäude inkl. aller Nebenarbeiten, Unvorhergesehenes	20											76	-55%	-55%	
im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung	28											98	17%		
im Zuge einer ohnehin erforderlichen Instandsetzung	19											73	-1%	8%	
WDVS auf Altputz (15 cm, WLG 040)	13											94	-40%	-40%	
WDVS auf Altputz	12											62	-13%	-13%	
niedr. Kosten	12											33	49	50%	
hohe Kosten	12											53	58	10%	
Kellerdecke unterseitig mit / ohne Bekleidung															
	äquivalente Dämmdicke [cm]														
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (ohne Bekleidung)	6	36										38	6%		
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (ohne Bekleidung)	10	41										43	6%		
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (ohne Bekleidung)	12	43										46	7%	6%	
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	6	54										64	18%		
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	10	60										70	16%		
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	12	63										73	16%	17%	
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	6		56									64	13%		
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	10		64									70	10%		
Maßnahmen nach Kap. 2.2 (mit Bekleidung)	12		67									73	8%	10%	
ohne Bekleidung, niedr. Kosten, 86 m² Bauteilfläche, EFH68	12											46	7%		
ohne Bekleidung, hohe Kosten, 86 m² Bauteilfläche, EFH68	12											46	-15%		
ohne Bekleidung, niedr. Kosten, 330 m² Bauteilfläche, MFH68	12											46	42%		
ohne Bekleidung, hohe Kosten, 330 m² Bauteilfläche, MFH68	12											46	7%	10%	
ohne Bekleidung, Stahlbetondecke inkl. Nebenarb., Unvorhergesehenes	12											182	46	-75%	-75%
Untersicht gespachtelt	9											57	42	-27%	-27%
Stahlbetondecke (ohne Bekleidung)	8											34	41	21%	21%
ohne Bekleidung	6											34	38	11%	11%
niedr. Kosten	6											23	37	62%	
hohe Kosten	6											38	40	6%	34%
Steildach mit / ohne Neueindeckung															
	äquivalente Dämmdicke [cm]														
inkl. Neueindeckung, Gauben, Dachausstieg	25	61										71	16%		
inkl. Neueindeckung, Gauben, Dachausstieg	20	49										59	21%		
inkl. Neueindeckung, Gauben, Dachausstieg	14	34										44	31%	23%	
Dämmung im Zuge der Erneuerung der Dachhaut, ohne Dachfenster	25		48									71	47%		
Dämmung im Zuge der Erneuerung der Dachhaut, ohne Dachfenster	20		38									59	53%		
Dämmung im Zuge der Erneuerung der Dachhaut, ohne Dachfenster	14		27									44	66%	55%	
16 Zwi / 10 Auf inkl. Neueindeckung, niedr. Kosten, 79 m² Bf, EFH68	20											268	51	-81%	
16 Zwi / 10 Auf inkl. Neueindeckung, hohe Kosten, 79 m² Bf, EFH68	20											321	67	-79%	-80%
25 cm Zwischen / Auf	18											63	54	-14%	
22 cm (0,04) Auf	19											62	56	-9%	
32 cm (0,04) Auf	28											74	78	5%	-6%
14 cm Zwi / 6 cm Auf	15											50	47	-7%	-7%
20 cm zwischen den Sparren inkl. Aufdopplung, inkl. Neueindeckung	13											76	42	-44%	
Aufsparrendämmung, inkl. Neueindeckung	14											86	44	-48%	-46%
20 cm Zwischen (niedr. Kosten)	13											30	42	40%	
20 cm Zwischen (hohe Kosten)	13											45	42	-7%	
20 cm (0,04) Auf (niedr. Kosten)	18											53	54	2%	
20 cm (0,04) Auf (hohe Kosten)	18											68	54	-20%	4%
Flachdach															
	äquivalente Dämmdicke [cm]														
Warmdach inkl. aller Nebenarbeiten, Unvorhergesehenes	12											510	56	-89%	-89%
22 cm (0,04)	19											67	77	14%	
32 cm (0,04)	28											77	103	33%	23%
Warmdach, Dämmplatten auf alter Dachhaut	12											72	56	-22%	-22%
Warmdach, niedr. Kosten	20											75	68	-10%	
Warmdach, hohe Kosten	20											120	92	-24%	-17%

Tabelle 8: Auswertung Vergleichsstudien, energiebedingte Mehrkosten, Teil 1

Alle Angaben umgerechnet auf 0,035 W/(mK), Preisstand 1'15		energiebedingte Mehrkosten, brutto [€/m²]										Abweichung [%]			
Quelle / Maßnahme		BBSR; 2012	BBSR; 2014	VFF; 2014	SHELL / BDH; 2013	ARGE; 2011	empiricalLuWoGe; 2010	Feist; 2010	PHI; 2008	BSI; 2008	IWU; 2007	HMWU; 2005	aktuelle Auswertung 2015	Abweichung [%]	mittlere Abweichung [%]
oberste Geschossdecke, begehrbar		äquivalente Dämmdicke [cm]													
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14	58											53	-9%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18	66											59	-10%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20	71											64	-10%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25	81											72	-11%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	32	96											85	-12%	-11%
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14		46										53	16%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18		52										59	14%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20		57										64	12%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25		66										72	10%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	32		78										85	8%	12%
niedr. Kosten, 52 m² Bauteilfläche	30					86							76	-12%	
hohe Kosten, 52 m² Bauteilfläche	30					91							87	-4%	
niedr. Kosten, 330 m² Bauteilfläche	24					64							66	3%	
hohe Kosten, 330 m² Bauteilfläche	24					70							75	8%	-1%
inkl. aller Nebenkosten, Unvorhergesehenes, 626 m² Bauteilfläche	20						64						64	-1%	-1%
28 cm (0,04)	25								43				72	70%	
36 cm (0,04)	32								48				85	76%	73%
Stahlbetondecke	14									45			53	18%	18%
Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen	20										55		64	16%	16%
niedr. Kosten	20											45	60	32%	
hohe Kosten	20											58	67	17%	25%
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar		äquivalente Dämmdicke [cm]													
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14	18											19	2%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18	23											23	-2%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20	26											25	-4%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25	32											30	-6%	-2%
Maßnahmen nach Kap. 2.10	14		24										19	-21%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	18		29										23	-21%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	20		32										25	-21%	
Maßnahmen nach Kap. 2.10	25		38										30	-20%	-21%
28 cm (0,04)	25								25				30	23%	
34 cm (0,04)	30								21				36	67%	45%
niedr. Kosten	20											30	25	-17%	
hohe Kosten	20											38	25	-34%	-25%
Fenster		Bauteilfläche [m²]													
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, EFH	2,00												-	-	
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, EFH	2,00												-	-	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, EFH	2,00	55											53	-4%	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, EFH	2,00	55											53	-4%	
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, MFH	2,83												-	-	
2-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, MFH	2,83												-	-	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., niedr. Kosten, MFH	2,83	55											50	-9%	
3-WSV, H-/K-rahmen, Alu Randverb., hohe Kosten, MFH	2,83	55											50	-10%	-7%
2-WSV, Uw ≈ 1,10 W/(m²K), K, inkl. Demontage/Entsorgung, MFH	1,67												-	-	
2-WSV, Uw ≈ 1,30 W/(m²K), K, inkl. Demontage/Entsorgung, MFH	1,67												-	-	
2-WSV, Uw ≈ 1,30 W/(m²K), H, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69												-	-	
2-WSV, Uw ≈ 1,30 W/(m²K), K, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69												-	-	
3-WSV, Uw ≈ 0,95 W/(m²K), H, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69			53									54	3%	
3-WSV, Uw ≈ 0,95 W/(m²K), K, ergänzt um Ausbau & Entsorgung, EFH	1,69			48									54	12%	7%
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, niedr. Kosten, MFH68	1,69					353							170	-52%	
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, hohe Kosten, MFH68	1,69					396							224	-44%	-48%
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, niedr. Kosten, EFH68	1,69					589							170	-71%	
3-WSV, Uw < 0,7 W/(m²K) inkl. neuer I-FB, hohe Kosten, EFH68	1,69					643							224	-65%	-68%
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), MFH, inkl. Nebenarb, Unvorhergesehenes	1,69						708						-	-	
2-WSV, Uw ≈ 1,46 W/(m²K)	1,69												-	-	
3-WSV, Uw ≈ 1,0 W/(m²K)	1,69							34					54	59%	
3-WSV, Uw ≈ 0,8 W/(m²K)	1,69							84					209	151%	105%
2-WSV, Uw ≈ 1,4 W/(m²K)	1,69									135			-	-	
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K)	1,69										48		-	-	
3-WSV, Uw ≈ 0,85 W/(m²K), PH-Rahmen	1,69												54	-76%	-76%
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), niedr. Kosten	1,69											30	-	-	
2-WSV, Uw ≈ 1,3 W/(m²K), hohe Kosten	1,69											45	-	-	

Tabelle 9: Auswertung Vergleichsstudien, energiebedingte Mehrkosten, Teil 2

Als Zusammenfassung sind in Tabelle 10 die mittleren Abweichungen der nach den Vergleichsstudien ermittelten durchschnittlichen Kostenkennwerten und den nach der vorliegenden Studie ermittelten Kostenkennwerten gegenübergestellt.

Maßnahme	Vollkosten	mittlere Abweichung der Kostenkennwerte [*+* entspricht höhere Kosten der aktuellen Studie gegenüber den Vergleichsstudien]	
		energiebedingte Mehrkosten	
Fassade, Wärmedämmverbundsystem	13%	-6%	
Kellerdecke, unterseitig	7%	7%	
Steildach, Dämmung von außen	15%	-2%	
Flachdach	10%	-17%	
oberste Geschossdecke, begehrbar	11%	11%	
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar	-5%	-4%	
Fenster austausch	5%	-8%	
Mittelwert bauliche Maßnahmen	8%	-3%	
zentrale Abluftanlage	7%		
zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	40%		
Heizanlagen	13%		
Mittelwert anlagentechnische Maßnahmen	20%		
Gerüste	18%		
alle Maßnahmen (ohne Gerüste)	12%	-3%	

Tabelle 10: mittlere Abweichungen der Kostenkennwerte der Vergleichsstudien zur hier vorliegenden Studie

Vollkosten

Die nach der vorliegenden Studie ermittelten Vollkosten liegen in der Regel über den nach den Vergleichsstudien ermittelten Vollkosten, im Mittel über alle ausgewerteten Studien 12 %. Dabei gibt es im Einzelnen ganz erhebliche Abweichungen. So liegen die nach dieser Studie ermittelten Kosten beim Steildach im Mittel 15 % über den Kosten der Vergleichsstudien, bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung im Mittel sogar 40 %. Diese hohen Abweichungen können hier nicht diskutiert werden, da es sich einerseits um sehr komplexe Maßnahmen handelt, andererseits aber bei der Darstellung der Kosten in den Vergleichsstudien nähere Angaben fehlen oder auch Bezugsflächen nicht definiert sind. Gleiches gilt auch für die weiteren hier untersuchten Maßnahmen.

Energiebedingte Mehrkosten

Im Mittel über alle Maßnahmen ist die Abweichung mit -3 % gering, im Einzelnen jedoch erheblich. So sind z. B. die nach der hier vorliegenden Studie ermittelten energiebedingten Mehrkosten beim Flachdach im Mittel 17 % niedriger. Auch hier fehlen in den Vergleichsstudien weitergehende Angaben zur Systematik der Kostenzuordnung, so dass ein fundierter Vergleich nicht möglich ist.

In den einzelnen Studien werden energiebedingte Mehrkosten aus verschiedenen Gründen sehr unterschiedlich angesetzt:

- In der hier vorliegenden Studie werden energiebedingte Mehrkosten vor dem Hintergrund des Kopplungsprinzips (Instandsetzungsbedarf), orientiert an dem Stand der Technik (2-WSV / Brennwertnutzung) und an einem zeitgemäßen raumlufthygienischen Standard (Abluftanlage) abgeleitet. Aus dieser Systematik resultieren vergleichsweise niedrige energiebedingte Mehrkosten, die z. B. im Kontext der EnEV unter Beachtung der bedingten Anforderungen nach Anlage 3, Tabelle 1 als Grundlage für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen genutzt werden können. Ein ähnlicher Ansatz wird auch in der entsprechenden Studie für Nichtwohngebäude [BBSR; 2014] gewählt.
- In [ARGE; 2011] und [empirica / Luwoge; 2010] wird dagegen systematisch auf eine Unterscheidung von Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten verzichtet. Beide Studien rechnen mit Vollkostenansätzen mit dem Argument, die Wirtschaftlichkeit von energietechnischer Modernisierungsmaßnahmen für den gesamten Wohnungsbestand abschätzen zu wollen – und eben nicht nur für solche Gebäude mit Instandsetzungsbedarf. Daher werden die Kostenansätze nicht "rein rechnerisch um Sowieso-Kosten vermindert" [empirica / Luwoge; 2010]. Aus diesem Ansatz resultieren sehr hohe Kosten für eine energietechnische Modernisierung als Basis für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen.

7 Wirtschaftlichkeitstool „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“

Als Basis für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurden die Kostenfunktionen über einen separaten Datensatz "EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db" in das Energiebilanzverfahren "EnEV-XL", Version 5.1 integriert [Korn; 2014]. EnEV-XL ist eine MS Excel-Anwendung zur Berechnung der Energiebilanz von Gebäuden, insbesondere zum Nachweis nach Energieeinsparverordnung (EnEV) für Wohnhäuser. Die Randbedingungen können alternativ nach EnEV 2012, EnEV 2009, EnEV 2007, EnEV 2002 oder nach dem "Leitfaden Energiebewusste Gebäudeplanung" (LEG) gewählt werden. Zusätzlich können die Randbedingungen auch individuell festgelegt werden, um im Einzelfall das Modell an konkrete Gegebenheiten anpassen zu können. EnEV-XL wird seit vielen Jahren erfolgreich im Rahmen der Energieberatung eingesetzt.

„EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ baut auf den Ergebnisse der Berechnungen aus EnEV-XL (Version 5.1) auf, indem es auf die Ausgabedatei von EnEV-XL zugreift. Damit bauen die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen in „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ auf den Energiebilanzberechnungen auf. Die Nutzung von „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ setzt daher die Kenntnis um das Arbeiten mit EnEV-XL (Version 5.1) voraus. Das Energiebilanzprogramm EnEV-XL (Version 5.1) mit Erklärungen zur Nutzung wird über die Homepage des IWU kostenfrei zur Verfügung gestellt⁴. Als β -Version steht auch „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ mit einem Beispieldatensatz für ein Gebäude kostenfrei zum Download über die Homepage des IWU zur Verfügung⁵.

7.1 „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ - Arbeitsblätter

Das Wirtschaftlichkeitstool enthält fünf Arbeitsblätter:

- Das Arbeitsblatt "Info" enthält allgemeine Hinweise zur Entwicklung und Nutzung des Tools
- Das Arbeitsblatt "Daten" enthält beispielhaft einen Eingabedatensatz für die Energiebilanzberechnungen mit EnEV-XL. Die Struktur dieses Datensatzes darf für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen nicht verändert werden. Die im Datensatz grau ausgefüllten Zellbereiche müssen entsprechend den dort eingefügten Kommentaren belegt werden.
- Das Arbeitsblatt "Parameter" ist die zentrale Eingabemaske des Tools und ermöglicht es, wesentliche Parameter der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu variieren. Der Einfluss auf das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird unmittelbar in der parallel angezeigten Abbildung dargestellt.
- Das Arbeitsblatt "HDB" fasst alle wesentlichen Ergebnisse der Berechnungen in einem Hausdatenblatt zusammen.
- Das Arbeitsblatt "Monitor" enthält die Kostenfunktionen dieser Studie sowie ergänzende Kommentare.

Bei der Anwendung ist die Struktur des Datensatzes einzuhalten.

⁴ [weitere Informationen unter: <http://www.iwu.de/downloads/fachinfos/energiebilanzen/informationen-enev-xl/>]

⁵ Die Betreuung und Weiterentwicklung von EnEV-XL CALC ist bisher nicht vorgesehen.

7.2 Arbeitsblatt "Parameter"

Abbildung 26 zeigt die zentrale Eingabemaske für „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“, über die wesentliche Eingabeparameter der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung vorgegeben, modifiziert und leicht überblickt werden können.

Restwert / Ersatzinvestition: Zumeist werden Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden ohne Berücksichtigung von Restwerten durchgeführt. Bei einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren kann dies für anlagentechnische Maßnahmen vereinfachend gerechtfertigt sein, da nach diesem Zeitraum die technische Lebensdauer der Anlagen erreicht sein kann. Zudem können über solche Zeiträume wesentliche Parameter noch halbwegs plausibel abgeschätzt werden. Bauliche Maßnahmen wie z. B. die Dämmung einer Kellerdecke, der obersten Geschossdecke oder auch der Fassade, haben jedoch eine deutlich höhere technische Lebensdauer und somit nach Ende des Betrachtungszeitraums faktisch einen Restwert. Dieser kann bei einer genaueren Analyse berücksichtigt werden.

Ein Beispiel: Die Nutzung einer Investition I über deren technische Lebensdauer n_T führt zu entsprechen jährlich konstanten wiederkehrenden Kosten von $K_I = a(n_T, p) * I$, also dem Produkt aus dem Annuitätenfaktor a und der Investition I . Im Annuitätenfaktor wird der Kalkulationszinssatz p berücksichtigt. Mit dem Barwertfaktor $B = (1-(1+p)^{-n_B})/p$ können diese jährlichen konstanten Kosten K_I über den Betrachtungszeitraum n_B auf den Anfangszeitpunkt abgezinst werden, indem die jährlichen konstanten Kosten K_I mit dem Barwertfaktor B multipliziert werden. Der Restwert R der Investition nach dem Ende des Betrachtungszeitraums n_B ergibt sich als Differenz aus dem Barwert der Gesamtinvestition über die technische Lebensdauer der Maßnahme und dem Barwert der Investition über den Betrachtungszeitraum: $R = I * (1-B(n_B, p) * a(n_T, p))$ [PHI; 2008]. Über die Wahl dieses Parameters werden in den Berechnungen der Restwert der Bauteile bzw. Ersatzinvestitionen berücksichtigt.

Vorzeitige Sanierung Außenwand / Fenster: Die hinterlegten Kostenfunktionen sind unter der Prämisse des Kopplungsprinzips abgeleitet. Tatsächlich können jedoch energiesparende Maßnahmen aus verschiedenen Gründen vorgezogen werden. Werden z. B. Fenster im Zuge der energietechnischen Modernisierung der Fassade vorzeitig ausgetauscht, dann können höhere energiebedingte Mehrkosten für die Fenster angesetzt werden. In „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ sind hierfür pauschal $\frac{1}{3}$ der Investitionskosten für Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung angesetzt. Bei der vorzeitigen energietechnischen Modernisierung der Fassade werden zusätzlich 31 €/m² Bauteil für den Grundputz und die Armierung als energiebedingte Mehrkosten angesetzt.

Regionalfaktor * Baupreisindex: Über den Regionalfaktor kann ein örtlich höheres oder niedrigeres allgemeines Kostenniveau berücksichtigt werden. So ist das Kostenniveau in Frankfurt am Main höher als in der Lausitz. Diese Anpassung der Kosten an das lokale Niveau kann über den Regionalfaktor erfolgen. Aktuell sind in dem Tool die Regionalfaktoren aus 2014 entsprechend dem Deutschen Statistischen Bundesamt hinterlegt. Über den Baupreisindex kann die allgemeine Kostensteigerung für bauliche und anlagentechnische Maßnahmen berücksichtigt werden. Der

aktuelle Baupreisindex wird quartalsweise vom Deutschen Statistischen Bundesamt veröffentlicht. Dem Tool sind die in dargestellten Kostenfunktionen mit Preisstand 1'2015 hinterlegt.

Energieeinsparung: Berechnete Endenergieeinsparungen können von tatsächlich erreichten Einsparungen abweichen. Um den Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme abzubilden, kann über diesen Parameter die rechnerisch ermittelte Endenergieersparnis entsprechend einem gewählten Prozentsatz modifiziert werden.

Betrachtungszeitraum: Bei dynamischen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung kann der angesetzte Betrachtungszeitraum das Ergebnis wesentlich beeinflussen. Daher kann dieser Parameter über die zentrale Eingabemaske nach den Vorgaben des Investors variiert werden.

Kalkulationszinssatz (real): Der Kalkulationszinssatz entspricht der Mindestverzinsung des eingesetzten Eigenkapitals bei einer alternativen Kapitalanlage. Diese Mindestverzinsung sollte durch die Investition in energiesparende Maßnahmen erzielt werden. Dabei ist der reale Kalkulationszinssatz anzusetzen, um den Einfluss der allgemeinen Inflationsrate zu eliminieren. Sind die allgemeine Inflationsrate und z. B. die nominalen Zinsen zur Finanzierung der Maßnahmen über ein Hypothekendarlehen gering, dann ist in erster Näherung der reale Zinssatz die Differenz aus dem nominalen Zinssatz und der Inflationsrate.

Energiepreissteigerung (real): Prognosen über zukünftige Energiepreisentwicklungen sind per se unsicher. Über diesen Parameter kann die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen vor dem Hintergrund unterschiedlicher Energiepreisentwicklungen abgeschätzt werden.

Aktueller Energiepreis (brutto): Als weiterer wesentlicher Einflussparameter kann der aktuelle heutige Preis für den Bezug von Endenergie angesetzt werden. Dabei ergibt sich aus dem Datensatz nach EnEV-XL die Option, in einem Gebäude verschiedene Wärmeversorgungssysteme mit bis zu drei verschiedenen Endenergieträgern abzubilden. Damit können z. B. Wärmeversorgungssysteme in Altbauten mit teilweise dezentraler und zentraler Struktur mit ihren jeweiligen Deckungsanteilen berechnet werden. Für die verschiedenen Endenergieträger müssen in diesen Zellen die Arbeitspreise gegebenenfalls um die Grundpreise ergänzt werden.

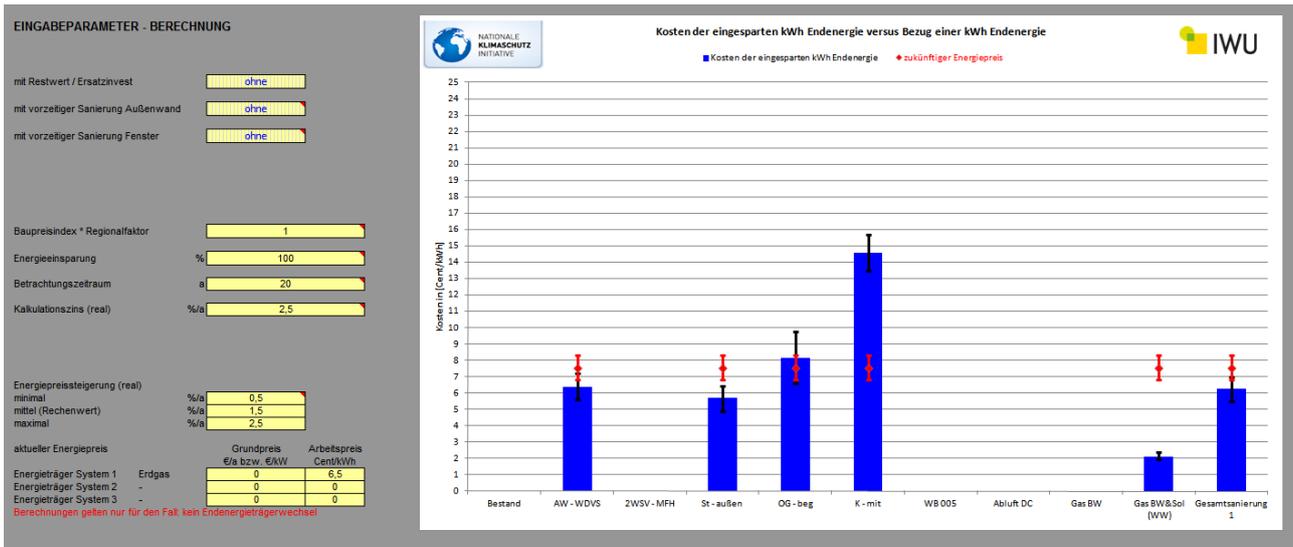


Abbildung 26: Arbeitsblatt "Parameter", zentrale Eingabemaske zu „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“

7.3 Ergebnisdarstellung – Diagramm

Die Ergebnisse der Berechnungen werden zusammenfassend in einem Diagramm dargestellt, das bei Variation der Parameter gleichzeitig aktualisiert wird. So bildet sich die Variation von Eingabeparametern unmittelbar im Diagramm zur Ergebnisdarstellung ab.

- **Kosten der eingesparten kWh Endenergie vs. zukünftiger Energiepreis**

Als das Kriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen werden in „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ die „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ verwendet. Die Kosten der eingesparten kWh Endenergie ergeben sich, indem die annuitätischen Kosten für zusätzliche energiesparende Maßnahmen durch die jährliche Endenergieeinsparung dividiert werden. Eine Maßnahme kann unter getroffenen Annahmen als vorteilhaft bezeichnet werden, wenn die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie kleiner sind als die über den Betrachtungszeitraum mittleren Kosten für den Bezug einer kWh Endenergie. Daher sind diese beiden Kenngrößen im Diagramm dargestellt. Das Beurteilungskriterium „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“ eignet sich insbesondere dann zur Beurteilung einer Investition, wenn die Energiekosteneinsparung vom Investor tatsächlich als Einnahmestrom realisiert werden kann. Dies gilt vor allem im selbst genutzten Wohnungsbau.

Ein Beispiel ist in Abbildung 27 dargestellt. Als blaue Balken sind die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie mit den jeweiligen Maßnahmen dargestellt. Für die nachträgliche Dämmung der Außenwand betragen diese unter den hier gewählten Annahmen 6,4 Cent/kWh bei typischen Kosten entsprechend der Kostenfunktion in. Diese typischen Kosten werden im Einzelfall jedoch praktisch nie zutreffen. Vielmehr werden die tatsächlichen Kosten in einem Kostenbereich liegen. Auf Basis der in dargestellten Koeffizienten für niedrige und hohe Kosten sind in Abbildung 27 daher zusätzlich die Bandbreiten der Kosten der eingesparten kWh Endenergie als schwarze Balken angegeben. In diesem Beispiel und unter den gewählten Rahmenbedingungen liegen diese im Bereich zwischen 5,6 Cent/kWh und 7,2 Cent/kWh.

Der Vergleichswert zur Beurteilung der Maßnahme ist der über den Betrachtungszeitraum mittlere Preis für den Bezug einer kWh Endenergie. Ausgehend von dem hier gewählten heutigen Arbeitspreis von 6,5 Cent/kWh für Erdgas und einer mittleren Preissteigerung von real 1,5 %/a über den Betrachtungszeitraum ergibt sich ein mittlerer Preis für den Bezug von Endenergie von 7,5 Cent/kWh. Berücksichtigt man die Unsicherheit in Bezug auf künftige Preisentwicklungen durch unterschiedliche Steigerungsraten (hier gewählt: 0,5 %/a bis 2,5 %/a), dann liegt der mittlere Preis für den Bezug von Endenergie zwischen 6,8 Cent/kWh und 8,3 Cent/kWh. Diese Vergleichswerte sind im Diagramm als rote Balken dargestellt.

In diesem Beispiel bedeutet dies für die Beurteilung der nachträglichen Dämmung der Außenwand: Unter dem Ansatz typischer Kosten für die energietechnische Modernisierung im Rahmen des Kopplungsprinzips und einer moderaten Energiepreissteigerung stellt sich die nachträgliche Dämmung der Außenwand als vorteilhaft dar. Es ist günstiger, in die energietechnische Modernisierung zu investieren, als Endenergie einzukaufen. Führt die Maßnahme dagegen zu überdurchschnittlichen hohen Kosten und steigen gleichzeitig die Energiepreise nur gering, dann kehrt sich das Verhältnis um: Es wird teurer in die energietechnische Modernisierung der Fassade zu investieren, als Endenergie einzukaufen.

Für die weiter dargestellten Maßnahmen, wie den Ersatz alter Fenster durch konventionelle neue Fenster mit 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, den nachträglichen Einbau einer Abluftanlage oder die Modernisierung der Heizanlage mit einem Gas-Brennwertkessel, entstehen nach dem für diese Studie gewählten Ansatz keine energiebedingten Mehrkosten. Wird die Warmwassererzeugung jedoch über eine solarthermische Anlage unterstützt (Variante "Gas BW&Sol (WW)"), entstehen energiebedingte Mehrkosten, die in der Abbildung ausgewiesen sind. Für die nachträgliche Dämmung der obersten Geschossdecke und der Kellerdecke werden die Vollkosten der Maßnahmen als energiebedingte Mehrkosten angesetzt. Dabei erscheint die Dämmung der obersten Geschossdecke noch wirtschaftlich vertretbar. Die Dämmung der Kellerdecke führt hingegen bei diesem Beispiel zu derart hohen Kosten der eingesparten kWh Endenergie, dass diese Maßnahme selbst bei hohen Energiepreissteigerungen als nicht vorteilhaft erscheint. Dagegen erscheint das umfassende Modernisierungspaket aus allen Einzelmaßnahmen mit Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie zwischen 5,5 Cent/kWh und 7,0 Cent/kWh, bei einem mittleren Preis für den Bezug einer kWh Endenergie zwischen 6,8 Cent/kWh und 8,3 Cent/kWh, selbst bei überdurchschnittlich hohen Kosten und nur geringer Energiepreissteigerung als noch vertretbar bzw. vorteilhaft.

Vorzeitige Modernisierung Wärmedämmverbundsystem

Über die Variation der Eingabeparameter in der Eingabemaske wird der Einfluss der Parameter auf die Ergebnisse unmittelbar in den Abbildungen dargestellt. Abbildung 28 zeigt beispielhaft unter sonst unveränderten Rahmenbedingungen den Einfluss einer vorzeitigen Sanierung der Fassade mit einem Wärmedämmverbundsystem. Entsprechend der für diese Studie gewählten Systematik sind unter Prämisse der vorzeitigen Sanierung der Fassade die Kosten für den Grundputz und die Armierung nicht ohnehin erforderlich, sondern energiebedingte Mehrkosten, da der Fassadenputz als im Wesentlichen intakt angenommen wird. Damit sind die energiebedingten Mehrkosten für die energietechnische Modernisierung der Fassade 31 €/m² Bauteil höher anzusetzen. Der Effekt zeigt sich in Abbildung 28 durch die nun deutlich höheren Kosten der eingesparten kWh

Endenergie. Unter den gewählten Rahmenbedingungen ist die Dämmung der Fassade nicht vorteilhaft. Die Gesamtsanierung erscheint jedoch noch vertretbar.

Methodisch bedeutet der hier dargestellt Ansatz höherer energiebedingter Kosten infolge einer vorzeitigen energietechnischen Modernisierung prinzipiell nichts anderes, als einen "Restwert" der Fassade zum Zeitpunkt der Modernisierung zu berücksichtigen. Dieser "Restwert" der Fassade wird den Kosten der energietechnischen Modernisierung zugeschlagen, weil diese vorzeitig erfolgte. Methodisch ist dieser Ansatz korrekt. Wird dieser methodische Ansatz gewählt, dann muss eine methodisch in sich schlüssige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung jedoch auch einen Restwert nach Ende des Betrachtungszeitraums berücksichtigen.

In Abbildung 29 ist daher das Ergebnis der Berechnungen bei vorzeitiger energietechnischer Modernisierung der Fassade und unter Berücksichtigung des Restwertes zum Zeitpunkt der Modernisierung und nach dem Ende des Betrachtungszeitraums dargestellt. Unter diesem methodisch in sich schlüssigen Ansatz erscheint eine vorzeitige Modernisierung der Fassade vertretbar. Bei allen anderen Maßnahmen sind die Kosten für das Einsparen einer kWh Endenergie selbst bei hohen Investitionskosten nun deutlich geringer als die Kosten für den Bezug einer kWh Endenergie, selbst bei sehr niedriger Preissteigerung. Ausnahme ist die Dämmung der Kellerdecke, die sich nun jedoch deutlich besser darstellt als ohne Berücksichtigung des Restwertes.

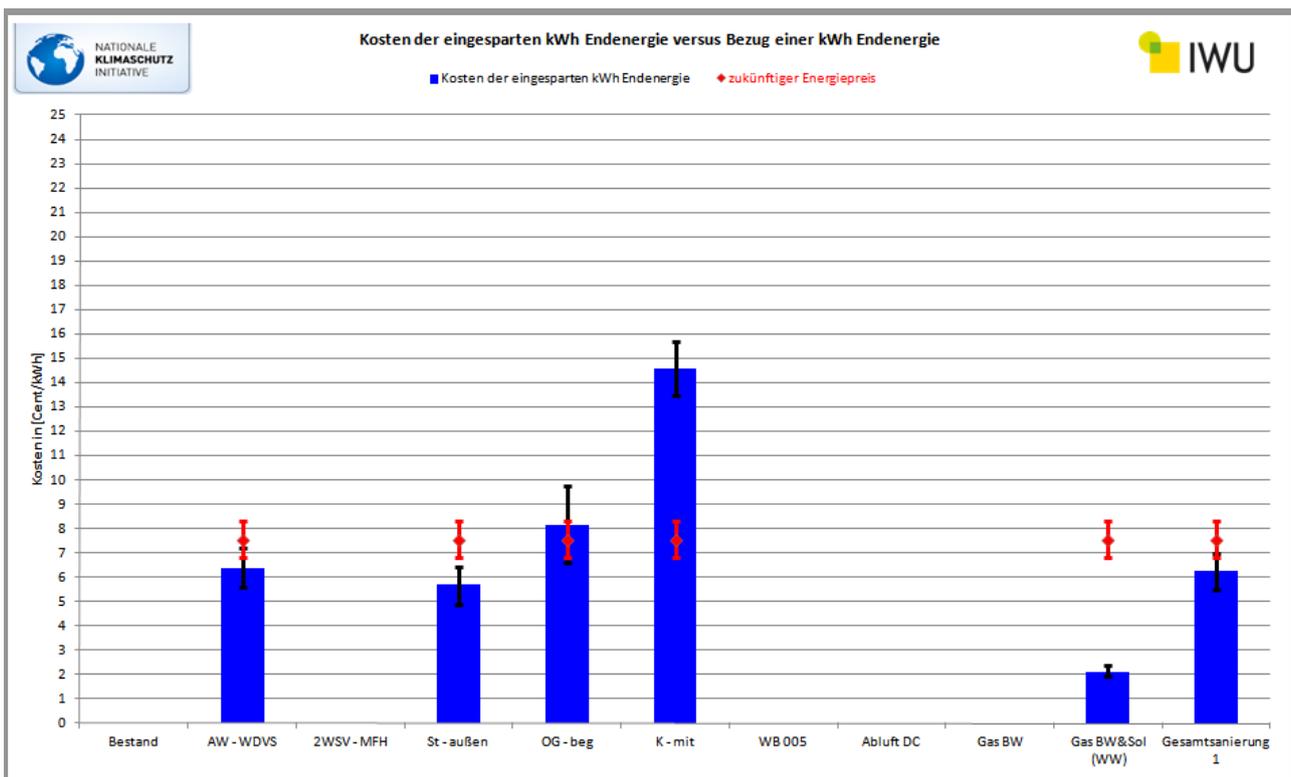


Abbildung 27: „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“, ohne vorzeitige Sanierung Außenwand, ohne Restwert

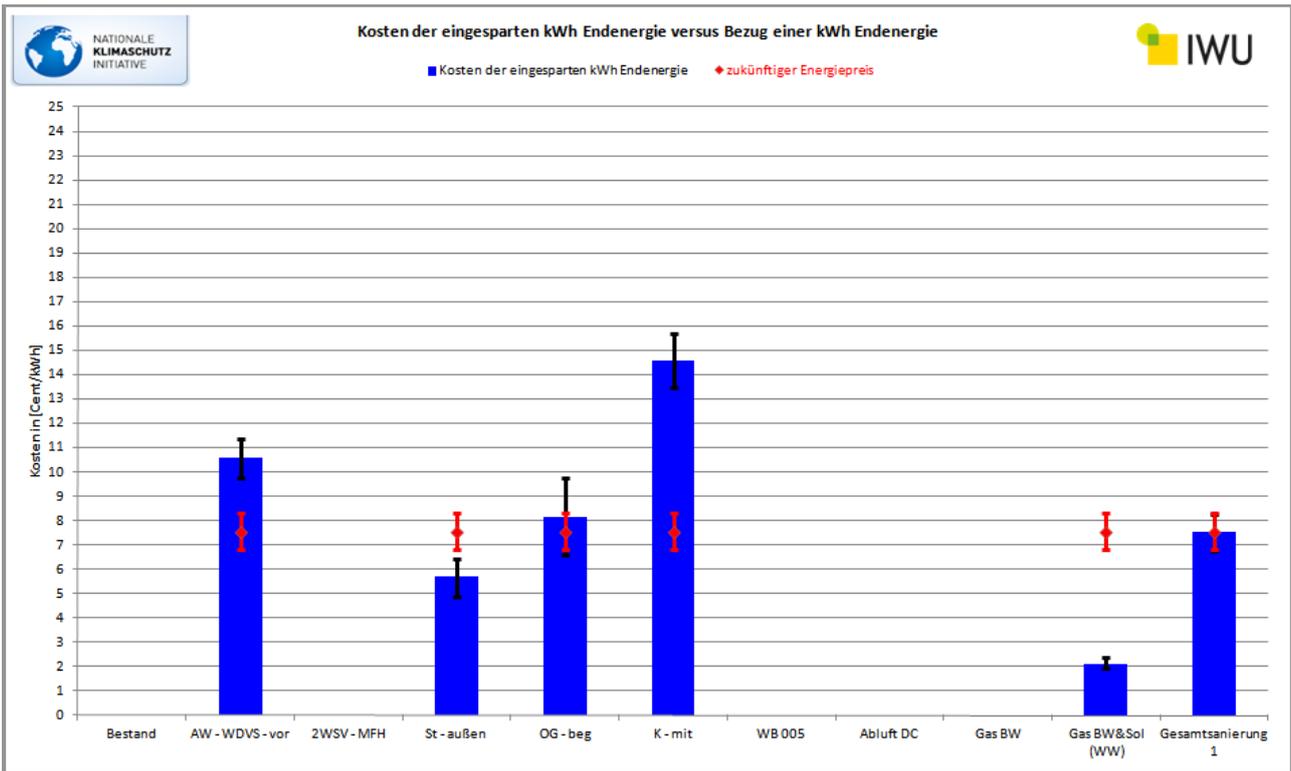


Abbildung 28: „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“, mit vorzeitiger Sanierung Außenwand, ohne Restwert

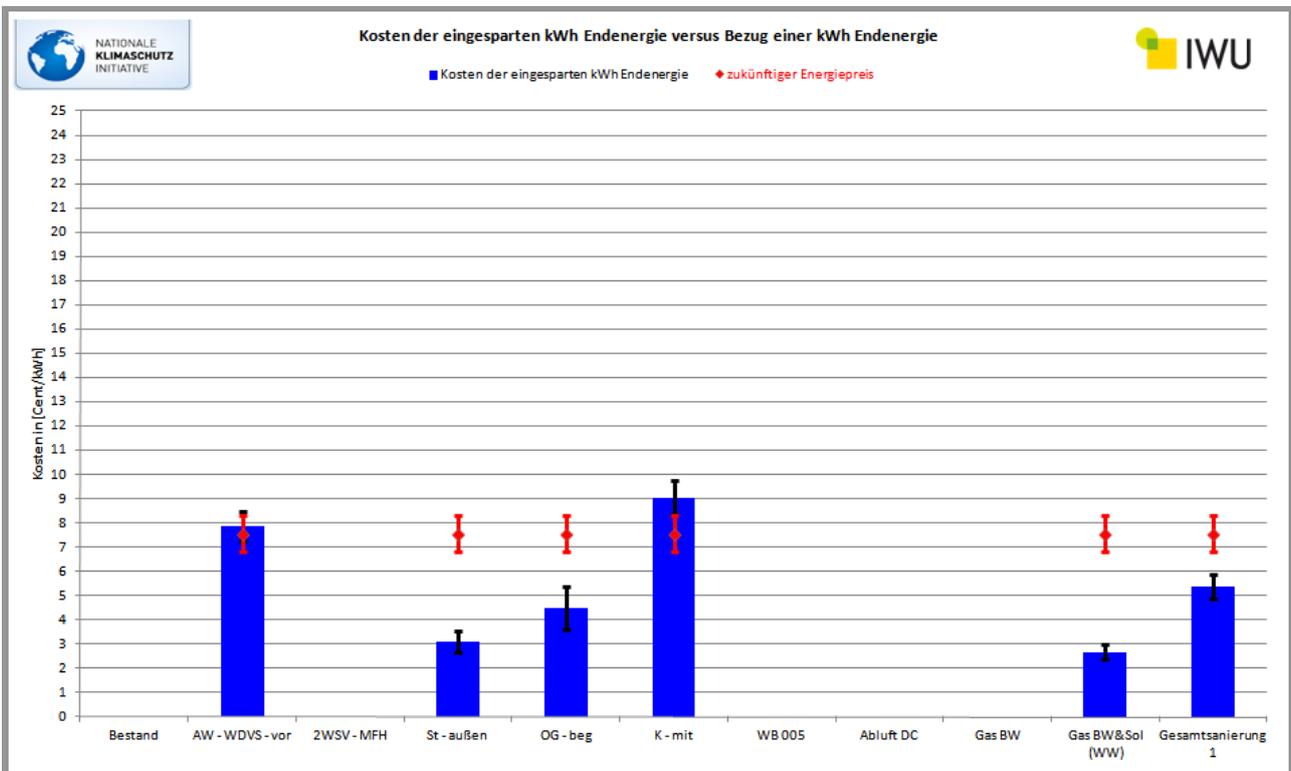


Abbildung 29: „Kosten der eingesparten kWh Endenergie“, mit vorzeitiger Sanierung Außenwand, mit Restwert

7.4 Arbeitsblatt "HDB"

Abbildung 30 zeigt das sogenannte Hausdatenblatt nach EnEV-XL CALC, in dem alle wichtigen Eingabedaten und Ergebnisse der Berechnungen für ein Gebäude zusammenfassend dargestellt sind.

- Im oberen Teil links enthält das Datenblatt eine kurze Beschreibung der Kubatur und der Einordnung des Gebäudes. Die Beschreibung kann durch ein Foto des Gebäudes ergänzt werden.
- Im oberen Teil rechts sind wesentliche Energiekennwerte im IST-Zustand vor der Modernisierung und nach der umfassenden Modernisierung mit dem gesamten Maßnahmenpaket entsprechend den Berechnungen nach EnEV-XL dargestellt.
- Im Diagramm ist die auf Basis der Energiebilanzberechnungen nach EnEV-XL berechnete und über den Eingabeparameter "Energieeinsparung" eventuell korrigierte Endenergieeinsparung der jeweiligen Maßnahmen dargestellt.
- Der obere Tabellenteil des Hausdatenblattes enthält neben einer Kurzbeschreibung der einzelnen baulichen Maßnahmen die zugehörigen Bauteilflächen, die U-Werte der Bauteile vor der Modernisierung, die im Zuge der Modernisierung aufgebrauchte zusätzliche Dämmung, den U-Wert nach der Modernisierung, die Vollkosten der Maßnahme entsprechend dem oberen und unteren Kostenbereichen und die entsprechenden energiebedingten Mehrkosten.
- Der untere Tabellenteil enthält die entsprechenden Angaben für die Anlagentechnik im Gebäude im heutigen IST-Zustand und nach der energietechnischen Modernisierung.
- Der Tabellenteil schließt ab mit den Kostenbereichen für das Maßnahmenpaket.
- In der rechten Spalte des Tabellenteils werden die im Diagramm dargestellten "Kosten der eingesparten kWh Endenergie" dargestellt.
- In den letzten beiden Zeilen des Tabellenteils werden die Werte bzw. Kennwerte zusammenfassend für das gesamte Maßnahmenpaket dargestellt.
- Das Hausdatenblatt schließt mit der Angabe der wesentlichen Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen ab.

Haustyp: MFH, Baualtersklasse 1919 - 1949 Bezugsfläche: 666 m ² Wohneinheiten: 10 Vollgeschosse: 2 Dachgeschoss: teilweise beheizt Kellergeschoss: nicht beheizt Grundriss: gestreckt / komplex				Modernisierungspaket: Gesamtanierung 1 nach EnEV-XL Kennwerte individuell VV vor Mod. nach Mod. Endenergiebedarf Heizung 172 kWh/(m ² a) 57 kWh/(m ² a) Endenergiebedarf WW 35 kWh/(m ² a) 28 kWh/(m ² a) <hr/> Primärenergie ges. 287 kWh/(m ² a) 157 kWh/(m ² a) CO ₂ -aqu. Emissionen ges. 69 kg/(m ² a) 41 kg/(m ² a)							
Foto des Gebäudes				Endenergieeinsparung der Maßnahmen 							
Bauteil Kurzbezeichnung	Beschreibung der Einzelmaßnahmen	Fläche Bauteil [m ²]	U-Wert vor Mod. [W/(m ² K)]	Dämmung zusätzlich [cm]	U-Wert neu [W/(m ² K)]	Vollkosten (brutto)		energiebedingte Mehrkosten		Kosten der eingesparten kWh Endenergie [Cent/kWh]	
						[€]	[€/m ² Bt]	[€]	[€/m ² Bt]		
AW - WDVS - vor	WDVS auf Altputz im Zuge einer vorzeitigen umfassenden Putzsanierung	518	1,20	10	0,28	42.898 53.106	83 103	27.928 32.554	54 63	7,3 8,5	
2WSV - MFH	2-Scheiben-Wärmeschutzglasung, Holz/Kunststoffrahmen, Standardfenster (Dreh-Kipp, ohne Sprossen) im MFH	133	2,70		1,30	30.312 34.176	228 257				
St - außen	Dämmung zwischen/auf den Sparren im Zuge einer ohnehin erforderlichen Neueindeckung, Entsorgung der vorh. Dämmung zwischen den Sparren	210	1,40	18	0,20	20.042 26.330	95 125	5.325 7.011	25 33	2,7 3,5	
OG - beg	Dämmung auf der obersten Geschossdecke, begehrbarer Belag, Entsorgung evtl. vorh. Dämmung	188	1,30	15	0,20	4.556 6.755	24 36	4.556 6.755	24 36	3,6 5,4	
K - mit	Dämmung der Kellerdecke unterseitig, mit zusätzlichem Schutz gegen mechanische Beschädigung	373	1,30	8	0,34	14.089 16.429	38 44	14.089 16.429	38 44	8,3 9,7	
WB 005	WBV, reduziert durch Maßnahmen zur Vermeidung von Wärmebrücken wie Energieberatung, Planung, Ausführung und Kontrolle (Kostenkernwert bez. auf m ² Wohnfläche)	666			0,05						
Anlagentechnik vor Modernisierung											
Lüftung	Fensterlüftung: rechnerischer Luftwechsel: 0,6/h, nL50 = 3/h										
Heizung	System 1: Erdgas NTKu (Bj: 1978 bis 1986, Anteil: 100%)										
Warmwasser	System 1: Erdgas NTK (Bj: 1978 bis 1986, Anteil: 100%)										
Anlagentechnik nach Modernisierung						Vollkosten [€]	Vollkosten [€/WE]	energiebed. Mehrkosten [€]	energiebed. Mehrkosten [€/WE]		
Abluft DC	Anlagentechnik, rechnerischer Luftwechsel: 0,5/h, nL50 = 1/h					18.911 60.682	1.891 6.068				
Gas BW&Sol (WW)	System 1: Erdgas BWK55u+ (Bj: EnEV 2002, Anteil: 100%)					33.613 43.219	3.361 4.322	9.312 11.549	931 1.155	2,4 3,0	
Warmwasser	System 1: Erdgas BWK+ (Bj: EnEV 2002, Anteil: 59%) System 3: Sonne Solaranlage (Bj: -, Anteil: 41%)										
(energiebedingte Mehrkosten gegenüber dem Einbau eines Brennwertkessels und einer Abluftanlage)											
Gesamtkosten aller Maßnahmen						164.422 240.696	16.442 24.070	61.210 74.298	6.121 7.430	4,9 5,9	
							[€/m ² Wohn]		[€/m ² Wohn]		
Gesamtkosten aller Maßnahmen						--	247 361	--	92 112	--	
Alle Berechnungen nach: individuell VV, Datenblatt Flex, inkl. HH-Strom, Bezugsfläche: 666 m ² , Betrachtungszeitraum: 20 Jahre, Kalkulationszinssatz: 2,5 %											
Aktuelle Energiekosten: System 1 - Erdgas: 1,12 €/m ³ Mon, Summe: 1,12 €/m ² Mon											
Ausgehend von 6,5 Cent/kWh (gemittelt) beträgt der mittlere Energiepreis bei 20 Jahren Betrachtungszeitraum und 0,5 / 1,5 / 2,5 %/a Energiepreissteigerung: 6,8 / 7,5 / 8,3 Cent/kWh. Die Maßnahmen stellen sich wirtschaftlich dar, wenn die Kosten der eingesparten kWh Endenergie kleiner sind als der mittlere Energiepreis über den Betrachtungszeitraum											

Abbildung 30: „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ - Hausdatenblatt

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Gegenüberstellung der Ansätze und Ergebnisse aus den Vergleichsstudien zeigt, wie kritisch und kontrovers die Diskussion von Vollkosten und energiebedingten Mehrkosten in der Praxis ist. Eine detaillierte Dokumentation der Datengrundlagen und der Systematik der Kostenzuordnung ist daher unerlässlich, um Angaben zu Vollkosten und energiebedingten Kosten plausibel einordnen zu können. Fehlen diese Dokumentationen wie in der Mehrzahl der in Kapitel 6 diskutierten Studien, dann können die Ergebnisse von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über nicht nachvollziehbare Kostenansätze in einem weiten Spielraum und je nach Interessenslage wesentlich beeinflusst werden.

Datenbasis und Systematik

Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Studie großer Wert darauf gelegt, die Datenbasis und die Systematik der Auswertung in den entsprechenden Kapiteln detailliert zu dokumentieren. Bei Maßnahmen an den besonders komplexen Bauteilen wie der nachträglichen Dämmung im Steildach oder beim Flachdach oder auch bei Maßnahmen an solchen Bauteilen wie der Außenwand, deren Kosten immer wieder kontrovers diskutiert werden, sind darüber hinaus Kostenstrukturen im Detail dargestellt.

Typische Kosten vor dem Hintergrund der EnEV

Die Einteilung in Vollkosten und energiebedingte Mehrkosten erfolgt entsprechend der Zielsetzung der Studie vor dem Hintergrund der bedingten Anforderungen der EnEV, für die das Wirtschaftlichkeitsgebot nach dem Energieeinspargesetz erfüllt sein müssen: Die bedingten Anforderungen müssen auf der Basis durchschnittlicher typischer Kosten und unter Beachtung des Kopplungsprinzips wirtschaftlich vertretbar sein. In diesem Zusammenhang wichtig ist die in Kapitel 5 dargestellte statistische Absicherung der Ergebnisse, so dass die nach den Kostenfunktionen ermittelten Schätzwerte tatsächlich als typisch angesehen werden können. Die detaillierte Darstellung der Kostenstrukturen ermöglicht es, von dieser Systematik abzuweichen und im Einzelfall die Zuordnung zu modifizieren. Dies könnte z. B. für den Fall vorzeitiger Modernisierungen erforderlich werden.

Typische Kosten für Portfolioanalysen

Die über die Kostenfunktionen ermittelten Schätzwerte können auch im Kontext von Portfolioanalysen in Wohnungsunternehmen genutzt werden mit dem Ziel, typische Kosten und energiebedingte Mehrkosten bei der energietechnischen Modernisierung von größeren Gebäudebeständen abzuschätzen. Die Kostenfunktionen können hierfür über Regionalfaktoren an die örtliche Situation angepasst werden.

Kostenbereiche in der Energieberatung

Für den Einzelfall der objektbezogenen Energieberatung werden diese typischen Kosten dagegen praktisch nie zutreffen. Vielmehr werden die Kosten im Einzelfall in einem mehr oder weniger großen Bereich um diese typischen Kosten liegen. Daher werden in der Studie Koeffizienten zur Bestimmung von Kostenbereichen (niedrige / hohe Kosten) angegeben. Im Kontext der objektbezogenen Energieberatung ist dieser Aspekt wichtig, weil als Ergebnis Kostenbereiche genannt werden können, in denen die tatsächlich zu erwartenden Kosten vermutlich liegen werden.

β-Version „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“

Mit der β-Version von „EnEV-XL Kostenbetrachtung Bestand.db“ wird das Energiebilanzprogramm EnEV-XL um ein Modul zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen in Wohngebäuden erweitert. Das Modul ist mit nur einer Eingabemaske bewusst einfach gestaltet. Die Ergebnisse der Berechnungen werden unmittelbar über ein Diagramm dargestellt. Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen kann damit der Einfluss verschiedener Parameter auf die Ergebnisse gezeigt werden. So kann z. B. im Zuge einer Energieberatung beim Kunden ein Gefühl dafür entwickelt werden, wie stark die Ergebnisse von bestimmten Eingabedaten abhängen und somit Investitionsentscheidungen beeinflussen können.

Die Ergebnisse können in einem Hausdatenblatt zusammengefasst werden. Das Hausdatenblatt dokumentiert wesentliche energierelevante Parameter des Gebäudes im IST-Zustand vor der Modernisierung, für die untersuchten Einzelmaßnahmen, für das gesamte Maßnahmenpaket sowie die Rahmenbedingungen der Berechnungen. Da das Hausdatenblatt insbesondere für die objektbezogene Energieberatung entwickelt wurde, sind im Hausdatenblatt obere und untere Kostenbereiche genannt. Auch die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnungen basieren auf den Kostenbereichen. Damit bildet sich die bestehende Unsicherheit in Bezug auf Investitionskosten und zu erwartende zukünftige Energiepreisentwicklungen unmittelbar in der Ergebnisdarstellung im Hausdatenblatt ab. Es wird erkennbar, dass *die* Wirtschaftlichkeit insbesondere bei der objektbezogenen Beurteilung energiesparender Maßnahmen kein hart definiertes Kriterium ist, sondern einen Bereich von Maßnahmen sinnvoll erscheinen lässt. Es obliegt dem Investor, sich bei der Entscheidung vor dem Hintergrund weiterer Kriterien und individueller Wertvorstellungen an einem höheren oder niedrigeren energietechnischen Niveau zu orientieren.

Koeffizienten der Kostenfunktionen und Kostenbereiche

Zusammenfassend sind in Tabelle 11 als wesentliches Ergebnis der Studie die Koeffizienten der Kostenfunktionen dargestellt. Die Koeffizienten für die Schätzwerte sind statistisch abgesichert und können innerhalb der genannten Geltungsbereiche genutzt werden. Folgende Hinweise sollten bei der Nutzung der Ergebnisse beachtet werden:

- Die Kostenfunktionen orientieren sich an einem durchschnittlichen Kostenniveau. Tatsächlich variieren die Preise jedoch regional zum Teil sehr stark. Dieser Einfluss muss bei der Nutzung der Kostenfunktionen über Regionalfaktoren berücksichtigt werden, die vom Baukosten-Informationszentrum (BKI) zur Verfügung gestellt werden.
- Der Preisstand der Kostenfunktionen ist das 1. Quartal 2015. Entsprechend der allgemeinen Baupreisentwicklung müssen die Kostenfunktionen angepasst werden. Den aktuellen Baupreisindex stellt das Statistische Bundesamt zu Verfügung.
- Für die bau- und anlagentechnischen Maßnahmen sind neben den statistisch abgesicherten Kostenfunktionen weitere Funktionen für untere und obere Kostenbereiche auf Basis der Konfidenzintervalle der Regressionskoeffizienten angegeben. Diese sollten vor allem im Rahmen objektbezogener Berechnungen berücksichtigt werden, da die geschätzten "typischen" Kosten nach den Kostenfunktionen im Einzelfall nicht zu erwarten sind, sondern die Kosten im Einzelfall vielmehr in einen Bereich liegen werden.
- Die Kostenfunktion der oberseitigen Dämmung der Kellerdecke ist statistisch nicht abgesichert. Daher wurde für diese Maßnahme kein Kostenbereich angegeben.
- Knapp signifikant ist die Kostenfunktion zur Kerndämmung der Außenwand. Daher wurde auch für diese Maßnahme kein Kostenbereich angegeben. Im Vergleich zu den Erfahrungen der Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, Kiel (ARGE), liegen die nach der Kostenfunktion ermittelten Kosten mindestens 4 €/m² unter den Ansätzen der ARGE.
- Für Haustüren und Dachflächenfenster im EFH / MFH sind die aus der Datenbank ermittelten spezifische Fixkosten [€/m² Bauteil] angegeben. Die dazugehörigen Flächen zur Ermittlung der Vollkosten je Element betragen bei Haustüren im EFH 2,79 m² und im MFH 3,65 m², bei den Dachflächenfenstern im EFH 1,06 m² und im MFH 1,04 m². Auf Basis der ausgewerteten Kostenfeststellungen konnten für diese Elemente keine energietechnischen Standards abgeleitet werden.
- Auf Grund der großen Streuung der Beobachtungen wurde für Fenster und Fenstertüren in die gemeinsame Kostenfunktion für EFH & MFH entsprechend Abbildung 5 übernommen. Damit wurde auf eine Unterscheidung in EFH und MFH in Bezug auf die Kostenfunktion an dieser Stelle verzichtet. Werden jedoch zur Bestimmung der Kosten die auf Basis der Datenbank ermittelten durchschnittlichen Flächen für Fenster & Fenstertüren im EFH von 2,00 m² und im MFH von 2,83 m² angesetzt, kann der in der Studie nachgewiesene Effekt spezifisch niedrigerer Kosten für Fenster & Fenstertüren im MFH berücksichtigt werden.

Zu beachten ist, dass die Entwicklung hin zu qualitativ hochwertigen und gleichzeitig auch kostengünstigen Passivhausfenstern zu deutlich geringeren Kosten als nach dieser Studie ermittelt, führen kann. Dies belegen z. B. die mit dem Component Award für passivhaustaugliche Fenster ausgezeichneten Hersteller [GEB; 07/08 2014]. Gleiches gilt für den nachträglichen Einbau von Lüftungsanlagen in Wohngebäude.

- Die Datenbasis der Studie beruht im Wesentlichen auf Kostenfeststellungen aus dem KfW-Gebäudemodernisierungsprogramm „Energieeffizient Sanieren“ ab dem Jahr 2011 und damit auf aktuellen Projekten aus einem bundesweiten Breitenförderprogramm. Bei den Fördermitteilnehmern 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. Nach Durchsicht der Kostenfeststellungen ist zu vermuten, dass Maßnahmen in nennenswertem 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.

Zur Veranschaulichung: beispielhafte Kostenschätzwerte

Beispielhaft sind in Tabelle 12 die aus den Kostenfunktionen für die verschiedenen Maßnahmen berechneten Schätzwerte der spezifischen Vollkosten und der energiebedingten Mehrkosten sowie untere und obere Kostenbereiche angegeben. Dabei ist bei den baulichen Maßnahmen die Systematik der angesetzten energiebedingten Mehrkosten – entsprechend dem Kopplungsprinzip – klar definiert.

Findet bei der Modernisierung heizungstechnischer Anlagen kein Energieträgerwechsel statt, ist die Ableitung energiebedingter Mehrkosten auch hier klar definiert: Energiebedingte Mehrkosten entstehen aus dem zusätzlichen Einsatz von solarthermischen Anlagen für die Unterstützung der Warmwassererzeugung und der Raumheizung, nicht jedoch durch die neue (fossil befeuerte) Heizanlage. Bei Energieträgerwechsel muss dagegen über den Ansatz energiebedingter Mehrkosten im Einzelfall entschieden werden. Im dargestellten Beispiel wurde ein Wechsel von einem Ölkessel zu Pellet angenommen. Energiebedingte Mehrkosten entstehen für die neue Pellet Heizanlage somit gegenüber dem Einsatz eines neuen Öl-Brennwert-Kessel.

Preisstand 1'2015	Schätzwert				niedrige Kosten		hohe Kosten		Geltungsbereich		
	a	b	a	b	a	b	a	b	von	bis	
	[€/m²cm]	[€/m²]	[€/m²]	[-]							
Bezeichnung											
Kostenfunktion	I = (a x + b) [€/m²]				I = a x b [€/m²]		95 %	Schätzwert	95 %	Schätzwert	[m² Bt]
Hautür EFH	-	1.433	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hautür MFH	-	1.222	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH&MFH für F&Ft	-	-	658,86	-0,257	613,63	-0,257	707,44	-0,257	0,8	8,5	
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	472,33	-0,222	448,83	-0,222	497,05	-0,222	0,8	8,5	
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH&MFH für F&Ft	-	-	413,45	-0,231	389,62	-0,231	438,71	-0,231	0,8	8,5	
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH für F&Ft	-	-	658,86	-0,257	613,63	-0,257	707,44	-0,257	0,8	8,0	
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH für F&Ft	-	-	472,33	-0,222	448,83	-0,222	497,05	-0,222	0,8	8,0	
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH für F&Ft	-	-	413,45	-0,231	389,62	-0,231	438,71	-0,231	0,8	8,0	
Vorbaurolläden, Kunststoff, Gurt	-	141	-	-	-	-	-	-	0,8	8,0	
Vorbaurolläden, Kunststoff, Elektro	-	197	-	-	-	-	-	-	0,8	8,0	
Vorbaurolläden, Alu, Gurt	-	182	-	-	-	-	-	-	0,8	8,0	
Vorbaurolläden, Alu, Elektro	-	271	-	-	-	-	-	-	0,8	8,0	
WDVS - Vollkosten	2,81	96,88	-	-	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]		
WDVS - energiebed. Mehrkosten	2,81	19,77	-	-	2,81	83,65	2,81	110,11	8	25	
AW - Kerndämmung - Vollkosten	1,65	10,37	-	-	-	-	-	-	4	10	
Keller, unterseitig, ohne Bekleidung	1,25	30,75	-	-	Schätzwert	50 %	Schätzwert	50 %	Dämmung [cm]		
Keller, unterseitig, mit Bekleidung	1,55	54,25	-	-	1,25	27,75	1,25	33,75	5	18	
Keller, oberseitig, Einblasen zwischen die Dielen	1,62	8,96	-	-	1,55	49,20	1,55	59,30	5	18	
oberste Geschossdecke, begehrbar	1,78	28,03	-	-	-	-	-	-	4	10	
oberste Geschossdecke, nicht begehrbar	1,06	3,72	-	-	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]		
Flachdach ohne Lichtkuppeln - Vollkosten	4,11	104,14	-	-	1,78	17,39	1,78	38,67	8	30	
Flachdach mit Lichtkuppeln EFH - Vollkosten	4,11	118,16	-	-	1,06	2,31	1,06	5,13	8	30	
Flachdach mit Lichtkuppeln MFH - Vollkosten	4,11	113,16	-	-	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]		
Flachdach - energiebedingte Mehrkosten	2,90	21,66	-	-	4,11	74,46	4,11	133,82	6	34	
Steildach - Vollkosten	2,77	151,01	-	-	4,11	88,47	4,11	147,84	6	34	
Steildach - energiebedingte Mehrkosten	2,37	11,31	-	-	4,11	83,48	4,11	142,85	6	34	
Steildachgauben im EFH ohne Fenster	-	473	-	-	2,90	7,08	2,90	32,89	6	34	
Steildachgauben im MFH ohne Fenster	-	350	-	-	Schätzwert	95 %	Schätzwert	95 %	Dämmung [cm]		
Dachflächenfenster EFH	-	1.430	-	-	2,77	123,78	2,77	178,25	9	29	
Dachflächenfenster MFH	-	1.435	-	-	2,37	3,47	2,37	18,08	9	29	
Gaskessel, Einzelmaßnahme	-	905,26	-0,518	777,92	-0,518	1.053,45	-0,518	80	2000		
Ölkessel, Einzelmaßnahme	-	1202,60	-0,536	955,31	-0,536	1.513,98	-0,536	80	1400		
Gas/Ölkessel als Einzelmaßnahme	-	887,75	-0,506	777,65	-0,506	1.013,44	-0,506	80	400		
Pelletkessel, Einzelmaßnahme	-	2531,40	-0,587	1.966,70	-0,587	3.258,30	-0,587	80	2500		
Fernwärme, Einzelmaßnahme	-	662,91	-0,487	580,88	-0,487	756,53	-0,487	80	2500		
Solar für WW, Einzelmaßnahme	-	530,31	-0,499	420,22	-0,499	669,23	-0,499	100	2500		
Solar für WW mit Gaskessel	-	1092,00	-0,489	963,08	-0,489	1.238,29	-0,489	100	2300		
Solar für WW mit Ölkessel	-	1092,00	-0,489	963,08	-0,489	1.238,29	-0,489	100	2300		
Solar für WW mit Pelletkessel	-	2102,10	-0,520	1.528,97	-0,520	2.890,18	-0,520	130	400		
Solar für WW&H, Einzelmaßnahme	-	1008,70	-0,453	793,92	-0,453	1.281,49	-0,453	100	800		
Solar für WW&H mit Gaskessel	-	1404,70	-0,449	1.251,30	-0,449	1.576,94	-0,449	100	1900		
Solar für WW&H mit Ölkessel	-	1404,70	-0,449	1.251,30	-0,449	1.576,94	-0,449	100	1900		
Solar für WW&H mit Pelletkessel	-	1996,30	-0,467	1.590,87	-0,467	2.505,12	-0,467	100	400		
Maßnahmen in der Heizungsperipherie	-	673,94	-0,533	460,77	-0,533	985,73	-0,533	80	2500		
Hausanschluss Gas	-	163,09	-0,490	101,88	-0,490	261,09	-0,490	80	1800		
Hausanschluss Fernwärme	-	558,74	-0,614	421,31	-0,614	741,02	-0,614	80	2500		
Lüftungsanlage mit WRG, zentral	-	382,81	-0,364	302,67	-0,364	484,17	-0,364	50	400		
Lüftungsanlage mit WRG, dezentral	-	598,76	-0,584	338,02	-0,584	1.060,62	-0,584	70	240		
Abluftanlage, zentral	-	1068,20	-0,780	596,33	-0,780	1.913,56	-0,780	60	240		
Gerüste	-	75,64	-0,320	67,10	-0,320	85,27	-0,320	50	2500		
Energieberatung	-	14,62	-0,339	11,68	-0,339	18,29	-0,339	50	2500		
Architektenleistungen	-	733,23	-0,599	598,70	-0,599	897,98	-0,599	50	2500		

Tabelle 11: Koeffizienten für die Kostenfunktionen (Schätzwerte, niedrige Kosten, hohe Kosten) sowie Geltungsbereiche

Preisstand 1'2015	Geltungsbereich		Ansatz Beispiel	Schätzwert		niedrige Kosten		hohe Kosten	
	von	bis		Vollkosten	energiebed.	Vollkosten	energiebed.	Vollkosten	energiebed.
Bezeichnung Kostenfunktion									
	[m² Bt]		A Bt [m²]	[€/m² Bt]	[€/m² Bt]	[€/m² Bt]	[€/m² Bt]	[€/m² Bt]	[€/m² Bt]
Haustür EFH	-	-	2,79	1.433	-	-	-	-	-
Haustür MFH	-	-	3,65	1.222	-	-	-	-	-
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus EFH für F&Ft	0,8	8,0	2,00	551	199	513	181	592	218
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH für F&Ft	0,8	8,0	2,00	405	53	385	53	426	52
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. EFH für F&Ft	0,8	8,0	2,00	352	0	332	0	374	0
3WSV, Dreh/Kipp, Passivhaus MFH für F&Ft	0,8	8,0	2,83	504	179	470	163	541	196
3WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. MFH für F&Ft	0,8	8,0	2,83	375	50	356	50	394	50
2WSV, Dreh/Kipp, H/K konv. MFH für F&Ft	0,8	8,0	2,83	325	0	306	0	345	0
Vorbaurollladen, Kunststoff, Gurt	0,8	8,0	2,83	399	-	-	-	-	-
Vorbaurollladen, Kunststoff, Elektro	0,8	8,0	2,83	557	-	-	-	-	-
Vorbaurollladen, Alu, Gurt	0,8	8,0	2,83	515	-	-	-	-	-
Vorbaurollladen, Alu, Elektro	0,8	8,0	2,83	768	-	-	-	-	-
	Dämmung [cm]		[cm]						
WDVS - Vollkosten	8	25	15	139	-	126	-	152	-
WDVS - energiebed. Mehrkosten	8	25	15	-	62	-	56	-	68
AW - Kerdämmung - Vollkosten	4	10	6	20	20	-	-	-	-
	Dämmung [cm]		[cm]						
Keller, unterseitig, ohne Bekleidung	5	18	8	41	41	38	38	44	44
Keller, unterseitig, mit Bekleidung	5	18	8	67	67	62	62	72	72
Keller, oberseitig, Einblasen zwischen die Dielen	4	10	8	22	22	-	-	-	-
	Dämmung [cm]		[cm]						
oberste Geschossdecke, begebar	8	30	20	64	64	53	53	74	74
oberste Geschossdecke, nicht begebar	8	30	20	25	25	24	24	26	26
	Dämmung [cm]		[cm]						
Flachdach ohne Lichtkuppeln - Vollkosten	6	34	20	186	-	157	-	216	-
Flachdach mit Lichtkuppeln EFH - Vollkosten	6	34	20	200	-	171	-	230	-
Flachdach mit Lichtkuppel MFH - Vollkosten	6	34	20	195	-	166	-	225	-
Flachdach - energiebedingte Mehrkosten	6	34	20	-	80	-	65	-	91
	Dämmung [cm]		[cm]						
Steildach - Vollkosten	9	29	19	204	-	176	-	231	-
Steildach - energiebedingte Mehrkosten	9	29	19	-	56	-	49	-	63
			A Bt [m²]						
Steildachgauben im EFH ohne Fenster	-	-	10,98	473	-	-	-	-	-
Steildachgauben im MFH ohne Fenster	-	-	6,29	350	-	-	-	-	-
Dachflächenfenster EFH	-	-	1,06	1.430	-	-	-	-	-
Dachflächenfenster MFH	-	-	1,04	1.435	-	-	-	-	-
	A Wf [m²]		A Wf [m²]	[€/m² Wf]	[€/m² Wf]	[€/m² Wf]	[€/m² Wf]	[€/m² Wf]	[€/m² Wf]
Gaskessel, Einzelmaßnahme	80	2000	185	61	-	52	-	71	-
Ölkessel, Einzelmaßnahme	80	1400	185	73	-	58	-	92	-
Gas/Ölkessel als Einzelmaßnahme									
Pelletkessel, Einzelmaßnahme	80	400	185	118	45	92	34	152	60
Fernwärme, Einzelmaßnahme	80	2500	185	52	-	46	-	60	-
Solar für WW, Einzelmaßnahme	100	2500	185	39	39	31	31	49	49
Solar für WW mit Gaskessel	100	2300	185	85	24	75	23	96	26
Solar für WW mit Ölkessel	100	2300	185	85	24	75	23	96	26
Solar für WW mit Pelletkessel	130	400	185	139	66	101	43	191	99
Solar für WW&H, Einzelmaßnahme	100	800	185	95	95	75	75	120	120
Solar für WW&H mit Gaskessel	100	1900	185	135	50	120	68	151	81
Solar für WW&H mit Ölkessel	100	1900	185	135	50	120	68	151	81
Solar für WW&H mit Pelletkessel	100	400	185	174	101	139	81	219	127
Maßnahmen in der Heizungsperipherie	80	2500	185	42	-	29	-	61	-
Hausanschluss Gas	80	1800	185	13	-	8	-	20	-
Hausanschluss Fernwärme	80	2500	185	23	-	17	-	30	-
	A Wf / WE [m²]								
Lüftungsanlage mit WRG, zentral	50	400	185	57	39	45	35	72	40
Lüftungsanlage mit WRG, dezentral	70	240	185	28	10	16	6	50	18
Abluftanlage, zentral	60	240	185	18		10		33	
	A Wf [m²]								
Gerüste	50	2500	185	14	7	13	6	16	8
Energieberatung	50	2500	185	2	2	2	2	3	3
Architektenleistungen	50	2500	185	32	-	26	-	39	-

Tabelle 12: spezifische Kosten - Schätzwert, niedrige Kosten, hohe Kosten, Geltungsbereiche

Ausblick

- Mit den vorliegenden Kostenfunktionen sind die am häufigsten im Bereich der energietechnischen Modernisierung realisierten Maßnahmen erfasst. Es fehlt jedoch der gesamte Bereich der energietechnischen Modernisierung mit Wärmepumpenanlagen. Auf Basis abgerechneter Projekte sollte die Studie entsprechend erweitert werden.
- Die Datenbasis für die Ableitung der Regressionskoeffizienten bei Abluftanlagen ist gering und sollte zur Absicherung der Ergebnisse erweitert werden.
- Die Kostenfeststellungen für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung streuen in einem weiten Bereich. Für eine Absicherung sollten die Kostenfeststellungen im Detail ausgewertet werden (Zentralgerät, Kanalnetz, ...), um die große Streuung der spezifischen Kosten gegebenenfalls erklären zu können. Zur statistischen Absicherung erfordert eine solche erweiterte Detailauswertung eine größere Datenbasis.
- Insbesondere bei passivhaustauglichen Fenstern sollten aktuelle Entwicklungen durch Aktualisierungen der Studie berücksichtigt werden.
- Die Regressionskoeffizienten für die oberseitige Dämmung der Kellerdecke sind nicht signifikant, für die nachträgliche Kerndämmung einer zweischaligen Außenwand knapp signifikant. Für die statistische Absicherung muss die Datenbasis für diese Maßnahmen deutlich erweitert werden.
- Insbesondere für die baulichen Maßnahmen sollten im Zuge einer Aktualisierung der Kostenstudie verstärkt Kostenfeststellungen zu hochwertigen energietechnischen Standards untersucht werden, um die Datenbasis entsprechend der Entwicklung der energietechnischen Standards zu erweitern und somit die Ergebnisse besser absichern zu können. Insbesondere vor diesem Hintergrund wurde auf die Problematik der Hebelpunkte (vgl. Kap. 0) hingewiesen.
- EnEV-XL CALC wird im Rahmen des Projektes als β -Version zur Verfügung gestellt. Eine Betreuung und Weiterentwicklung ist nicht vorgesehen. Bei entsprechender Nachfrage sollte das Tool zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit betreut und weiterentwickelt werden.

9 Quellenverzeichnis

- [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
- [IWU; 2007] „Investive Mehrkosten und Wirtschaftlichkeit von energieeffizienten Neubauten und Bestandsgebäuden; Knissel, Diefenbach, Born; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2007
- [Bine; 2009] „ProjektInfo 09/09 – Neue Fensterrahmen: Hoher Dämmwert, niedriges Gewicht“, BINE Informationsdienst; Karlsruhe; 2009
- [ARGE; 2011] „Wohnungsbau in Deutschland – 2011, Modernisierung oder Bestandersatz“, Walberg, Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen, Kiel, 2011
- [empirica/LuWoGe; 2010] „Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungen im Berliner Mietwohnungsbestand“, Simons (empirica), Baum, Peischl (LUWOGÉ – consult); empirica – Berlin; LUWOGÉ consult GMBH – Ludwigshafen; 2010
- [BBSR; 2012] „Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Teil 1: Kosten energetischer Bau- und Anlagenteile“, BBSR-Online-Publikation Nr. 07/2012
- [BBSR; 2014] „Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden / Bundesliegenschaften“, BBSR-Online-Publikation Nr. 06/2014
- [GEB; 07/08 2014] Der Gebäude-Energieberater; Gutes muss nicht teuer sein – Component Award für Passivhaus-Fenster; Der Gebäude-Energieberater, Ausgabe 07/08 2014
- [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
- [AKKP 42, 2013] „42. Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser“, Passivhaus Institut; Darmstadt; 2013
- [Feist; 2010] „Wirtschaftlichkeit von Passivhäusern in Alt- und Neubau“, Feist in wskb 64/2010; 2010
- [VFF; 2014] „Mehr Energie sparen mit neuen Fenstern“, VFF - Verband Fenster und Fassade, BF – Bundeverband Flachglas; 3'2014
- [SHELL/BDH; 2013] „Klimaschutz im Wohnungssektor – Wie heizen wir morgen?“, SHELL / BDH; 2013
- [dena; 2006] „Besser als ein Neubau: ENEV minus 30 %“, Deutsche Energie-Agentur

GMBH; Berlin; 2006

[Korn; 2014] „Wirtschaftlichkeitsanalysen energetisch sanierter Gebäude“; Lena Korn; HAWK Holzminden; 2014]

[BKI; 2011] „Baukosten, Positionen, statistische Kostenkennwerte 2011“; Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI); Stuttgart; 2011