



**Bundesinstitut  
für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung**

im Bundesamt für Bauwesen  
und Raumordnung



BBSR-Online-Publikation, Nr. 06/2014

## **Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/ Bundesliegenschaften**

### **Impressum**

Herausgeber

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

Projektleitung (Auftraggeber)

Dr. Olaf Böttcher, Jörg Lammers, BBSR

André Hempel, ehem. BMVBS

Autoren

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden

Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz, Jens Rosenkranz, Steffen Arzt, Andreas Steuerlein

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Zitierhinweise

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und  
Raumordnung (BBR) (Hrsg.): Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der  
energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften. BBSR-Online-Publikati-  
on 06/2014, Bonn, Mai 2014.

Die von den Autoren vertretenen Auffassungen sind nicht unbedingt mit denen des  
Herausgebers identisch.

ISSN 1868-0097

© BBSR Mai 2014



## Vorwort

Für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit energetischer Sanierungsmaßnahmen und die präzise Kalkulation der entstehenden Gesamtkosten sind belastbare Kostenkennwerte unentbehrlich. Auf der Grundlage einer Analyse bereits durchgeführter und abgerechneter Sanierungsmaßnahmen aus dem Energieeinsparprogramm für Bundesliegenschaften (EEP) und den Baumaßnahmen des Konjunkturprogramms II (KP II) wurde im Rahmen des Zukunft-Bau-Projektes „Kosten energierelevanter Bau- und technischer Anlagenteile bei der energetischen Sanierung von Nichtwohngebäuden/Bundesliegenschaften“ ein Katalog mit spezifischen Kostenkennwerten erstellt.

Mit der Veröffentlichung des Kataloges in der Reihe der BBSR-Online-Publikationen werden die Ergebnisse dieses Forschungsprojektes der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Ferner ist der Katalog in Form eines neuen Moduls der Planungs- und Kostendatenbank der Länder und des Bundes (PLAKODA) aufbereitet worden. Dieses Modul kann im Zuge der nächsten Aktualisierung des PLAKODA-Gesamtprogramms zur Kostenkalkulation von Sanierungsmaßnahmen genutzt werden.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'H. Herrmann'.

Harald Herrmann, Direktor und Professor des BBSR

# I Inhalt

<b>I Inhalt</b> .....	<b>1</b>
<b>II Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>III Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>IV Begriffe</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Hintergrund und Aufgabe</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Datenbasis</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Methodik der Datenauswertung und Berechnung von Kostenkennwerten</b> .....	<b>11</b>
3.1 Allgemeines Kostenmodell.....	11
3.2 Verarbeitung erhobener Kostendaten.....	13
3.3 Regressionsanalyse und Ermittlung von Kostenfunktionen.....	14
<b>4 Ergebnisse</b> .....	<b>16</b>
4.1 Allgemeines .....	16
4.2 Baugerüste.....	16
4.2.1 Vorbemerkung.....	16
4.2.2 Kostenstruktur .....	16
4.2.3 Datenauswertung.....	17
4.2.4 Abgeleitete Kostenfunktion(en).....	18
4.2.5 Plausibilitätsprüfung.....	19
4.3 Dämmung der Außenwand .....	21
4.3.1 Kostenstruktur .....	21
4.3.2 Datenauswertung.....	22
4.3.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en).....	26
4.3.4 Plausibilitätsprüfung.....	27
4.4 Dämmung der obersten Geschossdecke.....	30
4.4.1 Kostenstruktur .....	30
4.4.2 Datenauswertung.....	31
4.4.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en).....	32
4.4.4 Plausibilitätsprüfung.....	33
4.5 Dachdämmung von innen .....	35
4.5.1 Kostenstruktur .....	35
4.5.2 Datenauswertung.....	36
4.5.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en).....	37
4.5.4 Plausibilitätsprüfung.....	38

4.6	Nachträgliche Dämmung des oberen Gebäudeabschlusses von innen: Dach, oberste Geschossdecke	40
4.7	Dachdämmung mit Erneuerung der Dachhaut	41
4.7.1	Kostenstruktur	41
4.7.2	Datenauswertung	42
4.7.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	44
4.7.4	Plausibilitätsprüfung	45
4.8	Dämmungen von Dächern: Unterscheidung Flach-/Schrägdach	47
4.9	Dämmung der Kellerdecke	48
4.9.1	Kostenstruktur	48
4.9.2	Datenauswertung	49
4.9.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	50
4.9.4	Plausibilitätsprüfung	51
4.10	Fenster, Einbau	52
4.10.1	Kostenstruktur	52
4.10.2	Datenauswertung	53
4.10.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	57
4.10.4	Plausibilitätsprüfung	59
4.11	Wärmeerzeugung: Heizkessel	60
4.11.1	Kostenstruktur	60
4.11.2	Datenauswertung	61
4.11.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	62
4.11.4	Plausibilitätsprüfung	63
4.12	Wärmeerzeugung: Solarthermische Anlagen	64
4.12.1	Kostenstruktur	64
4.12.2	Datenauswertung	65
4.12.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	66
4.12.4	Plausibilitätsprüfung	67
4.13	Lüftungsanlagen mit WRG	67
4.13.1	Kostenstruktur	67
4.13.2	Datenauswertung	68
4.13.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	69
4.13.4	Plausibilitätsprüfung	69
4.14	Wärme- und Trinkwasserverteilnetze	71
4.14.1	Kostenstruktur	71
4.14.2	Datenauswertung	72
4.14.3	Abgeleitete Kostenfunktion(en)	74

4.14.4	Plausibilitätsprüfung.....	75
4.15	Einbau von Plattenheizkörpern.....	76
4.15.1	Vorbemerkung.....	76
4.15.2	Kostenstruktur.....	77
4.15.3	Datenauswertung.....	77
4.15.4	Abgeleitete Kostenfunktion(en).....	80
4.15.5	Plausibilitätsprüfung.....	81
4.16	Einbau von Photovoltaikanlagen (informativ).....	83
4.16.1	Vorbemerkung.....	83
4.16.2	Kostenstruktur.....	83
4.16.3	Datenauswertung.....	83
<b>5</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>85</b>
<b>6</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>88</b>
Anhang 1	Eingeholte Kostendaten, Übersicht.....	88
Anhang 2	Kostenbeispiel (Nettokosten).....	100
Anhang 3	Beurteilung regionaler Preisunterschiede.....	100
Anhang 4	Zusammenstellung der Kostenfunktionen (Vollkosten, netto).....	103

## II Zusammenfassung

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.

Das Ziel der vorliegenden Studie ist 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, wie

- die Dämmung von Außenwänden, des oberen und unteren Gebäudeabschlusses und
- Einbau neuer Fenster,

sowie für anlagentechnische Maßnahmen, wie den Einbau von

- Wärmeerzeugungsanlagen mit Brennwert- und Holzesseln,
- Solarkollektoren,
- Rohrleitungsnetzen und
- Heizkörpern.

Neben der Darstellung durch diesen Bericht erfolgt eine Aufbereitung der Ergebnisse in Form eines Moduls der *Planungs- und Kostendatenbank* der VBW Baden-Württemberg (PLAKODA).

### III Summary

The German Government aims at a reduction of heat consumption in federal buildings by 20 % by 2020 based on the level of 2010. In order to achieve this goal, federal buildings have to undergo extensive energy-saving measures. To mobilise funds, an accurate estimate of the upcoming costs is required. An extensive cost-evaluation on energy-saving measures carried out within the context of the federal funding programmes “Energieeinsparprogramm” (energy-saving-programme, EEP) and “Konjunkturpaket II” (economic-growth programme, KPII) shall serve as basis for the required cost forecasts.

Within the present study, specific cost values or -functions are to be derived from statistical data on typical energy-saving measures that is available from EEP and KPII. During the project duration 2012 to 2013, a large part of the accessible data has been examined and evaluated.

The present study focuses, especially in the presentation of results, rather on practically relevant options for reliable cost forecasts than the detailed interpretation of the source data. The specific cost values and functions derived within the present study allow cost forecasts for typical energy-saving measures on thermal building envelopes, as

- thermal insulation of outer walls, floors, roofs/attics and
- installation of new windows

as well as measures on building systems, e.g. installation of

- heat generation systems with wood boilers or condensing gas boilers,
- thermal solar collectors,
- pipeline systems (heating, hot water) and
- radiators.

Additionally to the presentation through the present paper, the derived cost functions are implemented in the software “Planungs- und Kostendatenbank” (design- and cost-database, PLAKODA).

## IV Begriffe

### Absorberfläche

Unter der Absorberfläche wird Fläche die dunkel beschichtete Fläche (Absorber) eines Solarkollektors verstanden. Oft wird sie auch als Netto(-kollektor-)fläche bezeichnet. Bei Flachkollektoren kann sie gleich der Innenfläche (Apertur) sein oder von ihr abweichen – üblicherweise liegen beide Größen jedoch sehr nah beieinander.

### Äquivalente Dämmdicke

Die äquivalente Dämmdicke ermöglicht den Vergleich von Dämmschichten aus unterschiedlich wärmeleitfähigen Materialien. Hierfür wird ein fester Bezugswert der Wärmeleitfähigkeit vorgegeben. Bei Dämmschichten mit hiervon abweichender Wärmeleitfähigkeit ist die äquivalente Dämmdicke die Dicke, welche die Dämmschicht haben müsste, wenn sie mit dem Bezugswert der Wärmeleitfähigkeit ausgeführt wäre. Bei Dämmschichten, welche mit der Bezugswärmeleitfähigkeit ausgeführt sind, sind reale und äquivalente Dämmdicke identisch.

### Ausgleichsfunktion/Approximation ↔ Kostenfunktion

Unter der *Ausgleichsfunktion* oder *Approximation* wird die mathematische Beschreibung einer Kostenabhängigkeit verstanden, welche die untersuchte Stichprobe von Einzelwerten möglichst gut abbildet. Die Kostenfunktion ist ebenfalls eine mathematische Beschreibung der untersuchten Kostenabhängigkeit – sie soll im Weiteren zur Kostenschätzung angewendet werden.

Im einfachsten Fall sind Ausgleichs- und Kostenfunktion identisch. In bestimmten Fällen kann die Ausgleichsfunktion jedoch nicht unmittelbar zur Kostenprognose herangezogen werden – z.B. wenn sich mit ihr Kostenwerte unter 0 € ergeben können. Dann wird die Kostenfunktion auf Grundlage der Ausgleichsfunktion unter aufgeprägten sinnvollen Randbedingungen konstruiert.

### Bestimmtheitsmaß $R^2$

Das Bestimmtheitsmaß ist eine statistische Größe, welche in gewissen Grenzen eine Beurteilung des Zusammenhangs zwischen der abhängigen und unabhängigen Variablen eines statistischen Modells erlaubt. Als relative Größe kann  $R^2$  Werte zwischen 0 und 1 annehmen, wobei große  $R^2$  auf einen ausgeprägten Zusammenhang hindeuten.

### Definitionsbereich der Ursprungsdaten und empfohlene Anwendungsgrenzen

Im Rahmen der Auswertung werden Kostendaten über kostenrelevanten und ggf. energetisch relevanten Größen aufgetragen und durch Funktionen approximiert. Dabei ergeben sich aus den Bandbreiten der zugrundeliegenden Kostendaten Definitionsbereiche dieser Größen. So wurden beispielsweise spezifische Dämmkosten für Dämmdicken zwischen 3 und 26 cm ausgewertet. Dieser Bereich wird informativ zu jeder Maßnahme angegeben. Zusätzlich werden Anwendungsgrenzen in Bezug auf die enthaltenen Variablen empfohlen, welche auf den Definitionsbereichen der Ursprungsdaten und ggf. weiteren Überlegungen basieren.

## Energetisch bedingte Kosten

Die *energetisch bedingten Kosten* sind die Kosten der energetisch relevanten Positionen einer Maßnahme. Sie sind an die energetische Verbesserung gebunden, welche mit der Maßnahme einhergeht. Oft setzen sich die energetisch bedingten Kosten aus einem näherungsweise fixen Grundbetrag, welcher nicht vom Ausmaß der energetischen Verbesserung abhängt, und zusätzlichen Kosten, welche mit der energetischen Verbesserung korrelieren, zusammen.

Nicht für jede Maßnahme kann sinnvoll zwischen energetisch bedingten und ohnehin fälligen Anteilen unterschieden werden. In solchen Fällen sind die gesamten Maßnahmenkosten

- der energetischen Verbesserung zuzuschreiben, falls
  - die Maßnahme nicht der Instandhaltung von Bausubstanz oder Anlagentechnik dienen kann (z.B. Dämmung der Kellerdecke von unten) oder
  - die Maßnahme der Instandhaltung dienen könnte, jedoch ein intaktes Bauteil ersetzt/erneuert wird oder
- als Ohnehinkosten zu werten, wenn ein verschlissenes oder auf sonstige Weise funktionsuntüchtig gewordenes Bauteil ersetzt/erneuert wird (z.B. Ersatz beschädigter Fenster).

Alle hier betrachteten Kosten sind Nettokosten.

## Ohnehinkosten

Mit *Ohnehin-* oder *Sowiesokosten* werden im Rahmen der vorliegenden Studie die Kosten gemeint, welche im Zuge einer Sanierungsmaßnahme auch dann anfallen würden, wenn mit ihr keine energetische Verbesserung einherginge.

Nicht für jede Maßnahme kann sinnvoll zwischen energetisch bedingten und ohnehin fälligen Anteilen unterschieden werden. In solchen Fällen sind die gesamten Maßnahmenkosten

- der energetischen Verbesserung zuzuschreiben, falls
  - die Maßnahme nicht der Instandhaltung von Bausubstanz oder Anlagentechnik dienen kann (z.B. Dämmung der Kellerdecke von unten) oder
  - die Maßnahme der Instandhaltung dienen könnte, jedoch ein intaktes Bauteil ersetzt/erneuert wird oder
- als Ohnehinkosten zu werten, wenn ein verschlissenes oder auf sonstige Weise funktionsuntüchtig gewordenes Bauteil ersetzt/erneuert wird (z.B. Ersatz beschädigter Fenster).

Alle hier betrachteten Kosten sind Nettokosten.

Anmerkung: Für den Begriff Ohnehin- oder Sowiesokosten besteht eine baurechtlich gebräuchliche Definition, nach welcher Ohnehinkosten die Kosten sind, welche dem Auftraggeber einer Leistung bei mängelfreier Durchführung der in Auftrag gegebenen Leistung entstehen bzw. – im Kontext einer Mängelbeseitigung – ohnehin entstanden wären. Die im Rahmen der vorliegenden Studie verwendete Definition des Begriffs weicht hiervon ab.

## Stichprobe

Unter der *Stichprobe* wird im Rahmen der vorliegenden Studie diejenige Teilmenge der Gesamtheit EEP-/KPII-geförderter Maßnahmen, bzw. der hiermit verbundenen Kostendaten, verstanden, welche zur weiteren Auswertung herangezogen werden kann.

Anmerkung: Im umgangssprachlichen Gebrauch werden mit dem Begriff der *Stichprobe* oft sehr kleine Anteile einer Grundgesamtheit assoziiert. In der vorliegenden Studie wird der Begriff der *Stichprobe* unabhängig vom Umfang derselben verwendet.

## Vollkosten

Bei den *Vollkosten* handelt es sich um die Summe der Kosten aller Positionen, welche

- einer Maßnahme zuzuordnen und
- für die Durchführung der Maßnahme unerlässlich sind oder üblicherweise als Bestandteil dieser Maßnahme verstanden werden.

Vollkosten ergeben sich somit i.d.R. als Summe der *Ohnehinkosten* und der *energetisch bedingten Kosten*. Jedoch ist nicht immer eine klare Trennung zwischen *Ohnehinkosten* und *energetisch bedingten Kosten* möglich, z.B. dann wenn

- die Maßnahme ausschließlich der energetischen Verbesserung zuzurechnen ist,
- keine praxisnahe Vergleichsmaßnahme ohne energetische Verbesserung definiert werden kann,
- auszuwertende Kostenaufstellungen nicht ausreichend detailliert sind oder
- aufgeführte Kostenpositionen nicht eindeutig zugeordnet werden können bzw. augenscheinliche Ohnehin-Positionen vom Umfang energetisch relevanter Arbeiten beeinflusst werden.

Die Aufteilung der Vollkosten in ohnehin notwendige und energetisch bedingte Kosten hängt überdies vom Objektzustand bzw. vom Zustand der von der Maßnahme betroffenen Bauteile ab. In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass die betrachteten Sanierungsmaßnahmen, sofern sie *Ohnehin*-Anteile aufweisen können, sowieso kurzfristig hätten durchgeführt werden müssen.

Alle hier betrachteten Kosten sind Nettokosten.

## 1 Hintergrund und Aufgabe

Die Bundesregierung plant mit Bezug auf das Jahr 2010 eine Reduzierung des Heizenergieverbrauchs (HEV) der Bundesliegenschaften bis 2020 um 20%. Für die Bereitstellung von Haushaltsmitteln zur Durchführung eines noch zu konkretisierenden energetischen Sanierungsfahrplans sowie einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsanalyse von Einzelmaßnahmen bedarf es einer möglichst exakten Kostenkalkulation der energierelevanten Sanierungsmaßnahmen, die für die Reduzierung des Heizenergieverbrauchs (HEV) in diesem Umfang notwendig sind.

Aufbauend auf einer Datenrecherche und Analyse der Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile, werden die in großem Umfang existierenden Kostenabrechnungen aus dem Energieeinsparprogramm für Bundesliegenschaften (EEP) und den Baumaßnahmen des Konjunkturpaketes II (KPII) ausgewertet und in Form von Kostenfunktionen für Voll- und energetisch bedingte Kosten zusammengefasst. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Zusammenstellung repräsentativer Kostenkennwerte bzw. -funktionen für typische Sanierungsmaßnahmen.

Die im Rahmen der vorliegenden Studie ermittelten Kostenkennwerte bzw. -funktionen werden – neben der Darstellung durch diesen Bericht – in Form eines Moduls der *Planungs- und Kostendatenbank* der Staatlichen Hochbauverwaltung Baden-Württemberg (*PLAKODA*, [1]) zur Verfügung gestellt.

## 2 Datenbasis

Die Grundlage der hier vorgenommenen Auswertung (4) bilden Kostendaten von energetischen Sanierungsmaßnahmen an Objekten des Bundes. Überwiegend wurden diese im Rahmen des Konjunkturpaketes II (KPII) oder des Energieeinsparprogramms (EEP, „120-Millionen-Programm“) gefördert. Die Erhebung der Daten erfolgte mit Unterstützung des Auftraggebers durch ITG i.d.R. durch Kontaktaufnahme mit den jeweils zuständigen Bauverwaltungen und das Einholen der entsprechenden Unterlagen in Papierform vor Ort. Es konnten Daten zu etwa 170 Objekten, verwaltet durch 30 Bauverwaltungen, aus 11 Bundesländern zusammengetragen werden. Die Autoren schätzen, dass – je nach Gewerk/Maßnahme – zwischen 20 und 60 % der Kostendaten zu EEP- und KPII-geförderten Maßnahmen eingeholt wurden. Kostendaten zu EEP-/KPII-geförderte Maßnahmen, welche im Rahmen dieser Studie nicht eingeholt wurden, sind überwiegend schlecht zugänglich, z.B. weil

- entweder die entsprechende Bauverwaltung oder der zuständige Ansprechpartner innerhalb der Bauverwaltung nicht bekannt ist,
- Daten in sehr geringen Umfängen auf viele einzelne Verwaltungen verteilt oder
- Unterlagen nur über die Zuwendungsempfänger selbst verfügbar sind.

Das Beschaffen der noch nicht erhobenen Daten würde zum jetzigen Zeitpunkt unverhältnismäßig hohen Zeit-/Arbeitsaufwand erfordern, ohne dass von einem wesentlichen Erkenntnisgewinn auszugehen ist.

### 3 Methodik der Datenauswertung und Berechnung von Kostenkennwerten

#### 3.1 Allgemeines Kostenmodell

Die Kostenstruktur einer energetisch wirksamen (Sanierungs-)Maßnahme kann durch ein allgemeines Modell gemäß Abbildung 1 beschrieben werden.

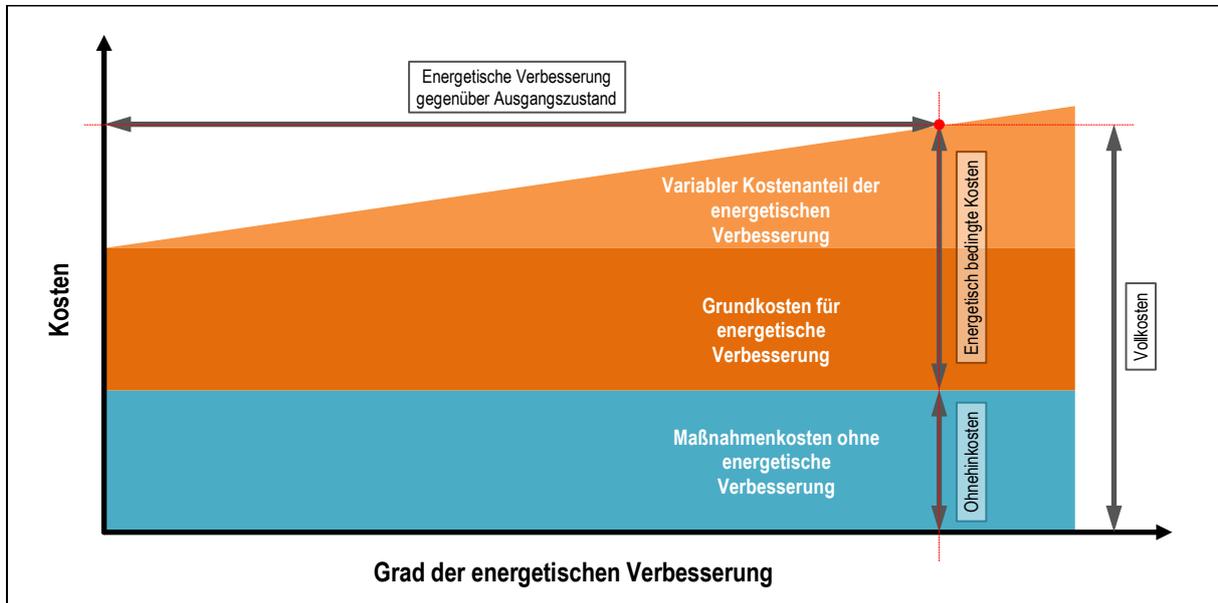


Abbildung 1 Kostenmodell, schematisch

Die durchgeführte Maßnahme kann Grundkosten verursachen, welche nicht davon abhängen, ob mit der Maßnahme eine energetische Verbesserung einhergeht. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird von *Ohnehinkosten* gesprochen. Diese Kosten würden allein anfallen, wenn bei der Sanierungsmaßnahme alte Bauteile aufgearbeitet bzw. durch energetisch gleichwertige ersetzt würden. Nicht jede im Rahmen einer energetischen Sanierung bzw. Modernisierung durchgeführte Maßnahme verursacht *Ohnehinkosten*; einige Maßnahmen ersetzen oder erneuern keine sanierungswürdigen Bauteile sondern zielen allein auf energetischen Nutzen ab.

Soll mit der Sanierungsmaßnahme eine energetische Verbesserung erzielt werden, können sich fixe Zusatzkosten ergeben. Diese fallen für solche Arbeiten an, welche selbst zwar noch keine energetische Verbesserung bewirken, für diese jedoch zwingend notwendig sind.

In der Regel ergibt sich bei energetisch wirksamen Maßnahmen ein Kostenanteil, welcher vom Grad der energetischen Verbesserung abhängt.

Nicht jeder energetisch wirksamen Maßnahme lassen sich alle Kostenanteile gemäß Abbildung 1 zuordnen. Denkbare Szenarien sind anhand typischer Beispiele in Tabelle 1 dargestellt. Eine beispielhafte Kostenaufschlüsselung kann Anhang 2 entnommen werden.

Tabelle 1 Kostenstruktur energetisch wirksamer Maßnahmen, Beispiele

Beispiel	Maßnahmenkosten ohne energetische Verbesserung	Energetische Verbesserung	
		Grundkosten	Variabler Anteil
<b>Allgemeiner Fall</b>			
Fassadensanierung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerüstkosten<sup>1)</sup></li> <li>Vorbereitung des Untergrunds, ggf. Putz abhacken, Armierung, neuer Putz, Anstrich, etc.</li> <li>Erneuerung Vorhangfassade</li> <li>...</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundkosten Befestigungssystem                             <ul style="list-style-type: none"> <li>ggf. Unterkonstruktion</li> <li>Klebemörtel, Dübel...</li> </ul> </li> <li>ggf. Mehrkosten Vorbereitung                             <ul style="list-style-type: none"> <li>De-/Montage von Fensterbänken, Balkonen, etc. (sofern durch Dämmmaßnahme bedingt)</li> <li>spezielle Grundierung</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dämmstoffkosten                             <ul style="list-style-type: none"> <li>AW-Fläche</li> <li>Anschlüsse</li> <li>Laibungen</li> </ul> </li> <li>sonstiger Mehraufwand durch steigende Dämmdicke                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Mehrkosten Befestigungssystem</li> <li>baulicher Mehraufwand (z.B. Vergrößerung von Dachüberständen)</li> <li>Mehraufwand zur Vermeidung von Wärmebrücken</li> </ul> </li> </ul>
<b>Maßnahme ohne energetische bedingte Grundkosten</b>			
Fenstertausch	<ul style="list-style-type: none"> <li>Austausch gegen energetisch gleichwertiges Fenster (<math>U_w</math> bleibt gleich)<sup>2)</sup></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mehrkosten für energetisch bessere Ausführung (Verringerung <math>U_w</math>)</li> </ul>
Kesseltausch	<ul style="list-style-type: none"> <li>Austausch gegen energetisch gleichwertigen Heizkessel<sup>2)</sup></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Mehrkosten für effizienteren Wärmeerzeuger (höherer Nutzungsgrad, Umweltwärmenutzung, günstiger bewerteter Brennstoff, etc.)</li> </ul>
<b>Maßnahme ohne Ohnehinkosten</b>			
Dämmung der Kellerdecke von unten		<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorbereitung, Grundierung</li> <li>Grundkosten Befestigungssystem (Klebemörtel, Dübel...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dämmstoffkosten</li> <li>ggf. baulicher Mehraufwand (Abtragen Kellerboden o.ä.)</li> </ul>
Nachträgliche Dämmung von Hohlräumen (z.B. Kerndämmung bei zweischaligem Wandaufbau)		<ul style="list-style-type: none"> <li>Öffnen und Wiederverschließen der Hohlräume</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dämmstoffkosten</li> </ul>
PV-Anlage		<ul style="list-style-type: none"> <li>Grundkosten ELT, Netzanbindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modulfläche</li> <li>Leistungsabhängiger Aufwand ELT (ggf. größerer Wechselrichter etc.)</li> </ul>
<p><sup>1)</sup>Gerüstkosten werden nachfolgend gesondert betrachtet, da Baugerüste oft für mehrere Gewerke genutzt und i.d.R. gesondert abgerechnet werden. Wird das Gerüst jedoch allein zur Durchführung der Fassadensanierung gestellt, sind Gerüstkosten vollumfänglich der Fassadensanierung zuzuschreiben.</p> <p><sup>2)</sup>Es handelt sich um eine hypothetische Betrachtung; oft sind energetisch gleichwertige Ausführungen nicht mehr erhältlich bzw. ergeben sich keine oder verhältnismäßig geringe Mehrkosten durch eine Ausführung gemäß Stand der Technik.</p>			

Ziel dieser Arbeit ist ausschließlich die Beurteilung energetisch relevanter Maßnahmen. In diesem Zusammenhang sind Ohnehinkosten nicht von Bedeutung und werden in den nachfolgenden Kostenauswertungen (4) nicht separat ausgewiesen; es werden nur Vollkosten und ggf. energetisch bedingte Kosten ausgewertet. Bei Maßnahmen, welchen keine Ohnehinkosten aufweisen, erfolgt keine Unterscheidung – es wird nur von *Vollkosten* gesprochen.

### 3.2 Verarbeitung erhobener Kostendaten

Für die untersuchte Stichprobe werden die Vollkosten sowie ggf. energetisch bedingten Kosten jeder durchgeführten energetisch relevanten Maßnahme jedes Objektes ermittelt.

Die erhobenen Kostendaten unterliegen regionalen und zeitlichen Einflüssen und sind daher nicht ohne weiteres miteinander vergleichbar. Zur Vergleichbarmachung erfolgt eine Bereinigung um regionale und zeitliche Preis- bzw. Kosteneinflüsse anhand von Preisfaktoren. Regionale Preisunterschiede werden mithilfe von BKI-Regionalfaktoren<sup>1</sup> erfasst [2]. Zur Berücksichtigung der zeitlichen Preisentwicklung werden Baupreisindizes des statistischen Bundesamtes [3] herangezogen<sup>2</sup>. Ggf. werden die i.d.R. als Absolutwerte erhobenen Kosten unter Bezug eine geeignete Größe in spezifische Kosten umgerechnet (z.B. € je m<sup>2</sup> Dämmfläche).

Berechnungsschritt	Energetisch bedingte Kosten	Vollkosten
Zusammenfassung aller relevanten Kostenpositionen $p$ einer Maßnahme $m$	$K'_{E,m} = \sum_p (K'_{E,m,p}) \quad (1)$	$K'_{V,m} = \sum_p (K'_{E,m,p}) + \sum_p (K'_{O,m,p}) \quad (2)$
Vergleichbarmachung	$K_{E,m} = K'_{E,m} * f_{R,m} * f_{Z,m} \quad (3)$	$K_{V,m} = K'_{V,m} * f_{R,m} * f_{Z,m} \quad (4)$
ggf. Umrechnung in spezifische Kosten	$k_{E,m} = \frac{K_{E,m}}{B_m} \quad (5)$	$k_{V,m} = \frac{K_{V,m}}{B_m} \quad (6)$

**Legende**

- $K'$  Kosten gemäß Datenerhebung (Nettokosten, absolut)
- $K$  Orts- und zeitbereinigte Kosten (Nettokosten, absolut)
- $f_R$  Faktor zur Berücksichtigung regionaler Preisunterschiede [2]
- $f_Z$  Faktor zur Berücksichtigung zeitlicher Preisunterschiede [3]
- $k$  Spezifische Orts- und zeitbereinigte Kosten
- $B$  Bezugsgröße (z.B. Bauteilfläche und/oder -dicke, Nennleistung, etc.)  
 Im Rahmen einer Maßnahme können mehrere Bezugsgrößen auftauchen, z.B.:
  - Außenwanddämmung → Abrechnung nach Bauteilfläche
  - Dämmprofile für Fensteranschlüsse etc. → Abrechnung nach Lauflänge
 In solchen Fällen werden die spezifischen Kosten auf Grundlage der ausschlaggebenderen Bezugsgröße berechnet (im Bsp.: Bauteilfläche).
- $E$  Energetisch bedingt
- $m$  Maßnahme – eine zusammenhängende Baumaßnahme gemäß vorliegender Auswertung
- $o$  Ohnehin anfallend
- $p$  alle für die vorliegende Auswertung relevanten Kostenposition(en) einer Maßnahme  $m$
- $v$  Voll(kosten)

Natürgemäß können die verwendeten Kostenfaktoren hinsichtlich Preisniveau und zeitlicher Dynamik lediglich mittlere Verhältnisse abbilden. Ihre Anwendung auf die hier untersuchten Maßnahmen ist zwangsläufig mit Unschärfen verbunden. Die Preisentwicklung einzelner Produkte bzw. in den Maßnahmen erbrachter Leistungen kann von den durch die Kostenfaktoren abgebildeten Tendenzen abweichen; besonders Maßnahmenbereiche mit sehr dynamischer Entwicklung der energetischen Qualität und der Herstellungskosten bzw. Preisstruktur (z.B. PV-Anlagen und z.T. Fenster) lassen sich mit den verwendeten Kostenfaktoren wahrscheinlich nur bedingt abbilden.

Die in der nachfolgenden Auswertung dargestellten Kostenwerte spiegeln näherungsweise ein mittleres gesamtdeutsches Kostenniveau wieder. Zur anschaulichen Darstellung aktueller Preisniveaus wird das erste Quartal 2013 als zeitlicher Bezug festgelegt.

<sup>1</sup> Herangezogen werden der Ort der Baumaßnahme und, soweit verfügbar, das Angebotsdatum; bei fehlenden Datumsangaben werden Annahmen anhand der Rechnungsstellung oder des ggf. vorliegenden begleitenden Schriftwechsels getroffen.

<sup>2</sup> Vereinfachend wird der Mittelwert aus den Baupreisindizes für Bürogebäude und gewerbliche Betriebsgebäude verwendet

### 3.3 Regressionsanalyse und Ermittlung von Kostenfunktionen

Die zuvor bestimmten einzelnen Kostenwerte sind in geeigneter Form zusammenzufassen, sodass sie im Rahmen von Kostenprognosen angewendet werden können. Besonderes Augenmerk liegt auf der Herausarbeitung energetisch relevanter Kosteneinflüsse.

Die ort- und zeitbereinigten Kostenwerte, welche im vorigen Bearbeitungsschritt aus statistisch erhobenen Daten gewonnen wurden, werden hinsichtlich mathematischer Abhängigkeiten von kosten- und energierelevanten Einflussgrößen analysiert. Hierfür werden die Einzelwerte über wahrscheinlichen Einflussgrößen, wie

- Bauteilgröße,
- Dämmdicke,
- Volumenstrom, Leistung, etc.

aufgetragen. Ggf. erfolgen Untersuchungen alternativer Darstellungen, z.B.

- Berechnung der Gesamtkosten je Stück oder der
- flächenspezifischen Kosten.

Im Weiteren werden den Verteilungen der spezifischen Kostenwerte mathematische Funktionen zugeordnet, welche zum einen die statistischen Werte approximieren und zum anderen die Schätzung mittlerer spezifischer Kosten für individuelle Randbedingungen erlauben. Dieser Teilschritt umfasst im Wesentlichen

- die Auswahl eines Funktionstyps zur Approximation der Einzelwerte über der/den Einflussgröße(n) unter Berücksichtigung
  - der theoretischen Kostenstruktur des Maßnahmentyps sowie
  - der Gestalt der Punktwolke und
- Parameterbetrachtungen für sonstige wesentliche Einflüsse, wie
  - Bauart/Ausführung/Material
  - U-Wert
  - Leistungsumfang, etc.

Eine Vielzahl der zu erwartenden Abhängigkeiten dürfte sich mit linearen Ansätzen darstellen lassen. Bei merklich pro-/re-/degressiven Tendenzen erscheint eine Modellierung durch einfache Hyperbel- oder Wurzel-/Potenzansätze zweckmäßig. Beispielhaft seien die allgemeinen Ansätze (7) und (8) aufgeführt.

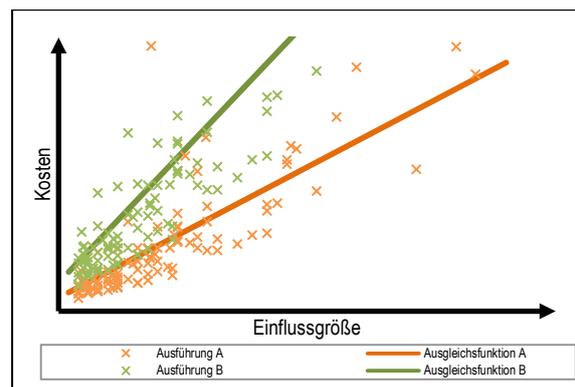


Abbildung 2 Approximation von Datenpunkten mit linearem Ansatz, Parameterbetrachtung (A↔B)

Linearer Ansatz	$f(x)_M = m * x + n$	(7)
Hyperbelansatz	$f(x)_M = \frac{a}{b + x} + c$	(8)

Die Funktionsparameter der Ausgleichsfunktionen werden numerisch durch Minimierung der Fehler-Quadrate optimiert.

Jede Kostenfunktion wird hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf die untersuchte Stichprobe, ihrer Eignung zur Berechnung mittlerer Kostenkennwerte und sich hierbei eventuell ergebender Unschärfen beurteilt. Ggf. werden technisch sinnvolle oder mathematisch notwendige Beschränkungen definiert. In der Regel sollte die aus den Einzelwerten abgeleitete Ausgleichsfunktion ohne weitere Eingriffe auch zur Kostenprognose geeignet sein. Unter bestimmten Bedingungen können jedoch weitere Maßnahmen erforderlich werden, wie z.B.:

- Verzerrungen durch starke Punkt-Häufungen auf engem Raum  
→ (Um-)Wichtung der Einzelwerte durch
  - Mittelwertbildung,
  - Klassifizierung, etc.
- Funktionswerte  $< 0$  (negative Kosten) innerhalb eines praxisrelevanten Definitionsbereichs  
→ ggf. Manipulation der Funktionsparameter
- Sinkende Kosten trotz steigenden Aufwands  
→ kritische Kontrolle der Originaldaten und der vermuteten Kostenzusammenhänge; ggf. Verwerfen wenig plausibler Einzelwerte, Anpassung des Kostenanstiegs an vergleichbare Maßnahme, etc.

Typische Anwendungen von Kostenfunktionen sind vor allem

- die überschlägige Ermittlung von Investitionskosten
  - zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit geplanter Investitionen oder
  - als Grundlage verallgemeinernder, hypothetischer Wirtschaftlichkeitsstudien (Heizkostenvergleiche etc.) und
- die Beurteilung realer Kostenvorschläge, Angebote und Rechnungen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Kostenwerte der untersuchten Stichproben sowie die daraus abgeleiteten Kostenfunktionen wiedergegeben. Hierbei wird ggf. begrifflich zwischen *Vollkosten* und *energetisch bedingten Kosten* unterschieden (vgl. IV, 3.1).

Es werden stets Nettokosten angegeben, sodass die Anwendung der ausgewiesenen Kostenkennwerte bzw. -funktionen nicht an einen bestimmten Mehrwertsteuersatz gebunden ist.

Alle nachfolgend angegebenen Kostenkennwerte gelten überschlägig für ein mittleres gesamtdeutsches Preisniveau mit dem Bezugsjahr 2013 (vgl. 3.2).

Hinsichtlich Anwendbarkeit der nachfolgend dargestellten Kostenkennwerte und -funktionen ist die Herkunft der Originaldaten zu beachten. 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 oder "Behördenausführungen" verwiesen; auch die Anwendung spezieller Kalkulationsansätze durch die ausführenden Unternehmen bei Aufträgen durch den Bund oder Behörden im weiteren Sinn ist nicht auszuschließen.

Alle ermittelten Kostenfunktionen werden auf qualitative Plausibilität geprüft; soweit möglich, erfolgen auch überschlägige quantitative Betrachtungen.

Es werden stets Kosten für die Ausführung der beschriebenen Leistungen vor Ort durch Fachbetriebe angegeben. Sie berücksichtigen neben den Arbeits- und Materialkosten, der Montage, Aufstellung, etc. auch den Transport von Material zur Baustelle.

In einigen Fällen werden Verfahren zur überschlägigen Ermittlung der Eingangsgrößen von Kostenfunktion angegeben, z.B.

- Kosten von Rohrleitungsnetzen als Funktion der Rohrleitungslänge → Schätzung der Rohrleitungslänge auf Grundlage von Flächenangaben
- Kosten von Heizkörpern als Funktion der Wärmeleistung → Schätzung der Leistung auf Basis der Fläche des zu beheizenden Bereichs.

Hierbei handelt es sich um grobe Näherungen, welche vereinfachte Kostenprognosen ermöglichen sollen – auch dann, wenn nicht alle notwendigen Gebäude- bzw. Anlagenparameter bekannt sind (Heizlast, Leitungslängen, etc.). Sie sind nicht zur Auslegung von Anlagenkomponenten oder zur Aufmaßbestimmung geeignet.

### 4.2 Baugerüste

#### 4.2.1 Vorbemerkung

Bei umfassenden Arbeiten an der Gebäudehülle fallen in der Regel Gerüstkosten an. Baugerüste werden in der Bauphase oft für mehrere Gewerke/Maßnahmen genutzt und separat abgerechnet. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden sie ebenfalls gesondert betrachtet.

Werden Baugerüste für eine einzige Maßnahme gestellt und vorgehalten, sind die Gerüstkosten vollumfänglich den Kosten der Maßnahme zuzuschlagen.

#### 4.2.2 Kostenstruktur

Die für die Stellung von Baugerüsten in Rechnung gestellten Kosten basieren in der Regel auf

- flächenspezifischen Einheitspreisen für Standgerüste und

- flächen-, längen- oder stückbezogenen Einheitspreisen für zusätzliche Ausstattung, wie
  - Überspannung von Ein-/Durchgangsbereichen,
  - Ausgleich von Bodenunebenheiten/Hanglage
  - Abdeckfolien
  - zusätzliche Aufgänge,
  - Belagsverbreiterungen,
  - Lastenaufzüge,
  - Dachgerüstaufbauten,
  - Schutznetze, etc.

Dabei können die Kosten üblicherweise zwei Gruppen zugeordnet werden,

- den Kosten für Transport, Auf-/Abbau sowie die Vorhaltung über eine vereinbarte Grundeinsatzzeit (i.d.R. 4 Wochen) und
- den zusätzlichen Mietkosten für die Gerüststandzeit nach der Grundeinsatzzeit.

Die beiden wesentlichen Kosteneinflüsse finden sich somit in der Größe der eingerüsteten Wandfläche und der Standzeit des Gerüsts, sofern diese die Grundeinsatzzeit übersteigt. Da überwiegend flächen- sowie flächen- und zeitbezogene Einheitspreise ohne Mengenstaffelung angegeben werden, kann auf lineare Abhängigkeiten der Gerüstkosten von beiden Einflussgrößen geschlossen werden. Der dreidimensionale Zusammenhang ist qualitativ in Abbildung 3 dargestellt.

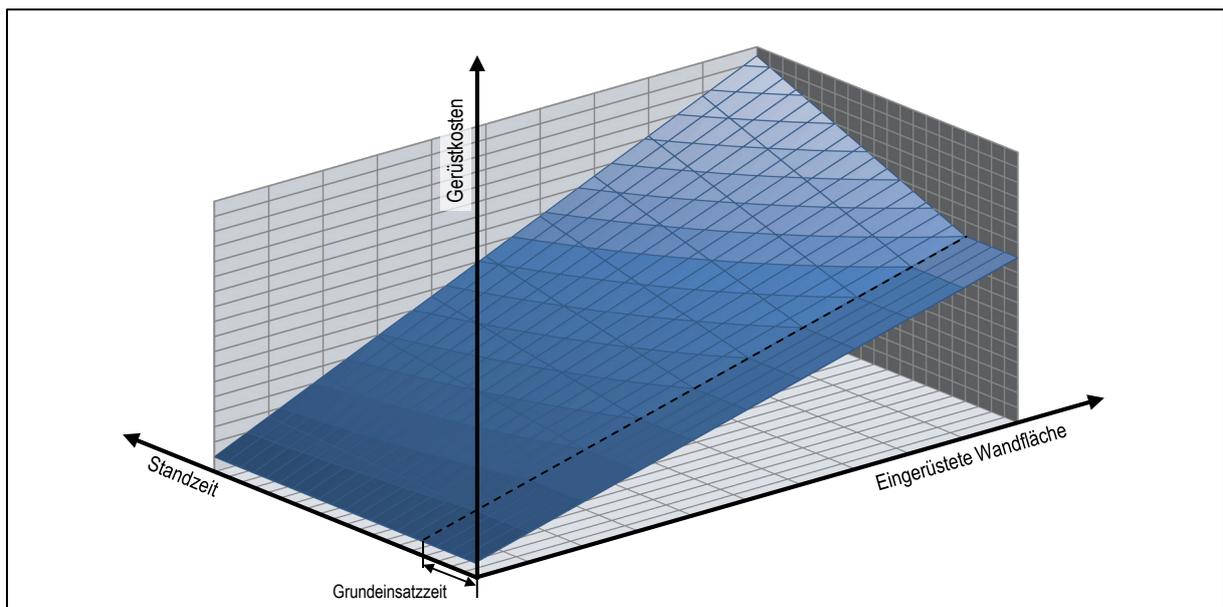


Abbildung 3 Gerüstkosten in Abhängigkeit von einge-rüsteter Wandfläche und Standzeit, qualitativ

### 4.2.3 Datenauswertung

Für die Errichtung und Vorhaltung von Baugerüsten liegen 68 Datensätze vor. Von diesen enthalten 39 Datensätze auswertbare Mietkosten für eine Vorhaltung des Gerüsts über die Grundeinsatzzeit hinaus.

Die Auswertung erfolgt in zwei Schritten, wobei die in Abbildung 3 dargestellte verkettete Abhängigkeit der Kosten von zwei Variablen durch zwei Abhängigkeiten von jeweils nur einer Variablen angenähert wird. Ausgewertet werden

- die Gerüstkosten innerhalb der Grundeinsatzzeit über der einge-rüsteten Fläche ( $n = 68$ ) und
- die flächenspezifischen Mehrkosten für Vorhaltung außerhalb der Grundeinsatzzeit über der Standzeit ( $n = 39$ ).

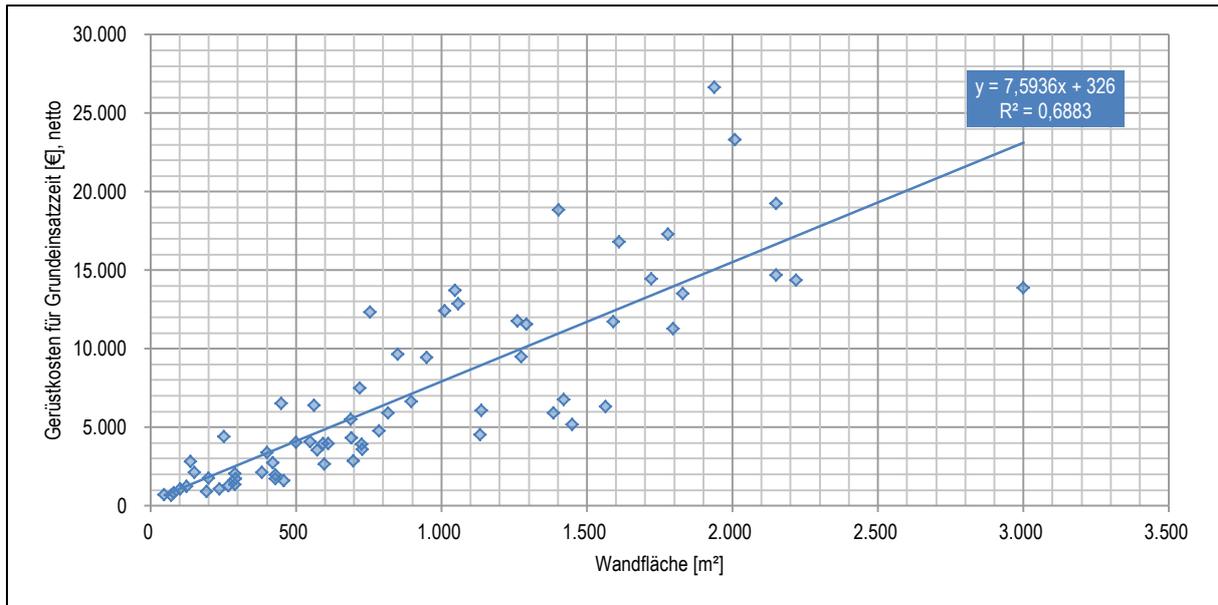


Abbildung 4 Grafische Auswertung: Gerüstkosten in Abhängigkeit von eingerüsteter Wandfläche, innerhalb Grundeinsatzzeit

Innerhalb der Grundeinsatzzeit zeigt sich die erwartete Abhängigkeit der Kosten von der Größe der eingerüsteten Wandfläche deutlich – trotz z.T. ausgeprägter Streuung der Einzelwerte fällt das Bestimmtheitsmaß vergleichsweise hoch aus. In der Grundeinsatzzeit kann näherungsweise mit Grundkosten von ca. 326 € und flächenbezogenen Mehrkosten von 7,6 € je m<sup>2</sup> eingerüsteter Wandfläche gerechnet werden.

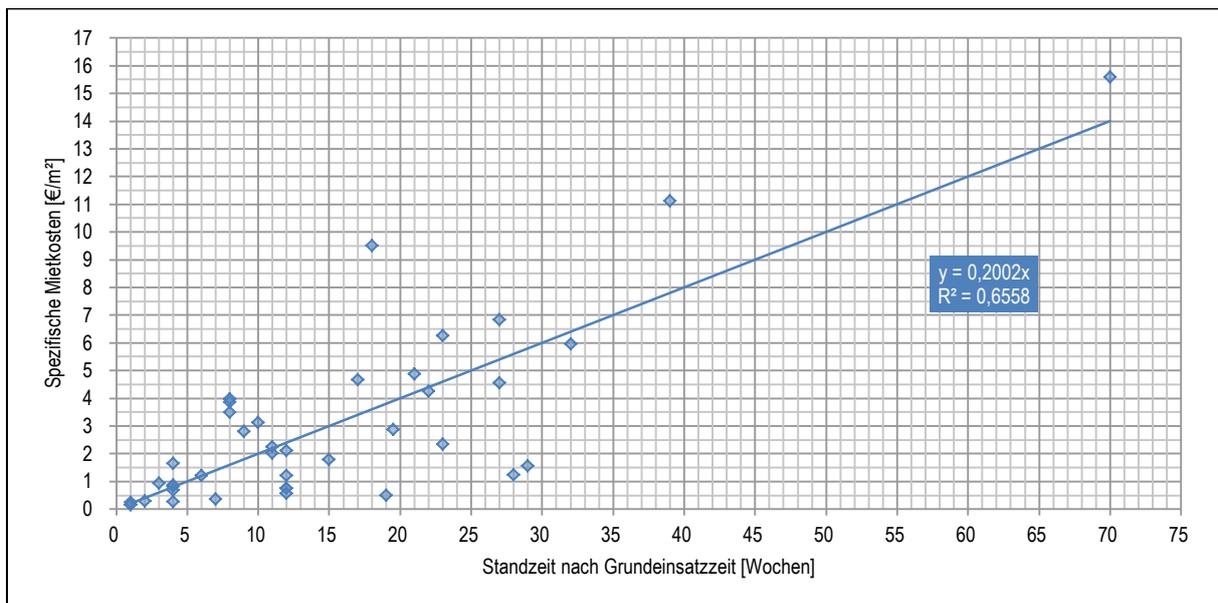


Abbildung 5 Grafische Auswertung: zeitabhängige Mehrkosten (flächenspezifisch) bei Standzeit über die Grundeinsatzzeit hinaus

Eine Auswertung der Mehrkosten für Standzeiten über die Grundeinsatzzeit hinaus zeigt prinzipiell den erwarteten Zusammenhang. Die Streuung der Messwerte fällt jedoch sehr hoch aus. Für mittlere Verhältnisse können die bei Vorhaltung nach Ablauf der Grundeinsatzzeit zusätzlich anfallenden Mietkosten mit 0,2 € m<sup>2</sup> und Woche geschätzt werden.

#### 4.2.4 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten für die Errichtung und Vorhaltung eines Gerüsts können in Abhängigkeit von der Größe der eingerüsteten Fläche und der Standzeit gemäß Tabelle 2 ermittelt werden.

Tabelle 2 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Gerüstkosten

Maßnahme				
<b>M</b>	<b>Errichtung und Vorhaltung eines Baugerüsts</b>			
	<p>Die Kosten enthalten in jedem Fall</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• den Transport,</li> <li>• Auf- und Abbau und</li> <li>• die Gebrauchsüberlassung eines Standgerüsts über die vereinbarte Grundeinsatzzeit und ggf. darüber hinaus.</li> </ul> <p>Zusätzlich enthalten die Kosten in mittleren Anteilen die folgenden Leistungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überspannung von Toren/Türen</li> <li>• Unterlagen, Abdeckplanen, Netze</li> <li>• Ausgleich von Bodenunebenheiten</li> <li>• teilweiser Ausbau zum Dachfangerüst</li> <li>• Lastenaufzug</li> </ul>			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = A * (k_{V,M,1} + k_{V,M,2} * \Delta t) + k_{V,M,0}$ $K_{V,M} = A * \left(7,6 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 0,2 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Wo}} * \Delta t\right) + 326\text{€}$		
Variable				
<b>A</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	Eingerüstete Wandfläche	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>Δt</b>	<b>[Wochen]</b>	Standzeit des Gerüsts über die vereinbarte Grundeinsatzzeit hinaus	0...70	-
<p>Δt entspricht rechnerisch der Differenz aus gesamter Standzeit und Grundeinsatzzeit. Sollen die Gerüstkosten nur für die vereinbarte Grundeinsatzzeit (i.d.R. 4 Wochen) berechnet werden, ist Δt = 0 zu setzen.</p>				
Parameter				
<b>k<sub>V,M,0</sub></b>	<b>[€]</b>	absolute Grundkosten (pauschale Anteile, statistische Effekte, etc.)		<b>326</b>
<b>k<sub>V,M,1</sub></b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	flächenspezifische Grundkosten für <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport</li> <li>• Auf-/Abbau</li> <li>• Vorhaltung Grundeinsatzzeit (i.d.R. 4 Wochen)</li> </ul>		<b>7,6</b>
<b>k<sub>V,M,2</sub></b>	<b>[€/m<sup>2</sup>Woche]</b>	flächenspezifische Kosten für Vorhaltung über Grundeinsatzzeit hinaus		<b>0,2</b>

### 4.2.5 Plausibilitätsprüfung

#### Qualitativer Verlauf

Auf Grundlage der Annahme, dass Gerüstkosten wesentlich durch die Anzahl der verbauten Gerüstelemente bestimmt werden, ist ein linearer Zusammenhang zwischen (Gesamt-)Gerüstkosten und eingerüsteter Fläche zu vermuten; darüber hinaus kann sich bei statistischer Betrachtung ein Sockelbetrag für pauschale Kostenanteile ergeben. Für die zeitabhängigen Mehrkosten bei Standzeiten außerhalb der Grundeinsatzzeit liegt ebenso ein linearer Zusammenhang nahe.

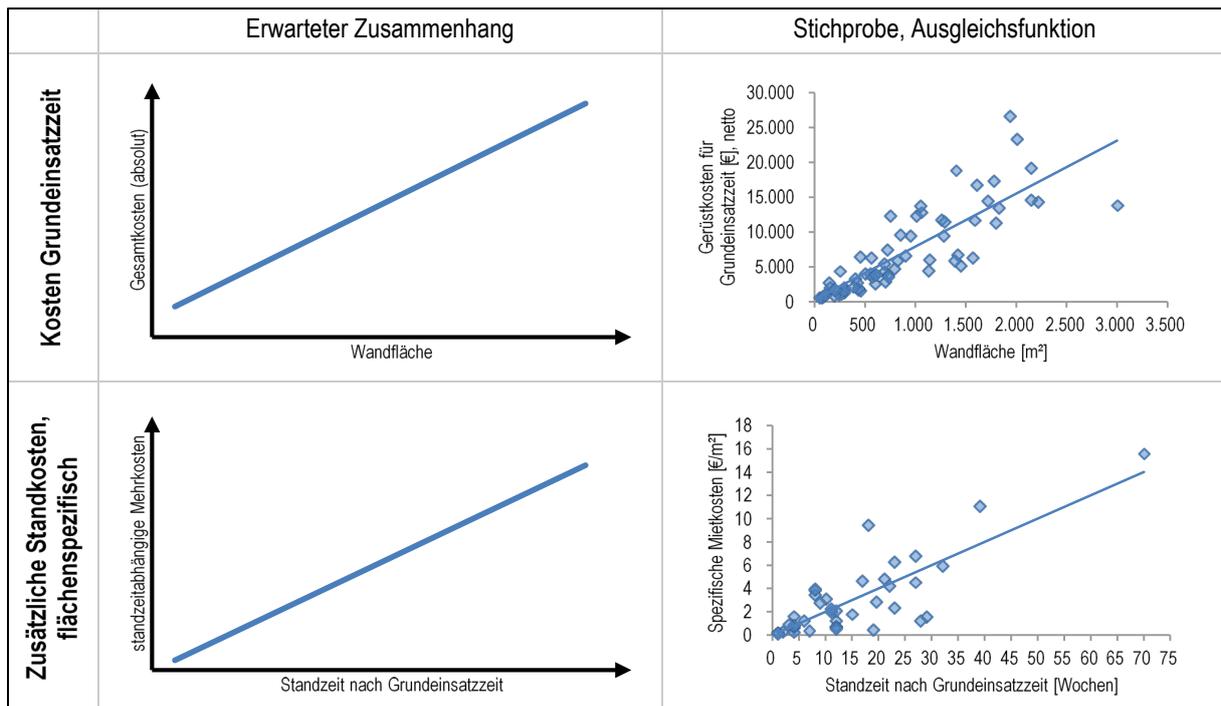


Abbildung 6 Gerüstkosten – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Die Stichprobe belegt den unterstellten Zusammenhang zwischen Gerüstkosten und eingerüsteter Wandfläche relativ gut. Ein Sockelbetrag ist dabei verhältnismäßig gering ausgeprägt. Für die Darstellung der zeitabhängigen Mehrkosten zeigen sich im Vergleich größere Abweichungen; doch auch hier kann die Stichprobe mit dem unterstellten qualitativen Zusammenhang angenähert werden.

### Kostenniveau

Der IWU-Studie zu [...] *Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile* [...] [4] und den BKI-Baukosten [5] können Richtwerte für Gerüstkosten entnommen werden. Im Vergleich mit der vorliegenden Studie, deuten beide Quellen für Gerüste ein etwas geringeres Kostenniveau an. Nach BKI können, abhängig von der Ausstattung des Gerüsts, jedoch auch höhere Kosten geschätzt werden.

Wird die Streuung der hier zugrunde gelegten Kostendaten berücksichtigt, passen die Ergebnisse der vorliegenden Studie größenordnungsmäßig jedoch gut zu den aufgeführten Literatur-Vergleichswerten.

Tabelle 3 Gerüstkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Eingerüstete Wandfläche [m²]	Vollkosten [€/m²], netto		
	Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	BKI Baukosten [5]
100	<b>1.086</b>	400...700	400...800
1.000	<b>7.929</b>	4.000...7.000	4.000...8.000
3.000	<b>23.126</b>	12.000...21.000	12.000...24.000

## 4.3 Dämmung der Außenwand

### 4.3.1 Kostenstruktur

Außenwanddämmungen verfügen i.d.R. über einen ausgeprägten Ohnehin-Anteil – dieser entspräche näherungsweise einer Fassadensanierung ohne Dämmmaßnahme – sowie ausgeprägte energetisch bedingte Kosten für das Dämmsystem. Die Kostenstruktur von Fassadendämmungen entspricht damit anschaulich dem allgemeinen Kostenmodell nach 3.1 (Abbildung 1).

Hinsichtlich der energetischen und kostenmäßigen Beurteilung von Außenwanddämmungen kommen mehrere potenzielle Einflüsse infrage, besonders

- das Dämmsystem bzw. der Wandaufbau, z.B.
  - Wärmedämmverbundsystem (WDVS),
  - Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF),
  - nachträgliche Kerndämmung, etc.,
- die notwendige Menge des Dämmstoffs,
  - Dämmfläche,
  - Dämmdicke,
- die Art des Dämmstoffs,
  - Material,
  - Wärmeleitwert.

Die für Dämmmaßnahmen in Rechnung gestellten Kosten beruhen üblicherweise wesentlich auf flächenspezifischen Einheitspreisen, wobei i.d.R. keine Mengenstaffelung zu erkennen ist. Hinsichtlich der bloßen Dämmstoffkosten kann für konventionelle, quasihomogene Dämmstoffe näherungsweise von konstanten volumenspezifischen Preisen ausgegangen werden. Zusätzlich ergeben sich Kosten für vorbereitende Arbeiten, Befestigungsmaterial, Beschichtungen, etc.

In Hinblick auf die Anwendung mit dem Ziel der Erfüllung von energetischen Anforderungen sind besonders die Dämmdicke und der Wärmeleitwert von Bedeutung. Hinsichtlich des Wärmeleitwertes besteht erfahrungsgemäß nur relativ geringer Spielraum bei marktüblichen Dämm Lösungen. Der Variationsbereich eingesetzter Dämmdicken ist dagegen vergleichsweise ausgeprägt. Eine Beurteilung der spezifischen Kosten auf Grundlage der Dämmdicke (Variable) erscheint daher sinnvoll. Unterschiedliche Wärmeleitwerte können zweckmäßig durch Umrechnung der tatsächlichen in eine äquivalente Dämmdicke berücksichtigt werden.

Die Abhängigkeit der Dämmkosten von der Dämmdicke und der gedämmten Fläche ist qualitativ in Abbildung 7 dargestellt.

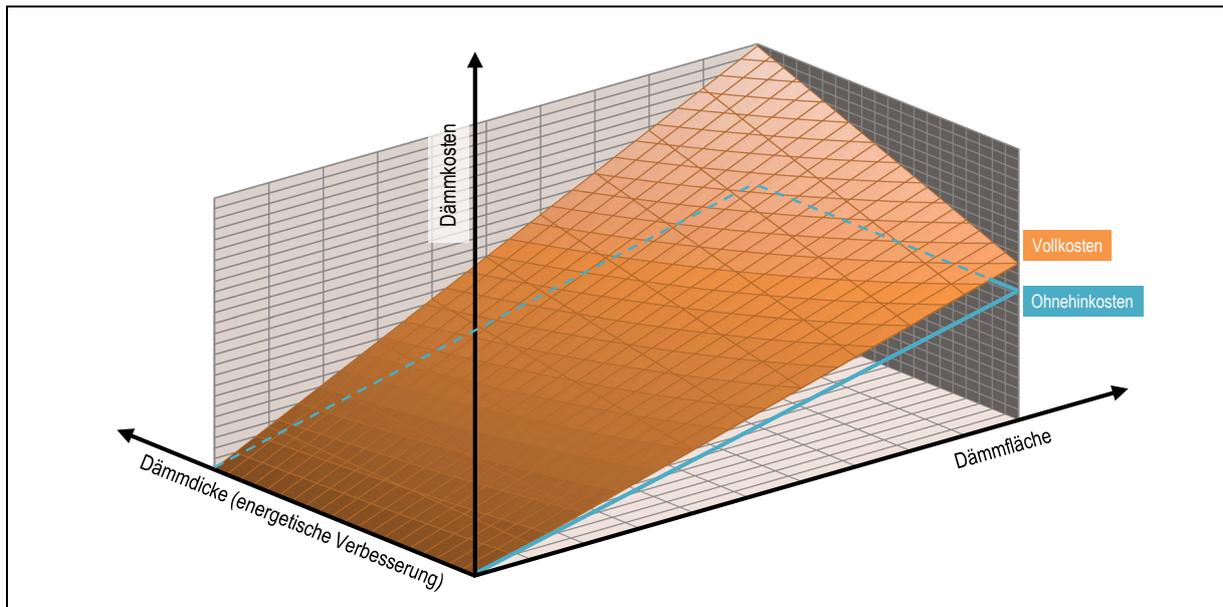


Abbildung 7 Absolute Kosten AW-Dämmung in Abhängigkeit von Dämmfläche und Dämmdicke (vgl. auch Abbildung 1)

Die Maßnahmenvollkosten steigen mit zunehmender Dämmfläche und -dicke. Die Ohnehinkosten sind per Definition unabhängig von der Dämmdicke.

#### 4.3.2 Datenauswertung

Für Dämmungen von Außenwänden liegen 167 auswertbare Datensätze für Vollkosten und 110 für energetisch bedingte Kosten vor.

Die energetisch bedingten Kosten umfassen im Wesentlichen

- die Dämmung einschließlich Montage-/Befestigungsmaterial,
- ggf. den Abbruch bestehender Dämmschichten,
- dämmspezifisches Montagematerial (Montagezylinder etc.),
- Zulagen für Laibungsdämmung und Anarbeitung der Dämmung, ggf. Profileile,
- dämmsystemspezifische Brandschutzmaßnahmen (umlaufende Brandschutzriegel, nicht brennbare Laibungsdämmung) und
- durch den Dämmaufbau bedingte Bauleistungen, wie z.B. Vergrößerung von Dachüberständen und Arbeiten an Fensterbänken, sofern ausgewiesen.

Die Vollkosten decken darüber hinaus

- sowieso anfallende Demontage und Abrissarbeiten im Zusammenhang mit der Maßnahme,
- die Vorbereitung des Untergrunds,
- die Fassadenbekleidung (Putzarbeiten, Fassadensystem mit Unterkonstruktion) sowie
- ggf. den Wiederaufbau zuvor abgenommener Bauteile.

Oft können nicht alle Kostenpositionen hinsichtlich ihrer Relevanz für die energetische Verbesserung exakt zugeordnet werden. Beispielsweise können Ohnehin-Positionen versteckte Anteile enthalten, welche auf die energetische Verbesserung zurückzuführen sind oder wegen ihr höher ausfallen als bei einer Vergleichsmaßnahme ohne energetische Verbesserung, wie z.B.

- höherer Aufwand für Armierung und Kantenschutz (WDVS),
- Mehrkosten für algizide/fungizide Einstellung des Oberputzes (WDVS),

Mehrkosten der Unterkonstruktion zur Berücksichtigung erhöhter Dämmdicke (VHF), etc.

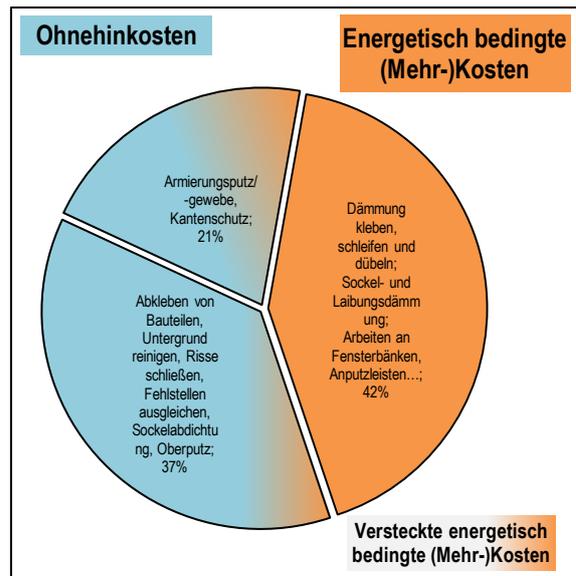


Abbildung 8 Kostenstruktur einer Außenwanddämmung mit WDVS – dargestellte Werte und Kostenpositionen nur beispielhaft (vgl. auch Beispiel Anhang 2)

Ausgewertet werden die über jeder auftretenden Dämmdicke gemittelten flächenspezifischen Dämmkosten<sup>3</sup> für eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ <sup>4</sup>. Bei den in Bezug genommenen Flächen handelt es sich üblicherweise um Aufmaße nach Leistungsverzeichnissen bzw. Schlussrechnungen<sup>5</sup>. Bei einem Bezug der Kosten auf die tatsächlich gedämmten Flächen ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen als hier ermittelt.

Abbildung 9 zeigt die grafische Auswertung für Wärmedämmverbundsysteme mit konventionellen Dämmstoffen.

<sup>3</sup> Das Verfahren weist gewisse Vereinfachungen auf:

- Im Sinne einer überschaubaren Darstellung und einer möglichst hohen Datendichte im betrachteten Dämmdicken-Definitionsbereich werden allein die spezifischen Kosten ausgewertet. Eine zusätzliche Wichtung, z.B. nach Gesamtkostenvolumen der jeweiligen Maßnahme, wird nicht vorgenommen. Untersuchungen der Stichprobe hinsichtlich eventueller Abhängigkeiten der spezifischen Dämmkosten von der Größe der gedämmten Fläche zeigten keine belastbare Korrelation beider Größen. Auch eine ähnlich angelegte Untersuchung des IWU [4] kommt zu dem Schluss, dass kein belastbarer Zusammenhang zwischen spezifischen Dämmkosten und der Größe der gedämmten Fläche besteht.
- Zu jeder auftretenden Dämmdicke wird der arithmetische Mittelwert der zugehörigen Kostenwerte gebildet. Die Effekte ungünstiger Häufungen, welche oft durch mehrere Maßnahmen am selben Objekt und/oder vom selben Anbieter verursacht werden, können so etwas abgeschwächt werden. Allerdings können dabei auch repräsentative Punkthäufungen leicht abgeschwächt und vereinzelt Datenpunkte geringfügig übergewichtet werden. Über dies wären auch andere Verfahren zur Mittelwertbildung einsetzbar.

Angesichts des Stichprobencharakters und der ohnehin sehr hohen Wertestreuung der Ursprungsdaten haben diese Vereinfachungen keinen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis der Betrachtung.

<sup>4</sup> Bei Positionen mit hiervon abweichenden Wärmeleitfähigkeiten wird die Dicke zugrunde gelegt, welche der Dämmstoff in der Ausführung  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$  hätte (Annahme  $s/\lambda = \text{konstant}$ ).

<sup>5</sup> Gemäß VOB können kleine Öffnungen (Einzelflächen  $< 2,5 \text{ m}^2$ ) bei der Ermittlung von Wandflächen zur Bestimmung von Leistungsumfängen und zur Rechnungsstellung übermessen werden - dies betrifft für gewöhnlich eine Vielzahl der enthaltenen Fenster- und Türflächen. In der Praxis wird hier unterschiedlich verfahren; z.T. wird in Angebotsaufforderungen explizit eine Abrechnung nach tatsächlich bearbeiteten Flächen gefordert. Die ausgewerteten Kostendaten enthalten jedoch nur vereinzelt exakte Angaben zur Aufmaßbestimmung; i.d.R. ist daher von übermessenen Anteilen auszugehen.

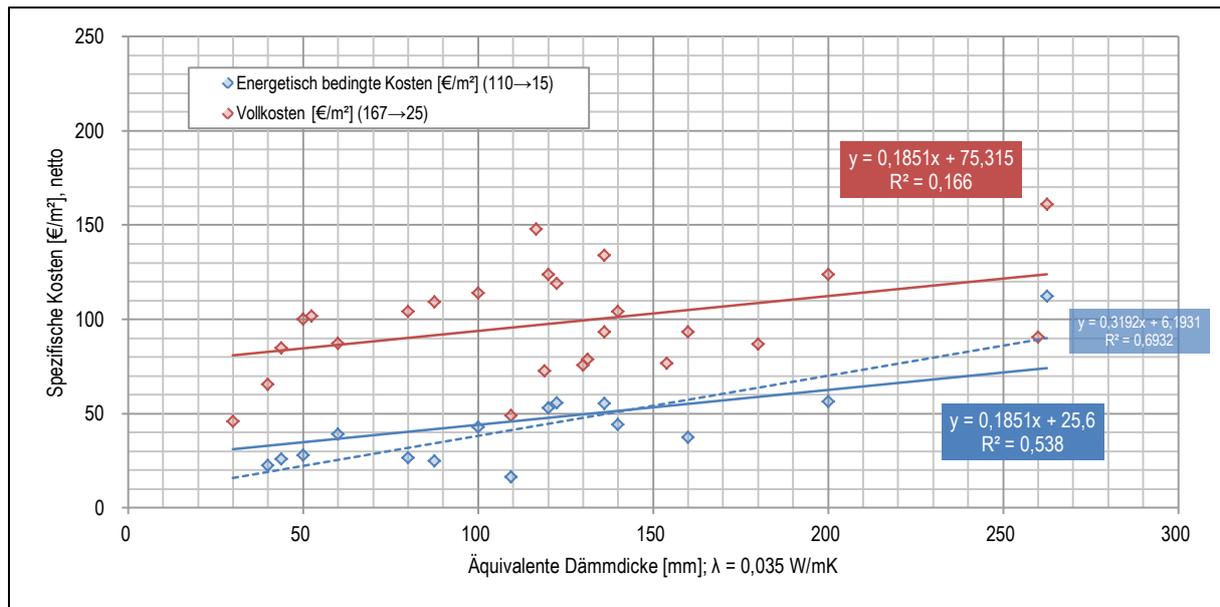


Abbildung 9 Grafische Auswertung: flächenspezifische Dämmkosten (WDVS) in Abhängigkeit von Dämmdicke

Die komprimierten Stichproben weisen Umfänge von 15 Datensätzen für energetisch bedingte Kosten und 25 Datensätze für Vollkosten auf. Die erkennbare Abhängigkeit lässt sich augenscheinlich mit den unterstellten linearen Zusammenhängen annähern, wobei sich jedoch relativ ausgeprägte Streuungen zeigen.

Die flächenspezifischen Maßnahmenvollkosten können mit einem Festkostenanteil von 75 €/m<sup>2</sup> und einem Anstieg von 1,9 €/m<sup>2</sup>cm bestimmt werden. Das Bestimmtheitsmaß fällt – angesichts der hohen Wertestreuung erwartungsgemäß – gering aus (<< 0,5). Der Kostenanstieg in Abhängigkeit von der Dämmdicke ist dennoch gut zu erkennen.

Die Approximation der energetisch bedingten Kosten weist einen deutlich höheren Anstieg auf. Dies ist insofern nicht plausibel, als der Kostenanstieg beider Funktionen allein auf die energetische Verbesserung – hier ausgedrückt durch die äquivalente Dämmdicke – zurückgeführt wird. Beide Anstiege sollten daher ähnlich groß ausfallen. Die relativ hohe Abweichung beider Anstiege ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf zufällige Einflüsse zurückzuführen – im Laufe der Auswertung hat das Verhältnis beider Anstiege sowohl Werte < 1 als auch > 1 angenommen; d.h. der Anstieg der energetisch bedingten Kosten war, je nach Auswertungsstand, flacher oder auch steiler als der Anstieg der Vollkosten. Auch die ausgeprägte Wertestreuung spricht für gewichtige zufällige Einflüsse.

Während Vollkosten im Rahmen der Datenerhebung relativ klar abgesteckt werden können, unterliegt die Bestimmung der energetisch bedingten Kostenanteile einer gewissen Unschärfe (siehe auch Abbildung 8). Der Anstieg der energetisch bedingten Kosten ist somit – trotz des deutlich höheren Bestimmtheitsmaßes – weniger belastbar als der Anstieg der Vollkosten. Für eine Prognose energetisch bedingter Kosten wird daher eine Anpassung an die Vollkostenfunktion vorgenommen<sup>6</sup>. Die energetisch bedingten Kosten können mit einem Festkostenanteil von 26 €/m<sup>2</sup> und einem Anstieg in Abhängigkeit von der Dämmdicke von 1,9 €/m<sup>2</sup>cm geschätzt werden.

### Wandaufbau/Dämmsystem

In den ausgewerteten Außenwanddämmungen kamen mit überwiegender Mehrheit Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) zum Einsatz. Nur vereinzelt wurden vorgehängte hinterlüftete Fassaden (VHF) saniert oder zweischalige Wandaufbauten nachträglich gedämmt. Die geringen Stichprobenumfänge für

<sup>6</sup> Die abgeleitete Ausgleichsfunktion wird um den Schwerpunkt der Punktwolke derart gedreht, dass sie denselben Anstieg wie die zugehörige Vollkostenfunktion aufweist. Die Approximation der Ursprungsdaten durch die Kostenfunktion verschlechtert sich hierbei geringfügig.

VHF oder Einblasdämmungen lassen keine Ableitung eigenständiger Kostenfunktionen zu. Jedoch kann die Größenordnung der Kosten dieser Maßnahmen anhand der Kosten für WDVS zumindest geschätzt werden.

Hinsichtlich der energetisch bedingten Kosten, welche deutlich durch Dämmstoffkosten geprägt werden, sind zumindest keine großen Unterschiede zwischen den verschiedenen Dämmsystemen zu erwarten. Hier kann näherungsweise mit der entsprechenden Funktion von WDVS gerechnet werden.

Die Vollkosten vorgehängter hinterlüfteter Fassaden können auf Basis von WDVS-Vollkosten mit erhöhten Grundkosten geschätzt werden.

Wie Abbildung 10 zeigt, sind sehr kostengünstig ausgeführte VHF kostenmäßige mit WDVS vergleichbar. Jedoch können sich für VHF auch mehrfach höhere Kosten ergeben. Angesichts der ausgewerteten Kostendaten erscheint ein Kostenniveau in der Größenordnung 300...400 €/m<sup>2</sup> bei einer äquivalenten Dämmdicke von ca. 100 mm geeignet. Ausgehend von einem Anstieg der Dämmkosten von 1,9 €/m<sup>2</sup>cm ergibt sich hieraus ein Grundkostenanteil von ca. 330 €/m<sup>2</sup>.

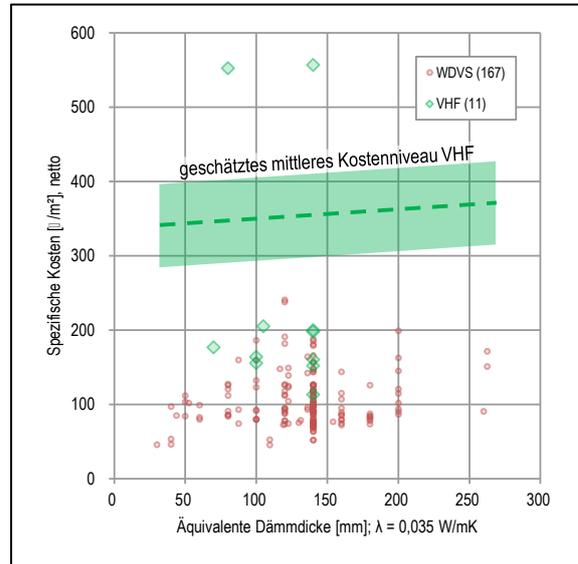


Abbildung 10 Vollkosten VHF über Dämmdicke (MW); Punkthäufungen unterhalb 200 € z.T. aus mehreren Maßnahmen desselben Anbieters bzw. verschiedenen Maßnahmenabschnitten am selben Objekt

### Einfluss des Dämmmaterials

Als Dämmmaterial kamen deutlich überwiegend Polystyrol-Dämmstoffe zum Einsatz. In wenigen Fällen, aber immer noch im relevanten Bereich, wurde mit Mineralwolle gedämmt<sup>7</sup>. Alternative Dämmstoffe und Vakuumdämmungen haben in der Betrachtung keine Relevanz.

<sup>7</sup> Expandierter Polystyrolschaum (EPS); Extrudierter Polystyrolschaum (XPS); Polystyrolschaum ohne nähere Angabe (PS); Mineralwolle (MW)

Ob bei einer Dämmung der Außenwand Mineralwolle oder Polystyrolschaum eingesetzt wird, hat in der ausgewerteten Stichprobe kaum Einfluss auf das Niveau der Vollkosten (vgl. Abbildung 11).

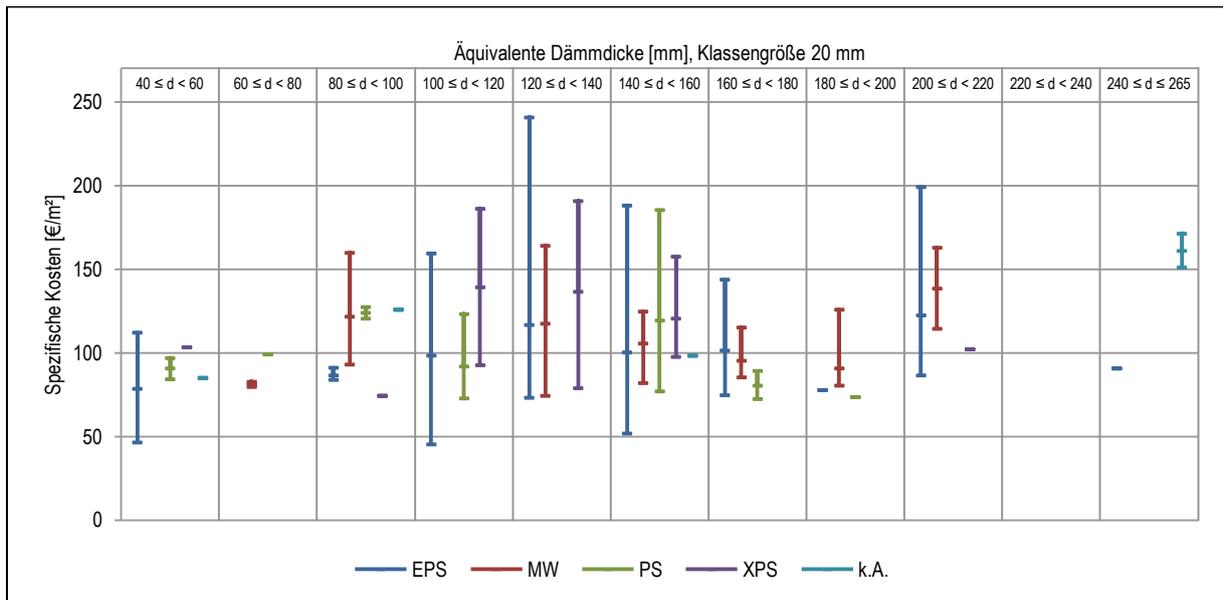


Abbildung 11 Vollkosten (Minimum-Mittelwert-Maximum) WDVS über Dämmdicke und Dämmstoff

Es soll nicht suggeriert werden, dass alle marktüblichen Dämmstoffe gleich teuer wären. Im Einzelfall – z.B. bei mehreren Angeboten desselben Anbieters – sind signifikante Preisunterschiede zwischen Dämm Lösungen mit unterschiedlichen Dämmstoffen nicht auszuschließen. Neben unterschiedlichen Dämmstoffpreisen können sich hier auch Unterschiede beim Verarbeitungsaufwand und sonstigen notwendigen Leistungen bemerkbar machen. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass solche spezifischen Preisunterschiede in einer statistischen Vollkostenbetrachtung wie der vorliegenden Auswertung durch andere signifikantere Kosteneinflüsse überdeckt werden und sich ggf. erst bei deutlich größeren Teilstichproben zeigen würden.

#### 4.3.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die flächenspezifischen Kosten für Außenwanddämmungen mit WDVS und VHF können in Abhängigkeit von der äquivalenten Dämmdicke ( $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ ) gemäß Tabelle 4 ermittelt werden.

Tabelle 4 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Außenwanddämmung

Maßnahme				
<b>M</b>	Dämmung der Außenwand			
	Die Kosten enthalten in jedem Fall <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrolle und Vorbereitung des Untergrunds</li> <li>• Montage des Dämmmaterials mit allem (System-)Zubehör,</li> <li>• alle Anschlussarbeiten an Fenster-/Türöffnungen, Vorsprünge, Gebäudekanten</li> <li>• Wandbekleidung oder Oberputz</li> </ul> Zusätzlich enthalten die Kosten in mittleren Anteilen die folgenden Leistungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• De- und ggf. Wiedermontagearbeiten von Regenfallrohren, Blitzableitern, etc.</li> <li>• ggf. notwendige Arbeiten zur Erhaltung/Vorbereitung des Untergrunds (Betonsanierung, Mehraufwand Grundierung, etc.)</li> <li>• für die Dämmmaßnahme notwendige Abbrucharbeiten</li> <li>• im Zusammenhang mit der Dämmmaßnahme notwendige Bauleistungen, wie die Vergrößerung von Dachüberständen oder Verbreiterung von Fensterbänken</li> </ul>			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, flächenspezifisch</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	$k_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{V,M,2} * d$ $k_{V,M} = 75 \frac{€}{m^2} + 1,9 \frac{€}{m^2 * cm} * d$ (Bsp. WDVS)		
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = A * k_{V,M}$		
<b>Energetisch bedingte Kosten, flächenspezifisch</b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	$k_{E,M} = k_{E,M,1} + k_{E,M,2} * d$ $k_{E,M} = 26 \frac{€}{m^2} + 1,9 \frac{€}{m^2 * cm} * d$		
<b>Energetisch bedingte Kosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{E,M} = A * k_{E,M}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>d</b>	<b>[cm]</b>	äquivalente Dämmdicke für eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$	3...26	4...30
<b>A</b>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	Dämmfläche nach Aufmaß	1 <sup>1)</sup> ...7.100	10 <sup>1)</sup> ...10.000
Parameter				
<b>k<sub>V,M,1</sub></b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	flächenspezifische Grundkosten	<b>WDVS: 75</b>	
<b>k<sub>V,M,2</sub></b>	<b>[€/m<sup>2</sup>cm]</b>	flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke	<b>1,9</b>	
<b>k<sub>E,M,1</sub></b>	<b>[€/m<sup>2</sup>]</b>	flächenspezifische Grundkosten <sup>2)</sup>	<b>26</b>	
<b>k<sub>E,M,2</sub></b>	<b>[€/m<sup>2</sup>cm]</b>	flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke <sup>2)</sup>	<b>1,9</b>	
<sup>1)</sup> Die untere Grenze des Definitionsbereichs der Ursprungsdaten ist auf die differenzierte Auswertung einzelner Flächenabschnitte innerhalb größerer Dämmmaßnahmen zurückzuführen. Jedoch fallen die realen spezifischen Kosten bei sehr kleinen Dämmflächen i.d.R. deutlich höher aus, da die Maßnahmengesamtkosten dann maßgeblich durch flächenunabhängige Positionen geprägt sein können. Daher wird für die Anwendung der Kostenfunktion eine erhöhte untere Grenze empfohlen.				
<sup>2)</sup> Die Kostenfunktion zur Schätzung der energetisch bedingten Kosten von AW-Dämmungen mit WDVS kann näherungsweise auch zur Kostenschätzung für nachträgliche Einblasdämmung zweischaliger Wandaufbauten herangezogen werden.				

### 4.3.4 Plausibilitätsprüfung

#### Qualitativer Verlauf

Ausgehend von einem in erster Näherung konstanten Volumenpreis für Dämmstoffe kann eine lineare Abhängigkeit der Dämmkosten von der Menge des eingesetzten Dämmmaterials, und damit auch von der Dämmdicke, unterstellt werden. Die Kostenstruktur der Maßnahme lässt sowohl für Vollkosten als auch für energetisch bedingte Mehrkosten einen Stützbetrag erwarten (vgl. 3.1, besonders Tabelle 1).

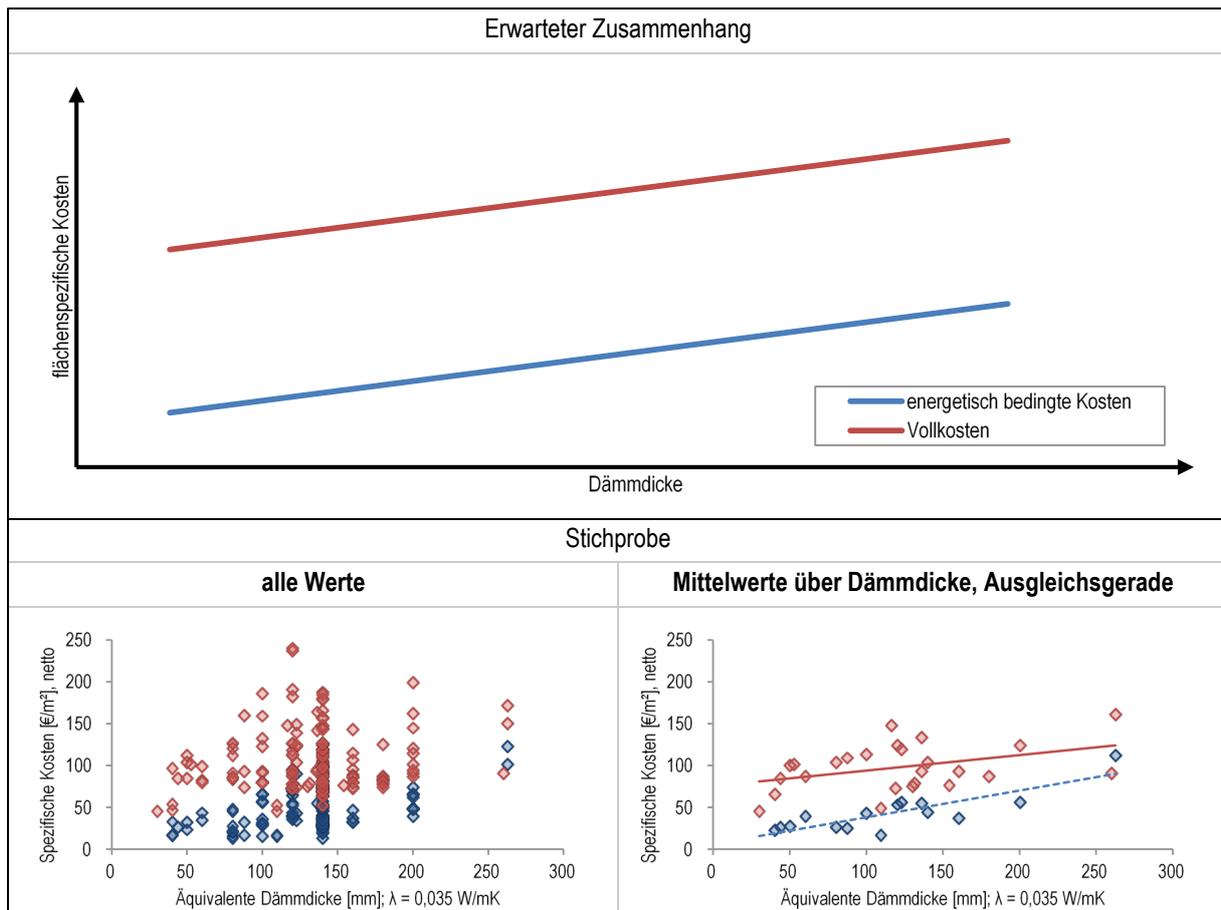


Abbildung 12 AW-Dämmung – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Während der genaue Zusammenhang (Funktionstyp) zwischen Dämmkosten und Dämmdicke aus der Stichprobe nicht zweifelsfrei abgelesen werden kann, erscheint die unterstellte lineare Abhängigkeit jedoch sehr wahrscheinlich. Der Anstieg der Dämmkosten mit zunehmender Dämmdicke wird durch die Stichprobe belegt. Entgegen der Annahme zeigen sich unterschiedliche Anstiege der Ausgleichsgeraden für Vollkosten und energetisch bedingte Kosten, welche jedoch erklärbar sind (vgl. 4.3.2). Die abgeleiteten Kostenfunktionen sind qualitativ plausibel.

### Kostenniveau

Die hinsichtlich Aufgabenstellung und Herangehensweise bei der Auswertung sehr ähnlich ausgerichtete, jedoch auf Wohngebäude zugeschnittene, Studie des IWU Darmstadt [4] aus dem Jahre 2011 kommt zu Kostenwerten in ähnlicher Größenordnung.

Bei den Vollkosten für die exemplarisch dargestellten Dämmdicken ergeben sich nur sehr geringe Abweichungen zur vorliegenden Arbeit. Bei den energetisch bedingten Kosten fallen die Unterschiede etwas deutlicher aus. Demnach prognostiziert die IWU-Studie für die exemplarisch dargestellten Dämmdicken tendenziell geringere energetisch bedingte Anteile an den Vollkosten. Aufgrund der geringen Höhe der Abweichungen kann jedoch nicht auf systematische Unterschiede beider Untersuchungen geschlossen werden.

Das Bayerische Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie gibt in Merkblättern zusammengefasste Hinweise zum Energiesparen heraus. Das Merkblatt 52 [6] enthält grobe Angaben zur Kostenschätzung für verschiedene Maßnahmen. Auf die Ermittlung und den Geltungsbereich der Werte sowie den einbezogenen Maßnahmenumfang wird kaum eingegangen. Ein Vergleich ist daher mit einer gewissen Unsicherheit behaftet.

Auffällig zeigt sich ein höherer Anstieg der Vollkosten. Bei Umrechnung der Kostenangaben auf ein gesamtdeutsches Niveau ergeben sich für kleine Dämmstärken Abweichungen zur vorliegenden Arbeit. Dem Anschein nach bestand bei der Ermittlung der angegebenen Kostenkennwerte eine höhere Kostenabhängigkeit von der Dämmdicke. Hinsichtlich Größenordnung sind die Angaben des Merkblatts 52 jedoch mit der vorliegenden Arbeit vergleichbar.

Den BKI Baukosten [5] ist eine sehr weite Preisspanne für Außenwanddämmungen, ausgeführt als WDVS, zu entnehmen. Während der berücksichtigte Leistungsumfang anhand von beispielhaft aufgeführten Positionstexten recht gut beurteilt werden kann, fehlt den angegebenen Kostenwerten jedoch eine Zuordnung zum für den angestrebten Vergleich wichtigsten Kriterium, der Dämmdicke.

Bei Betrachtung von WDVS-Vollkosten ergibt sich mit dem angegebenen Kostenbereich für die Leistungen

- Reinigen/Vorbereiten und Grundieren sowie
- WDVS als Komplettleistung (einschließlich Oberputz)

auf den ersten Blick ein deutlich niedrigeres Kostenniveau als nach den Kostenfunktionen der vorliegenden Studie. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die aus den BKI-Angaben exemplarisch zusammengestellten Leistungspositionen hinsichtlich des Umfangs nicht gänzlich der vorliegenden Studie entsprechen. So fallen in der Regel noch weitere Kostenpositionen an, etwa für Detailausbildungen des WDVS, Bauteilanschlüsse, Eckausbildung, etc., welche in hier aufgeführten BKI-Kosten nicht enthalten sind<sup>8</sup>.

Hinsichtlich der energetisch bedingten Kosten ergeben sich nach BKI, beispielhaft für die Leistungen

- EPS-Dämmung kleben, ggf. Stöße ausschäumen und schleifen,
- Dämmschicht dübeln und
- Armierung (zu 50 % angerechnet),

ähnliche Werte wie in der vorliegenden Studie. Auch hier ist relativierend festzuhalten, dass keine Zuordnung der Dämmdicke erfolgt und sich, analog zu den Vollkosten, Unterschiede beim Leistungsumfang ergeben können.

Unter Berücksichtigung der hier formulierten Einschränkungen sind die Überschlüsse nach BKI zumindest größenordnungsmäßig mit den in der vorliegenden Studie ermittelten Kosten vergleichbar.

Tabelle 5 WDVS Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]	Vollkosten [€/m <sup>2</sup> ], netto			BKI Baukosten [5]
	Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6]	
10	<b>94</b>	98	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Zuordnung Dämmdicke</li> <li>• zzgl. Detailausbildung WDVS (Eckanschlüsse ggf. Kantenprofile, Anarbeiten Fenster, auskragende Bauteile, etc.)</li> </ul>
12	<b>98</b>	102	88	
16	<b>105</b>	111	104	

<sup>8</sup> Für konkrete Konstellationen können anhand der BKI-Werte Kosten für komplette Außenwanddämmungen überschlagen werden, welche in der Regel höher ausfallen dürften, als der hier angegebene Bereich. Die zu ermittelnden Kosten hängen dabei vom vorgegebenen Leistungsumfang und den unterstellten baulichen Randbedingungen (Fläche/Umfang, Öffnungen, Sockel, Vorsprünge, auskragende Bauteile, etc.) ab und können daher über einen sehr großen Bereich schwanken. Die vorliegende Studie beschränkt sich daher auf eine einzige exemplarische Zusammenstellung.

Tabelle 6 WDVS energetisch bedingte Kosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]	Energetisch bedingte Kosten [€/m <sup>2</sup> ], netto			
	Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6]	BKI Baukosten [5]
10	45	34	-	33-56
12	49	39	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Zuordnung Dämmdicke</li> <li>• zzgl. Detailausbildung WDVS (Eckanschlüsse ggf. Kantenprofile, Anarbeiten Fenster, auskragende Bauteile, etc.)</li> </ul>
16	56	47	-	

## 4.4 Dämmung der obersten Geschossdecke

### 4.4.1 Kostenstruktur

Die Dämmung von obersten Geschossdecken lässt sich im Wesentlichen mit dem allgemeinen Kostenmodell nach 3.1 beschreiben. Abweichend zu diesem weist sie jedoch keine Ohnehinkosten auf, da die Maßnahme praktisch immer allein der energetischen Verbesserung dient.

Hinsichtlich der energetischen und kostenmäßigen Beurteilung von Dämmungen oberster Geschossdecken kommen mehrere potenzielle Einflüsse infrage, besonders:

- das Dämmsystem bzw. der Aufbau, wie
  - begehbare Dämmung (dauerhaft druck-/trittfeste Ausführung), z.B.
    - Aufbau mit Stützkonstruktion, gedämmten Gefachen und Brettschalung
    - druckfeste Verbund-Dämmplatten (druckfester Dämmstoff mit belastbarer Kaschierung in Spanplatte o.ä.), etc.
  - nicht begehbare Dämmung
- die notwendige Menge des Dämmstoffs
  - Dämmfläche
  - Dämmdicke
- die Art des Dämmstoffs
  - Material
  - Wärmeleitwert

Die für Dämmmaßnahmen in Rechnung gestellten Kosten beruhen üblicherweise wesentlich auf flächenspezifischen Einheitspreisen, wobei i.d.R. keine Mengenstaffelung zu erkennen ist. Hinsichtlich der bloßen Dämmstoffkosten kann für konventionelle, quasihomogene Dämmstoffe näherungsweise von konstanten volumenspezifischen Preisen ausgegangen werden. Zusätzlich können sich Kosten für vorbereitende Arbeiten, ggf. Unterkonstruktion und begehbare Schalung/Kaschierung, etc. ergeben.

In Hinblick auf die Anwendung mit dem Ziel der Erfüllung von energetischen Anforderungen sind besonders die Dämmdicke und der Wärmeleitwert von Bedeutung. Hinsichtlich des Wärmeleitwertes besteht erfahrungsgemäß nur relativ geringer Spielraum bei marktüblichen Dämmösungen. Der Variationsbereich eingesetzter Dämmdicken ist dagegen vergleichsweise ausgeprägt. Eine Beurteilung der spezifischen Kosten auf Grundlage der Dämmdicke (Variable) erscheint daher sinnvoll. Unterschiedliche Wärmeleitwerte können zweckmäßig durch Umrechnung der tatsächlichen in eine äquivalente Dämmdicke berücksichtigt werden.

Die Abhängigkeit der Dämmkosten von der Dämmdicke und der gedämmten Fläche ist qualitativ in Abbildung 13 dargestellt.

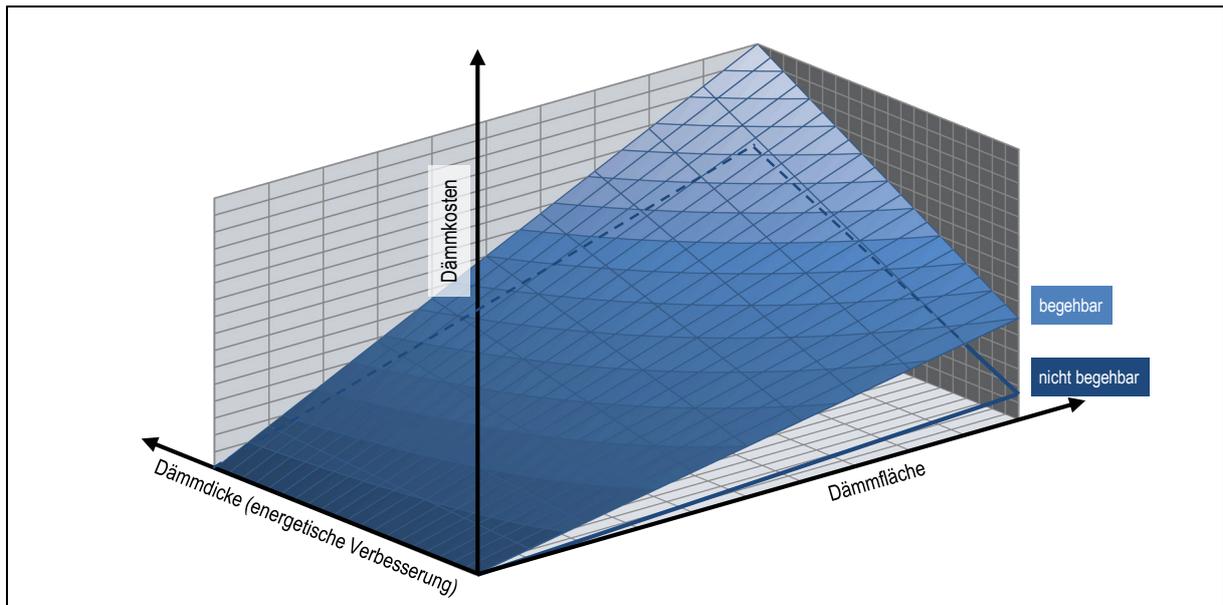


Abbildung 13 Absolute Kosten OG-Dämmung in Abhängigkeit von Dämmfläche und Dämmdicke (vgl. auch Abbildung 1), qualitativ

#### 4.4.2 Datenauswertung

Zu Dämmungen von obersten Geschossdecken von oben liegen 38 Datensätze für begehbare und 34 für nicht begehbare Ausführung der Dämmung vor.

Die Kosten für die Dämmung oberster Geschossdecken dienen praktisch immer allein der energetischen Verbesserung; eine Unterscheidung in energetisch bedingte Kosten und Vollkosten ist daher nicht sinnvoll. Die Kosten umfassen

- Vorarbeiten (z.B. Reinigung)
- ggf. Abbrucharbeiten,
- ggf. das zeitweilige Öffnen und Schließen von Dach-/Wandflächen zur Begehung,
- das Verlegen/Montieren des Dämmmaterials,
- ggf. eine Dampfsperrschicht und
- ggf. Mehrkosten für eine begehbare Ausführung .

Die herangezogenen Kostendaten enthalten vereinzelt abweichende Ausführungen, welche hinsichtlich des Aufwands jedoch vergleichbar mit entweder begehbare oder nicht begehbare Dämmung der obersten Geschossdecke von oben sind<sup>9</sup>.

Hinsichtlich des Leistungsumfangs ist eine deutliche Überschneidung mit nachträglichen Dachdämmungen von innen festzustellen. Oft werden auch beide Maßnahmen in Kombination ausgeführt. Darüber hinaus erlauben die ausgewerteten Daten z.T. keine eindeutige Zuordnung zu einem der beiden Bauteile. In 4.6 werden beide Maßnahmen nochmals kombiniert betrachtet.

Analog zur Betrachtung von Außenwanddämmungen werden die gemittelten flächenspezifischen Dämmkosten für eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$  unter Bezug auf Aufmaßflächen nach Leistungsverzeichnissen bzw. Schlussrechnungen ausgewertet (vgl. 4.2.3); bei einem Bezug der Kosten auf die tatsächlich gedämmten Flächen ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen als hier ermittelt.

<sup>9</sup> In wenigen Fällen wurden

- Decken von unten gedämmt und verkleidet
- oder Dämmstoffe in beidseitig geschlossene Balkendecken eingebracht.

Dämmungen von unten mit anschließender Verkleidung können in guter Näherung wie begehbare Dämmungen von oben betrachtet werden – der Mehraufwand für die Montage von unten, Unterkonstruktion und Verkleidung ist mit dem Mehraufwand für eine begehbare Dämmung vergleichbar. Das Dämmen beidseitig geschlossener Decken (i.d.R. durch Einblasen losen Dämmmaterials) kann in sehr guter Näherung wie nicht begehbare Dämmung von oben betrachtet werden, da in beiden Situationen das Verlegen/Einbringen des Dämmmaterials der wesentliche Kostenbestandteil ist.

Abbildung 14 zeigt die grafische Auswertung für Dämmungen der obersten Geschossdecke mit konventionellen Dämmstoffen.

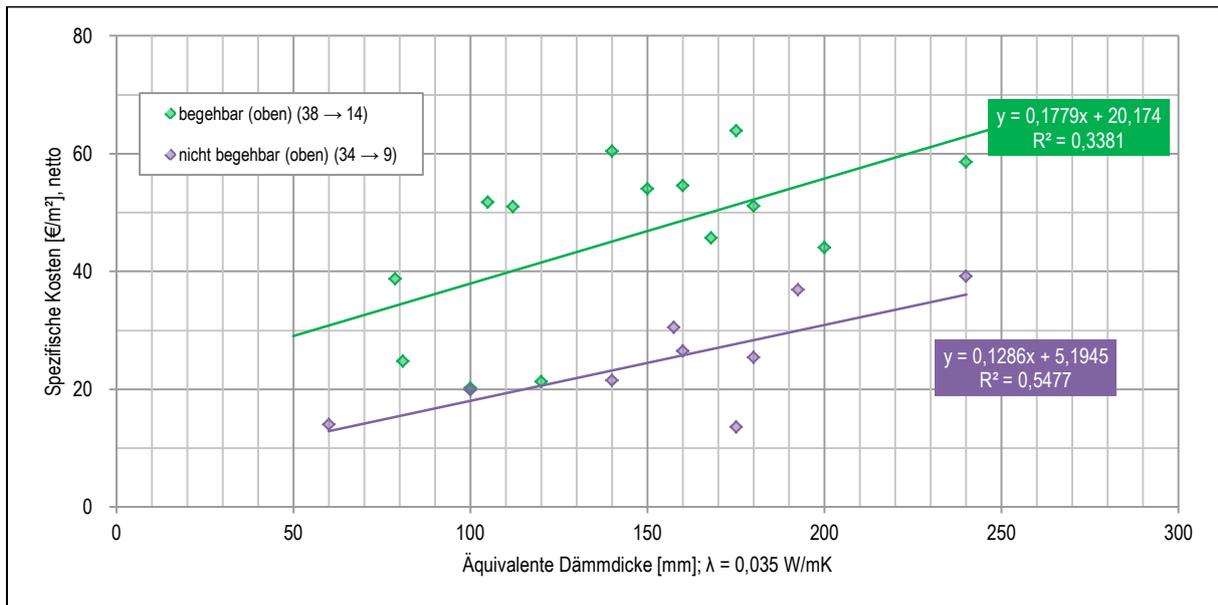


Abbildung 14 Grafische Auswertung: flächenspezifische Dämmkosten oberste Geschossdecke in Abhängigkeit von Dämmdicke

Die komprimierten Stichproben weisen Umfänge von 14 Datensätzen für begehbare und 9 für nicht begehbare Dämmungen von obersten Geschossdecken auf. Trotz relativ großer Wertestreuungen erscheinen die unterstellten Abhängigkeiten zur Approximation der Stichprobe geeignet.

Die Ausgleichsfunktion für eine begehbare Dämmung oberster Geschossdecken weist feste Kosten von 20 €/m<sup>2</sup> bei einem dämmdickenbezogenen Anstieg von 1,8 €/m<sup>2</sup>cm auf. Bei einer nicht begehbaren Ausführung – im einfachsten Fall dem losen Verlegen von Dämmplatten/-matten – sind es 5,2 €/m<sup>2</sup> und 1,3 €/m<sup>2</sup>cm.

Als Dämmmaterial wurde mit überwiegender Mehrheit Mineralwolle (n = 46), gefolgt von Polystyrolämmstoffen (n = 14), eingesetzt. Nur in Einzelfällen kam Polyurethanschaum (n = 3) oder Zellulosedämmung (n = 3) zum Einsatz.

#### 4.4.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die flächenspezifischen Kosten für Dämmungen der obersten Geschossdecke von oben, entweder in begehbare oder in nicht begehbare Ausführung, können in Abhängigkeit von der äquivalenten Dämmdicke gemäß Tabelle 7 ermittelt werden.

Tabelle 7 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Dämmung der obersten Geschossdecke

Maßnahme				
<b>M</b>	Dämmung der obersten Geschossdecke			
	Die Kosten enthalten in jedem Fall <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Montage bzw. das Verlegen der Dämmschicht</li> <li>• bei begehbare Ausführung zusätzlich                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Unterkonstruktion mit Brettschalung oder</li> <li>○ Mehrkosten für druckfeste Dämmung und trittfeste Bekleidung, i.d.R. als Verbundplatten</li> </ul> </li> </ul> Zusätzlich enthalten die Kosten in mittleren Anteilen die folgenden Leistungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• i.d.R. Dampfspererschicht</li> <li>• Anarbeiten der Dämmung im Bereich von Schornsteinschächten, aufsteigenden Wänden oder Drepeln, Dachschrägen, Bodentüren und Durchführungen</li> </ul>			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, flächenspezifisch</b>	<b>€/m²</b>	$k_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{V,M,2} * d$		
		$k_{V,M} = 20 \frac{€}{m^2} + 1,8 \frac{€}{m^2 * cm} * d$ (Bsp. <i>begehbar</i> )		
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>€</b>	$K_{V,M} = A * k_{V,M}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>d</b>	<b>[cm]</b>	äquivalente Dämmdicke für eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$	6...24	6...30
<b>A</b>	<b>[m²]</b>	Dämmfläche nach Aufmaß	20...4.300	10...6.000
Parameter				
<b>k<sub>V,M,1</sub></b>	<b>€/m²</b>	flächenspezifische Grundkosten	<b>begehbar<sup>1</sup>: 20</b>	
			<b>nicht begehbar<sup>2</sup>: 5,2</b>	
<b>k<sub>V,M,2</sub></b>	<b>€/m²cm</b>	flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke	<b>begehbar<sup>1</sup>: 1,8</b>	
			<b>nicht begehbar<sup>2</sup>: 1,3</b>	
<sup>1)</sup> Die Kostenfunktion zur Schätzung der Dämmkosten bei begehbare Ausführung können näherungsweise auch zur Kostenschätzung bei Deckendämmungen von unten mit Verkleidung herangezogen werden.				
<sup>2)</sup> Die Kostenfunktion zur Schätzung der Dämmkosten bei nicht begehbare Ausführung können näherungsweise auch zur Kostenschätzung bei nachträglicher Einblasdämmung von Balkendecken herangezogen werden.				

#### 4.4.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Die qualitativen Betrachtungen zur Außenwanddämmung können weitestgehend auf Dämmungen von obersten Geschossdecken übertragen werden. Im Gegensatz zu Außenwanddämmungen fallen bei Dämmmaßnahmen an obersten Geschossdecken allerdings keine Ohnehinkosten an – die Maßnahme dient allein der energetischen Verbesserung.

Es ist ein linearer Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke zu erwarten; ein Sockelbetrag ist zumindest bei begehbare Ausführung der Dämmung sehr wahrscheinlich.

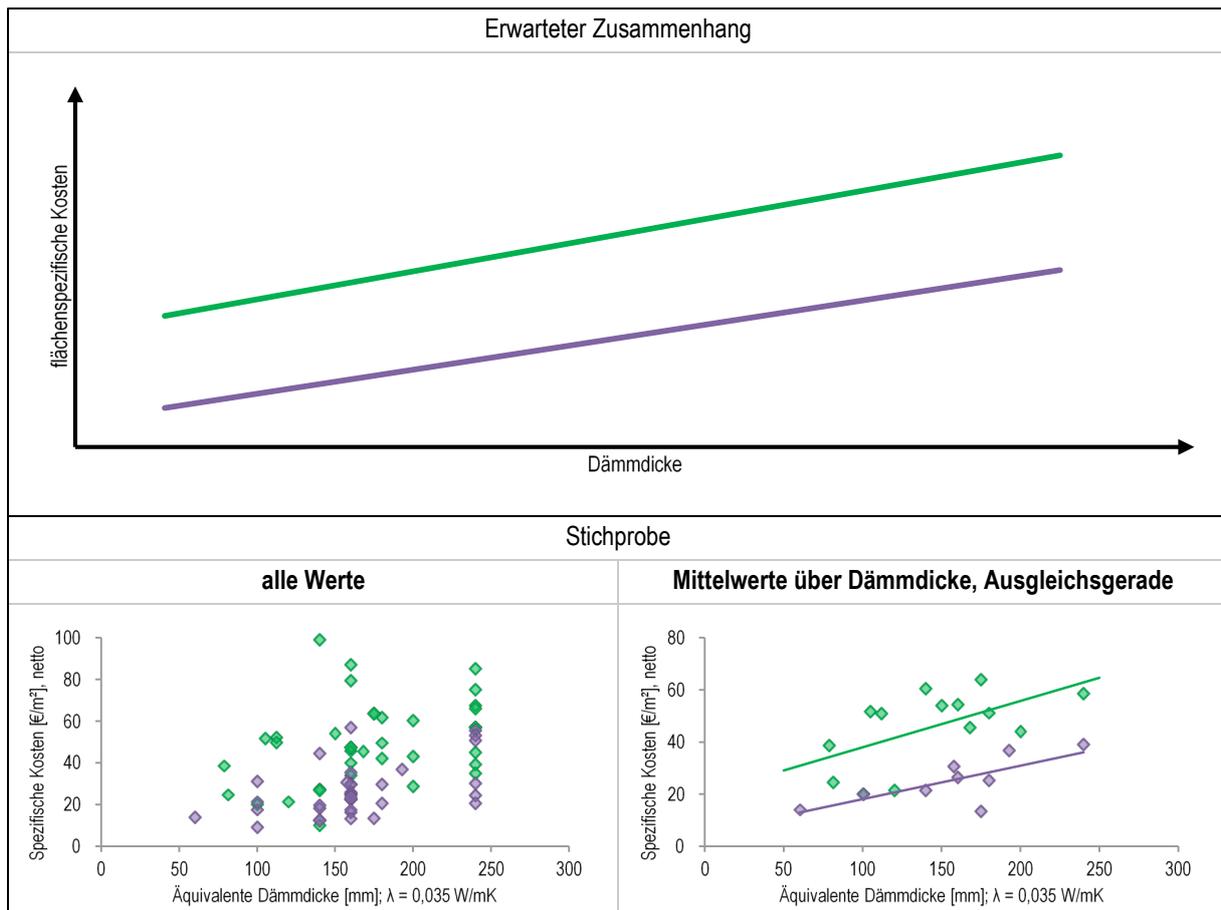


Abbildung 15 OG-Dämmung – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Ähnlich der Betrachtung zu Außenwanddämmungen (4.3.2, 4.3.4) zeigen sich relativ deutliche Wertestreuungen. Jedoch weisen sowohl die Ursprungsdaten als auch die komprimierte Stichprobe auf einen ausgeprägten Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke hin. Die abgeleitete Kostenfunktion ist qualitativ plausibel.

### Kostenniveau

Die beispielhaften Literaturvergleiche liefern prinzipiell ähnliche Kosten für die Dämmung der obersten Geschosdecke wie die vorliegende Studie.

Im Vergleich mit der IWU-Studie [4] zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung der Kosten begehbare Dämmungen. Für nicht begehbare Dämmungen ermittelt die IWU-Studie geringere Kosten als die vorliegende Arbeit.

Das Merkblatt 52 [6] führt vereinzelte Kosten für eine begehbare und nicht begehbare OG-Dämmung auf. Abermals ist ein größerer Kostenanstieg als in der vorliegenden Arbeit zu erkennen. Für die beispielhaft betrachteten Dämmstärken weist das Merkblatt jedoch sehr ähnliche Kosten wie die vorliegende Studie aus.

Die BKI Baukosten [5] führen die Dämmung von Sparrenzwischenräumen im Trockenbau auf. Diese dürfte hinsichtlich des Materialeinsatzes sowie Arbeitsumfangs mit einer nicht begehbaren OG-Dämmung vergleichbar sein. Eine Zuordnung der Kostenwerte zu Dämmdicken fehlt. Ein unmittelbarer Vergleich, insbesondere die Beurteilung der Abweichungen, fällt daher schwer. Das angegebene Kostenniveau entspricht ungefähr den anderen beiden Literaturangaben und ist auch mit der vorliegenden Studie vergleichbar.

Tabelle 8 OG-Dämmung Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]		Vollkosten [€/m <sup>2</sup> ], netto			BKI Baukosten [5]
		Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6]	
12	begehbar:	42	41	-	nicht begehbar: 14-19 • MW-Dämmung zwischen Sparren (Trockenbauwände) • keine Zuordnung Dämmdicke
	nicht begehbar:	21	12	16	
14	begehbar:	45	44	40 <sup>1</sup>	
	nicht begehbar:	23	14	24	
16	begehbar:	49	48	48 <sup>1</sup>	
	nicht begehbar:	26	16	-	
20	begehbar:	56	54	-	
	nicht begehbar:	31	20	-	

<sup>1)</sup> Das Merkblatt weist zu dieser Maßnahme anscheinend nur Materialkosten aus; es wurde ein „Handwerkerzuschlag“ gemäß anderer Angaben derselben Quelle aufgeschlagen.

## 4.5 Dachdämmung von innen

### 4.5.1 Kostenstruktur

Das nachträgliche Anbringen einer Dachdämmung von innen lässt sich im Wesentlichen mit dem allgemeinen Kostenmodell nach 3.1 beschreiben. Abweichend zu diesem weist die Maßnahme jedoch keine Ohnehinkosten auf, da sie praktisch immer allein der energetischen Verbesserung dient<sup>10</sup>.

Hinsichtlich der energetischen und kostenmäßigen Beurteilung von Dachdämmungen kommen mehrere potenzielle Einflüsse infrage; diese sind besonders:

- das Dämmsystem bzw. der Aufbau, z.B.
  - Zwischensparrendämmung
  - Untersparrendämmung
  - ggf. Kombinationen
- die notwendige Menge des Dämmstoffs
  - Dämmfläche
  - Dämmdicke
- die Art des Dämmstoffs
  - Material
  - Wärmeleitwert

Die für Dämmmaßnahmen in Rechnung gestellten Kosten beruhen üblicherweise wesentlich auf flächenspezifischen Einheitspreisen, wobei i.d.R. keine Mengenstaffelung zu erkennen ist. Hinsichtlich der bloßen Dämmstoffkosten kann für konventionelle, quasihomogene Dämmstoffe näherungsweise von konstanten

<sup>10</sup> Als Vergleichsmaßnahme ohne energetische Verbesserung könnte der Dachausbau ohne einhergehende Dämmmaßnahme herangezogen werden. In den meisten Fällen dürfte dieser jedoch nicht mit den Anforderungen der EnEV zu vereinbaren sein; auch kann eine entsprechende Umsetzung heutzutage hinsichtlich behaglichkeitsrelevanter Maßstäbe kaum noch in Erwägung gezogen werden. Überdies dürften Wartungsarbeiten an einer bestehenden Dach-Innenbekleidung – z.B. im Vergleich mit einer umfassenden Putzsanierung oder Erneuerung von Fassadenplatten bei Außenwänden – nur eine stark untergeordnete Rolle spielen.

volumenspezifischen Preisen ausgegangen werden. Zusätzlich ergeben sich üblicherweise Kosten für vorbereitende Arbeiten, Innenbekleidung des Daches und ggf. Unterkonstruktion.

In Hinblick auf die Anwendung mit dem Ziel der Erfüllung von energetischen Anforderungen sind besonders die Dämmdicke und der Wärmeleitwert von Bedeutung. Hinsichtlich des Wärmeleitwertes besteht erfahrungsgemäß nur relativ geringer Spielraum bei marktüblichen Dämm Lösungen. Der Variationsbereich eingesetzter Dämmdicken ist dagegen vergleichsweise ausgeprägt. Eine Beurteilung der spezifischen Kosten auf Grundlage der Dämmdicke (Variable) erscheint daher sinnvoll. Unterschiedliche Wärmeleitwerte können zweckmäßig durch Umrechnung der tatsächlichen in eine äquivalente Dämmdicke berücksichtigt werden.

Die Abhängigkeit der Dämmkosten von der Dämmdicke und der gedämmten Fläche ist qualitativ in Abbildung 16 dargestellt.

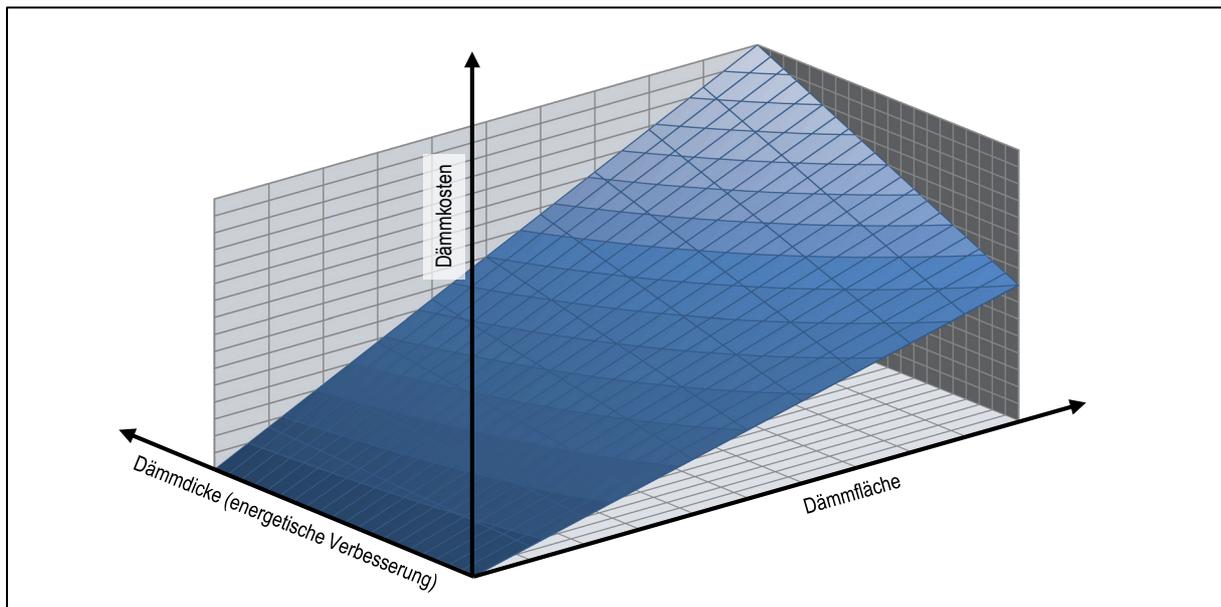


Abbildung 16 Absolute Kosten Dachdämmung von innen in Abhängigkeit von Dämmfläche und Dämmdicke (vgl. auch Abbildung 1), qualitativ

#### 4.5.2 Datenauswertung

Zu nachträglichen Dämmungen von Flach- und Schrägdächern von innen liegen 32 Datensätze vor.

Die Kosten dieser Maßnahme dienen praktisch immer allein der energetischen Verbesserung; eine Unterscheidung in energetisch bedingte Kosten und Vollkosten ist daher nicht sinnvoll. Die Kosten umfassen

- ggf. Abbrucharbeiten, z.B. einer bestehenden Innenbekleidung,
- das Verlegen/Montieren des Dämmmaterials durch
  - Klemmen/Einlegen von Dämmstoffmatten oder -platten zwischen Sparren/Balken,
  - Aufkleben/Dübeln von Dämmplatten
- ggf. Montage einer Dampfspererschicht
- i.d.R. Montage einer Innenbekleidung, ggf. auf zusätzlich errichteter Lattung/Tragkonstruktion

In den herangezogenen Kostendaten zeigen sich z.T. Variationen des Leistungsumfangs und/oder der Art und Weise der Abrechnung der erbrachten Leistungen. Beispielsweise war nicht immer ersichtlich, ob neben der Dämmung auch eine Dampfspererschicht und eine Innenbekleidung montiert wurden.

Analog zur Betrachtung von Außenwanddämmungen werden die gemittelten flächenspezifischen Dämmkosten für eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$  unter Bezug auf Aufmaßflächen nach Leistungsverzeichnissen bzw. Schlussrechnungen ausgewertet (vgl. 4.2.3); bei einem Bezug der Kosten auf die tatsächlich gedämmten Flächen ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen als hier ermittelt. Zudem zeigt

sich beim Leistungsumfang eine deutliche Überschneidung mit Dämmungen oberster Geschossdecken. Auch sind oft Kombinationen beider Maßnahmen vorzufinden. Eine klare Trennung oder Zuordnung war nicht in jedem Fall möglich. In 4.6 werden beide Maßnahmen nochmals kombiniert betrachtet.

Abbildung 17 zeigt die grafische Auswertung für nachträgliche Dachdämmungen von innen mit konventionellen Dämmstoffen.

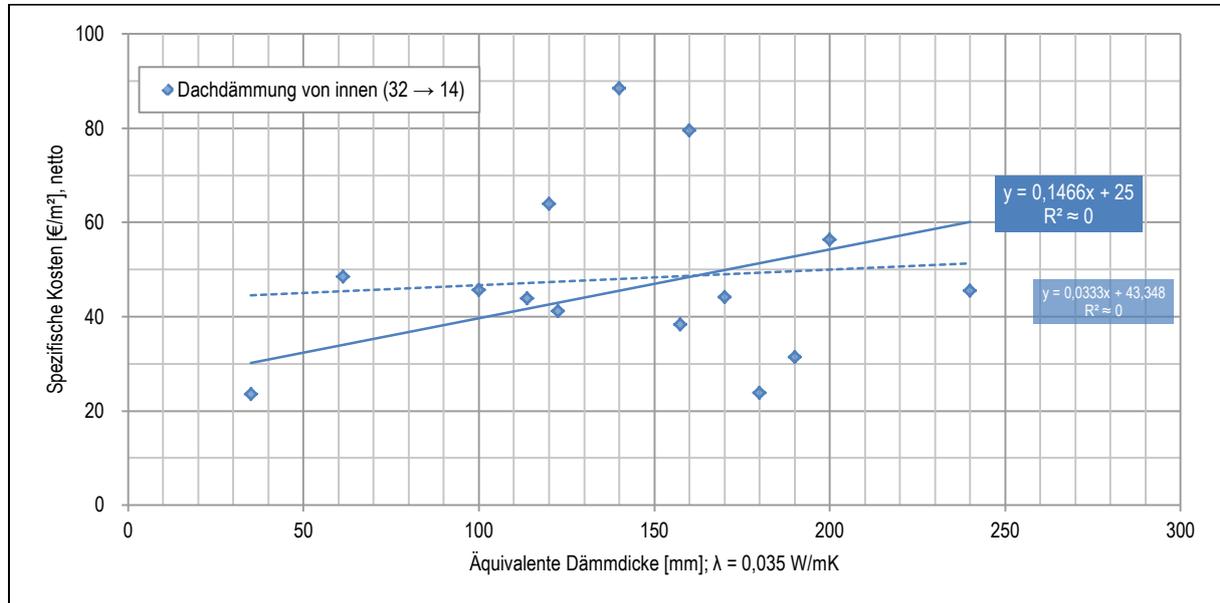


Abbildung 17 Grafische Auswertung: flächenspezifische Dämmkosten Dach von innen in Abhängigkeit von Dämmdicke

Die zusammengefasste Stichprobe weist einen Umfang von 14 Datensätzen auf. Die Wertestreuung fällt sehr hoch aus; eine Kostenabhängigkeit von der Dämmdicke scheint kaum ausgeprägt. Das Bestimmtheitsmaß geht gegen Null.

Die Ausgleichsfunktion weist feste Kosten in Höhe von 43 €/m² bei einem Anstieg von 0,03 €/m²cm auf. Im Vergleich zur zahlenmäßig relativ gut belegten Auswertung von Außenwanddämmungen (4.3) und zur Betrachtung der Dämmungen oberster Geschossdecken (4.4) erscheint der Anstieg sehr gering. Die Autoren gehen davon aus, dass der auffällig geringe Anstieg wesentlich auf die Effekte zufälliger Einflüsse bei kleinen Stichprobe zurückzuführen ist. Im Sinne möglichst belastbarer Kostenprognosen wird die Kostenfunktion denen zur Dämmung oberster Geschossdecken angepasst<sup>11</sup>, da der Mehraufwand bei steigender Dämmdicke hier ähnlich hoch ausfallen sollte.

Deutlich überwiegend wurde Mineralwolle als Dämmstoff verbaut (n = 29), nur vereinzelt kamen Zellulose (n = 2) und Polyurethanschaum (n = 1) zum Einsatz.

### 4.5.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die flächenspezifischen Kosten für Dämmungen des Daches von innen können in Abhängigkeit von der äquivalenten Dämmdicke gemäß Tabelle 9 ermittelt werden.

<sup>11</sup> Die abgeleitete Ausgleichsfunktion wird um den Schwerpunkt der Punktwolke derart gedreht, dass sie einen plausibel erscheinenden Anstieg aufweist. Als Zielwert des Anstiegs wird ein zwischen den beiden Maßnahmen zur Dämmung der obersten Geschossdecke gemittelter Anstieg herangezogen.

Tabelle 9 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): nachträgliche Dachdämmung von innen

Maßnahme				
<b>M</b>	nachträgliche Dämmung des Daches von innen			
	Die Kosten enthalten in jedem Fall <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Montage bzw. das Verlegen der Dämmschicht                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ als Zwischen- oder Untersparrendämmung bzw. als Kombination von beidem,</li> <li>○ in geklebte/gedübelter Ausführung oder in Verbindung mit einer Tragkonstruktion (z.B. bei Massivdächern)</li> </ul> </li> </ul> Zusätzlich enthalten die Kosten in mittleren Anteilen die folgenden Leistungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• i.d.R. Dampfspererschicht</li> <li>• Anarbeiten der Dämmung im Bereich von Schornsteinschächten, aufsteigenden Wänden oder DREMPeln, Geschossdecken und Durchführungen</li> <li>• i.d.R. Innenbekleidung, ggf. mit Lattung/Tragkonstruktion</li> </ul>			
Kostenfunktion(en)				
Vollkosten, flächenspezifisch	[€/m <sup>2</sup> ]	$k_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{V,M,2} * d$ $k_{V,M} = 25 \frac{€}{m^2} + 1,5 \frac{€}{m^2 * cm} * d$		
Vollkosten, absolut	[€]	$K_{V,M} = A * k_{V,M}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>d</b>	[cm]	äquivalente Dämmdicke für eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$	3,5...24	3,5...30
<b>A</b>	[m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß	13...1.500	10...2.000
Parameter				
<b>k<sub>V,M,1</sub></b>	[€/m <sup>2</sup> ]	flächenspezifische Grundkosten		<b>25</b>
<b>k<sub>V,M,2</sub></b>	[€/m <sup>2</sup> cm]	flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke		<b>1,5</b>

#### 4.5.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Die qualitativen Betrachtungen zur Außenwanddämmung können weitestgehend auf nachträgliche Dachdämmungen von innen übertragen werden. Anders als bei Außenwanddämmungen ist hier jedoch nicht von Ohnehinkosten auszugehen – die Maßnahme kann allein der energetischen Verbesserung zugerechnet werden.

Es ist ein linearer Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke zu erwarten; ein ausgeprägter Sockelbetrag, beispielsweise für Innenbekleidung, Dampfsperre, etc., ist wahrscheinlich.

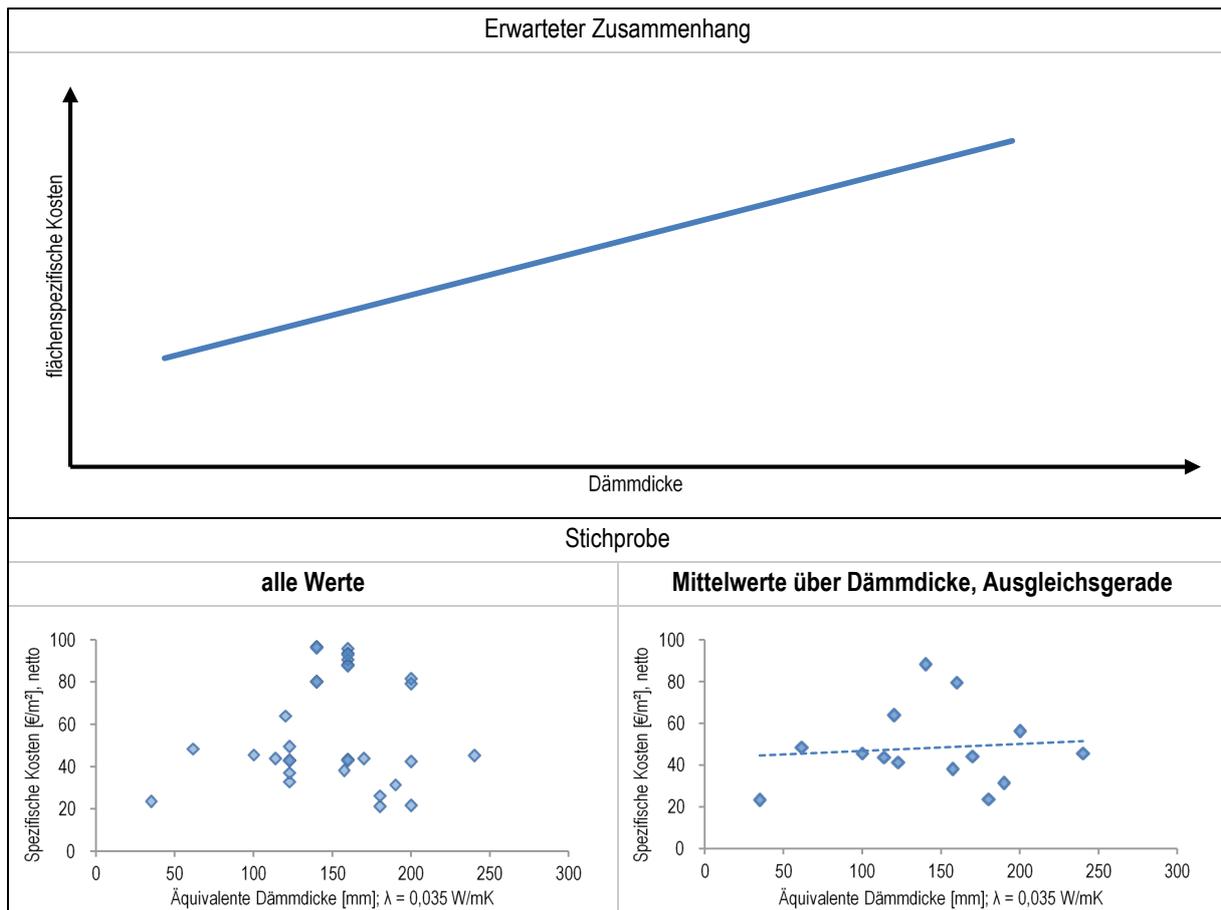


Abbildung 18 Dachdämmung von innen – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Sowohl aus den Ursprungsdaten als auch aus der komprimierten Stichprobe ist eine Abhängigkeit der Kosten von der Dämmdicke kaum ersichtlich. Die Auswertung der Maßnahme für sich erlaubt somit nur eine Aussage zum ungefähren Kostenniveau im gegebenen Variationsbereich der Dämmdicke, jedoch nicht zum Kostenanstieg. Anhand des idealisierten Kostenmodells kann mit Blick auf besser auswertbare Dämmmaßnahmen (vgl. 4.3 und 4.4) jedoch eine Kostenfunktion konstruiert werden. Hierfür bietet die Auswertung eine gute Grundlage.

### Kostenniveau

Das Merkblatt 52 [6] gibt Kosten für eine kombinierte Zwischen- und Untersparrendämmung, einschließlich Dampfsperre und Gipskartonbekleidung, an. Die angegebenen Werte fallen etwas geringer aus als die in der vorliegenden Studie ermittelten. Gleichzeitig weist das Merkblatt jedoch darauf hin, dass die Kosten wesentlich vom Dämmverfahren abhängen und deutet den kostenmäßigen Variationsspielraum zumindest an.

Eine Schätzung anhand der BKI-Baukosten [5] mit den beispielhaft ausgewählten Kostenpositionen

- Zwischensparrendämmung,
- Dampfsperre
- Gipskartonbekleidung auf bauseitig vorhandene Unterkonstruktion

bestätigt die hohe Wertestreuung, welche auch der vorliegenden Auswertung zu entnehmen ist. Im Mittel deutet die Schätzung nach BKI ein geringfügig höheres Kostenniveau an als die Ergebnisse der vorliegenden Studie; die Abweichung ist jedoch verhältnismäßig gering.

Die beispielhaft herangezogenen Vergleichswerte verdeutlichen – wie auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie – den relativ großen Variationsspielraum der Kosten.

Tabelle 10 Dachdämmung von innen, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]	Vollkosten [€/m <sup>2</sup> ], netto		
	Vorliegende Studie	STMWIVT Blatt 52 [6]	BKI Baukosten [5]
10	40	33	-
12	43	-	38...67
14	46	37	
18	52	-	41...74

#### 4.6 Nachträgliche Dämmung des oberen Gebäudeabschlusses von innen: Dach, oberste Geschossdecke

Wie in 4.4 und 4.5 angedeutet, gibt es eine relativ starke Überschneidung zwischen den Maßnahmen

- Dachdämmung von innen und
- Dämmung der obersten Geschossdecke

In beiden Fällen wird der obere Abschluss der thermischen Hülle erstellt bzw. (nach-)gedämmt. Hinsichtlich des baulichen und finanziellen Aufwands können beide Maßnahmen sehr ähnlich ausfallen. Zudem werden beide Maßnahmen oftmals, den baulichen Gegebenheiten entsprechend, kombiniert – z.B. bei Steildächern mit „halbem“ Dachgeschoss und Spitzboden.

Bei einer nachträglichen Auswertung von Kostendaten – ohne Kenntnis des Objekts – können beide Maßnahmen nicht immer sauber getrennt oder eindeutig zugeordnet werden.

Abbildung 19 vergleicht die Ergebnisse zu beiden Maßnahmen. Um Dachdämmungen von innen besser mit Dämmungen von obersten Geschossdecken vergleichen zu können, werden erstere hierfür in die Kategorien *geringer Aufwand* und *mittlerer bis hoher Aufwand* unterteilt:

- Dachdämmung von innen, mittlerer bis hoher Aufwand

Die Maßnahme weist signifikanten Aufwand für bauliche Arbeiten, z.B. Ausbesserungen am Dachstuhl oder das Anbringen einer Tragkonstruktion für die innere Dachbekleidung auf, welcher mit dem Mehraufwand für eine begehbare Ausführung der Geschossdecken-Dämmung vergleichbar ist. Die reinen Dämmkosten machen i.d.R. merklich weniger als die Hälfte der Vollkosten aus.

- Dachdämmung, geringer Aufwand

Die Maßnahmenkosten werden wesentlich durch die Kosten des Dämmmaterials und ggf. der Dampfsperrschicht geprägt. Sonstige bauliche Maßnahmen fallen zwar i.d.R. dennoch an, spielen in Bezug auf die Vollkosten jedoch eine etwas untergeordnetere Rolle. Die reinen Dämmkosten machen hier oft mehr als die Hälfte der Vollkosten aus.

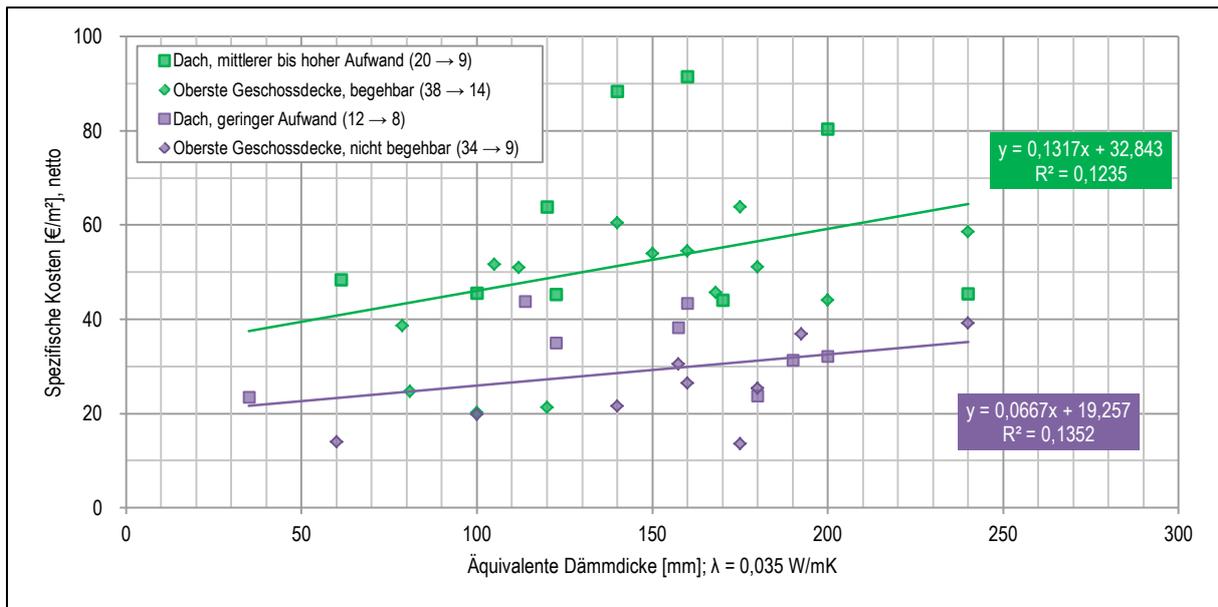


Abbildung 19 Grafische Auswertung: flächenspezifische Dämmkosten *Dach von innen* und *oberste Geschossdecke* in Abhängigkeit von Dämmdicke

Wie der Vergleich zeigt, besteht auch in Bezug auf die spezifischen Maßnahmenvollkosten eine ausgeprägte Überschneidung zwischen Dämmungen der obersten Geschossdecke und nachträglichen Dachdämmungen von innen. Im Sinne einer höheren Datendichte könnte hier prinzipiell eine Zusammenfassung der Maßnahmen

- **begehbare Geschossdecken-Dämmung und Dach(-innen-)dämmung mit mittlerem bis hohem Aufwand sowie**
- **nicht begehbare Geschossdecken-Dämmung und Dach(-innen-)dämmung mit geringem Aufwand**

in Erwägung gezogen werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird jedoch davon abgesehen. Zum einen fallen Dämmarbeiten am Dach im Mittel geringfügig teurer aus; zum anderen kann im Rahmen einer Kostenprognose oft nur schwer unterschieden werden, ob eine Dachdämmung von innen nun *geringen* oder *hohen* Aufwand erfordert.

## 4.7 Dachdämmung mit Erneuerung der Dachhaut

### 4.7.1 Kostenstruktur

Dämmungen von Schräg- und Flachdächern mit Erneuerungen der Dachhaut verfügen i.d.R. über einen ausgeprägten Ohnehin-Anteil, welcher näherungsweise die Kosten der Erneuerung ohne einhergehende Dämmmaßnahme widerspiegelt. Für das Einbringen der Dämmung und hiermit verbundene Arbeiten sind ausgeprägte energetisch bedingte Kosten zu erwarten. Die Kostenstruktur der Maßnahme entspricht augenscheinlich dem allgemeinen Kostenmodell nach 3.1 (Abbildung 1).

Hinsichtlich der energetischen und kostenmäßigen Beurteilung kommen mehrere potenzielle Einflüsse infrage, besonders:

- das Dämmsystem bzw. der Dachaufbau, z.B.
  - Dämmung auf Massivdach (i.d.R. Flachdächer)
  - Zwischen-/Unter-/Aufsparrendämmung bei Balken-/Sparrenkonstruktion
  - Dachdeckung/-abdichtung (z.B. Dachziegel, Bitumen-/Kunststoffbahnen, Blech, etc.)
- die notwendige Menge des Dämmstoffs
  - Dämmfläche
  - Dämmdicke

- die Art des Dämmstoffs
  - Material
  - Wärmeleitwert

Die für Dämmmaßnahmen in Rechnung gestellten Kosten beruhen üblicherweise wesentlich auf flächenspezifischen Einheitspreisen, wobei i.d.R. keine Mengenstaffelung zu erkennen ist. Hinsichtlich der bloßen Dämmstoffkosten kann für konventionelle, quasihomogene Dämmstoffe näherungsweise von konstanten volumenspezifischen Preisen ausgegangen werden. Zusätzlich entstehen Kosten ggf. für Abbruch und sonstige vorbereitende Arbeiten, ggf. Reparaturen an der Dachkonstruktion und das (Wieder-)Errichten einer Dachhaut.

In Hinblick auf die Anwendung mit dem Ziel der Erfüllung von energetischen Anforderungen sind besonders die Dämmdicke und der Wärmeleitwert von Bedeutung. Hinsichtlich des Wärmeleitwertes besteht erfahrungsgemäß nur relativ geringer Spielraum bei marktüblichen Dämm Lösungen. Der Variationsbereich eingesetzter Dämmdicken ist dagegen vergleichsweise ausgeprägt. Eine Beurteilung der spezifischen Kosten auf Grundlage der Dämmdicke (Variable) erscheint daher sinnvoll. Unterschiedliche Wärmeleitwerte können zweckmäßig durch Umrechnung der tatsächlichen in eine äquivalente Dämmdicke berücksichtigt werden.

Die Abhängigkeit der Dämmkosten von der Dämmdicke und der gedämmten Fläche ist qualitativ in Abbildung 20 dargestellt.

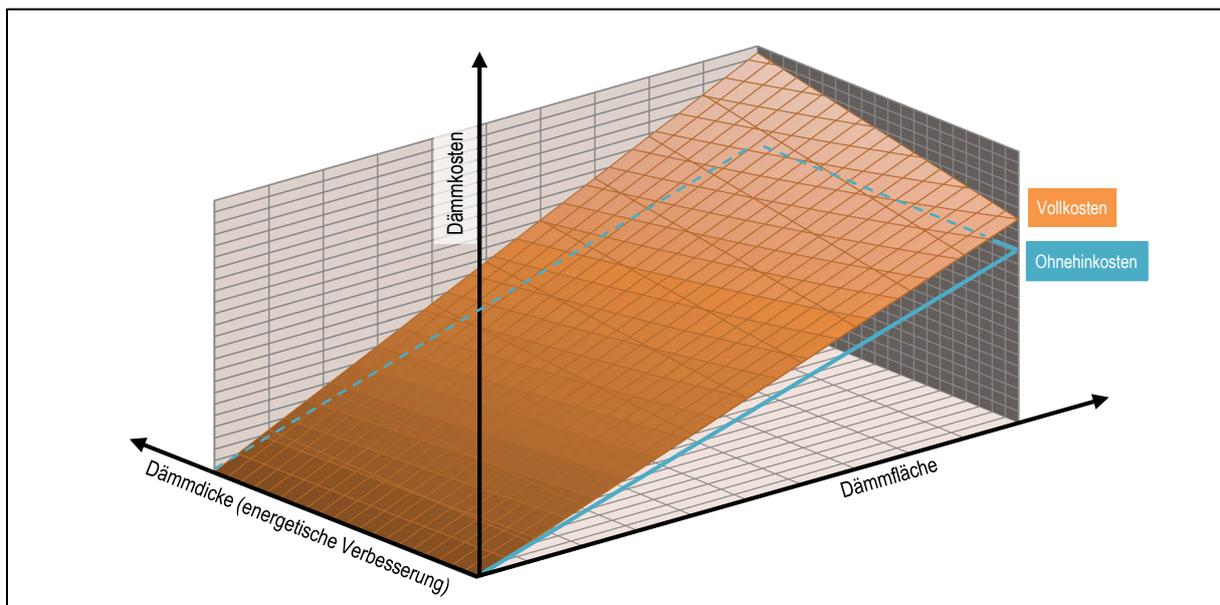


Abbildung 20 Absolute Kosten Dachdämmung mit Erneuerung der Dachhaut in Abhängigkeit von Dämmfläche und Dämmdicke (vgl. auch Abbildung 1), qualitativ

Die Maßnahmenvollkosten steigen mit zunehmender Dämmfläche und -dicke. Die Ohnehinkosten sind per Definition unabhängig von der Dämmdicke.

#### 4.7.2 Datenauswertung

Die Auswertung beinhaltet 39 Datensätze für Vollkosten und 35 Datensätze für energetisch bedingte Kosten zu Dachdämmungen im Zuge von Erneuerungen der Dachhaut.

Die energetisch bedingten Kosten umfassen

- die Dämmung, ggf. einschließlich Montage/Befestigungsmaterial,
- ggf. den Abbruch bestehender Dämmschichten,
- die Dampfsperrschicht und
- durch die Dämmmaßnahme bedingte Bauleistungen, wie z.B. Aufdopplung von Sparren, sofern ausgewiesen

Die Vollkosten decken darüber hinaus

- sowieso anfallende vorbereitende Leistungen, Demontage- und Abrissarbeiten im Zusammenhang mit der Maßnahme,
- ggf. Arbeiten an der Dachkonstruktion,
- die Abdichtung/Bekleidung des Daches und
- ggf. notwendige (Wieder-)Montagearbeiten (Schneefang, Durchlässe, etc.)

Eventuell im Zuge der Maßnahme eingebaute Dachfenster werden nicht in die Kosten einbezogen.

Analog zur Betrachtung von Außenwanddämmungen werden die gemittelten flächenspezifischen Dämmkosten für eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$  unter Bezug auf Aufmaßflächen nach Leistungsverzeichnissen bzw. Schlussrechnungen ausgewertet (vgl. 4.2.3); bei einem Bezug der Kosten auf die tatsächlich gedämmten Flächen ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen als hier ermittelt.

Abbildung 21 zeigt die grafische Auswertung der Kosten für Dachdämmungen mit konventionellen Dämmstoffen im Zuge der Erneuerung der Dachhaut.

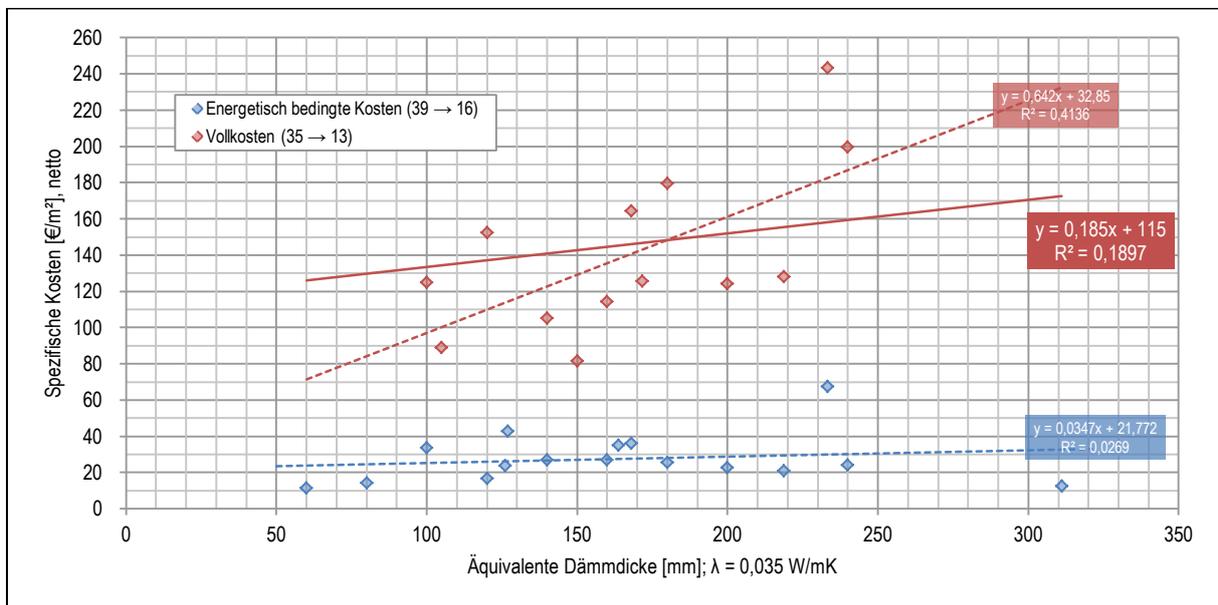


Abbildung 21 Grafische Auswertung: flächenspezifische Dämmkosten (Dachdämmung mit Abdichtung/Neueindeckung) in Abhängigkeit von Dämmdicke

Die komprimierte Stichprobe enthält 16 Kostenwerte für Vollkosten und 13 für energetisch bedingte Kosten. Die Vollkosten weisen eine deutlich ausgeprägte Wertestreuung auf, welche die unterstellte Kostenabhängigkeit nur bedingt erkennen lässt; für die energetisch bedingten Kosten fällt die Streuung vergleichsweise gering aus.

Im Vergleich zwischen Vollkosten und energetisch bedingten Kosten fällt die starke Abweichung der Anstiege beider Ausgleichsfunktionen auf. Während die energetisch bedingten Kosten praktisch keinen Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke aufweisen, fällt er für die Vollkosten deutlich höher aus als bei allen anderen hier betrachteten Dämmmaßnahmen. Die starke Abweichung kann nur bedingt durch die spezifischen Gegebenheiten bei Dachdämmungen erklärt werden:

- Bei Dachdämmungen in hohen Dämmstärken können sich ausgeprägte dämmdickenabhängige Mehrkosten ergeben, u.a. für
  - Sparrenaufdopplung und ähnliche Bauleistungen sowie
  - Mehraufwand durch Kombination verschiedener Dämmsysteme.

Eine ausgeprägte Abhängigkeit der Dämmkosten von der Dämmdicke wäre hiermit qualitativ zu erklären.

- Energetisch bedingte Mehraufwendungen lassen sich oft nicht vollständig isolieren und den energetisch bedingten Kosten zurechnen. Die aus der Datenauswertung bezogenen energetisch bedingten Kosten fallen dadurch tendenziell zu gering aus – dies kann sich sowohl im Niveau als auch im Anstieg der Ausgleichsfunktion bemerkbar machen. Dennoch wäre zumindest ein gewisser Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke zu erwarten, welcher zumindest die dickenbezogenen Mehrkosten des Dämmmaterials beschreibt.

Ebenso muss jedoch die verhältnismäßig geringe Stichprobengröße einbezogen werden. Aus Kostenauswertungen zu anderen Dämmmaßnahmen ist bekannt, 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 die ermittelten Kostenanstiege. Im Sinne möglichst belastbarer Kostenprognosen wird die Vollkostenfunktion so angepasst, dass sie hinsichtlich Kostenanstieg mit Dämmungen von Außenwänden und begehbaren Dämmungen der obersten Geschossdecke vergleichbar ist<sup>12</sup> – bei diesen sollte der dämmdickenabhängige Mehraufwand zumindest größenordnungsmäßig vergleichbar hoch ausfallen. Der Kostenfunktion für energetisch bedingte Kosten – diese sorgen per Definition allein für den Anstieg der Kosten mit zunehmender Dämmdicke – wird derselbe Anstieg aufgeprägt.

Bei den untersuchten Dachdämmungen im Zuge von Erneuerungen der Dachhaut überwiegen Mineralwolle (n = 19) und EPS (n = 18) als Dämmstoffe; in einigen Fällen wurde auch mit PUR-Platten (n = 6) gedämmt.

#### **4.7.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)**

Die flächenspezifischen Kosten für Erneuerungen der Dachhaut mit einhergehender Dachdämmung können in Abhängigkeit von der äquivalenten Dämmdicke gemäß Tabelle 11 ermittelt werden.

---

<sup>12</sup> Die abgeleitete Ausgleichsfunktion wird um den Schwerpunkt der Punktwolke derart gedreht, dass sie einen plausibel erscheinenden Anstieg aufweist. Die Approximation der Ursprungsdaten durch die Kostenfunktion verschlechtert sich hierbei etwas. Nötigenfalls wird auch das Kostenniveau angepasst (Verschieben entlang y-Achse zur Vermeidung von Ergebnissen < 0).

Tabelle 11 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Erneuerung der Dachhaut mit einhergehender Dämmung

Maßnahme				
<b>M</b>	Dachdämmung und Erneuerung der Dachhaut			
	Die Kosten enthalten in jedem Fall <ul style="list-style-type: none"> <li>den Abbruch der bestehenden Dachhaut,</li> <li>die Montage bzw. das Verlegen der Dämmschicht mit Dampfspererschicht,</li> <li>die Erstellung der neuen Dachhaut einschließlich aller Anschlüsse/Durchführungen.</li> </ul> Zusätzlich enthalten die Kosten in mittleren Anteilen die folgenden Leistungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Unterkonstruktion der Dachhaut</li> <li>ggf. Anpassung der Dachkonstruktion zur Aufnahme des Dämmmaterials</li> <li>einzelne Reparaturen der bestehenden Dachkonstruktion</li> <li>De- und (Wieder-)Montage von dachmontierten Elementen</li> </ul> Nicht berücksichtigt werden <ul style="list-style-type: none"> <li>der Einbau von Dachfenstern,</li> <li>der vollständige Abbruch und die Wiedererrichtung des tragenden Dachaufbaus (Dachstuhl, Massivdach, etc.).</li> </ul>			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, flächenspezifisch</b>	<b>[€/m²]</b>	$k_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{V,M,2} * d$ $k_{V,M} = 115 \frac{€}{m^2} + 1,9 \frac{€}{m^2 * cm} * d$		
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = A * k_{V,M}$		
<b>Energetisch bedingte Kosten, flächenspezifisch</b>	<b>[€/m²]</b>	$k_{E,M} = k_{E,M,1} + k_{E,M,2} * d$ $k_{E,M} = 1,9 \frac{€}{m^2 * cm} * d$		
<b>Energetisch bedingte Kosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{E,M} = A * k_{E,M}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>d</b>	<b>[cm]</b>	äquivalente Dämmdicke für eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$	6...31	6...35
<b>A</b>	<b>[m²]</b>	Dämmfläche nach Aufmaß	5 <sup>1)</sup> ...1.800	10 <sup>1)</sup> ...2.000
Parameter				
<b>k<sub>V,M,1</sub></b>	<b>[€/m²]</b>	flächenspezifische Grundkosten		<b>115</b>
<b>k<sub>V,M,2</sub></b>	<b>[€/m²cm]</b>	flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke		<b>1,9</b>
<b>k<sub>E,M,1</sub></b>	<b>[€/m²]</b>	flächenspezifische Grundkosten		<b>0</b>
<b>k<sub>E,M,2</sub></b>	<b>[€/m²cm]</b>	flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke		<b>1,9</b>
<sup>1)</sup> Die untere Grenze des Definitionsbereichs der Ursprungsdaten ist auf die differenzierte Auswertung einzelner Flächenabschnitte innerhalb größerer Dämmmaßnahmen zurückzuführen. Jedoch fallen die realen spezifischen Kosten bei sehr kleinen Dämmflächen i.d.R. deutlich höher aus, da die absoluten Maßnahmenkosten dann maßgeblich durch flächenunabhängige Positionen geprägt sein können. Daher wird für die Anwendung der Kostenfunktion eine erhöhte untere Grenze empfohlen.				

#### 4.7.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Die qualitativen Betrachtungen zur Außenwanddämmung können weitestgehend auf die Erneuerung der Dachhaut mit einhergehender Dämmung übertragen werden.

Es ist ein linearer Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke zu erwarten. Für die Vollkosten ist von einem deutlich ausgeprägten Sockelbetrag auszugehen.

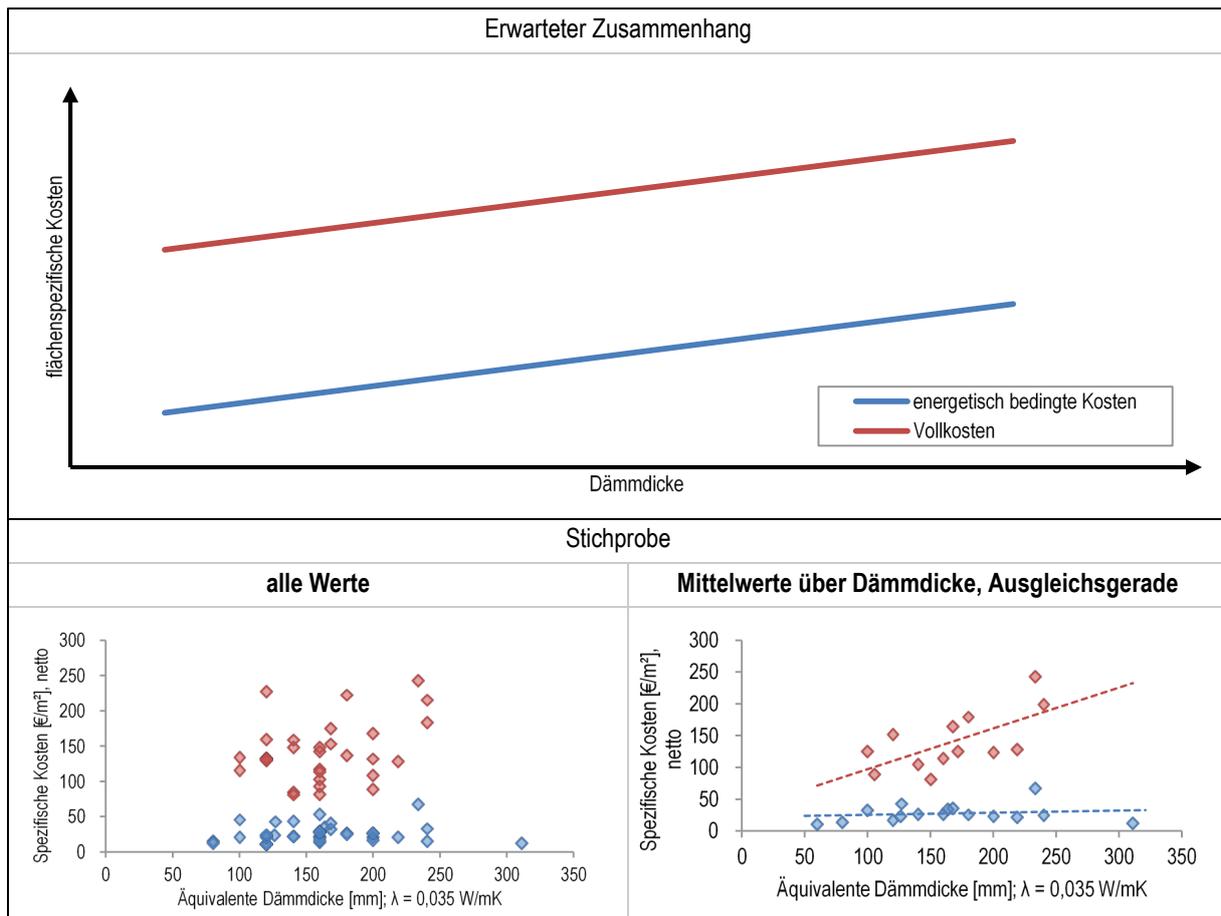


Abbildung 22 Erneuerung Dachhaut und Dachdämmung – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

In den Ursprungsdaten ist praktisch keine Abhängigkeit der Kosten von der Dämmdicke zu erkennen. Lediglich in der komprimierten Stichprobe zeigt sich die erwartete Abhängigkeit in den Vollkostenwerten; doch auch hier muss eher vom Effekt zufälliger Einflüsse ausgegangen werden als von einer belastbaren Abhängigkeit. Die Auswertung dieser Maßnahme allein erlaubt keine Ableitung belastbarer Kostenfunktionen. Diese können lediglich anhand des idealisierten Kostenmodells sowie des Wissens aus der Auswertung ähnlicher Maßnahmen (besonders WDVS) konstruiert werden – hierfür bieten die ausgewerteten Kostendaten zu Erneuerungen der Dachhaut allerdings eine gute Grundlage.

### Kostenniveau

Die beispielhaften Literaturvergleiche zeigen deutliche Abweichungen untereinander sowie teilweise auch zur vorliegenden Arbeit.

IWU [4] bestimmt für die exemplarisch betrachteten Dämmdicken bei sehr ähnlichem Maßnahmenumfang merklich höhere Vollkosten. Hinsichtlich der energetisch bedingten Kosten sind beide Studien vergleichbar. Ähnlich wie die vorliegende Studie weist auch IWU auf eine sehr hohe Wertestreuung und eine relativ schwache Korrelation zwischen Dämmdicke und Kosten hin.

Auf Grundlage der beispielhaft zusammengestellten Maßnahmen

- Witterungsschutz/Dachplane,
- Dampfsperre,
- Zwischensparrendämmung,
- Unterspannbahn,
- Konterlattung,
- Dachlattung und

- Deckung in Flachziegel

ist nach BKI [5] ein deutlich geringeres Kostenniveau anzusetzen als in der vorliegenden Studie ermittelt wird. Werden allerdings noch Demontage- und Abbrucharbeiten, Mehraufwand für Bauteilanschlüsse sowie Rand-/Detailausbildung aufgeschlagen, dürften sich ähnliche Vollkosten ergeben. Darüber hinaus bieten die BKI-Baukosten einen sehr großen Variationsbereich hinsichtlich des Maßnahmenumfangs und der konkreten Ausführung (z.B. durch eine andere Dacheindeckung) – somit könnten nach BKI auch deutlich höhere Kosten ermittelt werden. Hinsichtlich der energetisch bedingten Kosten dürfte sich eine recht gute Übereinstimmung ergeben, wenn berücksichtigt wird, dass den beispielhaft nach BKI ermittelten Werten noch Anteile für baulichen Mehraufwand, wie z.B. eine Sparrenaufdopplung, aufgeschlagen werden müssen.

Sowohl die vorliegende Studie als auch die beispielhaft aufgeführten Quellen zeigen, dass die Kosten einer Erneuerung der Dachhaut nur in geringem Maße durch eine einhergehend ausgeführte Dämmmaßnahme beeinflusst werden. Oft sind hier andere Positionen kostenbestimmend, besonders

- Demontage- und Abbruch der vorhandenen Abdichtung oder Eindeckung und ggf. Dämmschicht (z.T. erhöhter Aufwand wegen Schadstoffbelastung),
- Arbeiten an der Dachkonstruktion und
- die Erneuerung der Abdichtung oder Eindeckung.

Tabelle 12 Dachhaut + Dämmung, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]	Vollkosten [€/m <sup>2</sup> ], netto			
	Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6]	BKI Baukosten [5]
10	<b>144</b>	171	-	78...99
14	<b>142</b>	181	-	
20	<b>153</b>	195	-	80...106

Tabelle 13 Dachhaut + Dämmung, energetisch bedingte Kosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]	Energetisch bedingte Kosten [€/m <sup>2</sup> ], netto			
	Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6]	BKI Baukosten [5]
10	<b>19</b>	19	-	17...22
14	<b>27</b>	26	-	
20	<b>38</b>	38	-	19...29

#### 4.8 Dämmungen von Dächern: Unterscheidung Flach-/Schrägdach

In den vorangehend untersuchten Maßnahmen zur Dämmung von Dächern von innen 4.5 bzw. im Zuge einer Erneuerung der Dachhaut 4.7 wird nicht hinsichtlich der Dachneigung, des konstruktiven Dachaufbaus oder der Ausführung der Dachhaut unterschieden. Die Autoren sehen zum jetzigen Zeitpunkt aus mehreren Gründen von einer entsprechenden Differenzierung ab:

- Die jeweils verfügbaren Stichproben fallen relativ klein aus. Durch weitere Differenzierung würden sich noch kleinere und weniger belastbare Teilstichproben ergeben.

- Die ausgewerteten Kostendaten lassen nicht in jedem Fall sicher Rückschluss auf Dachneigung und -konstruktion.
- Die Stichproben erlauben in ihren derzeitigen Umfängen keine belastbare Zuordnung zwischen konstruktivem Aufbau, Art der Dachhaut und Dachneigung.

Im Rahmen einer Fortschreibung und Pflege der hier begonnen Kostenauswertung kann eine entsprechende Differenzierung zu einem späteren Zeitpunkt in Betracht gezogen werden, falls dann größere Stichproben für Kosten von Dachdämmungen verfügbar sind.

## 4.9 Dämmung der Kellerdecke

### 4.9.1 Kostenstruktur

Die Dämmung von Kellerdecken lässt sich im Wesentlichen mit dem allgemeinen Kostenmodell nach 3.1 beschreiben. Abweichend zu diesem weist sie jedoch keine Ohnehinkosten auf, da die Maßnahme praktisch immer allein der energetischen Verbesserung dient.

Hinsichtlich der energetischen und kostenmäßigen Beurteilung von Kellerdecken-Dämmungen kommen mehrere potenzielle Einflüsse infrage, besonders:

- das Dämmsystem bzw. der Aufbau, wie
  - Dämmung von unten durch Kleben/Dübeln oder Einbringen des Dämmmaterials in eine Unterkonstruktion
  - Dämmung von oben zwischen Kellerdecke unter Estrich
- die notwendige Menge des Dämmstoffs
  - Dämmfläche
  - Dämmdicke
- die Art des Dämmstoffs
  - Material
  - Wärmeleitwert

Die für Dämmmaßnahmen in Rechnung gestellten Kosten beruhen üblicherweise wesentlich auf flächenspezifischen Einheitspreisen, wobei i.d.R. keine Mengenstaffelung zu erkennen ist. Hinsichtlich der bloßen Dämmstoffkosten kann für konventionelle, quasihomogene Dämmstoffe näherungsweise von konstanten volumenspezifischen Preisen ausgegangen werden. Zusätzlich können sich Kosten für vorbereitende Arbeiten, ggf. Estrich/Fußbodenaufbau, etc. ergeben.

In Hinblick auf die Anwendung mit dem Ziel der Erfüllung von energetischen Anforderungen sind besonders die Dämmdicke und der Wärmeleitwert von Bedeutung. Hinsichtlich des Wärmeleitwertes besteht erfahrungsgemäß nur relativ geringer Spielraum bei marktüblichen Dämmösungen. Der Variationsbereich eingesetzter Dämmdicken ist dagegen vergleichsweise ausgeprägt. Eine Beurteilung der spezifischen Kosten auf Grundlage der Dämmdicke (Variable) erscheint daher sinnvoll. Unterschiedliche Wärmeleitwerte können zweckmäßig durch Umrechnung der tatsächlichen in eine äquivalente Dämmdicke berücksichtigt werden.

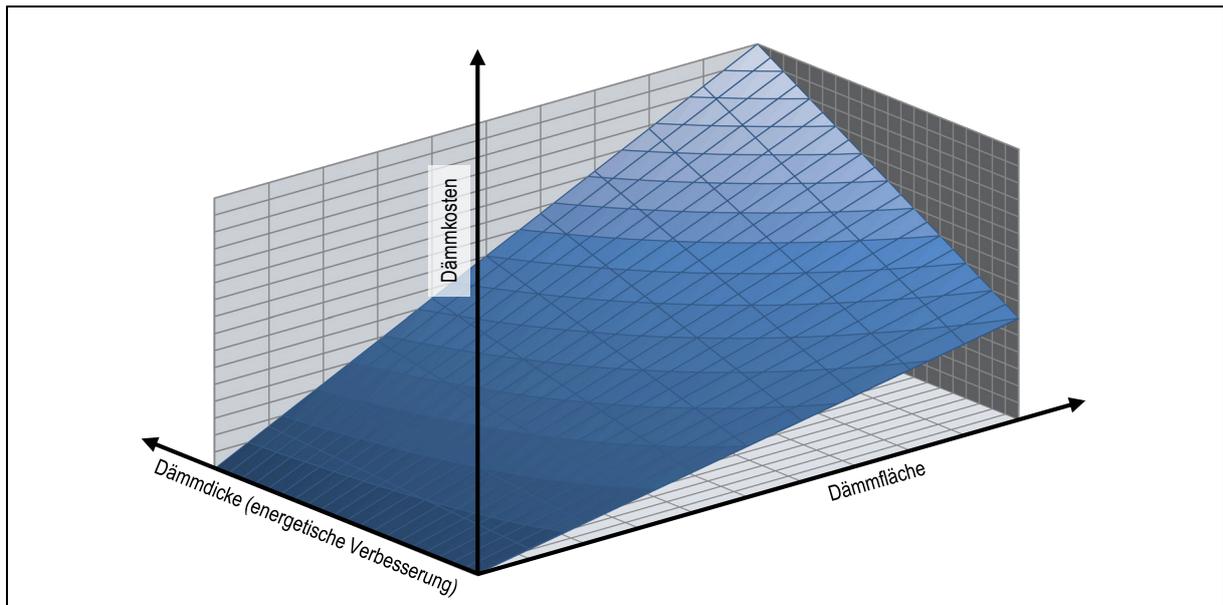


Abbildung 23 Absolute Kosten KD-Dämmung von unten in Abhängigkeit von Dämmfläche und Dämmdicke (vgl. auch Abbildung 1), qualitativ

#### 4.9.2 Datenauswertung

In die Auswertung wurden 13 Datensätze für die nachträgliche Dämmung von Kellerdecken von unten einbezogen.

Die Kosten für die Dämmung der Kellerdecke von unten dienen ausschließlich der energetischen Ertüchtigung. Sie umfassen

- Vorarbeiten (Reinigen, ggf. Grundieren, etc.),
- die Montage der Dämmung, i.d.R. durch Kleben und/oder Dübeln,
- Zuschnittarbeiten zur Anpassung der Dämmschicht an bestehende Haustechnik-Installation (vorwiegend unter der Decke verlegte Rohre),
- ggf. eine unterseitige Beschichtung der Dämmung<sup>13</sup> (Spachteln, Anstrich, z.T. Armierung, etc.).

Informativ werden zusätzlich die Kosten von Dämmungen von Kellerdecken von oben ( $n = 5$ ) dargestellt, wobei aufgrund der sehr kleinen Stichprobe und der hohen Streuungen bei Dämmmaßnahmen (vgl. u.a. 4.3.2) nicht von belastbaren Ergebnissen auszugehen ist. Die ausgewerteten Kosten beinhalten

- die Montage/Verlegung des Dämmmaterials (ggf. getrennt als Wärme- und Trittschalldämmung ausgeführt) und ggf. notwendiger Sperr- und Gleitschichten,
- die Verlegung des Randdämmstreifens sowie
- die Erstellung des Estrichs (ohne Bodenbelag) auf der Dämmung.

Es werden die flächenspezifischen Dämmkosten<sup>14</sup> für eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$  unter Bezug auf Aufmaßflächen nach Leistungsverzeichnissen bzw. Schlussrechnungen ausgewertet (vgl. 4.2.3); bei einem Bezug der Kosten auf die tatsächlich gedämmten Flächen ist von einem tendenziell höheren spezifischen Kostenniveau auszugehen als hier ermittelt.

<sup>13</sup> Die Leistungsumfänge der berücksichtigten Dämmmaßnahmen sind nicht in allen Fällen ausführlich beschrieben; z.T. wurden Leistungen sehr pauschal abgerechnet und Mehrkosten für eine Beschichtung nicht separat ausgewiesen.

<sup>14</sup> Auf eine Mittelwertbildung über den in der Stichprobe vorkommenden Dämmdicken, wie sie für die anderen im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten Dämmmaßnahmen vorgenommen wurde (vgl. 4.3.2), wird aufgrund der ohnehin sehr geringen Stichprobengröße verzichtet.

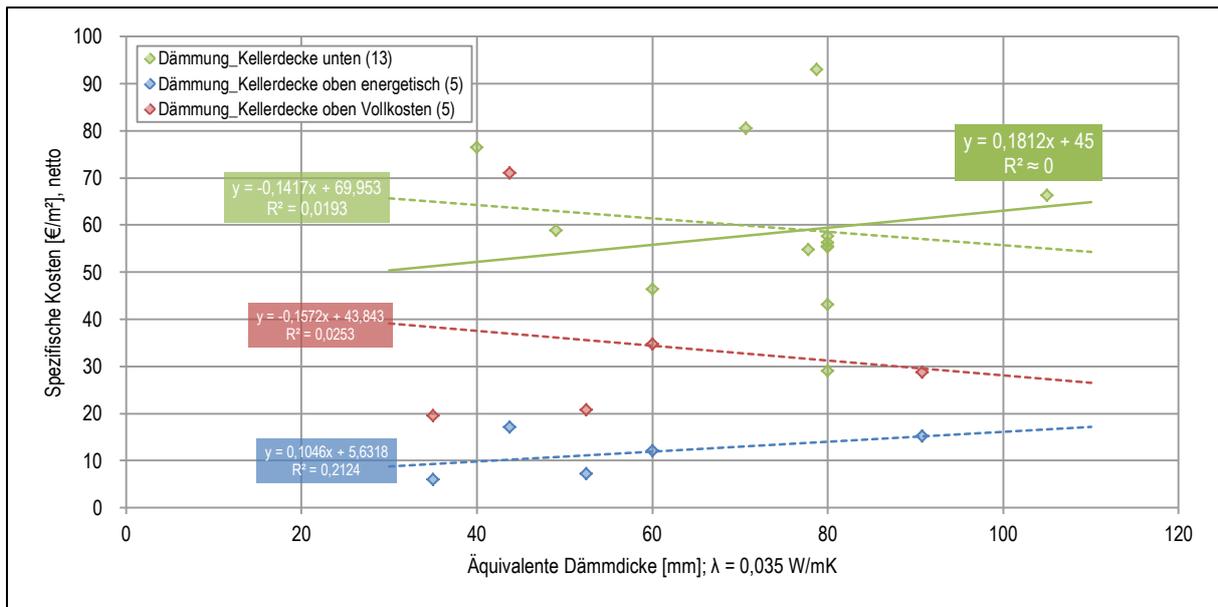


Abbildung 24 Grafische Auswertung: flächenspezifische Dämmkosten Kellerdecke in Abhängigkeit von Dämmdicke, angepasste Kostenfunktionen

Die Stichproben weisen praktisch keine Korrelation zwischen Dämmdicke und -kosten auf. Sie lassen daher nur einen Rückschluss auf das ungefähre Kostenniveau im dargestellten Dämmdicken-Bereich zu. Zur Abbildung des Kosteneinflusses der Dämmdicke, wird sich an den Kostenfunktionen für Außenwanddämmungen und begehbare Dämmungen von obersten Geschossdecken orientiert, da der Mehraufwand bei steigender Dämmdicke hier zumindest ähnlich ausfallen sollte.

Die spezifischen Kosten für eine nachträgliche Dämmung der Kellerdecke von unten können mit festen Kosten von 45 €/m<sup>2</sup> und zusätzlichen dämmdickenbezogenen Kosten von 1,8 €/m<sup>2</sup>cm überschlagen werden.

Als Dämmmaterial überwiegt Mineralwolle (n = 9); auch verarbeitet wurden EPS-Platten (n = 3) und Zellulose (n = 1, Kosten einschließlich Unterkonstruktion).

#### 4.9.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten für eine nachträgliche Dämmung der Kellerdecke von unten können überschlägig gemäß Tabelle 14 bestimmt werden.

Tabelle 14 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Dämmung der Kellerdecke von unten

Maßnahme	
<b>M</b>	Dämmung der Kellerdecke von unten Die Kosten enthalten in jedem Fall <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Montage der Dämmschicht, i.d.R. durch Kleben/Dübeln</li> <li>• Anpassung der Dämmschicht an TGA-Installation/Rohrleitungen</li> </ul> Zusätzlich enthalten die Kosten in mittleren Anteilen die folgenden Leistungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschichtung der Dämmschicht von unten, z.B. durch Armierung und Anstrich bzw.</li> <li>• Mehrkosten für kaschierte Dämmung / Verbundplatten oder</li> <li>• beplankte Unterkonstruktion mit eingelegter/eingeblasener Dämmung</li> <li>• Innendämmung an Außenwänden zur Verringerung von Wärmebrücken</li> </ul>
Kostenfunktion(en)	
Vollkosten, flächenspezifisch	$k_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{V,M,2} * d$ $k_{V,M} = 45 \frac{€}{m^2} + 1,8 \frac{€}{m^2 * cm} * d$
Vollkosten, absolut	$K_{V,M} = A * k_{V,M}$
Variable	
<b>d</b>	$[cm]$ äquivalente Dämmdicke für eine Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 W/mK$
<b>A</b>	$[m^2]$ Dämmfläche nach Aufmaß
	Definitionsbereich Ursprungsdaten: 4...10,5 Empfohlene Anwendungsgrenzen: 4...12
	Definitionsbereich Ursprungsdaten: 40...815 Empfohlene Anwendungsgrenzen: 10...1.000
Parameter	
$k_{V,M,1}$	$[€/m^2]$ flächenspezifische Grundkosten
$k_{V,M,2}$	$[€/m^2cm]$ flächenspezifische Mehrkosten je cm Dämmdicke
	45 1,8

#### 4.9.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Die qualitativen Betrachtungen zur Außenwanddämmung können weitestgehend auf Dämmungen von Kellerdecken von unten übertragen werden. Im Gegensatz zu Außenwanddämmungen fallen bei der Dämmung der Kellerdecke von unten keine Ohnehinkosten an – die Maßnahme dient allein der energetischen Verbesserung.

Es ist ein linearer Kostenanstieg mit zunehmender Dämmdicke zu erwarten; ein Sockelbetrag kann, aber muss nicht deutlich ausgeprägt sein.

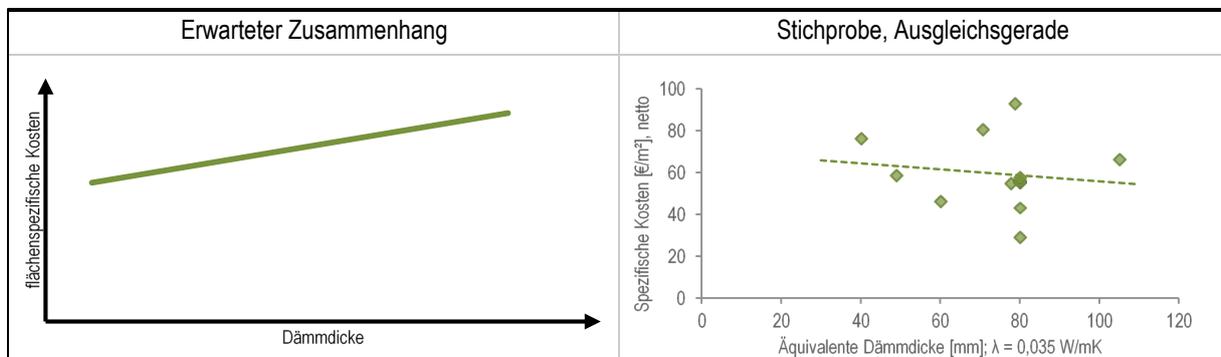


Abbildung 25 Dämmung der Kellerdecke von unten – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

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 im gegebenen Variationsbereich der Dämmdicke zu schätzen. Für die Konstruktion einer Funktion zur Kostenprognose wird der Anstieg an Dämmmaßnahmen mit ähnlichem Mehraufwand bei steigender Dämmdicke angepasst.

### Kostenniveau

Die IWU-Studie [4] führt die unterseitige Dämmung von Kellerdecken in den Varianten *ohne Bekleidung* und *mit Bekleidung* auf. Jedoch liegen auch die Kosten der teureren Variante mit Bekleidung merklich unter den nach vorliegender Studie ermittelten Kosten. Hier können sich spezifische Unterschiede zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden bemerkbar machen – z.B. höherer Mehraufwand zur Anpassung der Dämmung an die vorhandene Haustechnik. Auch IWU stellt fest, dass die ausgewerteten Kostenaufstellungen nicht in jedem Fall eindeutig auszuwerten bzw. zuzuordnen sind. Jedoch ist auch festzuhalten, dass die Stichprobe der vorliegenden Studie deutlich kleiner ausfällt als die IWU vorliegende Stichprobe.

Das Merkblatt 52 [6] gibt lediglich Dämmstoffkosten für eine ausgewählte Dämmdicke an. Werden diese in Anlehnung an dieselbe Quelle so erhöht, dass die Montage durch einen Handwerker inbegriffen ist, ergibt sich ein Kostenniveau, welches unter den Werten der vorliegenden Studie und unter den Vergleichswerten nach IWU liegt. Würden allerdings noch Mehrkosten für eine Beschichtung der Dämmung von unten, umfangreiche Zuschnittarbeiten und Wandanschlüsse berücksichtigt, könnte sich ein ähnliches Kostenniveau ergeben.

Die beispielhaft betrachteten Literatur-Vergleichswerte beschreiben ein merklich niedrigeres Kostenniveau als die Kostenfunktion der vorliegenden Studie. Jedoch sind beide Quellen auf die Anwendung im Wohngebäudebereich zugeschnitten, während in der vorliegenden Studie mit überwiegender Mehrheit<sup>15</sup> Maßnahmen an Nichtwohngebäuden betrachtet werden. Angesichts der üblicherweise umfangreicheren und komplexeren Haustechnik<sup>16</sup> in vielen Nichtwohngebäuden erscheint es plausibel, dass die nachträgliche Dämmung der Kellerdecke hier höheren Aufwand verursacht.

Tabelle 15 Dachhaut + Dämmung, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Dämmdicke [cm]	Vollkosten [€/m <sup>2</sup> ], netto		
	Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6] • nur Dämmplatten kleben (lassen)
6	56	28...42	-
10	63	32...47	ca. 20...25
12	67	34...49	-

## 4.10 Fenster, Einbau

### 4.10.1 Kostenstruktur

Fenster werden üblicherweise nach Ausführung und Größe des Fensters abgerechnet. Wesentliche energetische und kostenrelevante Einflüsse finden sich damit

- in der Ausführung des Rahmens,
  - PVC, Holz, Aluminium, z.T. Mischformen,
  - z.T. Ausführung als Mehrkammerprofile, ggf. mit Dämmeinlagen,
  - 2 oder 3 Dichtungsebenen

<sup>15</sup> Unter den in die Auswertung einbezogenen Bundesliegenschaften befinden sich vereinzelt auch Wohngebäude oder Gebäude mit wohnähnlicher Nutzung, z.B. Dienstwohnungen. Mehrheitlich wurden jedoch Maßnahmen an Nichtwohngebäuden – Bürogebäuden, kleinere Hallenbauten, etc. – ausgewertet.

<sup>16</sup> z.B. höhere Anzahl von Heizkreisen, ggf. Lüftung/Klimatisierung, z.T. höherer Leistungsbedarf und andere Leitungsdimensionen, etc.

- in der Ausführung der Verglasung,
  - 2-fach, 3-fach,
  - Beschichtungen, etc.,
  - Gasfüllung

Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass ein gewisser Anteil an weitgehend statischen Grundkosten, z.B. zur Baustelleneinrichtung, in die Einheitspreise einkalkuliert ist.

Die Kosten für den Einbau von Fenstern können somit anschaulich in drei Bestandteile unterteilt werden:

- Grundkosten
- Umfangskosten
- Flächenkosten

Die Kosten eines Fensterelements in Abhängigkeit von der Fenstergröße (Fläche) und -geometrie sowie der Einfluss von Umfangs- und Flächenkosten sind qualitativ in Abbildung 26 dargestellt.

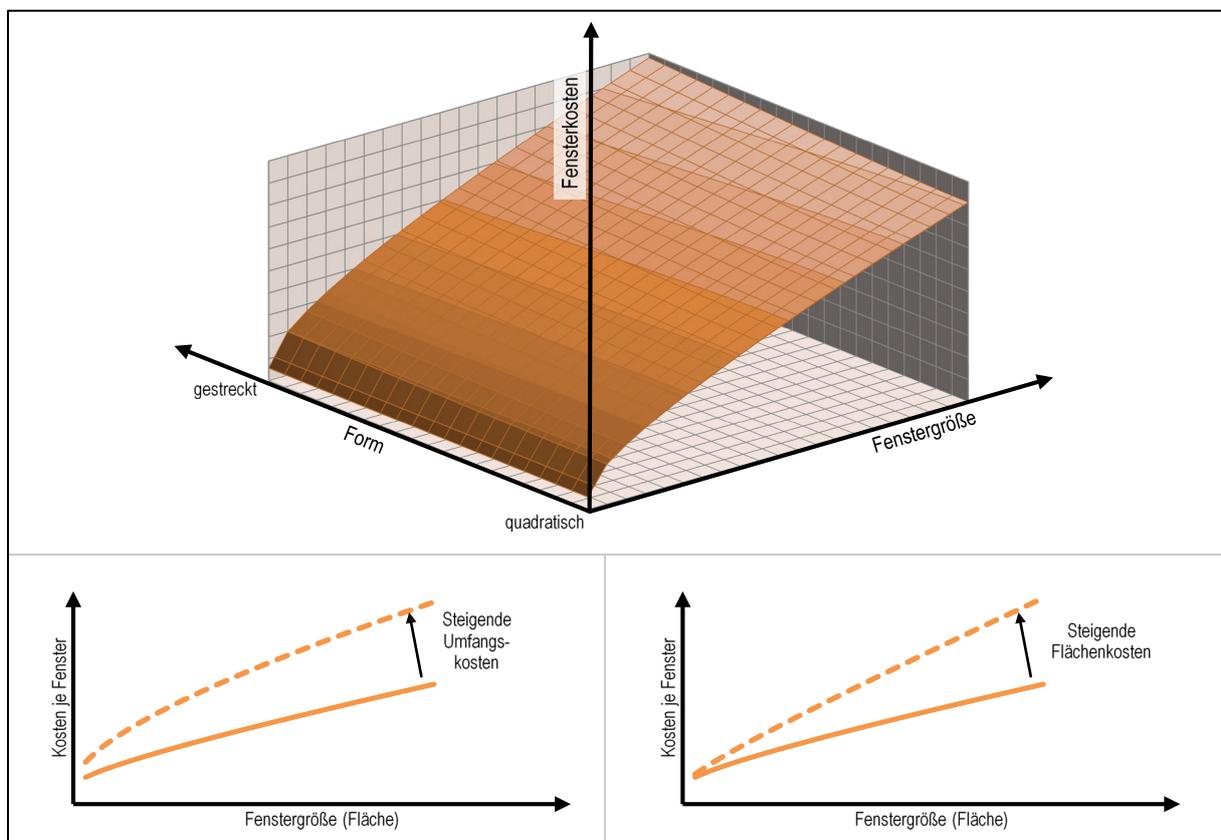


Abbildung 26 Absolute Kosten Fensterelemente in Abhängigkeit von Größe und Geometrie (oben), Einfluss von Umfangs- und Flächenkosten (unten), qualitativ

#### 4.10.2 Datenauswertung

In die Auswertung sind 513 Datensätze<sup>17</sup> einbezogen. Ausgewertet werden die Kosten je Fensterelement über der Fenstergröße für verschiedene U-Wert-Bereiche auf Basis einer nach Fenstergröße klassifizierten Stichprobe<sup>18</sup>.

Die ausgewerteten Kosten umfassen

<sup>17</sup> Ein Datensatz entspricht einer Ausführung und Größe eines Fensters innerhalb eines Angebots bzw. innerhalb einer Schlussrechnung. Ein Datensatz kann mehrere identische Fenster beinhalten. Die Anzahl identischer Fenster geht als Gewicht jedes Datensatzes in die Auswertung ein.

<sup>18</sup> In vorigen Auswertungsschritten wurde die unkomprimierte Stichprobe untersucht – diese zeigte sich aufgrund sehr hoher Wertestreuungen und deutlicher Kostenüberlappungen der verschiedenen U-Wert-Bereiche jedoch nur relativ schlecht auswertbar.

- den Einbau der Fenster einschließlich Montagematerial sowie
- den Anschluss an den Baukörper (Randdämmung, Abdichtung, ggf. Anputzleisten<sup>19</sup>) und
- z.T. Arbeiten an den äußeren Fensterbänken, soweit pauschal eingepreist.

Nicht einbezogen wurden Kosten für energetisch wenig oder nicht relevante Ausstattung, wie

- Sicherheitsverglasung/-beschläge,
- Glasbruchmelder,
- Ornamentverglasung,
- innere Fensterbänke, etc.

so weit wie dies möglich war; ebenso Kosten für separate Sonnenschutzeinrichtungen.

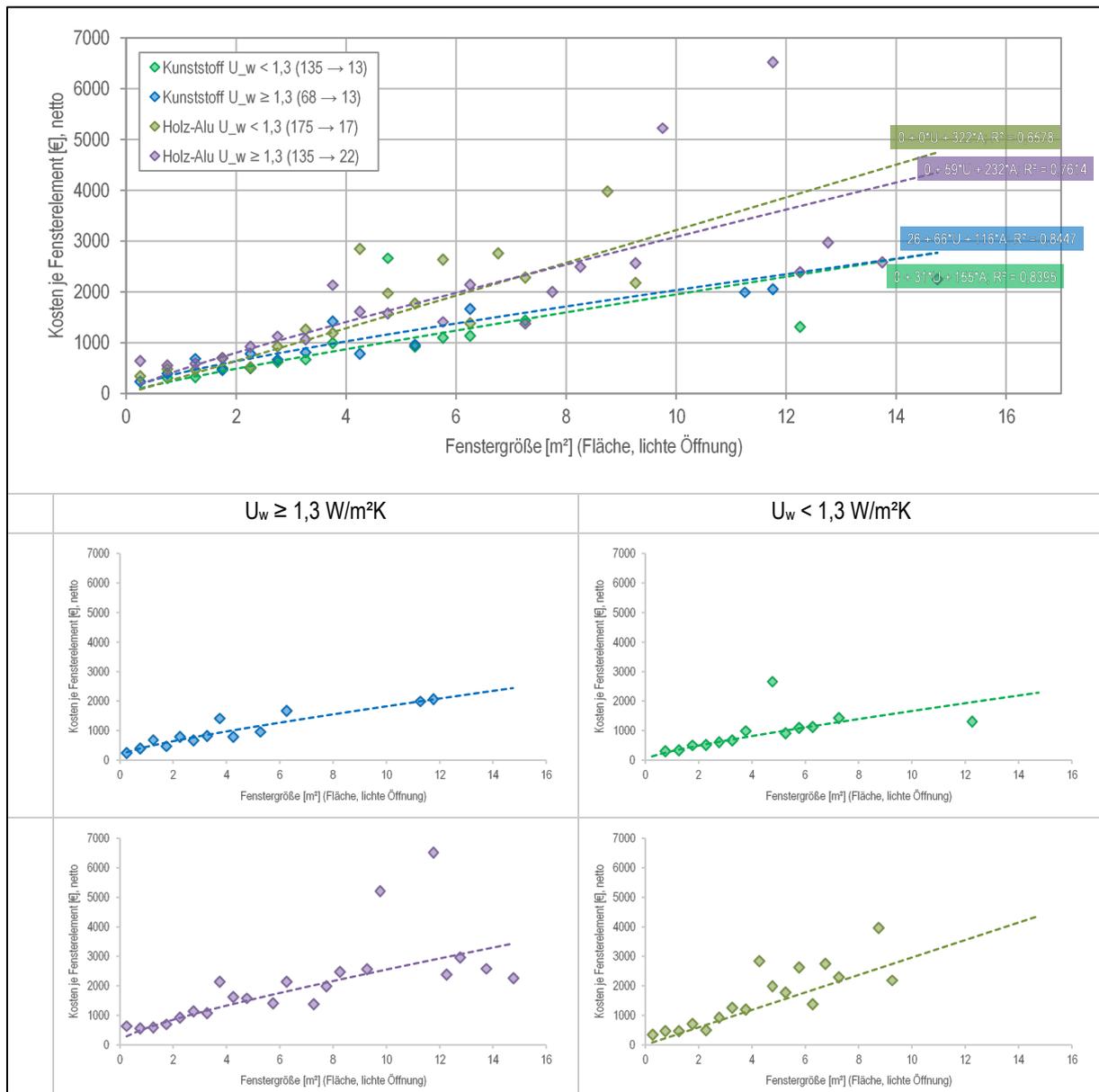


Abbildung 27 Grafische Auswertung: Fensterkosten in Abhängigkeit von Fenstergröße und U-Wert, klassifiziert  $\Delta A = 0,5 \text{ m}^2$

<sup>19</sup> Sofern durch Fensterbauer eingebaut (vgl. auch Kostenbeispiel Fassadendämmung Anhang 2)

Gemäß Auswertung ist der wesentlichste Kostenparameter im Rahmenmaterial zu suchen. So zeigen sich große Unterschiede zwischen Fenstern mit Rahmen aus Kunststoff und Fenstern mit Holz-, Aluminium- sowie Holz-Aluminiumrahmen.

Für eine Differenzierung nach energetischer Qualität werden U-Wert-Klassen betrachtet. Bei Optimierung der Ausgleichsfunktionen ohne die Definition sinnvoller Randbedingungen ergeben sich nicht plausible Zusammenhänge. Kunststoff-Fenster mit hohen U-Werten fallen in der Stichprobe teurer aus als solche mit kleinen U-Werten. Für Holz-/Aluminium-Fenster scheint die energetische Qualität keinen wesentlichen Einfluss auf das Kostenniveau zu haben.

Für dieses Verhalten können mehrere potenzielle Ursachen aufgeführt werden:

- Die Mehrkosten für energetisch bessere Ausführungen<sup>20</sup> von Fenstern werden durch andere, gewichtigere Kosteneinflüsse überlagert – hierfür spricht auch die recht große Wertestreuung der Ursprungsdaten.
- Hinsichtlich der zeitlichen Preisentwicklung von Fenstern ist derzeit noch von einer recht hohen Dynamik auszugehen<sup>21</sup>. Diese ist möglicherweise mit den hier verwendeten allgemeinen (Zeit-)Korrekturfaktoren nur relativ schlecht zu erfassen.

Im Sinne belastbarer und plausibler Kostenprognosen werden die Kostenfunktionen unter sinnvollen Randbedingungen angepasst:

- Fenster mit  $U_w < 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  müssen mehr kosten als solche mit  $U_w \geq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Ausführungen mit Holz-/Aluminiumrahmen müssen mehr kosten als Kunststoff-Fenster.
- Mehrkosten für die jeweils energetisch bessere Klasse können für ohnehin teurere Fenster höher ausfallen.
- Soweit einhaltbar, soll sich die Approximation der Stichprobe(n) nicht wesentlich verschlechtern ( $R^2 \geq 0,6$ )

<sup>20</sup> In wenigen Einzelfällen wurden Mehrkosten für eine Ausführung in 3-fach-Verglasung separat ausgewiesen – hiernach wird der Wechsel von 2-fach- auf 3-fach-Verglasung in einigen Fällen für ca. 30 €/m<sup>2</sup> angeboten.

<sup>21</sup> Es wurden Maßnahmen zwischen 2007 und 2012 berücksichtigt.

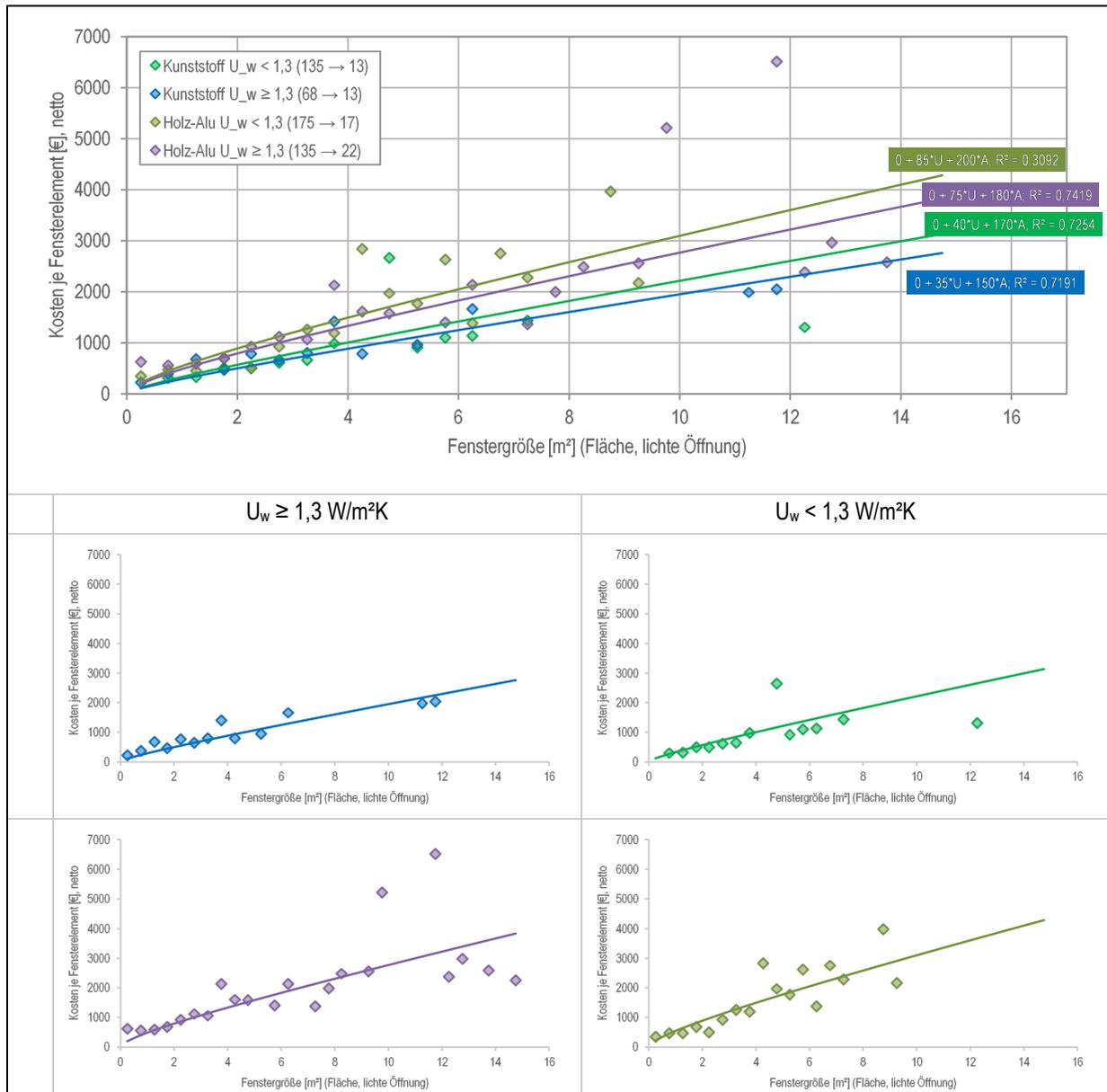


Abbildung 28 Grafische Auswertung: Fensterkosten in Abhängigkeit von Fenstergröße und U-Wert, klassifiziert  $\Delta A = 0,5 \text{ m}^2$ , angepasste Kostenfunktionen

Interessanterweise gelingt eine Unterscheidung zwischen Fenstern mit Kunststoffrahmen und den i.d.R. deutlich teureren Holz-/Aluminium-Fenstern nicht durch alleinige Anpassung der Umfangskosten – besonders die Flächenkosten müssen stark erhöht werden. Möglicherweise werden in Verbindung mit hochpreisigeren Rahmenprofilen überwiegend auch teurere Verglasungen eingesetzt.

Eine noch verhältnismäßig gute Korrelation zwischen Fenstergröße und -kosten für alle betrachteten Kostenfunktionen unter plausiblen Kostenabständen zwischen den Funktionen ergibt sich bei Grundkosten nahe 0 €; je nach Material und Ausführung kann mit Umfangskosten zwischen 35 und 85 €/m sowie Flächenkosten zwischen 150 und 200 €/m<sup>2</sup> gerechnet werden<sup>22</sup>.

Angesichts der auch heutzutage wahrscheinlich noch recht dynamischen Preisentwicklung bei Fenstern – Fenster gleichen Niveaus werden tendenziell günstiger bzw. es können für denselben Preis heute tendenziell

<sup>22</sup> Unter den aufgeprägten sinnvollen Randbedingungen ergibt sich eine Vielzahl möglicher Lösungen für das vorliegende Approximationsproblem, welche ähnlich gute Korrelationen zwischen Fenstergröße und -kosten aufweisen. Die Autoren haben eine mögliche Lösung gewählt, welche dem Kostenmodell für Fenster folgt (Abbildung 26) und die Mehrkosten energetisch besserer Fenster zumindest tendenziell erfasst.

bessere Fenster erworben werden – kann die vorgenommene Differenzierung der Stichprobe nach U-Wert-Klassen für Kostenprognosen zukünftiger Maßnahmen wie folgt interpretiert werden:

- Klasse  $U_w \geq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die aus dieser Klasse abgeleiteten Kostenfunktionen sollten heutzutage bzw. in der näheren Zukunft für Fenster herangezogen werden können, welche dem Niveau des Referenzgebäudes nach EnEV<sup>23</sup> entsprechen.

- Klasse  $U_w < 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die aus dieser Klasse abgeleiteten Kostenfunktionen können zur Kostenprognose für Fenster herangezogen werden, welche das Niveau des Referenzgebäudes nach EnEV übertreffen. Es kann von einem mittleren U-Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ausgegangen werden, wobei verschiedene Maßnahmen zur Verringerung des U-Wertes einzeln oder auch in Kombination auftreten können, wie z.B.

- 3- statt 2-fach-Verglasung,
- verbesserter Randverbund („warme Kante“),
- Mehrkammer- oder gedämmte Rahmenprofile,
- energetisch günstigere Gasfüllung (Krypton statt Argon) und
- unterschiedliche selektive Beschichtungen.

Die ausgewerteten Kosten für den Einbau von Fensterelementen beinhalten nicht die Kosten für die Demontage- und Entsorgung abgängiger Fenster – diese sind ggf. aufzuschlagen. Die Demontage und fachgerechte Entsorgung abgängiger Fensterelemente kann näherungsweise zu  $35 \text{ €/Fenster}$  zuzüglich  $19 \text{ €/m}^2$  je  $\text{m}^2$  Fensterfläche angesetzt werden.

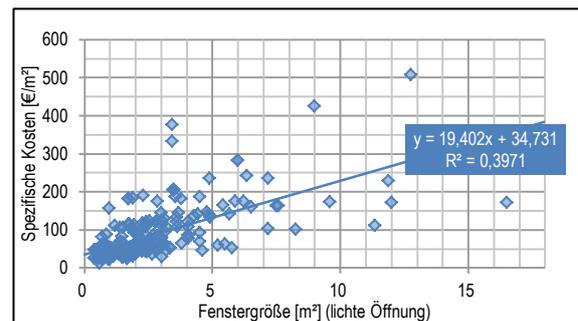


Abbildung 29 Demontagekosten über der Fenstergröße

#### 4.10.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten für den Einbau von Fenstern können in Abhängigkeit von der Fenstergröße, ggf. -geometrie und der Ausführung gemäß Tabelle 16 geschätzt werden. Die mittleren Kosten für Demontage und Entsorgung von Fensterelementen können nach Tabelle 17 ermittelt werden.

<sup>23</sup> Im Referenzgebäude für Wohngebäude mit Raumtemperaturen  $\geq 19 \text{ °C}$  sowie Nichtwohngebäude gemäß EnEV 2009 ist für Außenfenster ein U-Wert des Fensterelements von  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  vorgegeben. Dies wurde in der 2013 verabschiedeten Novellierung der EnEV beibehalten.

Tabelle 16 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Einbau von Fenstern

Maßnahme				
<b>M</b>	Einbau von Fensterelementen Die Kosten umfassen die Herstellung, Lieferung und Montage von Fenstern einschließlich Montage-, Dicht- und Dämmmaterial.			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, stückbezogen</b>	<b>[€/Stk]</b>	$k_{V,M} = k_{V,M,1} * U + k_{v,M,2} * A$ $k_{V,M} = 35 \frac{€}{m * Stk} * U + 150 \frac{€}{m^2 * Stk} * A$ (Kunststoff 1)		
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = n * k_{V,M}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>U</b>	<b>[m]</b>	Umfang eines Fensterelements (lichte Maueröffnung) U kann überschlägig mit $U = 4 * \sqrt{A}$ ermittelt werden.	0,5...25	-
<b>A</b>	<b>[m²]</b>	Größe eines Fensterelementes (lichte Maueröffnung)	0,3...15	0,3...10
<b>n</b>	-	Anzahl der Fensterelemente	1...970	-
Parameter				
<b>k<sub>v,m,1</sub></b>	<b>[€/m]</b>	Umfangskosten	Kunststoff, U <sub>w</sub> ≈ 1,3 W/m²K: 35 Kunststoff, U <sub>w</sub> ≈ 1,1 W/m²K: 40 Holz/Alu, U <sub>w</sub> ≈ 1,3 W/m²K: 75 Holz/Alu, U <sub>w</sub> ≈ 1,1 W/m²K: 85	
<b>k<sub>v,m,2</sub></b>	<b>[€/m²]</b>	Flächenkosten	Kunststoff, U <sub>w</sub> ≈ 1,3 W/m²K: 150 Kunststoff, U <sub>w</sub> ≈ 1,1 W/m²K: 170 Holz/Alu, U <sub>w</sub> ≈ 1,3 W/m²K: 180 Holz/Alu, U <sub>w</sub> ≈ 1,1 W/m²K: 200	

Tabelle 17 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Demontage und Entsorgung von Fenstern

Maßnahme				
<b>M</b>	Demontage und Entsorgung von Fensterelementen			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, stückbezogen</b>	<b>[€/Stk]</b>	$k_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{v,M,2} * A$ $k_{V,M} = 35 \frac{€}{Stk} + 19 \frac{€}{m^2} * A$		
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = n * k_{V,M}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>A</b>	<b>[m²]</b>	Größe eines Fensterelementes (lichte Maueröffnung)	0,3...17	0,3...20
<b>n</b>	-	Anzahl der Fensterelemente	1...990	-
Parameter				
<b>k<sub>v,m,1</sub></b>	<b>[€]</b>	Grundkosten	35	
<b>k<sub>v,m,2</sub></b>	<b>[€/m²]</b>	flächenspezifische Kosten	19	

#### 4.10.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Die Abhängigkeit der Kosten für den Einbau von Fenstern kann in guter Näherung als Addition einer linearen Funktion und einer Wurzelfunktion in Abhängigkeit von der Fenstergröße (Fläche) modelliert werden. Je nach Material und Ausführung sind Unterschiede hinsichtlich Anstieg, Krümmung und Niveau zu erwarten (Abbildung 30, links).

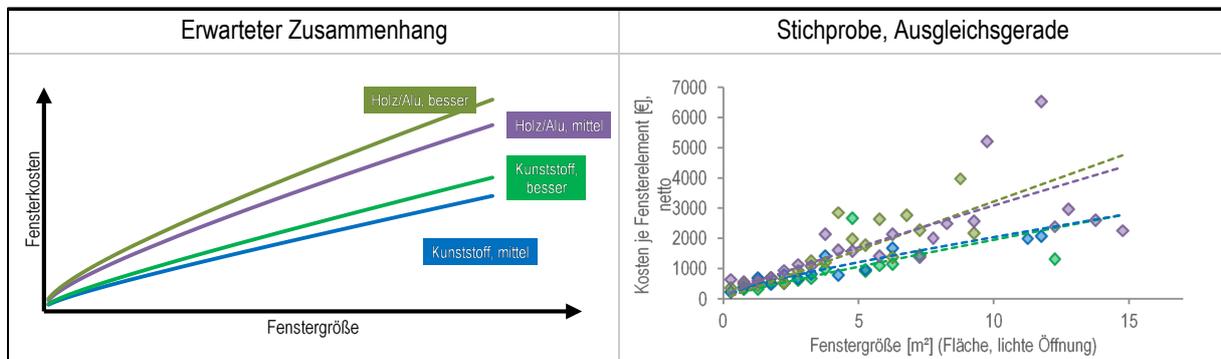


Abbildung 30 Einbau von Fenstern – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

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-/Aluminiumrahmen.

Eine Differenzierung nach energetischen Kriterien lässt sich anhand 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. Um den Einfluss energetischer Kriterien dennoch abzubilden, werden die Kostenfunktionen auf Grundlage der Ausgleichsfunktionen unter der Maßgabe sinnvoller Randbedingungen und einer noch relativ guten Approximation der Stichprobe konstruiert.

##### Kostenniveau

IWU [4] gibt flächenbezogene Fensterkosten und eine über die zugrundeliegenden Daten gemittelte Fenstergröße von ca. 1,8 m<sup>2</sup> an. Einbezogen wurden gemäß IWU Fenster mit konventionellen Holz- und Kunststoffrahmen und, entgegen der vorliegenden Arbeit, auch die Demontage und Entsorgung abgängiger Fenster.

Zwischen den nach vorliegender Studie und nach IWU ermittelten Kosten zeigen sich deutliche Abweichungen. Mit steigender Fenstergröße werden diese kleiner, jedoch wird auch bei einer Fenstergröße von 1,8 m<sup>2</sup> noch kein Gleichstand erreicht. Im betrachteten Bereich ermittelt die IWU-Studie überwiegend deutlich geringere Kosten; werden die Kosten der vorliegenden Studie noch um Demontage- und Entsorgungskosten von mindestens 40 €/m<sup>2</sup> (siehe auch Abbildung 29) erhöht, fallen die Unterschiede nochmals größer aus.

Das Merkblatt 52 [6] gibt, ohne auf Ausführung oder energetische Qualität einzugehen, ebenfalls einen Flächenpreis ohne Grundbetrag an. Im Bereich kleiner Fenster liegen die nach Merkblatt 52 ermittelten Kosten ungefähr zwischen den Kosten für Kunststoff- und Holz-/Aluminium-Fenster nach vorliegender Studie. Im Bereich größerer Fenster werden nach Merkblatt 52 höhere Kosten bestimmt.

In den BKI Baukosten [5] wird nicht nach energetischer Qualität differenziert. Die Zuordnung von Fenstergrößen ist relativ unscharf, da BKI nur Größenbereiche angibt. Die Kosten für Kunststoff-Fenster passen in allen Größenbereichen recht gut zu den Werten der vorliegenden Studie. Für Holz-/Aluminium-Fenster ermittelt BKI allerdings merklich höhere Kosten.

Der Vergleich von Kostenangaben einschlägiger Quellen verdeutlicht abermals die hohe Wertestreuung der untersuchten Kosten. Im Vergleich aller beispielhaft berechneten Werte liegen die der vorliegenden Studie etwa im Mittelfeld.

Tabelle 18 Einbau von Fenstern, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Fenstergröße [m <sup>2</sup> ]		Vollkosten [€/m <sup>2</sup> ], netto			
		Vorliegende Studie	IWU – EnEV 2012 [4]	STMWIVT Blatt 52 [6]	BKI Baukosten [5]
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• MFH</li> <li>• <math>A_{\text{mittel}} \approx 1,8 \text{ m}^2</math></li> <li>• keine Unterscheidung zwischen Holz- und KS-Rahmen</li> <li>• 2 Kategorien:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2-fach-Verglasung, Alu-Randverbund</li> <li>○ 3-fach-Verglasung, „warme Kante“</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Angaben zu Ausführung und Größe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-fach-WSV</li> <li>• keine Zuordnung U-Wert</li> <li>• Größenbereiche</li> </ul>
0,7	KS 1,3	222	145-169	337	$A \leq 0,7 \text{ m}^2$ KS: 188-248 H-A: 385-444
	KS 1,1	253	175-199		
	H/A 1,3	377	145-169		
	H/A 1,1	424	175-199		
1,2	KS 1,3	333	248-289	578	$0,7 \text{ m}^2 < A \leq 1,7 \text{ m}^2$ KS: 343-577 H-A: 661-1756
	KS 1,1	379	299-341		
	H/A 1,3	545	248-289		
	H/A 1,1	612	299-341		
1,8	KS 1,3	458	372-433	868	$A > 1,7 \text{ m}^2$ KS: 639-1076
	KS 1,1	521	449-511		
	H/A 1,3	726	372-433		
	H/A 1,1	816	449-511		
3,0	KS 1,3	692	619-722	1446	
	KS 1,1	787	748-851		
	H/A 1,3	1060	619-722		
	H/A 1,1	1189	748-851		

## 4.11 Wärmeerzeugung: Heizkessel

### 4.11.1 Kostenstruktur

Die Preise von Wärmeerzeugern stehen üblicherweise in Relation zur Heizleistung. Darüber hinaus lässt sich die exakte Kostenstruktur jedoch nicht ohne weiteres anschaulich herleiten. Daher seien nur einige Kosteneinflüsse beispielhaft genannt:

- Bei kleineren Leistungsvariationen kommen z.T. baugleiche Geräte zum Einsatz, bei welchen die Leistung steuerungstechnisch gedrosselt oder "freigeschaltet" wird. Ein Preisunterschied ist hier nicht durch technischen Aufwand begründbar; er wird vielmehr durch marktstrategische Überlegungen bestimmt.
- Der grundsätzliche Aufbau von Brennwertkesseln bietet viele Optionen, die mögliche Heizleistung durch bauliche Veränderungen des Gerätes zu beeinflussen, welche je nach gewünschter Leistungsänderung einzeln oder in Kombination angewendet werden. Diese umfassen u.a.
  - leistungsstärkerer/ schwächerer Brenner,

- größerer/kleinerer Wärmeübertrager und
- Variation von Leitungs-/Rohrquerschnitten.
- Kompaktgeräte und Paketangebote sind oft günstiger als Anlagen, welche aus Einzelkomponenten zugekauft werden. Die Grenze zwischen beiden Ausführungen ist grob dem Leistungsbereich 30...40 kW zuzuordnen; hierbei werden kleinere Anlagen oft als Kompaktgerät oder Paket angeboten, größere für gewöhnlich nur noch in Einzelkomponenten<sup>24</sup>.
- Standgeräte sind i.d.R. teurer als wandhängende Geräte. Beide Bauarten sind mittlerweile über einen sehr weiten Leistungsbereich erhältlich.
- Bei sehr großen Heizleistungen wird statt eines Brennwertkessels oftmals ein Niedertemperaturkessel in Verbindung mit einem kondensierend betriebenen Abgas-Wärmeübertrager eingebaut. Hierdurch kann nochmals deutlicher Spielraum bei den Kosten entstehen.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird in erster Näherung von einer linearen Abhängigkeit der Kosten von der Heizleistung ausgegangen (Abbildung 31).

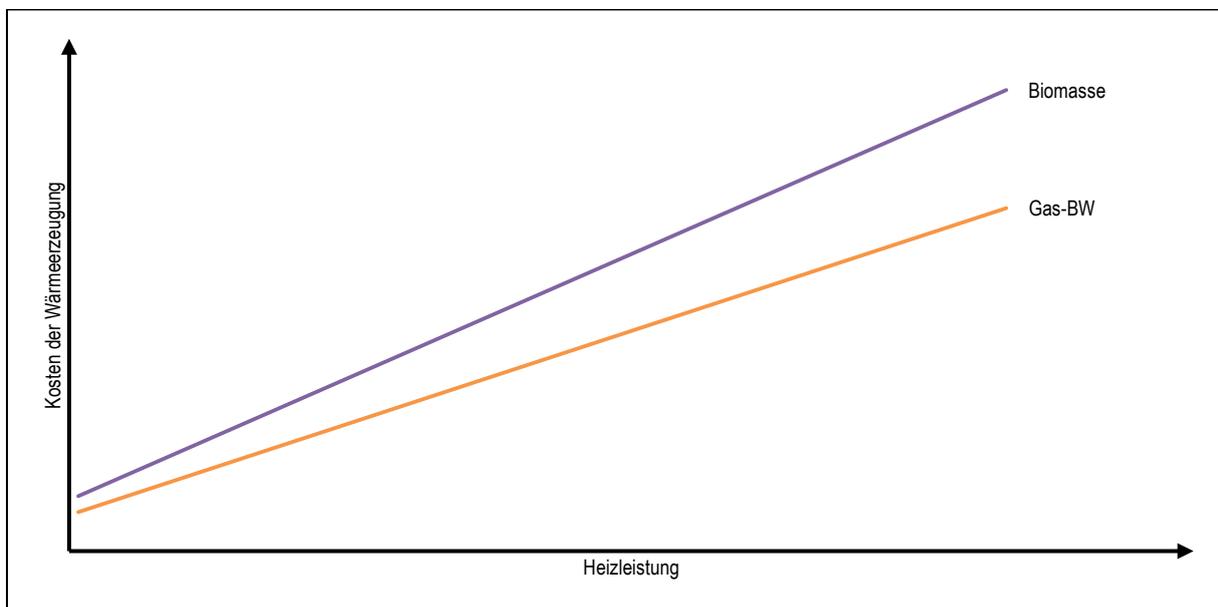


Abbildung 31 Absolute Kosten Wärmeerzeugung in Abhängigkeit von der Heizleistung, qualitativ

#### 4.11.2 Datenauswertung

Die Auswertung umfasst 29 Datensätze für Gas-Brennwertkessel und 12 für Holzkessel. Letzteren werden sowohl Pellet- als auch Stückgut- und Hackschnitzelkessel zugerechnet.

Berücksichtigt werden die folgenden Kostenpositionen:

- Wärmeerzeuger einschließlich Abgassystem
- sämtliches Montagezubehör
- Anschluss an das vorhandene Wärmeverteilnetz einschließlich peripherer Komponenten, wie Armaturen und Ausdehnungsgefäße
- Demontage des alten Wärmeerzeugers einschließlich peripherer Komponenten
- Anbindung an die Gasleitung bei Gaskesseln
- Lager- und Fördereinrichtung bei Pellet- und Hackschnitzelkesseln innerhalb vorhandener Räume; jedoch nicht die Errichtung von Lagerräumen

<sup>24</sup> Kleine Anlagen, werden oft als Komplettlösung vertrieben, welche kaum Planungsaufwand erfordern. Große Anlagen werden für gewöhnlich unter deutlich höherem Aufwand detailliert geplant und projektspezifisch zusammengestellt.

Eine Differenzierung nach energetischen Kriterien (z.B. Wirkungs- oder Nutzungsgrad) ist für die untersuchten Wärmeerzeuger im Rahmen der vorliegenden Studie nicht sinnvoll möglich.

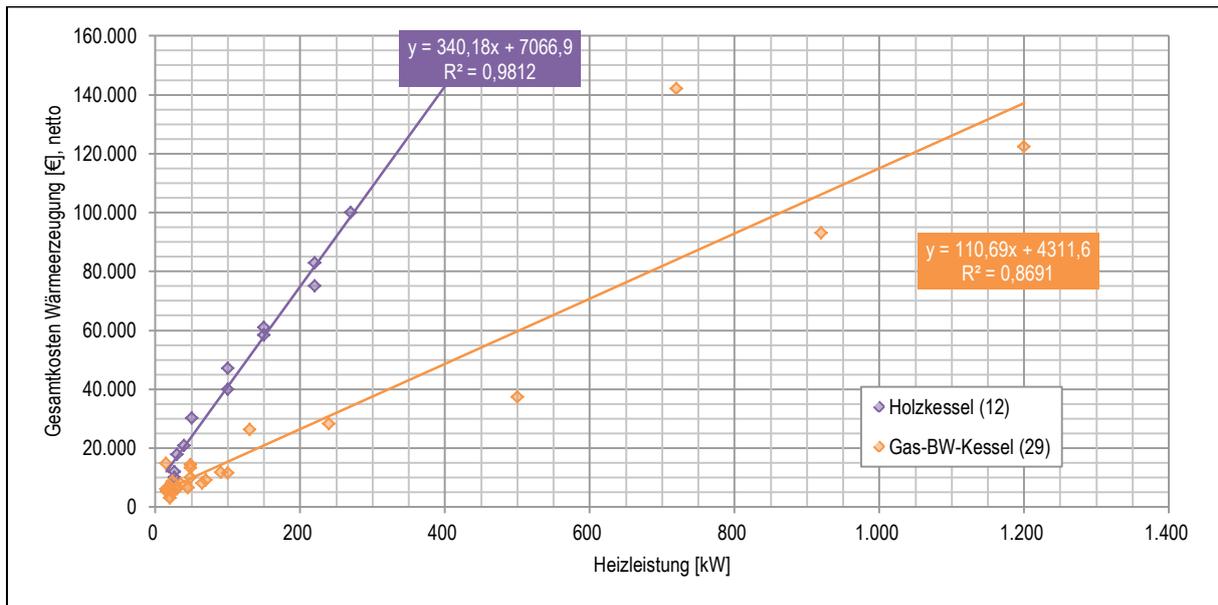


Abbildung 32 Grafische Auswertung: Wärmeerzeugung in Abhängigkeit von der Heizleistung

Die Stichproben belegen den naheliegenden Anstieg der Kosten mit zunehmender Heizleistung deutlich. Für Brennwertkessel zeigt sich eine recht ausgeprägte Wertestreuung; das Bestimmtheitsmaß fällt jedoch vergleichsweise hoch aus. Die Stichprobe für Holzkessel zeigt im Vergleich eine deutlich geringe Streuung, welche angesichts der relativ kleinen Teilstichprobe jedoch auch zufällig bedingt sein kann.

Für eine Wärmeerzeugungsanlage mit Gas-Brennwertkessel können unter mittleren Verhältnissen feste Kosten von 4.300 € bei einem leistungsbezogenen Kostenanstieg von 111 €/kW angesetzt werden. Soll eine Wärmeerzeugungsanlage mit Holzkessel eingebaut werden, können die Kosten mit 7.100 € zuzüglich 340 €/kW geschätzt werden.

#### 4.11.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten für Wärmeerzeugungsanlagen in Abhängigkeit von der Heizleistung können gemäß Tabelle 19 geschätzt werden.

Tabelle 19 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Heizkessel

Maßnahme			
<b>M</b>	<p>Errichtung einer Anlage zur Wärmeerzeugung</p> <p>Die Kosten enthalten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>die Demontage des alten Wärmeerzeugers einschließlich peripherer Komponenten (Armaturen, Ausdehnungsgefäße, etc.),</li> <li>die Montage des neuen Wärmeerzeugers einschließlich Dämmung und Montagematerial,</li> <li>Vorlauftemperaturregelung</li> <li>das Abgassystem,</li> <li>die Anbindung an das bestehende Wärmeverteilnetz einschließlich Verrohrung und peripherer Komponenten (Armaturen, Ausdehnungsgefäße, etc.),</li> <li>Anschluss ELT und ggf. Gas,</li> <li>ggf. Pellet-/Hackschnitzzellager- und -fördereinrichtung innerhalb bauseitig vorhandener Räume.</li> </ul>		
Kostenfunktion(en)			
<b>Vollkosten, absolut</b>	<p><b>[€]</b></p> $K_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{v,M,2} * P$ $K_{V,M} = 4.300€ + 111 \frac{€}{kW} * P \quad (\text{Bsp. Gas-BW})$		
Variable		Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>P</b>	<p><b>[kW]</b></p> <p>Heizleistung des Wärmeerzeugers</p> <p>Für eine konservative Schätzung im Rahmen überschlägiger Kostenprognosen kann die Leistung der Wärmeerzeugung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>für Neubauten bzw. kürzlich nachträgliche wärmedämmte Gebäude zu <math>P = 0,05 \frac{kW}{m^2} * A [m^2]</math> und</li> <li>für ungedämmte Altbauten zu <math>P = 0,1 \frac{kW}{m^2} * A [m^2]</math> bestimmt werden, wobei A die Grundfläche des zu beheizenden Bereichs ist (vgl. auch EN 15378, nationaler Anhang [10]).</li> </ul>	<p>15...1.200 (Gas)</p> <p>26...270 (Holz)</p>	<p>10...1.500</p> <p>20...400</p>
Parameter			
<b>k<sub>v,M,1</sub></b>	<b>[€]</b>	feste Grundkosten	<p><b>Gas-BW: 4.300</b></p> <p><b>Holz: 7.100</b></p>
<b>k<sub>v,M,2</sub></b>	<b>[€/kW]</b>	leistungsbezogene Mehrkosten	<p><b>Gas-BW: 111</b></p> <p><b>Holz: 340</b></p>

#### 4.11.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Da sich die Kostenstruktur von Heizkesseln nicht ohne weiteres herleiten lässt, wird im Rahmen dieser Studie in erster Näherung von einer linearen Abhängigkeit der Kosten von der Heizleistung ausgegangen.

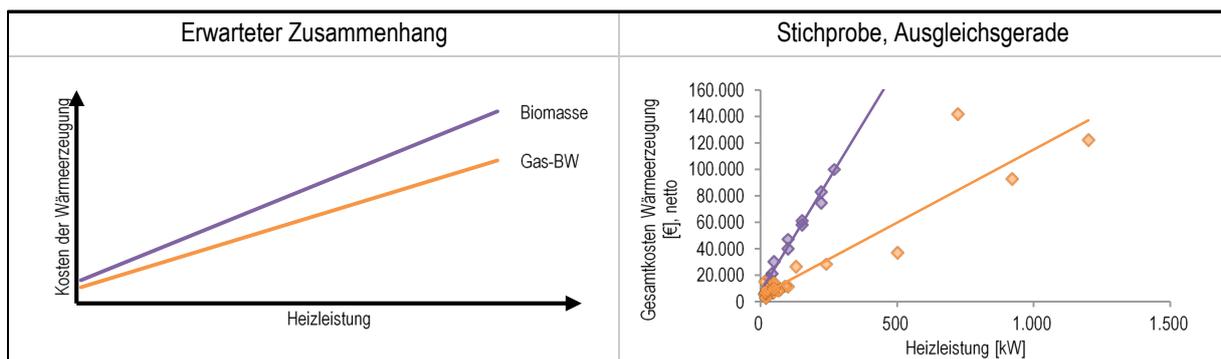


Abbildung 33 Wärmeerzeugung – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Die Stichprobe belegt die Abhängigkeit der Kosten von der Heizleistung sehr deutlich. Eine etwas stärker ausgeprägte Wertestreuung zeigt sich lediglich bei den einbezogenen Gas-Brennwert-Kesseln.

**Kostenniveau**

Im Vergleich mit eigenen Berechnungen fallen die Prognosen der vorliegenden Studie etwas höher aus. Die Größenordnung ist jedoch sehr ähnlich. Die Unterschiede dürften wesentlich auf Mehraufwände zurückzuführen sein, welche sich üblicherweise in Sanierungsfällen ergeben, in den eigenen idealisierten Modell-Kalkulationen jedoch nur in gewissem Umfang zu erfassen sind.

Das Merkblatt 52 [6] nennt Kosten für die Erneuerung eines Heizkessels mit Warmwasserspeicher und Mehrkosten für eine Ausführung als Brennwertkessel. Darüber hinaus wird der Leistungsumfang nicht beschrieben; auch findet keine Zuordnung zur Heizleistung statt. Wird von einem kleinen bis mittleren Leistungsbereich ausgegangen, liegen die angegebenen Werte geringfügig über denen der vorliegenden Studie.

Nach BKI Baukosten [5] lässt sich der hier betrachtete Maßnahmenumfang nur teilweise konstruieren. Dementsprechend liegen die Kosten nach BKI unter denen der vorliegenden Arbeit. Erschwerend kommt hinzu, dass die Kostenfeststellungen nach BKI anscheinend auch andere Kesseltypen einbeziehen. Vergleichbarkeit ist nur bedingt gegeben. Würden jedoch nach BKI nicht enthaltenen Leistungen ergänzt, dürfte sich ein ähnliches Kostenniveau wie in der vorliegenden Studie zeigen.

Tabelle 20 Gas-Brennwertkessel, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Leistung [kW]	Vollkosten [€], netto			
	Vorliegende Studie	Eigene Berechnung <sup>1)</sup>	STMWIVT Blatt 52 [6]	BKI Baukosten [5]
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demontage und Entsorgung des abgängigen Heizkessels</li> <li>• Neuer Heizkessel mit Vorlauftemperaturregelung</li> <li>• alle für Anschluss- und Montage notwendigen Arbeiten (gas- und wasserseitiger Anschluss, Unterbau/Montagematerial, etc.)</li> <li>• nötigenfalls Neutralisationseinrichtung</li> <li>• Abgassystem/Schornsteinsanierung</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erneuerung des Kessels einschließlich TWW-Speicher</li> <li>• exakter Umfang unklar, keine Leistungsangabe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizkessel mit Regelung und Neutralisation</li> <li>• Heizungsverteiler (ersatzweise für periphere Komponenten)</li> <li>• ohne sonstige Installationsarbeiten (Gas/Wasser) und Abgassystem/Schornsteinsanierung</li> <li>• ggf. weiteres Zubehör erforderlich</li> </ul>
10	<b>5.410</b>	wandhängend: 4.000		-
50	<b>9.850</b>	wandhängend: 5.500 bodenstehend: 7.000	8.700-13.500	W: 4.000-4.400
100	<b>15.400</b>	wandhängend: 9.000 bodenstehend: 11.000		B: 5.800-9.500

<sup>1)</sup> Die angegebenen Kostenwerte beruhen auf Katalogpreisen verschiedener Hersteller unter Berücksichtigung üblicher Rabatt- und Lohnsätze.

**4.12 Wärmeerzeugung: Solarthermische Anlagen**

**4.12.1 Kostenstruktur**

Die Kosten einer solarthermischen Anlage können zweckmäßig über der Anlagengröße dargestellt werden. Für die vorliegende Studie wird die Absorberfläche, auch *Netto(-kollektor-)fläche*, herangezogen.

Erfahrungsgemäß werden die Anlagenkosten wesentlich durch die Kosten der Solarkollektoren selbst bestimmt. Anschaulich hängt der technische/materielle Aufwand zur Herstellung einer solarthermischen Anlage damit weitgehend linear von der Größe der Kollektorfläche ab. Somit erscheint auch ein linearer Zusammenhang

zwischen Kollektorfläche und Anlagenkosten sehr wahrscheinlich<sup>25</sup>. Zusätzlich entstehen Kosten durch eine Solarstation, Solarspeicher, Armaturen und Anschluss/Verrohrung der Anlage. Ausgeprägte Grundkosten sind daher sehr wahrscheinlich.

Der Zusammenhang ist qualitativ in Abbildung 34 dargestellt

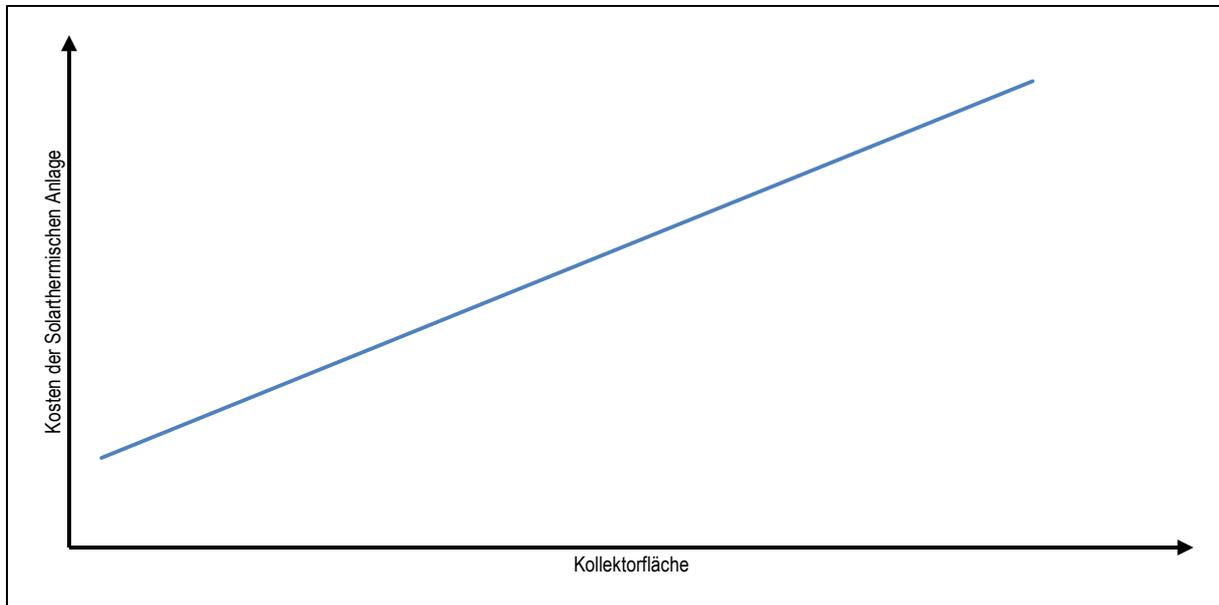


Abbildung 34 Absolute Kosten solarthermische Anlage in Abhängigkeit von Kollektorfläche

#### 4.12.2 Datenauswertung

In die Auswertung wurden 19 Datensätze einbezogen. Unter den einbezogenen Kostendaten überwiegen Anlagen mit Flachkollektoren ( $n = 15$ ) deutlich; in 2 Fällen wurden Röhrenkollektoren eingebaut, 2 Datensätze enthalten keine Angabe zur Bauart der Kollektoren. Eine Differenzierung hinsichtlich Bauart ist für die vorliegende Stichprobe damit nicht sinnvoll.

Dargestellt werden die Vollkosten der Anlage in Abhängigkeit von der Absorberfläche. Sie beinhalten

- die Solarkollektoren einschließlich Montagematerial,
- Regelung und Solarpumpe („Solarstation“)
- Solar- oder Kombispeicher, Armaturen und Verrohrung zur Anbindung an die bestehende Heizungsanlage

<sup>25</sup> Angesichts des Aufbaus von Solar(flach)kollektoren aus Rahmen- und Flächenelementen wäre für einen einzelnen Kollektor auch ein degressiver Kostenverlauf als Summe eines linearen Anteils für Flächen- und einer Wurzelfunktion für Umfangskosten denkbar (vgl. 4.10.1). Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass eine Vergrößerung der (Gesamt-)Kollektorfläche vorrangig durch Aneinanderreihung mehrerer Kollektoren erreicht wird und nur wenig Spielraum hinsichtlich der Größe einzelner Kollektoren gegeben ist. Somit dürften bei der Betrachtung einer hinreichend großen Menge an unterschiedlich großen Anlagen auch Umfangskosten in guter Näherung linear eingehen.

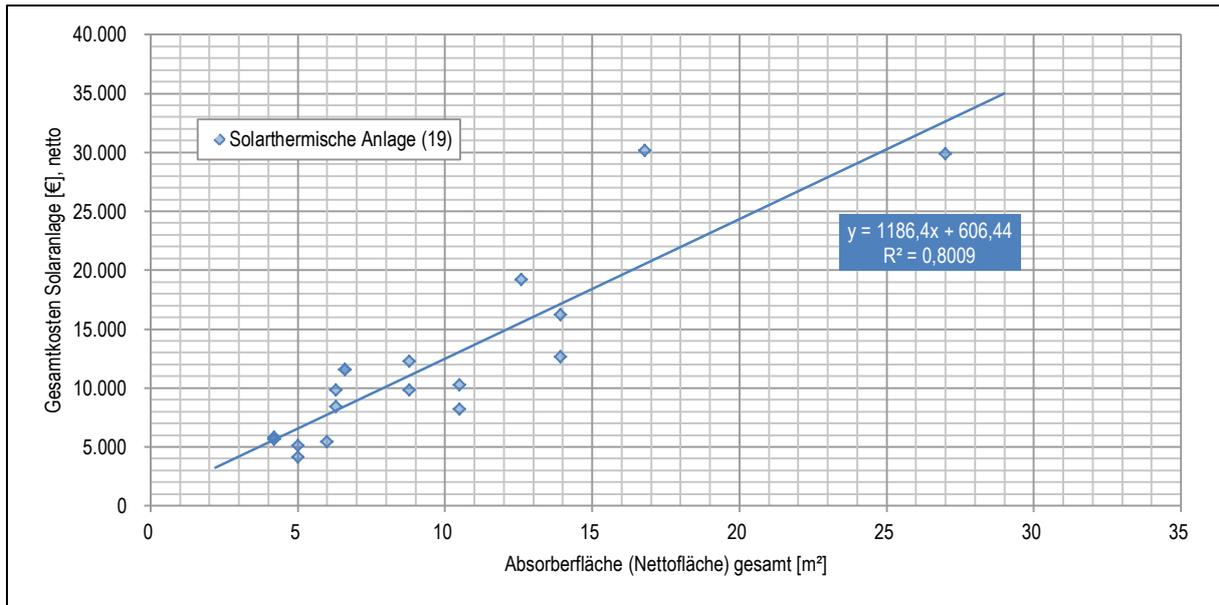


Abbildung 35 Grafische Auswertung: Vollkosten solarthermischer Anlagen in Abhängigkeit von der Netto-Kollektorfläche

Die Stichprobe belegt die unterstellte Abhängigkeit sehr gut. Im betrachteten Bereich ist die Wertestreuung im Vergleich mit anderen im Rahmen dieser Studie untersuchten Maßnahmen relativ moderat ausgeprägt.

Die Kosten einer solarthermischen Anlage mit Flachkollektoren können mit festen Grundkosten von 610 € und flächenabhängigen Mehrkosten von 1.200 €/m² geschätzt werden.

### 4.12.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Tabelle 21 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): solarthermische Anlagen

Maßnahme				
<b>M</b>	Errichtung einer solarthermischen Anlage zur Trinkwassererwärmung und/oder Heizungsunterstützung			
	Die Kosten enthalten			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solkollektoren, üblicherweise als Flachkollektoren<sup>1)</sup>, einschließlich Unterkonstruktion und Montagematerial,</li> <li>Regelung und Pumpe</li> <li>Solar- oder Kombispeicher</li> <li>Armaturen und Verrohrung zur Anbindung an die bestehende Heizungsanlage</li> </ul>			
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{v,M,2} * A$ $K_{V,M} = 610€ + 1.200 \frac{€}{m^2} * A$		
Variable			Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>A</b>	<b>[m²]</b>	Absorberfläche, Netto-Kollektorfläche	4...27	3...30
Parameter				
<b>k<sub>V,M,1</sub></b>	<b>[€]</b>	feste Grundkosten		<b>610</b>
<b>k<sub>v,M,2</sub></b>	<b>[€/m²]</b>	leistungsbezogene Mehrkosten		<b>1.200</b>
<sup>1)</sup> Für Röhrenkollektoren können sich höhere Kosten ergeben.				

## 4.12.4 Plausibilitätsprüfung

### Qualitativer Verlauf

Für solarthermische Anlagen kann in guter Näherung von einem linearen Anstieg der Anlagenkosten mit zunehmender Größe der Kollektorfläche ausgegangen werden. Ein Sockelbetrag ist wahrscheinlich.

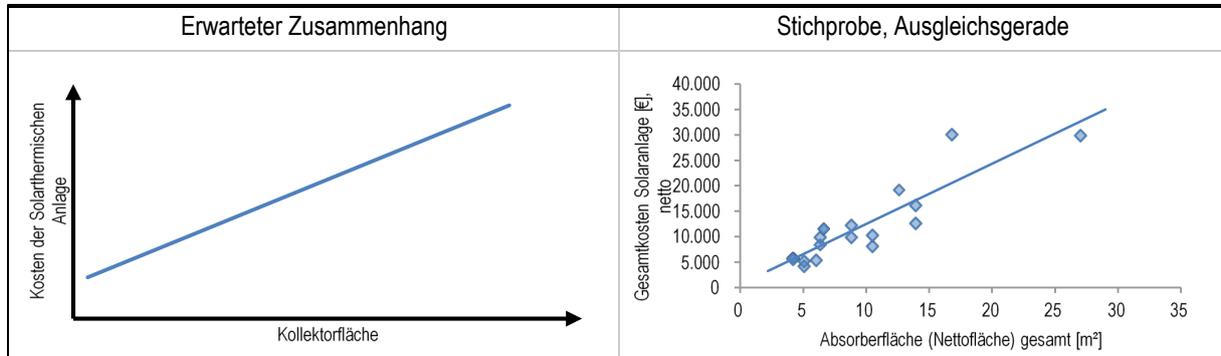


Abbildung 36 Solarthermische Anlagen – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Die Stichprobe belegt den Anstieg der Kosten mit zunehmender Kollektorfläche deutlich. Eine Wertestreuung ist ausgeprägt, die Korrelation dennoch als gut zu bezeichnen.

### Kostenniveau

Kostenangaben für den Einbau von solarthermischen Anlagen finden sich in einer vorbereitenden Studie von Schmidt Reuter [7] zur 2013 verabschiedeten Novellierung der EnEV. Die beispielhaft angegebenen Kosten weisen eine etwas schwächer ausgeprägte Abhängigkeit von der Kollektorfläche auf, passen jedoch größenordnungsmäßig gut zu den Werten der vorliegenden Studie.

Tabelle 22 Solarthermische Anlagen, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Fläche [m <sup>2</sup> ]	Vollkosten [€], netto	
	Vorliegende Studie	Schmidt Reuter [7]
5	6.600	9.250
7	9.000	9.900
14	17.400	16.750

## 4.13 Lüftungsanlagen mit WRG

### 4.13.1 Kostenstruktur

Die Kosten für RLT-Anlagen unterliegen einer Vielzahl von Einflüssen, unter anderem sind dies

- die zu konditionierende Luftmenge,
- die enthaltenen Konditionierungsarten (Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten),
- ggf. eine Rückkühlanlage bzw. Wärmesenke,
- Art und Dimensionierung der Wärmerückgewinnung (Wärme- oder kombinierte Wärme-/Feuchterückgewinnung, Größe, Rückwärmzahl...)
- Länge des Kanalnetzes (Gebäudegröße, Anzahl und Entfernung der zu konditionierenden Räume),
- Umfang und System der Gebäudeleittechnik, etc.

Ein sehr wesentlicher und im Rahmen von Vorab-Kostenschätzungen noch halbwegs greifbarer Kosteneinfluss besteht in der zu konditionierenden Luftmenge. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird in erster Näherung von einer linearen Kostenabhängigkeit ausgegangen (Abbildung 37).

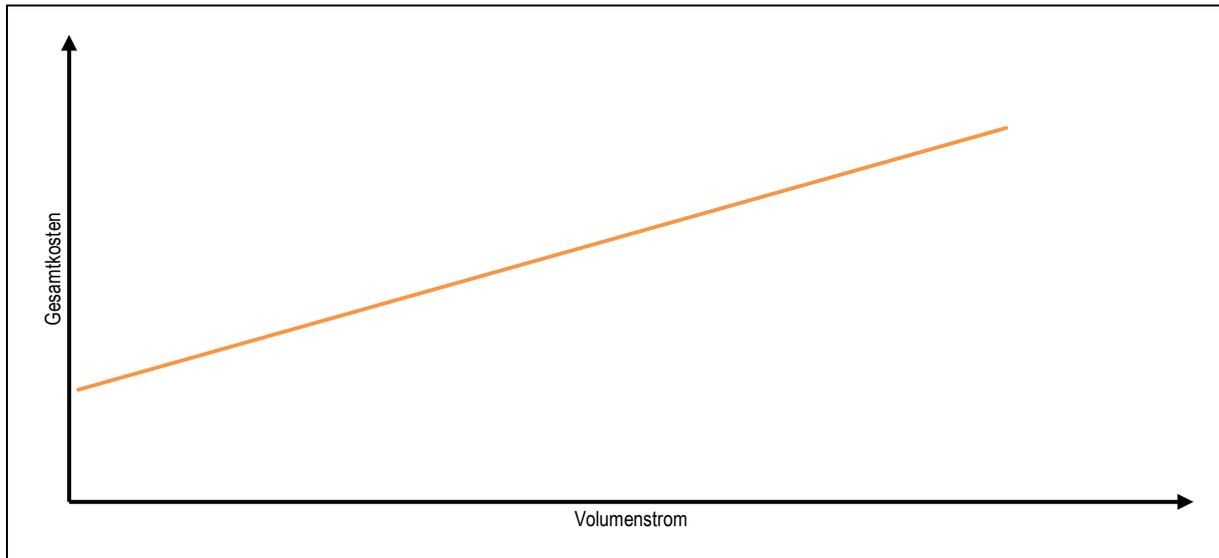


Abbildung 37 Vollkosten RLT-Anlage in Abhängigkeit vom Volumenstrom, qualitativ

#### 4.13.2 Datenauswertung

In die Auswertung wurden 18 Datensätze einbezogen. Die berücksichtigten Kosten beinhalten

- das zentrale Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung,
- Kanäle und Luftaus-/einlässe sowie
- regelungstechnische Komponenten, welche dem RLT-Gerät zuzuordnen sind.

Nicht enthalten sind Anlagen zur Rückkühlung, wie Rückkühlwerke oder Kühltürme.

Eine Differenzierung nach energetischen Kriterien, wie Rückwärmzahlen der Wärmerückgewinnung oder der Effizienz der eingebauten Ventilatoren etc., ist anhand der vorliegenden Daten nicht sinnvoll möglich.

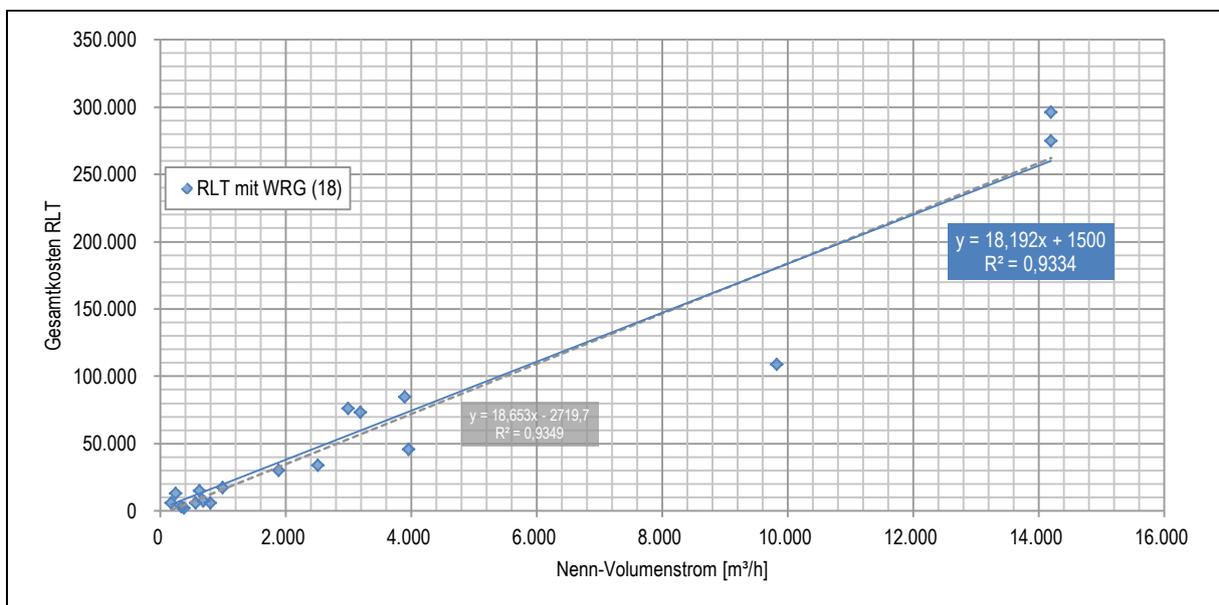


Abbildung 38 Grafische Auswertung: Vollkosten RLT-Anlagen in Abhängigkeit vom Nenn-Volumenstrom

Ein Anstieg der Kosten in Relation zum Nenn-Volumenstrom der RLT-Anlage wird durch die Stichprobe deutlich belegt. Der unterstellte lineare Zusammenhang scheint gut zur Approximation der Stichprobe geeignet; allerdings weist die nicht manipulierte Ausgleichsfunktion einen Stützbetrag  $< 0$  auf. Dieser dürfte zufälligen Einflüssen geschuldet sein; besonders die geringe Datendichte im Bereich größerer Volumenströme wirkt sich hier nachteilig

aus. Im Sinne belastbarer Kostenprognosen wird die Kostenfunktion so angepasst, dass der Stützbetrag ungefähr auf dem Kostenniveau der Anlagen mit den geringsten Preisen innerhalb der Stichprobe liegt. Die Approximation der Stichprobe verschlechtert sich hierbei nur unbedeutend.

Demnach ergeben sich die Kosten für eine RLT-Anlage überschlägig mit festen Kosten von 1.500 € je Anlage zuzüglich 18 € je m<sup>3</sup>/h Nenn-Volumenstrom.

#### 4.13.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten einer RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung können in Abhängigkeit vom Nenn-Volumenstrom der Anlage gemäß Tabelle 23 überschlagen werden.

Tabelle 23 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): RLT-Anlage mit Wärmerückgewinnung

		Maßnahme		
M	Errichtung einer raumlufttechnischen Anlage (Zentralgerät) mit Wärmerückgewinnung			
	Die Kosten enthalten <ul style="list-style-type: none"> <li>• das zentrale Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung,</li> <li>• Kanäle sowie Luftaus- und -einlässe,</li> <li>• Steuerungs-/Regelungstechnik</li> </ul> Kosten für eine Rückkühlung bei Anlagen mit Kühlbetrieb sind nicht enthalten.			
		Kostenfunktion(en)		
Vollkosten, absolut	€	$K_{V,M} = k_{V,M,1} + k_{v,M,2} * \dot{V}$		
		$K_{V,M} = 1.500€ + 18 \frac{€}{m^3/h} * \dot{V}$		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
V'	[m <sup>3</sup> /h]	Nenn-Volumenstrom V' kann <ul style="list-style-type: none"> <li>• bei büroähnlicher Nutzung mit <math>\dot{V} = 4 \frac{m^3}{m^2h} * A [m^2]</math>,</li> <li>• bei wohnähnlicher Nutzung mit <math>\dot{V} = 1,25 \frac{m^3}{m^2h} * A [m^2]</math></li> </ul> überschlagen werden, wobei A die konditionierte Grundfläche ist (siehe u.a. Tabelle 5 DIN V 18599-10 [8], vgl. auch DIN EN 13779 [9])	180...14.200	100...15.000
		Parameter		
k <sub>V,M,1</sub>	€	feste Grundkosten		1.500
k <sub>v,M,2</sub>	[€/m <sup>3</sup> ]	volumenstrombezogene Mehrkosten		18

#### 4.13.4 Plausibilitätsprüfung

##### Qualitativer Verlauf

Die Kosten von Lüftungsanlagen unterliegen einer Vielzahl von Einflüssen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird die Betrachtung – für einen weitgehend festgelegten Umfang – auf den Einfluss des Nenn-Volumenstroms der Anlage reduziert. Diese Näherung ist insofern sinnvoll, als der Volumenstrom der Anlage ein wesentliches Kriterium bei der Dimensionierung vieler RLT-Komponenten darstellt und somit auch praktisch der wesentlichste Kosteneinfluss sein dürfte. Für ähnliche Nutzungen kann daher angenommen werden, dass Kosten für RLT-Anlagen zusammen mit der Gebäudegröße ansteigen. Auch die Kosten für Positionen, welche nicht dem zentralen RLT-Gerät zuzuordnen sind, wie Luftverteilung im Gebäude, Klappen, etc. – dürften mit steigender Gerätegröße höher ausfallen, da von einer gewissen Korrelation zwischen Anlagen- und Gebäudegröße auszugehen ist.

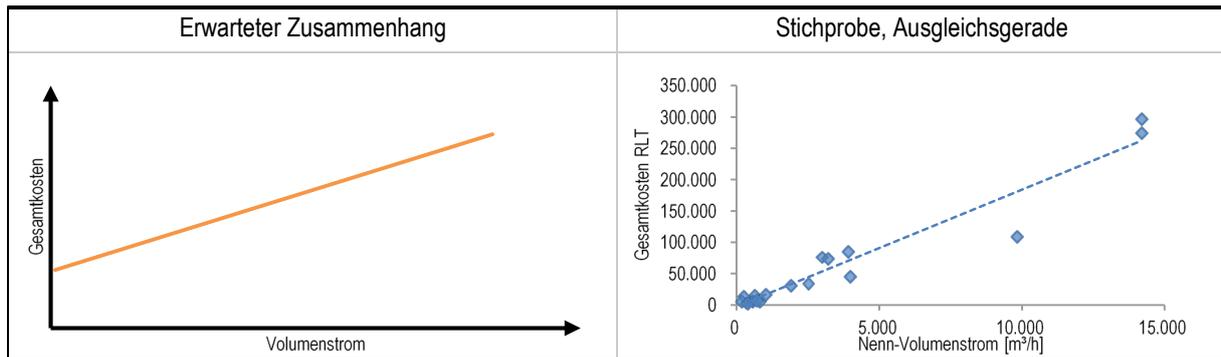


Abbildung 39 RLT-Anlagen – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Die unterstellte Abhängigkeit der Kosten vom Volumenstrom ist in der Stichprobe sehr deutlich zu erkennen. Obwohl die Streuung z.T. recht ausgeprägt ist, kann die Stichprobe gut durch einen linearen Zusammenhang angenähert werden. Für eine Anwendung in Kostenschätzungen muss die Ausgleichsfunktion nur geringfügig angepasst werden, sodass sich im gesamten Betrachtungsbereich positive Kosten ergeben.

### Kostenniveau

Nach Schmidt Reuter [7] ergibt sich für größere RLT-Anlagen ( $V' \geq 3.500 \text{ m}^3/\text{h}$ ) mit Wärmerückgewinnung und sehr ähnlichem Umfang wie in der vorliegenden Studie auch ein recht ähnliches Kostenniveau. Schmidt Reuter unterscheidet zwischen Anlagen mit und ohne Kühlfunktion; die Werte der vorliegenden Studie liegen jeweils zwischen den beiden Vergleichswerten. IWU [4] gibt spezifische Kosten für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Wohngebäuden an. Die Gesamtkosten ergeben sich nach dem von IWU verwendeten Modell in Abhängigkeit von der Größe der Wohneinheiten und der Größe des gesamten (Wohn-)Gebäudes. Je nach Größe der Wohneinheiten können die Gesamtkosten hierbei in einem sehr großen Bereich variieren. Für einen Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie werden jeweils nur die Untergrenzen der nach IWU ermittelten Kostenbereiche herangezogen<sup>26</sup>. Diese passen – trotz der unterschiedlichen Herangehensweisen und Anwendungsgebiete – relativ gut zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Den BKI-Baukosten [5] können Preisangaben zu einzelnen Bestandteilen raumluftechnischer Anlagen entnommen werden. Für einen beispielhaft zusammengestellten Umfang aus

- Be- und Entlüftungsgerät (mit Wärmerückgewinnung) bis  $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ,
- Kanal- und Rohrschalldämpfer,
- Außen-/Fortluftgitter,
- Lüftungskanal (mit Formstücken),
- Spiralfalzrohr (mit Bögen),
- Drallauslässe, Lüftungsgittern und
- Brandschutzklappen

ergeben sich merklich geringere Kosten als nach vorliegender Studie (Vergleichswert  $4.000 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Jedoch besteht hier nahezu unbegrenzter Variationsspielraum hinsichtlich der Umfänge der einzelnen Kostenpositionen, wie Kanallänge etc. Somit könnten auch deutlich höhere Kosten nach BKI ermittelt werden. Zudem enthalten die Kosten nach BKI noch keinen Aufwand für Steuerungs-/Regelungstechnik und ggf. Anbindung an eine bestehende Gebäudeleittechnik.

<sup>26</sup> RLT-Anlagen in Wohngebäuden müssen i.d.R. deutlich kleinere Volumenströme je Nutzfläche bzw. -einheit erbringen als RLT-Anlagen in Nichtwohngebäuden mit überwiegender Büronutzung und üblicherweise höherer Belegungsdichte. Bezogen auf den Volumenstrom kann somit eine höhere Anzahl an Luftdurchlässen und Kanälen nötig sein. In Wohngebäuden können sich somit etwas höhere volumenstrombezogene Kosten ergeben.

Tabelle 24 RLT-Anlage mit WRG, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Volumenstrom [m³/h]	Vollkosten [€], netto			
	Vorliegende Studie	Schmidt Reuter [7]	IWU-Studie [4]	BKI Baukosten [5]
100 (≙ ca. 25 m² <sub>Büro</sub> oder 80 m² <sub>Wohn</sub> )	3.300	-	≥ 4.450	15.000...24.000
1.000 (≙ ca. 250 m² <sub>Büro</sub> oder 800 m² <sub>Wohn</sub> )	19.500	-	≥ 23.700	
4.000 (≙ ca. 1.000 m² <sub>Büro</sub> oder 3.200 m² <sub>Wohn</sub> )	73.500	65.200...104.000	≥ 95.000	-
10.000 (≙ ca. 2.500 m² <sub>Büro</sub> oder 8.000 m² <sub>Wohn</sub> )	181.500	152.200...228.250	≥ 237.400	

• wohngebäudespezifische Angaben, nur bedingt übertragbar  
• keine GLT

<sup>1)</sup> Die angegebenen Kostenwerte beruhen auf Katalogpreisen verschiedener Hersteller unter Berücksichtigung üblicher Rabatt- und Lohnsätze.

## 4.14 Wärme- und Trinkwasserverteilnetze

### 4.14.1 Kostenstruktur

Die Kosten für die Installation von Wärme- und Trinkwasserverteilnetzen, sowie der dazugehörigen Rohrleitungsdämmung, hängt von mehreren Faktoren ab, besonders

- der Rohrleitungslänge,
- den Rohrdurchmessern,
- Anzahl und Art der eingesetzten Pumpen
- dem Material der Leitungen,
- der Ausführung von Verbindungen (Verpressen, Lötten, Schweißen...).
- der Anzahl von Formstücken und Armaturen, etc.

Die Rohrleitungslänge kann für mittlere Verhältnisse als primärer Kosteneinfluss herangezogen werden. Üblicherweise werden längenbezogene Einheitspreise ohne erkennbare Mengenstaffelung angegeben. Somit kann von einem linearen Anstieg der Kosten mit zunehmender Rohrleitungslänge ausgegangen werden.

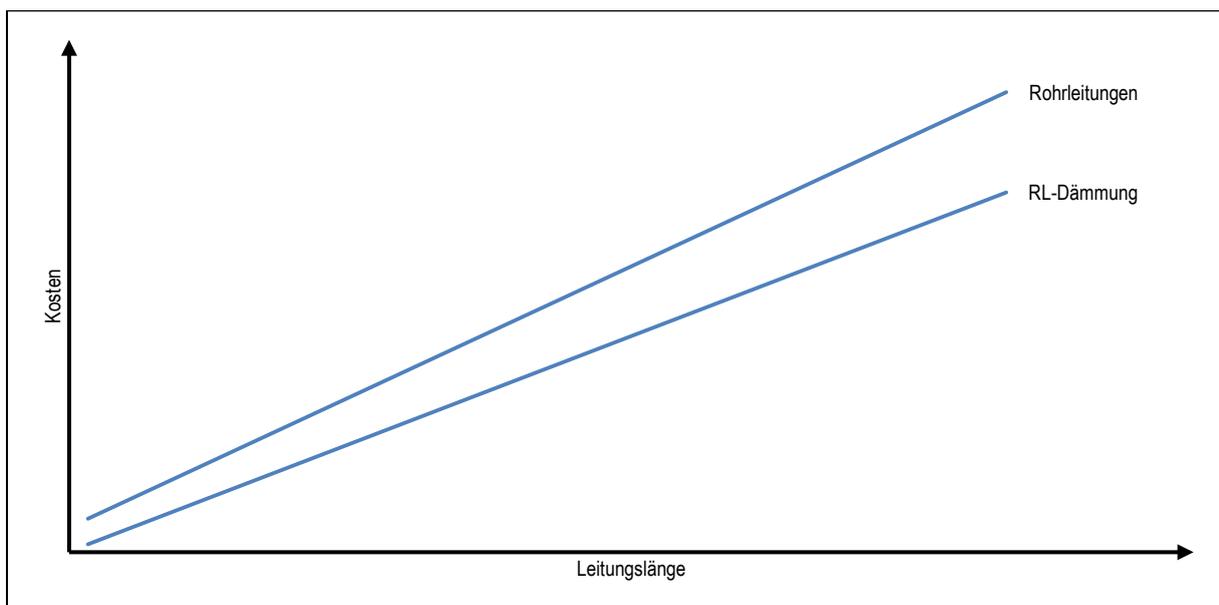


Abbildung 40 Absolutkosten Rohrleitungsnetz bzw. -dämmung in Abhängigkeit von der Rohrleitungslänge, qualitativ

#### 4.14.2 Datenauswertung

Die Auswertung umfasst 31 Datensätze für Dämmungen von Rohrleitungen gemäß den Anforderungen der EnEV und 32 Datensätze für die Installation von Wärme- oder Trinkwasserverteilnetzen. Von letzteren beinhalten 6 Datensätze die Aufwendungen für den Einbau von Hocheffizienzpumpen; in den übrigen 26 Fällen waren Pumpen entweder nicht separat aufgeführt oder konnten nicht eindeutig zugeordnet werden<sup>27</sup>.

Die Kosten für Rohrleitungen beinhalten

- die Rohrleitungen einschließlich Form- und Verbindungselementen, Armaturen<sup>28</sup>,
- Dichtungs-/Verbindungs- sowie
- Montagematerial und
- in Einzelfällen die Kosten für den Einbau von (Hocheffizienz-)Umwälzpumpen.

Die Erstellung von Durchbrüchen zur Leitungsdurchführung ist nur in kleinem Umfang enthalten. Bei umfangreichen Änderungen der Leitungsführung können sich somit zusätzliche Kosten ergeben.

Um die Datensätze für Rohrleitungsinstallationen mit und ohne den Einbau von Hocheffizienzpumpen vergleichbar zu machen, werden den Datensätzen ohne Pumpe – in einem weiteren Auswertungsschritt – geschätzte Kosten<sup>29</sup> für den zusätzlichen Einbau von Pumpen zugeschlagen. Die so ermittelte Kostenfunktion bildet für mittlere Verhältnisse das komplette Verteilnetz zwischen Wärmeerzeugung und -übergabe ab.

Die grafische Auswertung der Kosten für Rohrleitungsnetze ist den Abbildungen 41 und 42 dargestellt.

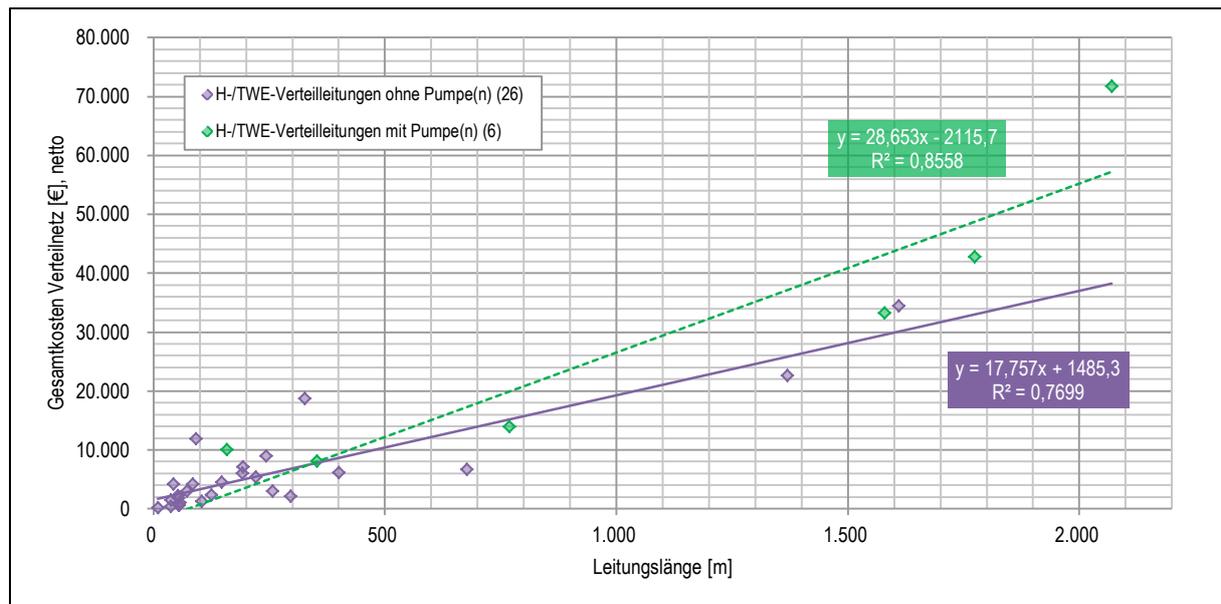


Abbildung 41 Grafische Auswertung: H-/TWE-Verteilnetze in Abhängigkeit von der Leitungslänge

<sup>27</sup> Nicht in jedem Fall lagen ausführliche Leistungsverzeichnisse vor; z.T. konnte nur auf zusammengefasste Leistungsbeschreibungen zugegriffen werden.

<sup>28</sup> Absperrventile etc.; nicht jedoch der Anschluss von Anbindeleitungen an Übergabekomponenten bzw. Übergabekomponenten selbst, wie (Trinkwasser-)Zapfstellen, Heizkörperverschraubungen, Thermostatregelventile, etc.

<sup>29</sup> Die Kosten für den zusätzlichen Einbau von Hocheffizienzpumpen werden auf der Grundlage von Katalogpreisen unter Berücksichtigung üblicher Rabatte und Stundensätze geschätzt. Die unterstellte Anzahl und Dimensionierung der Pumpen richtet sich nach den jeweils eingebauten Rohrleitungslängen und -durchmessern. Hiermit wird eine relativ grobe Schätzung vorgenommen und von der Systematik der vorliegenden Studie insofern geringfügig abgewichen, als das Ergebnis der Betrachtung nicht mehr gänzlich auf statistischer Auswertung von Kostenwerten beruht; jedoch lassen die vorliegenden Kostendaten zu Wärme-/Trinkwasserverteilnetzen i.d.R. keine bessere Schätzung zu.

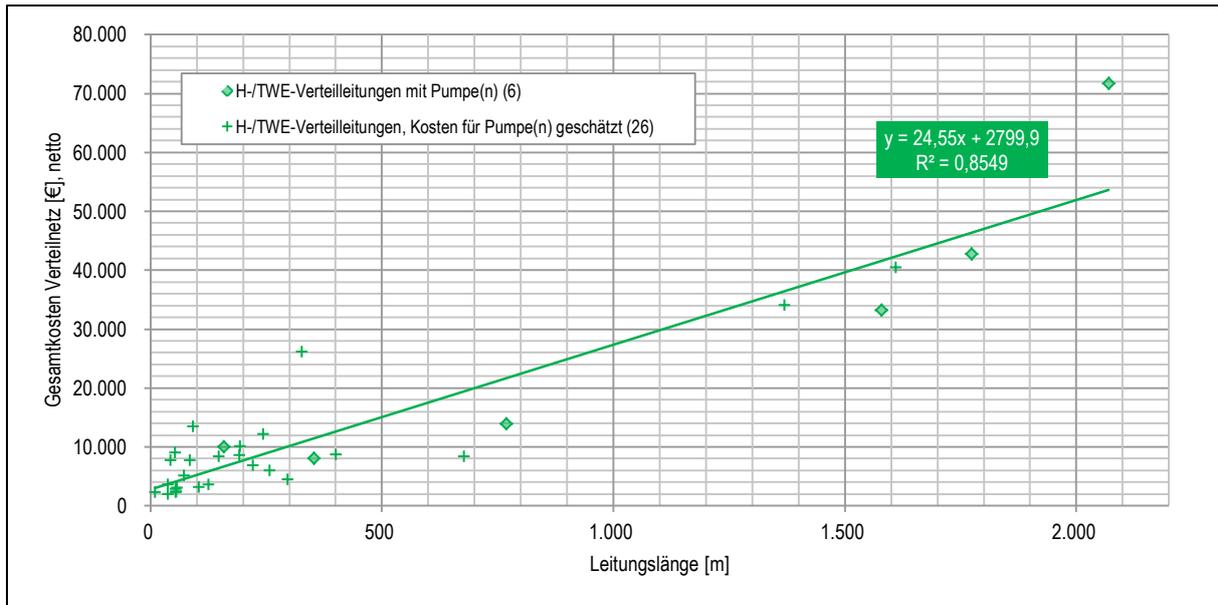


Abbildung 42 Grafische Auswertung: H-/TWE-Verteilnetze mit Hocheffizienzpumpe(n) in Abhängigkeit von der Leitungslänge

Die Kosten für Rohrleitungs­dämmung beinhalten

- die Dämmung von Rohrleitungen, Pumpen und Armaturen, ggf. mit System-/Formteilen,
- Wanddurchführungen/Brandschutzabschottungen und
- die Kaschierung der Dämmung in Aluminiumblech oder Kunststoff.

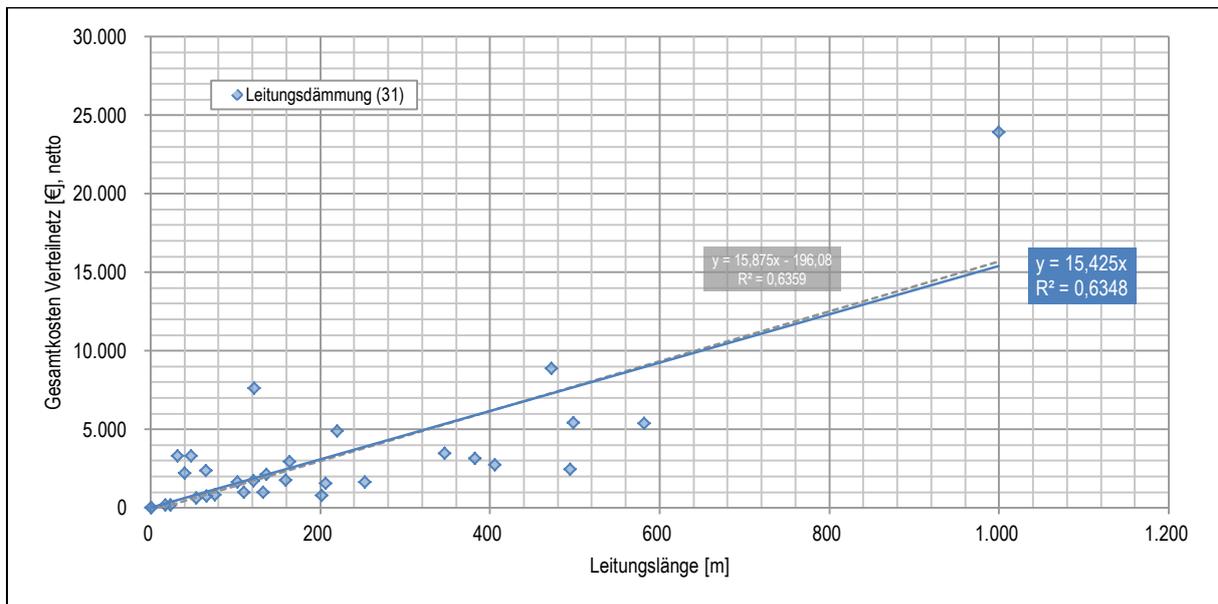


Abbildung 43 Grafische Auswertung: Rohrleitungs­dämmung in Abhängigkeit von der Leitungslänge

Alle Stichproben weisen auf eine ausgeprägte Abhängigkeit der Kosten von der Leitungslänge hin; jedoch zeigen sich auch für alle Stichproben sehr hohe Streuungen.

Die Kosten für die Installation von Trinkwasser- und Wärmeverteilnetzen können mit einem festen Kostenanteil von 1.500 € und zusätzlichen längenbezogenen Kosten von 18 €/m überschlagen werden, sofern hierbei keine neuen Umwälzpumpen installiert werden. Die Kosten hängen jedoch sehr stark von der konkreten Ausführung des Verteilnetzes ab – u.a. von der Anzahl der Heizkreise sowie vom Anteil an Rohrbögen, Formstücken und Armaturen. Schließt die Installation den Einbau von Hocheffizienzpumpen ein, kann überschlägig mit festen Kosten von 2.800 € und zusätzlichen Kosten von 25 €/m gerechnet werden.

Die Kosten für die Dämmung von Rohrleitungen kann näherungsweise zu 15 €/m bestimmt werden. Auch hier hängen die Kosten stark vom Anteil an Formteilen für Armaturen, Pumpen, etc. ab. Werden fast ausschließlich Rohre gedämmt, können sich deutlich geringere Kosten ergeben. Sind viele Dämmteile für Pumpen, Armaturen, Heizkreisverteiler, etc. notwendig, können die spezifischen Kosten steigen.

### 4.14.3 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten für die Erstellung von Trinkwasser- und Wärmeverteilnetzen sowie die Wärmedämmung von Rohrleitungen können überschlägig gemäß Tabelle 25 und 26 ermittelt werden.

Tabelle 25 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Trinkwasser- und Wärmeverteilnetze

Maßnahme							
<b>M</b>	Errichtung von Trinkwasser- oder Wärmeverteilnetzen  Die aufgeführten Kosten enthalten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitungen einschließlich Bögen, Formstücken, Armaturen,</li> <li>• Dichtungs-/Verbindungsmaterial,</li> <li>• Montagematerial und</li> <li>• ggf. den Einbau von Hocheffizienzpumpen</li> </ul> Die Kosten für eine Heizkreisverteilung sind in mittleren Anteilen enthalten. Nicht enthalten sind die Erstellung von Durchbrüchen bzw. Bohrarbeiten zur Leitungsdurchführung in großem Umfang. Bei der Kostenprognose wird davon ausgegangen, dass die benötigten Öffnungen größtenteils vorhanden sind nur vereinzelt neue Öffnungen erstellt werden müssen.						
Kostenfunktion(en)							
<b>Vollkosten, absolut</b>	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: right;"><b>€</b></td> <td><math>K_{V,M} = k_{v,M,1} + k_{v,M,2} * L</math></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td><math>K_{V,M} = 1.500€ + 18 \frac{€}{m} * L</math></td> <td style="text-align: right;">(Bsp. ohne Pumpen)</td> </tr> </table>	<b>€</b>	$K_{V,M} = k_{v,M,1} + k_{v,M,2} * L$			$K_{V,M} = 1.500€ + 18 \frac{€}{m} * L$	(Bsp. ohne Pumpen)
<b>€</b>	$K_{V,M} = k_{v,M,1} + k_{v,M,2} * L$						
	$K_{V,M} = 1.500€ + 18 \frac{€}{m} * L$	(Bsp. ohne Pumpen)					
Variable		Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen				
<b>L</b>	<table border="0"> <tr> <td style="text-align: right;"><b>[m<sup>2</sup>]</b></td> <td>                             Leitungslänge                              Die Leitungslänge kann für Bürogebäude auf Basis der Nutzfläche geschätzt werden<sup>1)</sup>:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizungsleitungen                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>○ eingeschossiges Gebäude bzw. eingeschossiger Bereich: <math>L = 1m^{-1} * A[m^2]</math></li> <li>○ mehrgeschossiges Gebäude bzw. mehrgeschossiger Bereich: <math>L = 0,8m^{-1} * A[m^2]</math></li> </ul> </li> <li>• Trinkwasserleitungen                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>○ eingeschossiges Gebäude bzw. eingeschossiger Bereich: <math>L = 1,5 * 2,56m *  A[m^2] ^{0,63}</math></li> <li>○ mehrgeschossiges Gebäude bzw. mehrgeschossiger Bereich: <math>L = 1,5 * 0,92m *  A[m^2] ^{0,71}</math></li> </ul> </li> </ul> </td> <td style="text-align: center;">1...2.100</td> <td style="text-align: center;">20...3.000</td> </tr> </table>	<b>[m<sup>2</sup>]</b>	Leitungslänge Die Leitungslänge kann für Bürogebäude auf Basis der Nutzfläche geschätzt werden <sup>1)</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizungsleitungen                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>○ eingeschossiges Gebäude bzw. eingeschossiger Bereich: <math>L = 1m^{-1} * A[m^2]</math></li> <li>○ mehrgeschossiges Gebäude bzw. mehrgeschossiger Bereich: <math>L = 0,8m^{-1} * A[m^2]</math></li> </ul> </li> <li>• Trinkwasserleitungen                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>○ eingeschossiges Gebäude bzw. eingeschossiger Bereich: <math>L = 1,5 * 2,56m *  A[m^2] ^{0,63}</math></li> <li>○ mehrgeschossiges Gebäude bzw. mehrgeschossiger Bereich: <math>L = 1,5 * 0,92m *  A[m^2] ^{0,71}</math></li> </ul> </li> </ul>	1...2.100	20...3.000		
<b>[m<sup>2</sup>]</b>	Leitungslänge Die Leitungslänge kann für Bürogebäude auf Basis der Nutzfläche geschätzt werden <sup>1)</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heizungsleitungen                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>○ eingeschossiges Gebäude bzw. eingeschossiger Bereich: <math>L = 1m^{-1} * A[m^2]</math></li> <li>○ mehrgeschossiges Gebäude bzw. mehrgeschossiger Bereich: <math>L = 0,8m^{-1} * A[m^2]</math></li> </ul> </li> <li>• Trinkwasserleitungen                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>○ eingeschossiges Gebäude bzw. eingeschossiger Bereich: <math>L = 1,5 * 2,56m *  A[m^2] ^{0,63}</math></li> <li>○ mehrgeschossiges Gebäude bzw. mehrgeschossiger Bereich: <math>L = 1,5 * 0,92m *  A[m^2] ^{0,71}</math></li> </ul> </li> </ul>	1...2.100	20...3.000				
Parameter							
<b>k<sub>v,M,1</sub></b>	<b>€</b>	feste Grundkosten	ohne Pumpe(n): 1.500 mit Pumpe(n): 2.800				
<b>k<sub>v,M,2</sub></b>	<b>€/m</b>	längenbezogene Kosten	ohne Pumpe(n): 18 mit Pumpe(n): 25				
<sup>1)</sup> Die angegebenen Schätzformeln basieren auf Vereinfachungen des Verfahrens zur Ermittlung von Rohrleitungslängen nach DIN V 18599-5:2011-12 [8] (Heizung) bzw. DIN V 18599-8:2011-12 [8] (Trinkwasser) für Bürogebäude mit dem Netztyp <i>Steigstrang</i> .							

Tabelle 26 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Rohrleitungsdämmung

Maßnahme			
M	Dämmung von Rohrleitungsnetzen		
	Die Kosten enthalten <ul style="list-style-type: none"> <li>• die Dämmung der Rohrleitungen, Form- und Verbindungsstücke, Pumpen, Armaturen,</li> <li>• Wanddurchführungen/Brandschutzabschottungen,</li> <li>• die Kaschierung der Dämmung in Aluminiumblech oder Kunststoff</li> </ul>		
Kostenfunktion(en)			
Vollkosten, absolut	€	$K_{V,M} = k_{v,M,1} * L$	
		$K_{V,M} = 15 \frac{€}{m} * L$	
Variable		Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
L	[m]	Leitungslänge (nur gedämmte Leitungsbereiche)	1...600 20...1.000
Parameter			
$k_{v,M,1}$	[€/m]	längenbezogene Kosten	15

### 4.14.4 Plausibilitätsprüfung

#### Qualitativer Verlauf

Für Trinkwasser-/Wärmeverteilungen und die zugehörige Rohrleitungsdämmung ist der wesentlichste Kosteneinfluss – unter mittleren Verhältnissen – in der Rohrleitungslänge zu finden ist. Anschaulich hängen die Kosten linear von der Rohrleitungslänge ab.

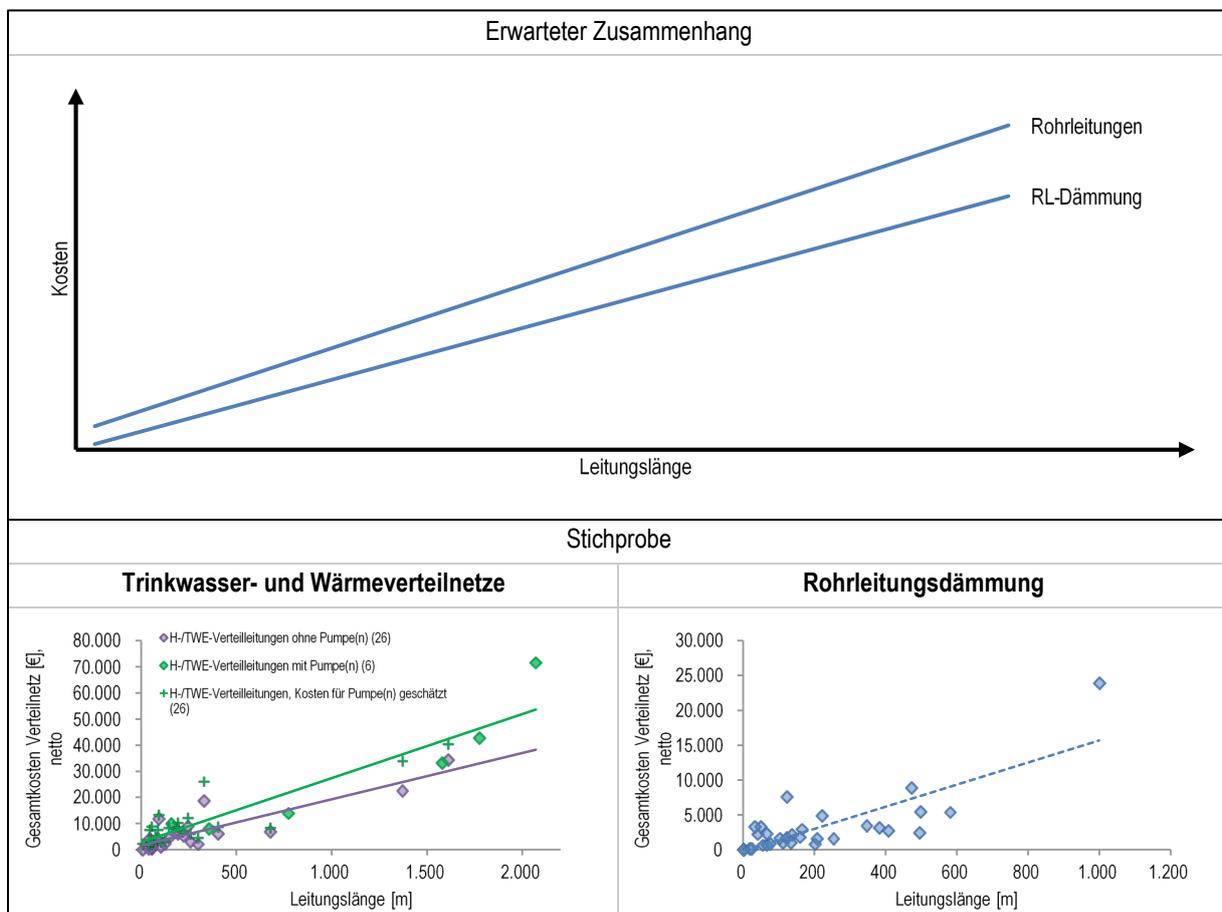


Abbildung 44 Rohrleitungsnetze und -dämmung – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Die untersuchten Stichproben geben den Anstieg der Kosten mit zunehmender Leitungslänge deutlich wieder, wenn auch bei ausgeprägter Wertestreuung. Die lineare Approximation erscheint geeignet – die abgeleiteten Kostenfunktionen sind qualitativ plausibel.

## Kostenniveau

IWU [4] gibt wohnflächenspezifische Kosten in Abhängigkeit von der Größe der Wohnfläche an. Der betrachtete Maßnahmenumfang entspricht ungefähr den in der vorliegenden Studie ausgewerteten Verteilungen ohne Pumpen zuzüglich Rohrleitungsdämmung. Die wohngebäudespezifischen Kosten nach IWU fallen für alle der beispielhaft betrachteten Rohrlängen deutlich geringer aus als die Kosten nach vorliegender Studie. Es ist anzunehmen, dass sich hier spezifische Eigenschaften von Nichtwohn- im Vergleich zu Wohngebäuden äußern, wie z.B.

- i.d.R. höhere Anzahl an Heizkreisen → höherer Kostenaufwand durch mehr Ventile, Rohrbögen, etc. und in Folge
- höherer Aufwand bei Dämmung, durch teure Systemdämmschalen etc.

Jedoch bringt auch die Umrechnung zwischen den jeweils verwendeten Bezugsgrößen Unschärfe in den Vergleich.

Die nach BKI [5] beispielhaft aus die Positionen

- Rohrleitungen DN20...DN100,
- Heizkreisverteiler und
- Strangreguliertventile

beispielhaft zusammengestellten Kosten decken sich recht gut mit den nach vorliegender Studie ermittelten Werten.

Tabelle 27 Wärmeverteilnetze, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben

Leitungslänge [m]	Vollkosten [€], netto		
	Vorliegende Studie Rohrleitungs- netz ohne Pumpen (+ Dämmung)	IWU-Studie [4] • wohngebäudespezifische Angaben, nur bedingt übertragbar • Leitungen und Dämmung	BKI Baukosten [5]
100 ( $\hat{=}$ ca. 100 m <sup>2</sup> <sub>Büro/Wohn</sub> )	<b>3.300 (+ 1.500)</b>	2.200	2.600
200 ( $\hat{=}$ ca. 160...200 m <sup>2</sup> <sub>Büro/Wohn</sub> )	<b>5.100 (+ 3.000)</b>	3.500	4.850
700 ( $\hat{=}$ ca. 560...700 m <sup>2</sup> <sub>Büro/Wohn</sub> )	<b>14.100 (+ 10.500)</b>	7.900	16.400
1.500 ( $\hat{=}$ ca. 1.200...1.500 m <sup>2</sup> <sub>Büro/Wohn</sub> )	<b>28.500 (+ 22.500)</b>	13.000	34.500

## 4.15 Einbau von Plattenheizkörpern

### 4.15.1 Vorbemerkung

Der Austausch von Heizkörpern bewirkt i.d.R. keine signifikante Einsparung von Energie; jedoch können sich sekundäre Einspareffekte zeigen, wie

- Verringerung der Wärmeerzeugungs- und -verteilverluste durch Absenkung der Systemtemperaturen bei vergrößerten Raumheizflächen und
- Verringerung der Wärmeübergabeverluste durch bessere Raumtemperaturregelung.

Ungeachtet dessen werden im Rahmen energetischer Sanierungen oft alte Heizkörper und Thermostatventile ausgetauscht.

#### 4.15.2 Kostenstruktur

Plattenheizkörper werden üblicherweise nach stückbezogenen Einheitspreisen abgerechnet. Die Höhe des Einheitspreises für einen Heizkörper von einem Anbieter hängt für gewöhnlich in erster Linie von Heizkörpertyp und -größe, also der benötigten Materialmenge, ab. Dies spiegelt sich auch in den Preislisten von Heizkörperherstellern wider – hier werden neben den Stückpreisen üblicher Heizkörperkonfektionen oft auch spezifische Preise in € je m Heizkörperlänge angegeben. Zusätzlich kann von einer belastbaren Korrelation zwischen der für einen Plattenheizkörper eingesetzten Materialmenge und seiner Heizleistung ausgegangen werden.

Der Einbau von Heizkörpern verursacht neben den bloßen Kosten der Heizkörper weitere Kosten – u.a. für Thermostatventile, Heizkörperverschraubung, Montagezubehör, nochmalige Abnahme und Wiedermontage. Diese Kostenbestandteile hängen nicht oder nur geringfügig von der Heizkörpergröße ab.

Zusammenfassend kann auf eine lineare Abhängigkeit der stückspezifischen Kosten von der Heizkörperleistung mit ausgeprägtem Sockelbetrag geschlossen werden. Der qualitative Zusammenhang ist Abbildung 45 zu entnehmen.

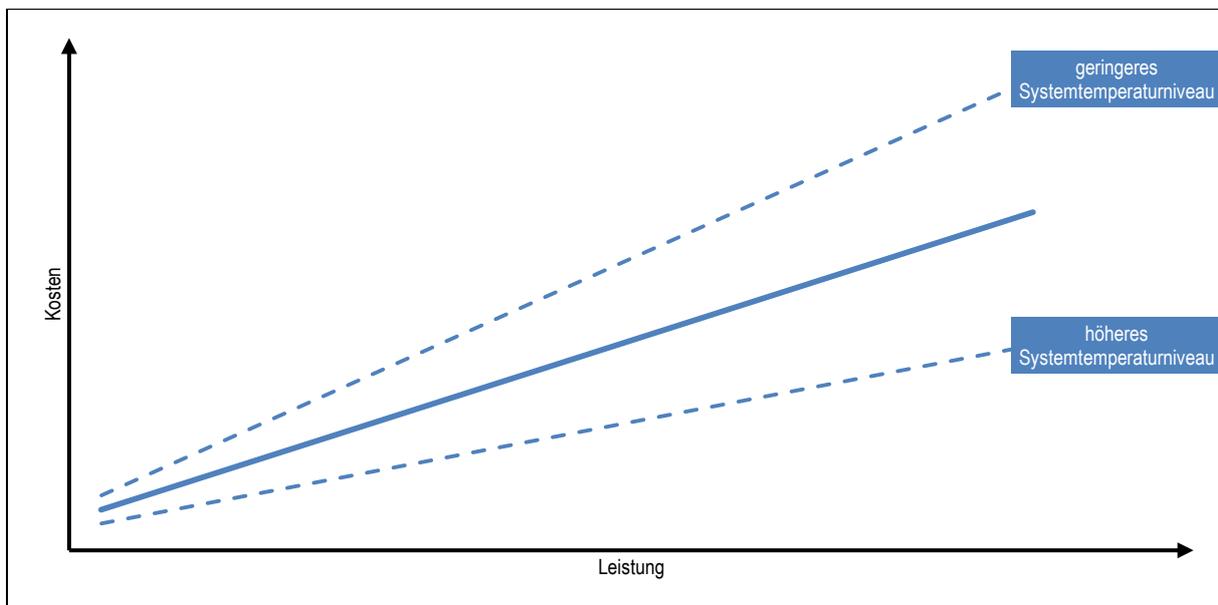


Abbildung 45 Absolutkosten Heizkörper in Abhängigkeit von der Leistung, qualitativ

#### 4.15.3 Datenauswertung

Für den Einbau von Plattenheizkörpern einschließlich Raumtemperaturregelung mit Thermostatventilen und allem notwendigen Montagezubehör liegen 113 auswertbare Datensätze vor.

Ausgewertet werden

- die stückbezogenen Kosten in Abhängigkeit von der Leistung<sup>30</sup> des Heizkörpers für übliche Systemtemperaturniveaus (n = 113), gewichtet nach der Anzahl der jeweils eingebauten Heizkörper
- die Gesamtkosten aller im Rahmen einer zusammenhängenden Maßnahme eingebauten Heizkörper in Abhängigkeit von der installierten Gesamtleistung<sup>30</sup> (n = 12)

<sup>30</sup> Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden Heizkörperleistungen überschlägig gemäß entsprechender Herstellerangaben aus Heizkörpertyp und -größe für übliche Systemtemperaturniveaus berechnet.

### Einbau einzelner Heizkörper

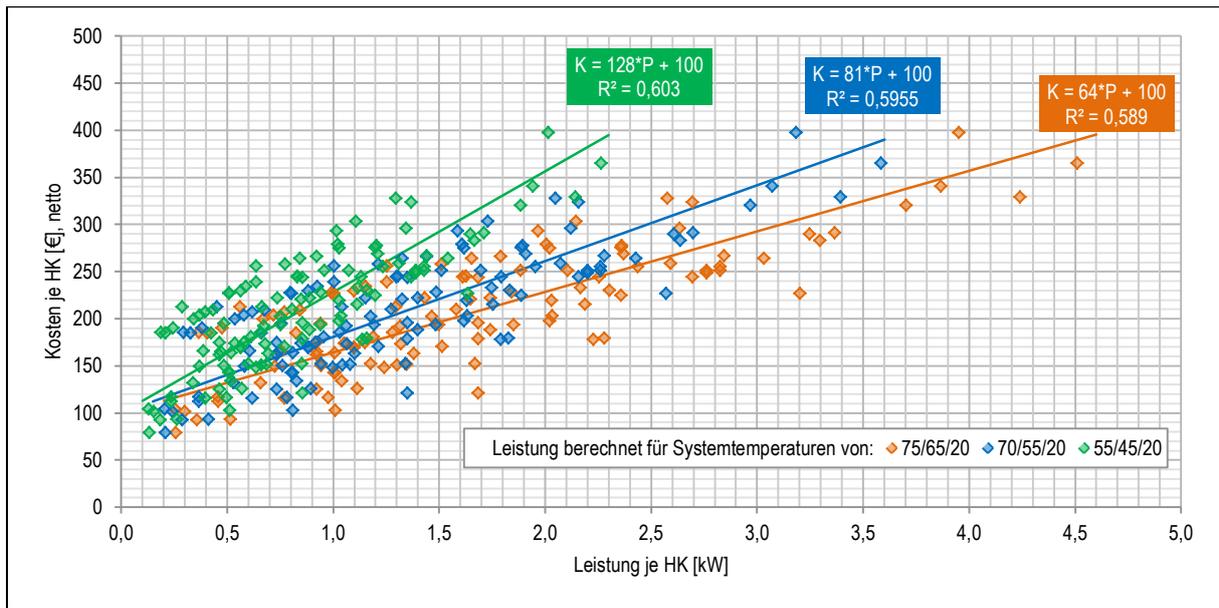


Abbildung 46 Grafische Auswertung: Einbau von Heizkörpern, Stückkosten in Abhängigkeit von der Leistung, für die Systemtemperaturen 75/65/20, 70/55/20 und 55/45/20 °C (Vorlauf/Rücklauf/Raumtemperatur)

In der stückbezogenen Auswertung zeigt sich im Mittel eine sehr gute Korrelation zwischen Heizkörperleistung und -kosten. Die über einen weiten Bereich nahezu konstante Streuung der Werte ist zwar ausgeprägt, das Bestimmtheitsmaß dennoch vergleichsweise hoch. Je Heizkörper kann mit mittleren Grundkosten von 100 € und zusätzlichen leistungsbezogenen Kosten zwischen 64 und 130 € je kW Heizkörperleistung gerechnet werden.

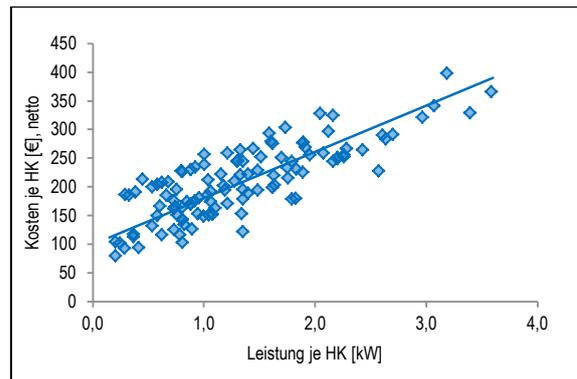


Abbildung 47 Heizkörperkosten über -leistung beispielhaft für das Temperaturniveau 70/55/20 °C

## Einbau von Heizkörpern in großem Umfang

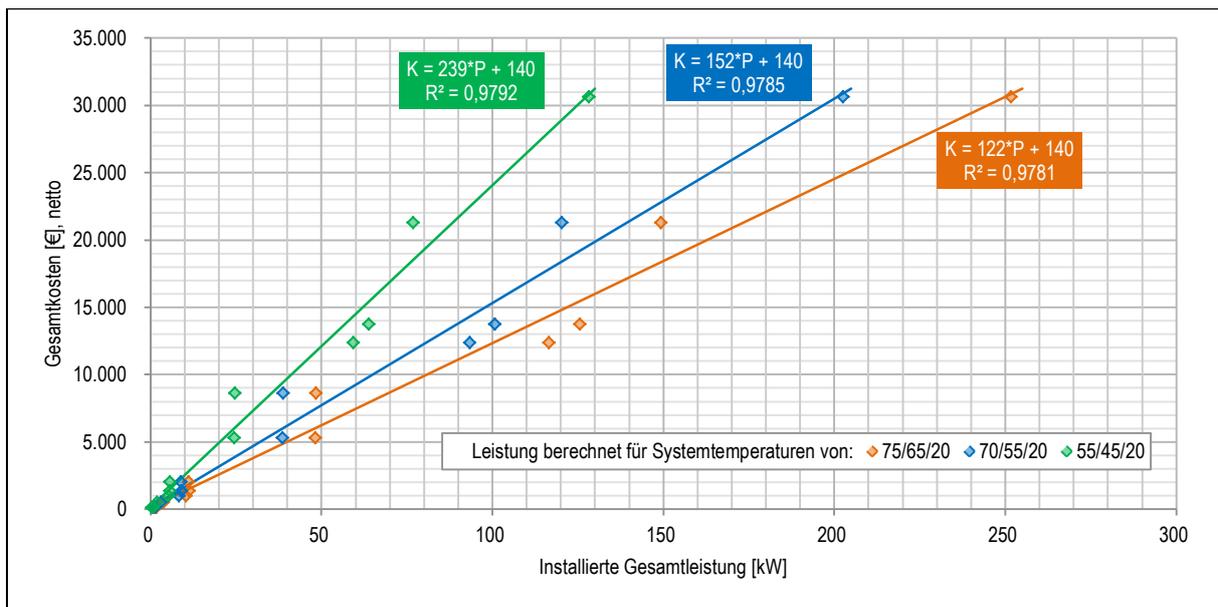


Abbildung 48 Grafische Auswertung: Einbau von Heizkörpern, Gesamtkosten in Abhängigkeit von der Gesamtleistung, für die Systemtemperaturen 75/65/20, 70/55/20 und 55/45/20 °C (Vorlauf/Rücklauf/Raumtemperatur)

Auch in der Auswertung der Gesamtkosten zeigt sich eine gute Korrelation zwischen Kosten und Leistung. Das Bestimmtheitsmaß fällt sehr hoch aus. Relativierend ist zu sagen, dass sich durch die Zusammenfassung aller Daten nach Objekt und Maßnahme eine Stichprobe von nur noch 12 Datenpunkten ergibt. Da für diese Maßnahme der Leistungsumfang recht klar abgesteckt werden kann und der Variationsbereich der einzelnen Kostenbestandteile noch überschaubar sein sollte, dürfte die dargestellte Approximation für die Beurteilung mittlerer Verhältnisse dennoch geeignet sein. Die Kosten für den Einbau mehrerer ggf. verschiedener Heizkörper zur Versorgung größerer Gebäudebereiche oder ganzer Gebäude kann mit festen Kosten von 140 € je Maßnahme und zusätzlichen Kosten zwischen 120 und 240 €/kW überschlägig ermittelt werden.

### Vergleich der Kostenmodelle

Im Vergleich der Auswertungen für den Einbau einzelner Heizkörper und den Einbau mehrerer Heizkörper zeigen sich unterschiedliche Kosten. Der Einbau mehrerer Heizkörper im Rahmen einer Maßnahme verursacht etwas höhere Grundkosten und deutlich höhere leistungsbezogene Kosten. Dieser abweichende Kostenverlauf mag beim ersten Hinsehen verwundern, ist jedoch plausibel:

- Die theoretische Untergrenze in beiden Fällen besteht im Einbau eines einzigen Heizkörpers mit sehr geringer Leistung. Mit der Leistung  $P \approx 0$  ermitteln beide Funktionen ein zumindest noch ähnliches Kostenniveau. Die unterschiedlichen Sockelbeträge beider Betrachtungen können auf statistisches Rauschen zurückgeführt werden.
- Bei einer Leistungssteigerung bilden beide Funktionen jedoch unterschiedliche Vorgänge ab:
  - Beim Einbau eines Heizkörpers entspricht eine Steigerung der Leistung der Vergrößerung des Heizkörpers. Die Kostenbestandteile für Thermostatventil, Heizkörperverschraubung, Befestigungsmaterial, etc. ändern sich nicht oder nur sehr geringfügig – sie sind näherungsweise leistungsunabhängig.
  - Beim Einbau mehrerer Heizkörper steigt zusammen mit der Leistung üblicherweise auch die Anzahl der Heizkörper. Somit fallen Kostenbestandteile, welche beim Einbau einzelner Heizkörper nahezu leistungsunabhängig sind, nun leistungsabhängig mehrfach an. Die Abhängigkeit der Gesamtkosten von der Leistung muss folglich stärker ausgeprägt und der Verlauf der Kostenfunktion steiler sein.

### 4.15.4 Abgeleitete Kostenfunktion(en)

Die Kosten für den Einbau einzelner Plattenheizkörper sowie die Gesamtkosten beim Einbau vieler, auch verschiedener, Heizkörper (z.B. zur Versorgung mehrere Räume oder eines ganzen Gebäudes) können gemäß Tabelle 28 und 29 überschlagen werden.

Tabelle 28 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Einbau einzelner Heizkörper

		Maßnahme		
<b>M</b>		Einbau einzelner Plattenheizkörper		
		Die Kosten umfassen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lieferung und Montage des Heizkörpers,</li> <li>• Thermostatregelventil,</li> <li>• sämtliches Montagematerial,</li> <li>• Heizkörperverschraubung und</li> <li>• i.d.R. einmalige De- und Wiedermontage des Heizkörpers, z.B. für nachfolgende Malerarbeiten.</li> </ul> Die Demontage und Entsorgung abgängiger Heizkörper ist nicht enthalten.		
		Kostenfunktion(en)		
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = k_{v,M,1} + k_{v,M,2} * P$		
		$K_{V,M} = 100€ + 81 \frac{€}{kW} * P$ (Bsp. 70/55/20)		
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>P</b>	<b>[kW]</b>	benötigte/installierte Heizleistung des Heizkörpers		
		Für eine konservative Schätzung im Rahmen überschlägiger Kostenprognosen kann die Leistung der Heizkörper <ul style="list-style-type: none"> <li>• für Neubauten bzw. kürzlich nachträgliche wärmedämmte Gebäude zu <math>P = 0,05 \frac{kW}{m^2} * A [m^2]</math> und</li> <li>• für ungedämmte Altbauten zu <math>P = 0,1 \frac{kW}{m^2} * A [m^2]</math></li> </ul> bestimmt werden, wobei A die Grundfläche des zu beheizenden Bereichs ist (vgl. auch EN 15378, nationaler Anhang [10]).		
		Parameter		
<b>k<sub>v,M,1</sub></b>	<b>[€]</b>	Grundkosten		<b>100</b>
<b>k<sub>v,M,2</sub></b>	<b>[€/kW]</b>	leistungsbezogene Mehrkosten		<b>55/45/20<sup>1)</sup>: 130</b>
				<b>70/55/20<sup>1)</sup>: 81</b>
				<b>75/65/20<sup>1)</sup>: 64</b>
<sup>1)</sup> ≥ 70/55/20 <ul style="list-style-type: none"> <li>• üblich bei Niedertemperaturkesseln</li> <li>• auch mit BW-Kesseln im Gebäudebestand (z.B. bei kleinen Heizkörpernischen)</li> </ul> ≤ 55/45/20 <ul style="list-style-type: none"> <li>• ggf. Vergrößerung der Heizflächen notwendig</li> <li>• BW-Kessel, Elektrowärmepumpen(!)</li> </ul>				

Tabelle 29 Zusammenstellung Kostenfunktion(en): Einbau von Heizkörpern in großem Umfang

Maßnahme				
<b>M</b>		Einbau von Plattenheizkörpern (auch verschiedene Größen) in großem Umfang <sup>1)</sup> , z.B. für große oder mehrere Räume, ganze Gebäude oder Gebäudeabschnitte  Die Kosten umfassen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lieferung und Montage der Heizkörper,</li> <li>• Thermostatregelventile,</li> <li>• sämtliches Montagematerial,</li> <li>• Heizkörperverschraubung und</li> <li>• i.d.R. einmalige De- und Wiedermontage der Heizkörper, z.B. für nachfolgende Malerarbeiten.</li> </ul> Die Demontage und Entsorgung abgängiger Heizkörper ist nicht enthalten.		
Kostenfunktion(en)				
<b>Vollkosten, absolut</b>	<b>[€]</b>	$K_{V,M} = k_{v,M,1} + k_{v,M,2} * P$ $K_{V,M} = 140€ + 150 \frac{€}{kW} * P$	(Bsp. 70/55/20)	
		Variable	Definitionsbereich Ursprungsdaten	Empfohlene Anwendungsgrenzen
<b>P</b>	<b>[kW]</b>	installierte Leistung  Für eine konservative Schätzung im Rahmen überschlägiger Kostenprognosen kann die Leistung der Heizkörper <ul style="list-style-type: none"> <li>• für Neubauten bzw. kürzlich nachträgliche wärmedämmte Gebäude zu <math>P = 0,05 \frac{kW}{m^2} * A [m^2]</math> und</li> <li>• für ungedämmte Altbauten zu <math>P = 0,1 \frac{kW}{m^2} * A [m^2]</math></li> </ul> bestimmt werden, wobei A die Grundfläche des zu beheizenden Bereichs ist (vgl. auch EN 15378, nationaler Anhang [10]).	0,8 <sup>1)</sup> ...200	3 <sup>1)</sup> ...300
Parameter				
<b>k<sub>v,M,1</sub></b>	<b>[€]</b>	Grundkosten		<b>140</b>
<b>k<sub>v,M,2</sub></b>	<b>[€/kW]</b>	leistungsbezogene Mehrkosten		<b>55/45/20<sup>2)</sup>: 240</b> <b>70/55/20<sup>2)</sup>: 150</b> <b>75/65/20<sup>2)</sup>: 120</b>
<sup>1)</sup> Die Anzahl der in den untersuchten Maßnahmen jeweils eingebauten Heizkörper bewegt sich zwischen 1 und 134. Die abgeleitete Kostenfunktion ist jedoch nur bedingt zur Kostenschätzung für einen einzelnen Heizkörper bzw. sehr kleine Leistungen geeignet.				
<sup>2)</sup> ≥ 70/55/20 <ul style="list-style-type: none"> <li>• übliche bei Niedertemperaturkesseln</li> <li>• auch mit BW-Kesseln im Gebäudebestand (z.B. bei kleinen Heizkörpernischen)</li> </ul> ≤ 55/45/20 <ul style="list-style-type: none"> <li>• ggf. Vergrößerung der Heizflächen notwendig</li> <li>• BW-Kessel, Elektrowärmepumpen(!)</li> </ul>				

### 4.15.5 Plausibilitätsprüfung

#### Qualitativer Verlauf

Die Kosten von Heizkörpern richten sich primär nach der eingesetzten Materialmenge. Diese korreliert gut mit der Heizleistung des Heizkörpers. Somit kann auf einen linearen Anstieg der Kosten mit zunehmender Heizleistung geschlossen werden. Darüber hinaus ist, zumindest bei der Betrachtung einzelner Heizkörper, von einem ausgeprägten Sockelbetrag, z.B. für Thermostatventile, Montagezubehör und Heizkörperverschraubung auszugehen.

In den zum Vergleich von Kostenkennwerten herangezogenen Quellen werden Kosten für einzelne Heizkörper aufgeführt, jedoch nicht für die Installation einer bestimmten Leistung mit mehreren, ggf. verschieden großen, Heizkörpern. Die Verhältnisse, welche sich im Vergleich der Kosten für einzelne Heizkörper zeigen, können

jedoch auf die Installation mehrerer Heizkörper übertragen werden, da bei dieser die Kosten für die Installation einzelner Heizkörper in sehr guter Näherung lediglich zu addieren sind.

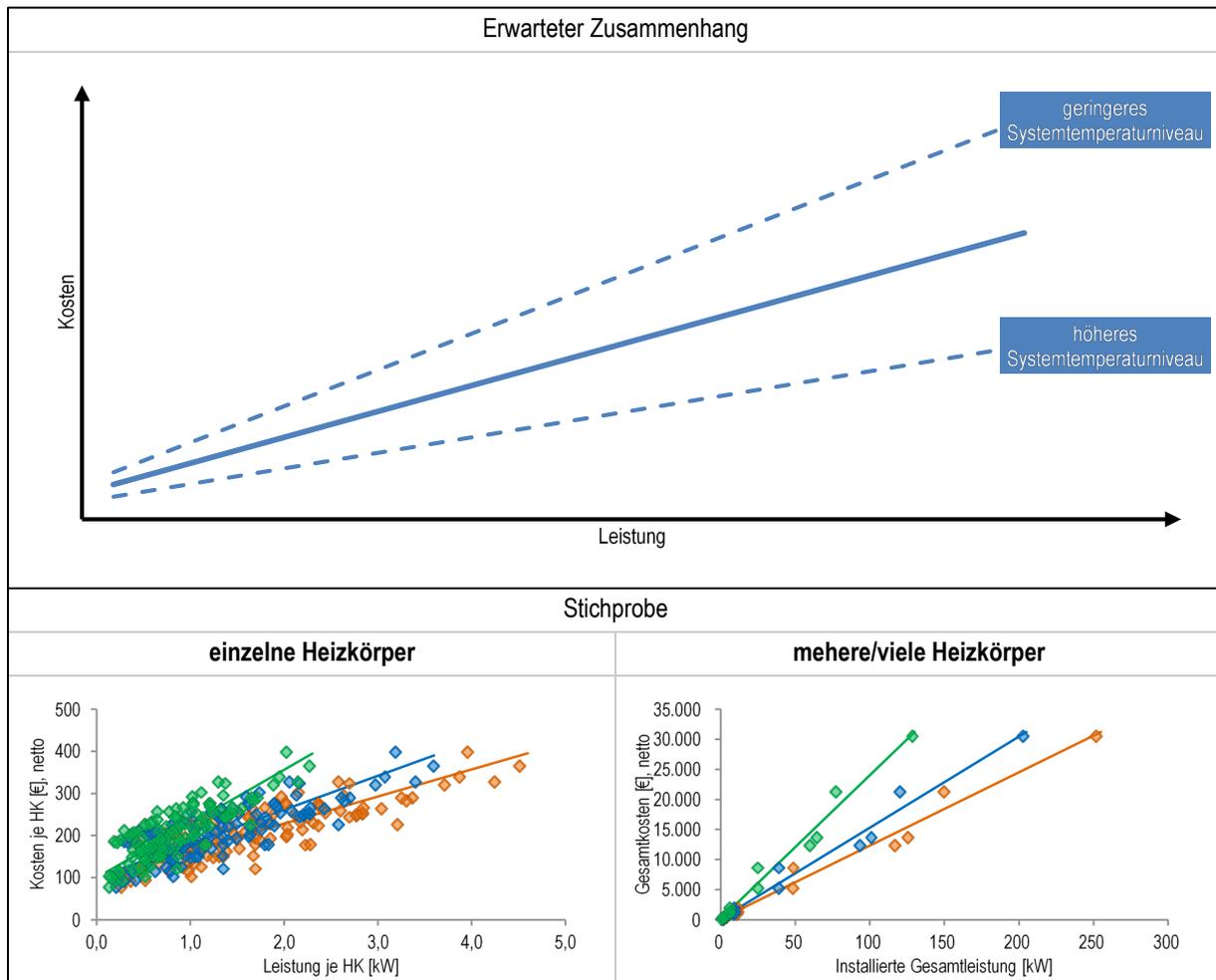


Abbildung 49 Heizkörper – Gegenüberstellung: erwartete Kostenfunktionen, reale Kostendaten

Die Abhängigkeit der Kosten von der Heizleistung ist deutlich. In der Teilauswertung der Kosten einzelner Heizkörper zeigt sich eine ausgeprägte Streuung, welche über den betrachteten Leistungsbereich annähernd konstant ist (siehe auch Abbildung 47). Die Approximation der Stichprobe ist dennoch als gut zu beurteilen. Die abgeleiteten Kostenfunktionen sind plausibel.

### Kostenniveau

Die nach vorliegender Studie ermittelten Kosten passen relativ gut zu den Kostenwerten nach eigener Kalkulation<sup>31</sup>, wobei sich der Anstieg der Kosten mit zunehmender Leistung in letzteren etwas schwächer zeigt.

IWU [4] gibt informativ mittlere Kosten pro Heizkörper an. Die Größe oder Leistung dieser Heizkörper wird nicht benannt. Ein Vergleich mit den Werten der vorliegenden Studie ist daher nur bedingt möglich. Die Kosten nach IWU beschreiben ein ähnliches Kostenniveau, liegen aber tendenziell über denen der vorliegenden Studie.

Den BKI-Baukosten [5] können ebenfalls mittlere Preise je Heizkörper entnommen werden. Auch hier findet keine Zuordnung von Größe oder Leistung statt. Ein Vergleich mit den Werten der vorliegenden Studie ist daher nur bedingt möglich. Die Kosten nach BKI passen recht gut zu den Kosten der vorliegenden Studie für die beispielhaft betrachteten Leistungen.

<sup>31</sup> Überschlagn auf der Grundlage von Katalogpreisen verschiedener Hersteller unter Berücksichtigung üblicher Rabatte und Lohnsätze

Tabelle 30 Heizkörper, Vollkosten (netto), Vergleich Kostenangaben beispielhaft für 70/55/20

Leistung [kW]	Vollkosten [€], netto			
	Vorliegende Studie	Eigene Berechnung <sup>1)</sup>	IWU-Studie [4] • kein Bezug zur HK-Leistung, keine Größenangabe	BKI Baukosten [5] • kein Bezug zur HK-Leistung, keine Größenangabe
0,5	141	161	172...430	164...204
1,2	197	187		
2	262	219		

<sup>1)</sup> Die angegebenen Kostenwerte beruhen auf Katalogpreisen verschiedener Hersteller unter Berücksichtigung üblicher Rabatt- und Lohnsätze.

## 4.16 Einbau von Photovoltaikanlagen (informativ)

### 4.16.1 Vorbemerkung

Die nachfolgende Betrachtung erfolgt informativ. Von einer Anwendung der ermittelten Ausgleichsfunktion zur Kostenprognose wird abgeraten.

- Für die Errichtung von Anlagen zur photovoltaischen Erzeugung von Elektroenergie liegen nur relativ wenige auswertbare Datensätze vor.
- Die vorliegenden Datensätze beziehen sich auf Maßnahmen, welche bereits mehrere Jahre zurückliegen. Die Preisentwicklung von PV-Anlagen ist wesentlich dynamischer als die vieler anderer baulicher oder anlagentechnischer Maßnahmen. Zwischen dem hier relevanten Betrachtungszeitraum (2007-2011) und heute ist von einer merklichen Verringerung der Kosten auszugehen, bedingt u.a. durch technischen Fortschritt, steigende Produktionskapazitäten, steigenden Wettbewerb und vermehrte Produktion in Länder mit geringerem Lohnniveau auszugehen. Die Kostenentwicklung von PV-Anlagen kann mit den hier verwendeten Faktoren zur Zeitkorrektur nicht erfasst werden.

### 4.16.2 Kostenstruktur

Der Aufwand zur Errichtung von PV-Anlagen hängt wesentlich von der Größe und Anzahl der verwendeten Module ab; darüber hinaus ergeben sich Kosten für Montagematerial und Unterkonstruktion, Wechselrichter und Elektroinstallation. Diese Parameter korrelieren größtenteils gut mit der Nennleistung der Anlage; es kann daher von einer ausgeprägten Abhängigkeit der Kosten von der Leistung ausgegangen werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie wird in erster Näherung ein linearer Zusammenhang unterstellt.

### 4.16.3 Datenauswertung

Die Auswertung umfasst 14 Datensätze.

Die berücksichtigten Kosten beinhalten

- PV-Module mit Unterkonstruktion,
- sämtliches Montagematerial,
- Wechselrichter,
- sämtliche Arbeiten (ELT-Installation) zur Anbindung der PV-Anlage sowie ggf. Steuer-/Regelungstechnik bzw. Komponenten zur Anlagenüberwachung

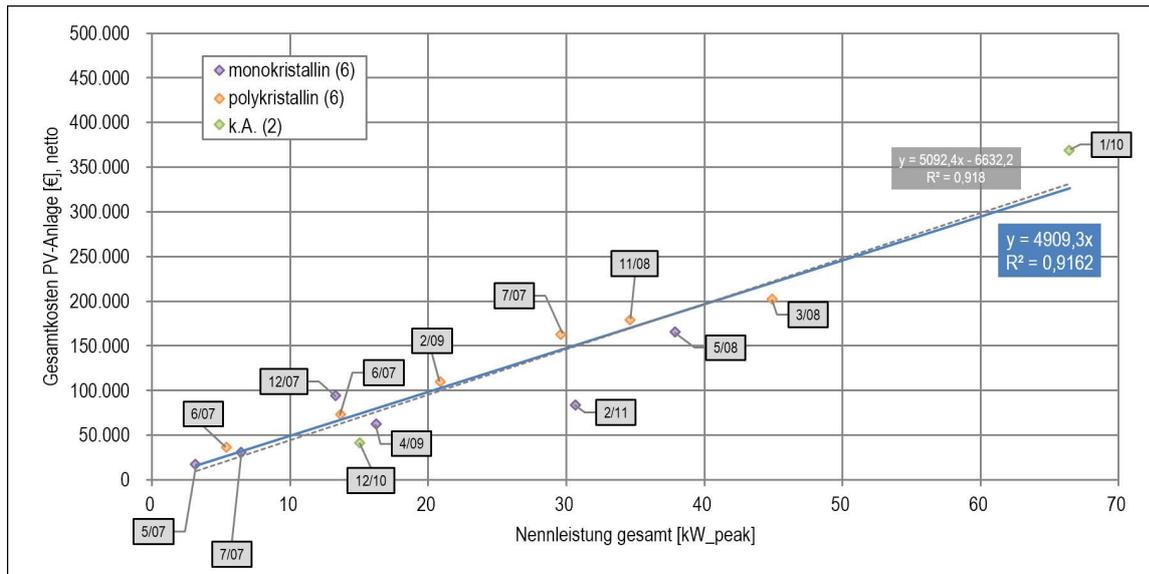


Abbildung 50 Grafische Auswertung: Kosten PV-Anlage in Abhängigkeit von der Nennleistung, zusätzlich Maßnahmendatum

Die Stichprobe belegt den unterstellten Zusammenhang deutlich. Trotz recht ausgeprägter Streuung fällt das Bestimmtheitsmaß vergleichsweise hoch aus.

Gemäß Datenauswertung wäre Kosten in Höhe von 4.900 €/kW<sub>peak</sub> auszugehen. Die Anwendung dieser Werte zur Kostenprognose wird jedoch nicht empfohlen. Aufgrund des relativ starken Kostenrückgangs für PV-Komponenten in den letzten Jahren muss davon ausgegangen werden, dass die hier betrachteten Kosten heute nicht mehr repräsentativ sind und das abgeleitete Kostenniveau dementsprechend nicht belastbar ist.

## 5 Fazit

Das Ziel der vorliegenden Studie ist die Beurteilung der Kosten energetisch relevanter Sanierungsmaßnahmen an Bundesbauten. Neben der statistischen Auswertung erhobener Kostendaten war auch die Erhebung selbst Teil der Arbeit.

Zusammenfassend kommen die Autoren zu folgenden Schlüssen:

- Von den für dieses Projekt potenziell verfügbaren Daten wurde in den beiden durchgeführten Recherchephasen ein wesentlicher Anteil gesichtet. Zur Einholung noch vorhandener, bislang nicht in die Erhebung einbezogener Kostendaten, wäre zum jetzigen Zeitpunkt unverhältnismäßig hoher Zeit-/Arbeitsaufwand notwendig.
- Die nachträgliche Erhebung von Kostendaten verursacht i.d.R. sehr hohen Zeit- und Reiseaufwand. Für eine fortlaufende Unterhaltung und Pflege von Kostendatenbanken empfehlen die Autoren daher eine andere Vorgehensweise:
  - Zeitnahe Übermittlung abgerechneter Kostendaten in elektronischer Form durch die jeweils zuständigen Bauverwaltungen an eine zentrale Sammelstelle; i.d.R. sind die folgenden Daten sinnvoll:
    - Schlussrechnungen und zugehörige Leistungsverzeichnisse,
    - optional weitere maßnahmenrelevante Unterlagen (Grundrisse, Datenblätter, Unternehmerklärung, etc.)
    - optional Kontaktdaten des zuständigen Bearbeiters für Rückfragen
  - Fortlaufende zentrale Archivierung der elektronisch vorliegenden Kostendaten
  - Regelmäßige Auswertung der (neu) archivierten Kostendaten zur Pflege/Erstellung von Kostenfunktionen, z.B. im 2-Jahres-Rhythmus
- Die Auswertung der eingeholten Kostendaten zeigt i.d.R. qualitativ und quantitativ plausible Kostenverläufe. Für einige Maßnahmen fallen die untersuchten Stichproben zu klein aus, um die Ableitung belastbare Kostenverläufe zu gestatten – in solchen Fällen werden ggf. Kostenanstiege ähnlicher Maßnahmen herangezogen oder sinnvolle Randbedingungen aufgeprägt.

Im Ergebnis der Untersuchung können die folgenden Maßnahmen für mittlere Verhältnisse kostenmäßig beurteilt werden:

- Errichtung und Vorhaltung von Gerüsten
- Außenwanddämmung
  - Wärmedämmverbundsystem
  - Vorgehängte hinterlüftete Fassade
- Dämmung der obersten Geschossdecke
  - begehbar
  - nicht begehbar
- Dämmung des Daches von innen
- Erneuerung der Dachhaut mit einhergehender Dämmung des Daches
- Dämmung der Kellerdecke von unten
- Einbau von Fenstern
  - Holz-/Aluminiumrahmen
  - Kunststoffrahmen
  - Niveau Referenzgebäude EnEV ( $U_w \approx 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
  - Besser als Referenzgebäude EnEV ( $U_w \approx 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Demontage und Entsorgung von Fenstern
- Einbau von Wärmezeugungsanlagen (einschließlich Demontage) mit
  - Gas-Brennwertkesseln

- Holzkesseln
- Einbau solarthermischer Anlagen
- Einbau von Trinkwasser-/Wärmeverteilnetzen
  - ohne (Hocheffizienz-)Pumpen
  - mit (Hocheffizienz-)Pumpen
- Rohrleitungsdämmung gemäß EnEV
- Heizkörper
  - einzelne Heizkörper
  - in großem Umfang (Gebäude/-bereich)
  - verschiedene Systemtemperaturniveaus

## 6 Quellen

- [1] *PLAKODA(c): Planungs- und Kostendaten der Zentralstelle für Bedarfsbemessung und wirtschaftliches Bauen des Landes Baden-Württemberg*, Staatliche Vermögens- und Hochbauverwaltung Baden-Württemberg.
- [2] BKI Baukosteninformationszentrum, *BKI Baukosten Regionalfaktoren (projektspezifisch zur Verfügung gestellt)*, 2006-2012.
- [3] Statistisches Bundesamt, [www.destatis.de](http://www.destatis.de), *Baupreisindex*, 2006-2012.
- [4] IWU Darmstadt Institut Wohnen und Umwelt GmbH, *Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Wohngebäude mit der EnEV 2012: Kosten energierelevanter Bau- und Anlagenteile bei der energetischen Modernisierung von Altbauten, Endbericht Mai*.
- [5] BKI Baukosteninformationszentrum, *Baukosten Positionen, Statistische Kostenkennwerte*, 2011.
- [6] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie; Bayerisches Staatsministerium des Inneren (Oberste Baubehörde), *HINWEISE (MERKBLÄTTER) - Merkblatt 52, Kosten und Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen*, 2005.
- [7] Schmidt Reuter Integrale Planung und Beratung GmbH, *Ermittlung von spezifischen Kosten energiesparender Bauteil-, Beleuchtungs-, Heizungs- und Klimatechnikausführungen für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur EnEV 2012; Endbericht*, 2011.
- [8] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN V 18599:2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teile 1 bis 11*, 2011.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *DIN EN 13779:2007-09 Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme*, Dezember 2009.
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V., *Heizungssysteme in Gebäuden - Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen; Deutsche Fassung EN 15378:2007, 07/2008*.

## 7 Anhang

### Anhang 1 Eingeholte Kostendaten, Übersicht

Tabelle 31 gibt einen Überblick über die Objekte, zu welchen in der Recherchephase Kostendaten eingeholt werden konnten.

Die Darstellung erfolgt auszugsweise. Nicht alle Maßnahmen werden im Detail aufgeführt. Maßnahmen an verschiedenen Gebäuden oder Gebäudebereichen eines Objektes sowie Mehrfachmaßnahmen am selben Gebäude (zeitlich auseinanderliegend, verschiedene Ausführende, etc.) sind i.d.R. nur als eine Maßnahme dargestellt.

Nicht alle eingeholten Kostendaten waren sinnvoll auswertbar. Nicht alle aufgeführten Maßnahmen(-kategorien) wurden in die Auswertung einbezogen.

**Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)**

<b>Baden-Württemberg, BV unbekannt: AM Aschenreute</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Baden-Württemberg, BV unbekannt: AM Engen</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Baden-Württemberg, BV unbekannt: AM Offenburg</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: BPol Konstanz</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Erneuerung Heizungsanlage, Wärmepumpe
Maßnahmen an der Beleuchtung
PV-Anlage
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: BPol Offenburg</b>
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: Bundesanstalt THW</b>
Dämmung AW, Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: Oberfinanzdirektion Karlsruhe</b>
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: SM Schönau</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: THW Kenzingen</b>
Dämmung Außenwand
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: THW Lohr</b>
Gerüst
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: THW Offenburg</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: Wasser und Schiffsamt</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Kälteanlage
Fenster
Verteilungen/Leitungsdämmung/Pumpen...
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: Zollamt Lörrach</b>
Dämmung Außenwand
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: Zollamt Öhningen</b>
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Freiburg: Zollamt Weil-Otterbach</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
<b>Baden-Württemberg, SHBA Ulm: Hauptzollamt Ulm</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
<b>Baden-Württemberg, SHBA Ulm: Zolldienstgebäude</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Herrieden</b>
Energieausweis
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Hösbach</b>
Energieausweis
Energiekonzept
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Kist</b>
Energieausweis
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Knetzgau</b>
Energieausweis
Energiekonzept
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Lauterhofen</b>
Energieausweis
Energiekonzept
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Münchberg</b>
Energieausweis
Energiekonzept
<b>Bayern, Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg: AM Oberthulba</b>
Energieausweis
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: Forstdienstgebäude Heringnohe</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: Forstdienstwohngebäude Luisenhof</b>
Dämmung Außenwand
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: Forstdienstwohnung Hannesreuth</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: SM Eschenbach</b>
Fenster
Gerüst
Solarthermie
Verteilleitungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: SM Weiden</b>
PV-Anlage
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: THW Nabburg</b>
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: THW Oberviechtach</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: THW Schwandorf</b>
Fenster

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: THW Weiden</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst
Sanitär
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Amberg: Zoll Wernberg</b>
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Bayreuth: BPol Bayreuth (5 Gebäude)</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
Gerüst
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Bayreuth: SM Naila</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
Fenster
Gerüst
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Bayreuth: THW Bayreuth</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Bayreuth: THW Hof</b>
Fenster
Gerüst
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Bayreuth: Zollamt Bayreuth</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Krumbach: SM Krumbach</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Fenster
Gerüst
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Krumbach: SM Neu-Ulm</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst
Raumlufttechnische Anlagen
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Nürnberg: BAMF Zirndorf</b>
Fenster
Maßnahmen am Dach
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Nürnberg: Eisenbahn Bundesamt Zirndorf</b>
Dämmung Außenwand
Gerüst
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Nürnberg: SM Lauf</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Energieausweis
Maßnahmen an der Beleuchtung
PV-Anlage

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Bayern, Staatliches Bauamt Nürnberg: THW Baiersdorf</b>
Gerüst
PV-Anlage
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Nürnberg: THW Lauf</b>
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Schweinfurt: BPol Ausbildungs- u. Fortbildungszentrum Sporthalle Oerlenbach</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Raumluftechnische Anlagen
Sanierung Nah-/Fernwärmenetz
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Schweinfurt: BPol Ausbildungs- u. Fortbildungszentrum Waffenwerkstadt Oerlenbach</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Schweinfurt: THW Mellrichstadt</b>
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Traunstein: SM Freilassing</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Weilheim: THW Bad Tölz</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Verteileitungen/Leitungs-dämmung/Pumpen...
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Weilheim: THW Landsberg</b>
Fenster
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Weilheim: Unterkunft Zoll-SKI-Team</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Würzburg: SM Lohr</b>
PV-Anlage
Solarthermie
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Würzburg: SM Würzburg</b>
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
Fenster
Gerüst
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
<b>Bayern, Staatliches Bauamt Würzburg: Wasser und Schifffahrtsdirektion Würzburg</b>
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
<b>Hessen, Hbm Nord Kassel: BHH Hasselweg</b>
Fenster
<b>Hessen, Hbm Nord Kassel: BIMA</b>
Dämmung Außenwand
Gerüst
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Hessen, Hbm Nord Kassel: BPol Fuldata (10 Gebäude)</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
Gerüst
Raumluftechnische Anlagen

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Hessen, Hbm West Wiesbaden: BKA Wiesbaden (6 Gebäude)</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Energiekonzept
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst
Raumlufttechnische Anlagen
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Hessen, Hbm West Wiesbaden: Bundessozialgericht Kassel</b>
Fenster
Maßnahmen an der Beleuchtung
PV-Anlage
Raumlufttechnische Anlagen
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: BIMA Stralsund</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Gerüst
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: BPol-Inspektion Dienstliegenschaft</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: BPol-Inspektion Stralsund</b>
Dämmung AW, unterer und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Energieausweis
Maßnahmen an der Beleuchtung
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: Bundesamt für Naturschutz Vilm</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: Campingpark Rügen</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: Hauptzollamt Stralsund</b>
Dämmung unterer und oberer Gebäudeabschluss
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: Haus am Südstrand</b>
Energieausweis
Erneuerung Heizungsanlage
Maßnahmen an der Beleuchtung
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
Solarthermie
<b>Mecklenburg-Vorpommern, BBL M-V: Wasser und Schiffsamt Stahlsund</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Energieausweis
Maßnahmen an der Beleuchtung
Raumlufttechnische Anlagen
Sanierung Nah-/Fernwärmenetz
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: AM Oldenburg</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Fenster
Maßnahmen an der Beleuchtung
Solarthermie

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Ferienhaus Borkum</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Energieausweis
Erneuerung Heizungsanlage
Gerüst
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Ferienhaus Wangerooe</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Schulgebäude Lohheide</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
Gerüst
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: THW Laar</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Energieausweis
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Verwaltungsgebäude Lohheide</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Gerüst
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Wasser und Schiffsamt Wilhelmshaven</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Wohngebäude Osterholz</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Zollamt Brake</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Energieausweis
Fenster
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger Heide: Zollamt Norden</b>
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Energieausweis
Fenster
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: AM Bad Fallingbostal</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
PV-Anlage
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: BPOL Walsrode</b>
Erneuerung Heizungsanlage
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: BPOL-Abteilung Uelzen</b>
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: BPOL-Gebäude</b>
Fenster

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: BPOL-Präsidium Nord, mehrere Gebäude</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: Bundesanstalt THW Buxtehude</b>
Dämmung Außenwand
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: SM Dannenberg</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: SM Soltau</b>
Dämmung AW, unterer und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Niedersachsen, Staatliches Baumanagement Lüneburger-Heide: THW</b>
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Nordrhein-Westfalen, BBR Bonn: BMBF Bonn</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Verteileitungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Nordrhein-Westfalen, BBR Bonn: BMU</b>
Erneuerung Kälteanlage
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Raumluftechnische Anlagen
<b>Nordrhein-Westfalen, BBR Bonn: BMVBS</b>
Energiekonzept
Erneuerung Kälteanlage
<b>Nordrhein-Westfalen, BBR Bonn: BMZ</b>
Fenster
<b>Nordrhein-Westfalen, BBR Bonn: BMZ Haus3</b>
Fenster
<b>Nordrhein-Westfalen, BBR Bonn: HDG</b>
Erneuerung Kälteanlage
<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Köln: Bundesamt für Naturschutz Bonn</b>
Fenster
<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Köln: Bundeskartellamt Bonn</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Gerüst
<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Köln: Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung Köln</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
Gerüst
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Köln: THW Siegburg</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Gerüst
Maßnahmen an der Beleuchtung

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Soest: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Erneuerung Kälteanlage
PV-Anlage
<b>Nordrhein-Westfalen, BLB Soest: THW Dortmund</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
<b>Rheinland-Pfalz, BV unbekannt: Akademie für Krisenmanagement Ahrweiler</b>
Erneuerung Heizungsanlage, BHKW
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: BPOL Bad Bergzabern, mehrere Gebäude</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: THW Bad Bergzabern</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
Gerüst
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: THW Frankenthal</b>
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: THW Germersheim</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: THW Landau</b>
Fenster
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: THW Neustadt</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: THW Pirmasens</b>
Fenster
<b>Rheinland-Pfalz, LBB Landau: Zollamt Pirmasens</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Rheinland-Pfalz, LBM Speyer: SM Annweiler</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Rheinland-Pfalz, LLB Trier: Wasser- und Schifffahrtsamt Trier</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Maßnahmen an der Beleuchtung
PV-Anlage
<b>Rheinland-Pfalz, LLB Trier: Wasser- und Schifffahrtsamt Trier Altbau</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Maßnahmen an der Beleuchtung
PV-Anlage
<b>Rheinland-Pfalz, LLB Trier: Wetterwarte Trier</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Sachsen, SIB Bautzen: BPol Löbau</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Fenster

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Sachsen, SIB Bautzen: Flugmedizinisches Institut Königsbrück</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Erneuerung Heizungsanlage, Wärmepumpe
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Sanierung Nah-/Fernwärmenetz, Verteilungen...
Solarthermie
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Sachsen, SIB Bautzen: Mob. Kontrollgruppe. Görlitz Zoll</b>
Fenster
<b>Sachsen, SIB Bautzen: THW Zittau</b>
Dämmung Außenwand
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
<b>Sachsen, SIB Bautzen: Truppenübungsplatz Oberlausitz</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
PV-Anlage
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: BMF Chemnitz</b>
Fenster
Gerüst
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: BPol Bad Brambach</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Gerüst
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: Erzgebirgskaserne</b>
Maßnahmen an der Beleuchtung
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: THW Plauen</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Fenster
Gerüst
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: Wetterstation Chemnitz</b>
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: Wetterstation Fichtelberg</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
<b>Sachsen, SIB Chemnitz: Wettiner Kaserne</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
Gerüst
Maßnahmen an der Beleuchtung
Raumlufttechnische Anlagen
Verteilungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Sachsen, SIB Leipzig: BIMA Leipzig</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Dämmung unterer Gebäudeabschluss
Fenster

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Sachsen, SIB Leipzig: Deutsche Nationalbibliothek Leipzig</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Wärmepumpe
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Deutscher Wetterdienst Leipzig</b>
Fenster
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Deutsches Biomasseforschungszentrum</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
Gerüst
Raumluftechnische Anlagen
<b>Sachsen, SIB Leipzig: General-Olbricht-Kaserne</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Erneuerung Heizungsanlage, BHKW
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
Verteileitungen/Leitungsdämmung/Pumpen...
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Unteroffizierschule des Heeres Delitzsch</b>
Verteileitungen/Leitungsdämmung/Pumpen...
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Unteroffizierschule des Heeres Delitzsch Gebäude 47</b>
Dämmung Außenwand
Fenster
Gerüst
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Unteroffizierschule des Heeres Delitzsch Gebäude 5</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Gerüst
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
Raumluftechnische Anlagen
<b>Sachsen, SIB Leipzig: Unteroffizierschule des Heeres Delitzsch Gebäude 6</b>
Dämmung Außenwand
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
PV-Anlage
Raumluftechnische Anlagen
<b>Sachsen-Anhalt, LBB Sachsen-Anhalt: Bundes-AM Dessau</b>
Erneuerung Heizungsanlage
PV-Anlage
<b>Sachsen-Anhalt, LBB Sachsen-Anhalt: Bundesforst Roßlau</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
<b>Sachsen-Anhalt, LBB Sachsen-Anhalt: Bundes-SM Wittenberg</b>
Solarthermie
<b>Sachsen-Anhalt, LBB Sachsen-Anhalt: SM Zorbau</b>
Sanitär
Solarthermie

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Sachsen-Anhalt, LBB Sachsen-Anhalt: THW Dessau</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Sanierung Nah-/Fernwärmenetz
Verteileitungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Sachsen-Anhalt, LBB Sachsen-Anhalt: UBA Dessau</b>
PV-Anlage
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: BPol Abteilung Ratzeburg</b>
Dämmung AW, unterer und oberer Gebäudeabschluss
Verteileitungen/Leitungsämmung/Pumpen...
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: BPol Akademie Dr. Robert Lehr</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: BPol Akademie Falkenfeld</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: BPol Harrislee</b>
Fenster
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: BPol Liegenschaft Bad Bramstedt</b>
Dämmung AW, Fenster
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: BPol Liegenschaft Neustadt</b>
Dämmung AW, Fenster
Erneuerung Heizungsanlage
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Trenthorst</b>
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: Ferienhaus Hörnum</b>
Dämmung AW und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: Hauptzollamt Itzehoe</b>
Fenster
Maßnahmen an der Beleuchtung
<b>Schleswig-Holstein, Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AoR: Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord</b>
Erneuerung Heizungsanlage
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: AM Elmshorn</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: AM Grande</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: AM Neumünster</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: AM Quickborn</b>
Dämmung AW, unterer und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Erneuerung Heizungsanlage
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: AM Scharbeutz</b>
Erneuerung Heizungsanlage
MSR/GLT/Gebäudeautomation
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: AM Schleswig</b>
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie

Tabelle 31 Eingeholte Kostendaten, Objekte (Auszug)

<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Eckenförde</b>
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Flensburg</b>
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Heide</b>
Dämmung unterer und oberer Gebäudeabschluss, Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Hohenwestedt</b>
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Itzehoe</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Klausdorf</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Lübeck</b>
Dämmung oberer Gebäudeabschluss, Fenster
Erneuerung Heizungsanlage
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Oldenburg</b>
Solarthermie
<b>Schleswig-Holstein, Landesbetrieb Straßenbau und Verkehr: SM Westerrönfeld</b>
Erneuerung Heizungsanlage
Fenster
MSR/GLT/Gebäudeautomation
Solarthermie
<b>Thüringen, Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr: BIMA Suhl</b>
Erneuerung Heizungsanlage, Holzkessel
<b>Thüringen, Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr: FLI Jena, BFI Tiergesundheit</b>
MSR/GLT/Gebäudeautomation

## Anhang 2 Kostenbeispiel (Nettokosten)

Tabelle 32 Beispielhafte Kostenzusammenstellung Fassadendämmung mit WDVS im Zuge einer ohnehin fälligen umfassenden Putzsanierung

Position	Gesamtpreis	Ohnehin-Anteil <sup>1)</sup>	energetisch bedingter Anteil <sup>1)</sup>
Lose Verunreinigung an Wand entfernen	523,57	1	
Helfer: lose Putzstellen abgeklopft/ausgebessert	280,00	1	
- Nachtrag Altputz ausbessern	197,29	1	
- Nachtrag Altputz grundieren	713,54	1	
Fenster u.ä. mit Folie abdecken	928,00	1	
Sockelabschluss als Systemabschluss 140 mm	860,09		1
Alu-Abschlussprofil an Dachschrägen 140 mm	188,86		1
Dämmschicht aus Polystyrol-Hartschaum 0,035 Dicke 140 mm, konstruktiv gedübelt (...)	16.328,29		1
Dämmschicht wie oben, jedoch in schwächerer Stärke zwischen Fenstern anbringen	92,95		1
Laibungsdämmung Hartschaum 0,035 Dicke 30 mm, konstruktiv gedübelt mit Schlagdübeln	1.121,20		1
Nachtrag Laibungsdämmung	1.628,07		1
Dämmstoff an Fensterbänken und Dach ausklinken	1.406,25		1
- Nachtrag Dämmstoff zuschneiden(...)	168,08		1
Brandschutzbarriere	420,13		1
- Nachtrag 1 Brandschutzbarriere	505,20		1
- Nachtrag 2 Brandschutzbarriere	1.328,63		1
Fensteranschluss Anputzleiste	1.137,26	1	
- komprimiertes Dichtungsband	801,54	1	
Kantenschutz	1.194,73	1	
Armierungsputz	5.610,23	0,8	0,2
- Laibungen	2.106,09	0,8	0,2
Diagonalbewehrung an Ecken	2.560,00	0,5	0,5
Oberputz Silikonharzputz Körnung 2 mm	6.314,99	1	
- Laibungen	2.095,04	1	
Material Fassadenanstrich	676,80	1	
<b>Summe</b>	<b>49.186,83</b>		
<b>Ohnehinkosten</b>		<b>22.315,82</b>	
<b>energetisch bedingte Kosten</b>			<b>26.871,01</b>

<sup>1)</sup>Die energetisch relevanten und ohnehin fälligen Anteile der Kostenpositionen werden objekt- bzw. maßnahmenspezifisch auf Grundlage der detaillierten Leistungsbeschreibung und ggf. aufgeführter Mehr-/Minder-/Eventualkosten geschätzt (z.B. Mehr-/Minderkosten für alternative Ausführung in anderer Dämmdicke).

## Anhang 3 Beurteilung regionaler Preisunterschiede

Die ausgewerteten Kosten unterliegen einer Vielzahl von Einflüssen. Unter anderem ist von einem gewissen regionalen Preisgefälle innerhalb Deutschlands auszugehen. Regionale Unterschiede zwischen Preisen für dieselbe Leistung können auf eine Reihe lokaler Gegebenheiten zurückzuführen sein, wie z.B.

- die lokale Marktsituation bezüglich der angestrebten Maßnahme/Investition, u.a.
  - Angebot ↔ Nachfrage
  - Kaufkraft/Investitionsbereitschaft
  - Anzahl potenzieller Auftragnehmer, Wettbewerb und
- die örtliche Infrastruktur, wie
  - Versorgung mit (Roh-/Bau-)Material
  - Lieferwege zwischen Lieferanten, Ausführenden und Kunden
  - Erschließung (Insellage, etc.).

Zur Berücksichtigung regionaler Preisunterschiede werden im Rahmen der vorliegenden Studie Regionalfaktoren [2] verwendet, welche das BKI jährlich herausgibt.

Nachfolgend wird exemplarisch für Wärmedämmverbundsysteme (vgl. 4.3) untersucht, ob oder inwiefern die hier erhobenen Kostenwerte dieselben regionalen Preistendenzen widerspiegeln wie die herangezogenen BKI-Regionalfaktoren. Dazu wird die Korrelation zwischen den Kostenniveaus von nach Regionalfaktoren zusammengefassten Einzelmaßnahmen und den jeweils zugeordneten Regionalfaktoren beurteilt. Bei einer guten qualitativen Übereinstimmung wäre zu erwarten, dass sich in Regionen mit höheren Regionalfaktoren auch ein höheres Preisniveau abzeichnet und umgekehrt. Um hierbei den Einfluss der Dämmdicke auf die betrachteten Dämmkosten weitestgehend zu eliminieren, werden nicht die spezifischen Maßnahmenkosten, sondern nur die Abweichungen zwischen den spezifischen Maßnahmenkosten und zugehöriger Ausgleichsfunktion betrachtet.

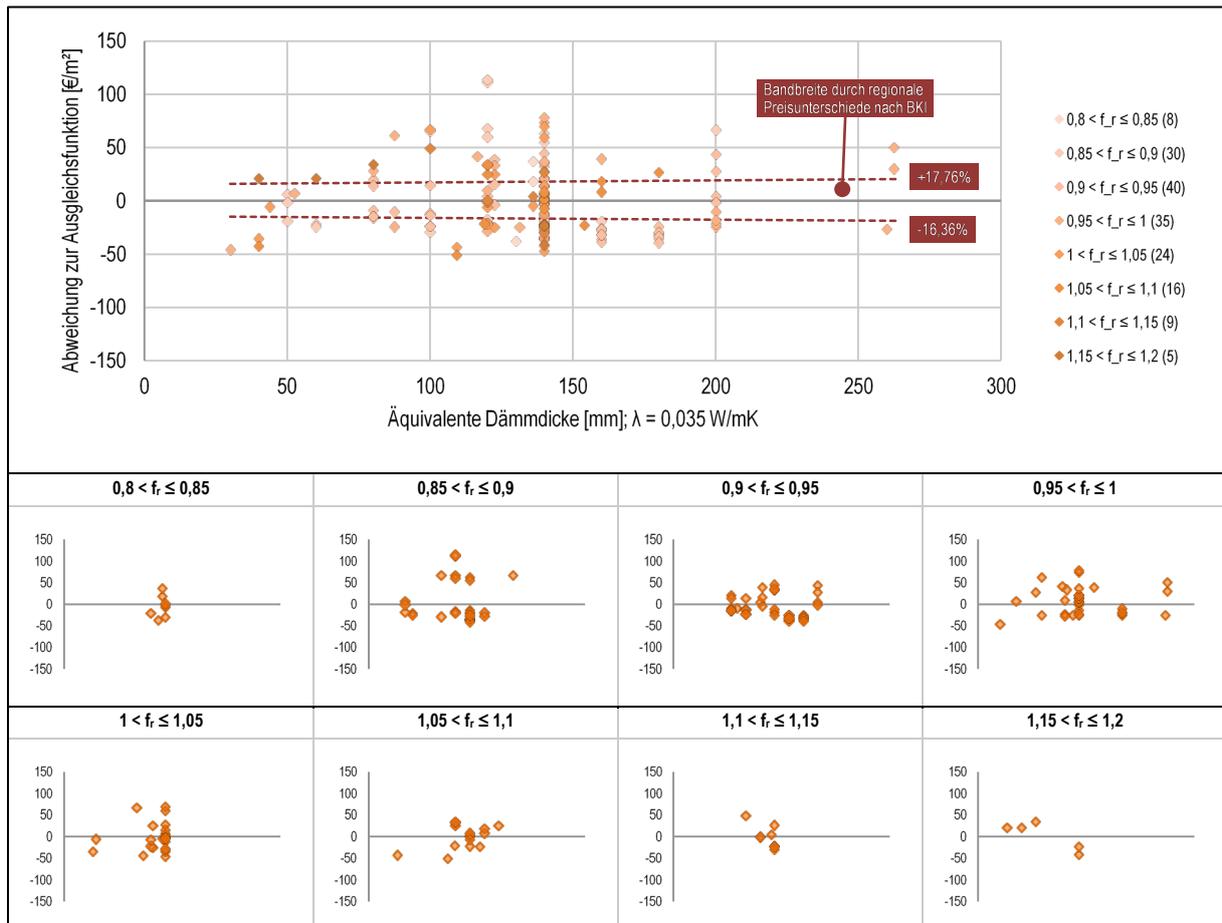


Abbildung 51 Abweichung zwischen tatsächlichen Dämmkosten und Ausgleichsfunktion, klassifiziert nach Regionalfaktoren, Einzelwerte

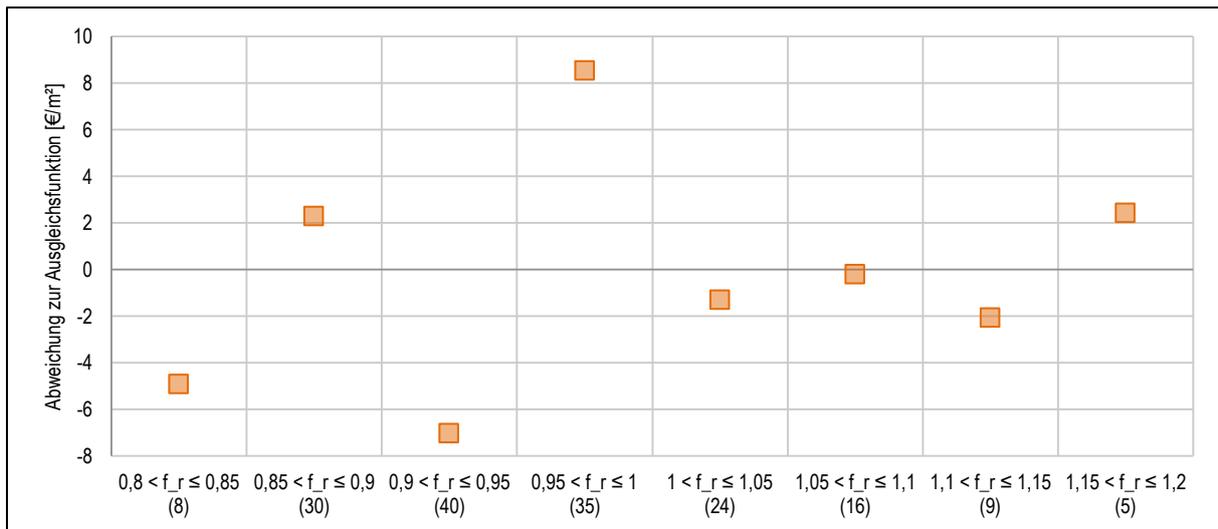


Abbildung 52 Abweichung zwischen tatsächlichen Dämmkosten und Ausgleichsfunktion – klassifiziert nach Regionalfaktoren, Klassenmittelwerte

Die Betrachtung der Kosten-Einzelwerte lässt keinen Zusammenhang zwischen Kostenniveau und Regionalfaktor erkennen. Dies verwundert insofern wenig, als die Streuung der Kosten-Einzelwerte deutlich größer ausfällt als die theoretische Bandbreite für regional bedingte Kostenunterschiede, welche sich aus den verwendeten BKI-Regionalfaktoren ergibt. Auch die Klassenmittelwerte zeigen keine belastbare Abhängigkeit von den zugeordneten Regionalfaktoren. Jedoch wird deutlich, dass die erzeugten Regionalfaktoren-Klassen nur noch sehr kleine Teilstichproben bilden. Zudem stellen die enthaltenen einzelnen Kostenwerte z.T. Mehrfachergebnisse aus derselben Baumaßnahme dar. Insofern ist nicht anzunehmen, dass die Kostenwerte der vorliegenden Studie dazu geeignet sind, regionale Kosteneinflüsse repräsentativ abzubilden. Auch ist festzuhalten, dass die Zusammenfassung von Kostenwerten nach Regionalfaktoren-Klassen Unschärfe verursacht – durch die Zusammenlegung von Regionen ähnlich großer Regionalfaktoren zu Klassen kann die Korrelation zwischen den Kostenniveaus einzelner Regionen und den zugeordneten Regionalfaktoren nicht mehr beurteilt werden.

Die dargestellte Betrachtung wurde auch mit anderen Parametern durchgeführt – u.a.

- Beurteilung von volumen- statt flächenspezifischen Kosten,
- Variationen der Klassengröße und
- verschiedene Formen der Ergebnisdarstellung.

Dabei ließen sich durch die Wahl des mathematischen Modells, des Detailgrads der Betrachtung und der Darstellungsform sowohl Tendenzen erzeugen, welche den erwarteten Zusammenhang vermeintlich bestätigen als auch solche, die ihn anscheinend widerlegen – zusammenfassend muss gesagt werden, dass für die exemplarisch betrachtete Maßnahme keine belastbare Korrelation zwischen Kostenniveau und den verwendeten BKI-Regionalfaktoren besteht. Hiervon kann nicht auf eine schlechte Belastbarkeit der Regionalfaktoren geschlossen werden. Vielmehr ist festzustellen, dass die vorliegenden Daten weder im Umfang noch im Grad der örtlichen Verteilung zur Ableitung regionaler Kostenunterschiede geeignet sind. Zudem fällt die gemäß BKI-Regionalfaktoren gegebene Bandbreite für regionale Kostenunterschiede deutlich kleiner aus, als die ohnehin gegebene Streuung der Kostenwerte – es kann davon ausgegangen werden, dass regionale Preisunterschiede von anderen, z.T. deutlich gewichtigeren, Kosteneinflüssen überlagert werden.

## Anhang 4 Zusammenstellung der Kostenfunktionen (Vollkosten, netto)

Tabelle 33 Übersicht Kostenfunktionen (siehe auch 4)

Maßnahme M	Kostenfunktion und Einheit	Variable	weitere Informationen	
Gerüst	$K_{V,M} = A * \left( 7,6 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 0,2 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Wo}} * \Delta t \right) + 326 \text{€}$	A [m <sup>2</sup> ]	Eingerüstete Wandfläche	Tabelle 2
		Δt [Wochen]	Standzeit nach Grundeinsatzzeit	
AW-Dämmung, WDVS	$k_{V,M} = 75 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,9 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 4
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
AW-Dämmung, VHF	$k_{V,M} = 330 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,9 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 4
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
OG-Dämmung, begehbar	$k_{V,M} = 20 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,8 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 7
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
OG-Dämmung, nicht begehbar	$k_{V,M} = 5,2 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,3 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 7
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
Dachdämmung von innen	$k_{V,M} = 25 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,5 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 9
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
Erneuerung der Dachhaut + Dämmung von außen	$k_{V,M} = 115 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,9 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 11
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
KD-Dämmung von unten	$k_{V,M} = 45 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} + 1,8 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{cm}} * d$	d [cm]	äquivalente Dämmdicke	Tabelle 14
		$K_{V,M} = A * k_{V,M}$	A [m <sup>2</sup> ]	Dämmfläche nach Aufmaß
Fenster PVC U <sub>w</sub> ≈ 1,3	$k_{V,M} = 35 \frac{\text{€}}{\text{m} * \text{Stk}} * U + 150 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Stk}} * A$	U [m]	Umfang eines Fensterelements	Tabelle 16
		A [m <sup>2</sup> ]	Größe eines Fensterelements (lichte Maueröffnung)	
Fenster PVC U <sub>w</sub> ≈ 1,1	$k_{V,M} = 40 \frac{\text{€}}{\text{m} * \text{Stk}} * U + 170 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Stk}} * A$	U [m]	Umfang eines Fensterelements	Tabelle 16
		A [m <sup>2</sup> ]	Größe eines Fensterelements (lichte Maueröffnung)	
Fenster Holz/Alu U <sub>w</sub> ≈ 1,3	$k_{V,M} = 75 \frac{\text{€}}{\text{m} * \text{Stk}} * U + 180 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Stk}} * A$	U [m]	Umfang eines Fensterelements	Tabelle 16
		A [m <sup>2</sup> ]	Größe eines Fensterelements (lichte Maueröffnung)	
Fenster Holz/Alu U <sub>w</sub> ≈ 1,1	$k_{V,M} = 80 \frac{\text{€}}{\text{m} * \text{Stk}} * U + 200 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Stk}} * A$	U [m]	Umfang eines Fensterelements	Tabelle 16
		A [m <sup>2</sup> ]	Größe eines Fensterelements (lichte Maueröffnung)	
Fenster, Demontage + Entsorgung	$k_{V,M} = 35 \frac{\text{€}}{\text{Stk}} + 19 \frac{\text{€}}{\text{m}^2 * \text{Stk}} * A$	A [m <sup>2</sup> ]	Größe eines Fensterelements (lichte Maueröffnung)	Tabelle 17
Gas-BW-Kessel	$K_{V,M} = 4.300 \text{€} + 111 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW]	Heizleistung des Wärmeerzeugers	Tabelle 19

Tabelle 33 Übersicht Kostenfunktionen (siehe auch 4)

Maßnahme M	Kostenfunktion und Einheit	Variable	weitere Informationen
Holzkessel [l]	$K_{V,M} = 7.100\text{€} + 340 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Heizleistung des Wärmeerzeugers	Tabelle 19
Solarthermische Anlage [l]	$K_{V,M} = 610\text{€} + 1.200 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} * A$	A [m <sup>2</sup> ] Absorberfläche, Netto-Kollektorfläche	Tabelle 21
Lüftungsanlage mit WRG [l]	$K_{V,M} = 1.500\text{€} + 18 \frac{\text{€}}{\text{m}^3/\text{h}} * \dot{V}$	V' [m <sup>3</sup> /h] Nenn-Volumenstrom	Tabelle 23
Wärmeverteilnetz ohne Pumpen [l]	$K_{V,M} = 1.500\text{€} + 18 \frac{\text{€}}{\text{m}} * L$	L [m] Leitungslänge	Tabelle 25
Wärmeverteilnetz mit Pumpen [l]	$K_{V,M} = 2.800\text{€} + 25 \frac{\text{€}}{\text{m}} * L$	L [m] Leitungslänge	Tabelle 25
Rohrleitungsdämmung [l]	$K_{V,M} = 15 \frac{\text{€}}{\text{m}} * L$	L [m] Leitungslänge	Tabelle 26
Heizkörper 75/65/20, einzeln [l]	$K_{V,M} = 100\text{€} + 64 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Leistung Heizkörper	Tabelle 28
Heizkörper 70/55/20, einzeln [l]	$K_{V,M} = 100\text{€} + 81 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Leistung Heizkörper	Tabelle 28
Heizkörper 55/45/20, einzeln [l]	$K_{V,M} = 100\text{€} + 130 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Leistung Heizkörper	Tabelle 28
Heizkörper 75/65/20, Gebäude/-bereich [l]	$K_{V,M} = 140\text{€} + 120 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Leistung Heizkörper, gesamt	Tabelle 29
Heizkörper 70/55/20, Gebäude/-bereich [l]	$K_{V,M} = 140\text{€} + 150 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Leistung Heizkörper, gesamt	Tabelle 29
Heizkörper 55/45/20, Gebäude/-bereich [l]	$K_{V,M} = 140\text{€} + 240 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * P$	P [kW] Leistung Heizkörper, gesamt	Tabelle 29