

Reihe Nachhaltigkeitsmanagement

herausgegeben von  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Bungert  
Prof. Dr. Frank Witte

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung  
von nachträglicher Wärmedämmung am  
Wohnhausbestand in Deutschland

Sabrina Hassa  
Frank Witte



Nachhaltigkeitsmanagement

herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Bernd Bungert

Prof. Dr. Frank Witte

**Sabrina Hassa**

**Frank Witte**

**Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von  
nachträglicher Wärmedämmung  
am Wohnhausbestand in Deutschland**

Shaker Verlag

Aachen 2013

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Copyright Shaker Verlag 2013

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1886-8

ISSN 2191-5229

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IX</b>
<b>Formelverzeichnis</b> .....	<b>X</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>XI</b>
<b>Symbolverzeichnis</b> .....	<b>XII</b>
<b>I. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>A. Problemstellung</b> .....	<b>1</b>
<b>B. Gang der Untersuchung</b> .....	<b>2</b>
<b>C. Zielsetzung</b> .....	<b>2</b>
<b>II. Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
<b>A. Grundlagen der Wärmeübertragung</b> .....	<b>3</b>
1. Wärmeleitung.....	3
2. Wärmeleitfähigkeit.....	5
3. Wärmedurchgang.....	6
4. Beispielrechnung.....	7
<b>B. Grundlagen der Investitionstheorie</b> .....	<b>8</b>
1. Investitionstheoretische Einführung.....	8
a) Investitionsbegriff.....	8
b) Investitionsplanung.....	8
c) Investitionsrechnungen.....	9
2. Dynamische Verfahren.....	9
a) Kapitalwertmethode.....	10
b) Kalkulationszinssatz.....	12
3. Alternativenvergleich.....	13
4. Investition ohne Einzahlungen.....	15
<b>C. Energieeinsparung</b> .....	<b>15</b>
1. Zusammensetzung des Gesamtenergieverbrauches.....	16
2. Ermittlung des Temperatureinflusses.....	17
3. Ermittlung des Warmwasseranteils.....	18
<b>III. Basiswerte der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b> .....	<b>20</b>
<b>A. Kosten</b> .....	<b>20</b>
1. Anschaffungskosten.....	20
2. Heizmittelpreis.....	21
3. Preisentwicklung.....	21
4. Sonstige Kosten.....	22
<b>B. Energieeinsparung</b> .....	<b>22</b>
1. Gemessene Verbrauchswerte.....	22
2. Warmwasseranteil.....	23
3. Korrekturfaktor zur Temperaturbereinigung.....	24
4. Tatsächliche Energieeinsparung.....	25
<b>C. Kalkulationszinssatz</b> .....	<b>27</b>

<b>IV. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung</b> .....	<b>29</b>
<b>A. Investitionsrechnung</b> .....	<b>29</b>
1. Weiterführungsvariante.....	29
2. Planungsvariante.....	30
3. Projekteffekt.....	30
<b>B. Sensitivitätsanalyse</b> .....	<b>30</b>
1. Reagibilität der Zielgröße.....	31
2. Verfahren der kritischen Werte.....	33
3. Nutzungsdauer als kritischer Wert.....	34
<b>C. Zwischenfazit</b> .....	<b>35</b>
<b>V. Szenarien</b> .....	<b>36</b>
<b>A. Szenario I – Standorte</b> .....	<b>36</b>
<b>B. Szenario II – Mischfinanzierung</b> .....	<b>38</b>
<b>C. Szenario III – Neues Steuergesetz</b> .....	<b>40</b>
<b>VI. Ergebnis</b> .....	<b>43</b>
<b>A. Zusammenfassung der Untersuchung</b> .....	<b>43</b>
<b>B. Auswertung</b> .....	<b>44</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>45</b>
<b>Anhangsverzeichnis</b> .....	<b>50</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	Übersicht über die Energieströme in einem Gebäude. ....	1
<b>Abbildung 2:</b>	Wärmeleitung durch eine ebene Wand. ....	4
<b>Abbildung 3:</b>	Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe bzw. Stoffgruppen. ....	5
<b>Abbildung 4:</b>	Wärmedurchgang durch eine mehrschichtige Wand unterschiedlichen Materials. ....	6
<b>Abbildung 5:</b>	Grafische Darstellung der Kapitalwertberechnung. ....	11
<b>Abbildung 6:</b>	Zusammensetzung des Gesamtenergieverbrauches. ....	16
<b>Abbildung 7:</b>	Darstellung des Temperaturverlaufes als Funktion $f(x)$ . ....	18
<b>Abbildung 8:</b>	Ansätze zur Ermittlung des Warmwasseranteils. ....	19
<b>Abbildung 9:</b>	Prognose der Gaspreisentwicklung. ....	22
<b>Abbildung 10:</b>	Anwendung der theoretischen Ansätze zur Ermittlung des Warmwasseranteils. ....	24
<b>Abbildung 11:</b>	Temperaturbereinigter Gesamtenergieverbrauch des Beispielhauses. ....	27

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b>	Auflistung wärmetechnischer Kennzahlen des Beispielhauses. ....	7
<b>Tabelle 2:</b>	Beispiel einer Kapitalwertberechnung. ....	11
<b>Tabelle 3:</b>	Investitionsvergleich bei unterschiedlichem Kalkulationszinssatz. ....	12
<b>Tabelle 4:</b>	Beispiel eines expliziten Alternativenvergleichs. ....	13
<b>Tabelle 5:</b>	Beispiel eines impliziten Alternativenvergleichs. ....	14
<b>Tabelle 6:</b>	Datenblatt des Beispielhauses. ....	20
<b>Tabelle 7:</b>	Zusammensetzung der jährlichen Gaskostenabrechnung des Beispielhauses. ....	23
<b>Tabelle 8:</b>	Energieverbräuche des Beispielhauses (nicht temperaturbereinigt/ temperaturbereinigt). ....	26
<b>Tabelle 9:</b>	Kapitalwerte der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung. ....	30
<b>Tabelle 10:</b>	Sensitivitätsanalyse - Reagibilität der Zielgröße. ....	31
<b>Tabelle 11:</b>	Sensitivitätsanalyse - Verfahren der kritischen Werte. ....	33
<b>Tabelle 12:</b>	Standortanalyse - Klimafaktoren und Heizenergieverbrauch. ....	37
<b>Tabelle 13:</b>	Ergebnisse von Szenario I - Standorte. ....	38
<b>Tabelle 14:</b>	Zusammensetzung des Durchschnittskostensatzes (WACC). ....	39
<b>Tabelle 15:</b>	Ergebnisse von Szenario II - Mischfinanzierung. ....	40
<b>Tabelle 16:</b>	Ermittlung der jährlichen Steuerersparnis im Szenario III. ....	42
<b>Tabelle 17:</b>	Ergebnisse von Szenario III - Neues Steuergesetz. ....	42

## Formelverzeichnis

<b>Formel 1:</b>	Berechnung des Wärmestroms. ....	3
<b>Formel 2:</b>	Berechnung der Wärmestromdichte. ....	3
<b>Formel 3:</b>	Berechnung der Wärmestromdichte nach dem Fourier'schen Gesetz. ....	4
<b>Formel 4:</b>	Berechnung des Wärmeleitwiderstandes. ....	4
<b>Formel 5:</b>	Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert). ....	6
<b>Formel 6:</b>	Berechnung des Wärmestromes (mehrschichtige Wand). ....	6
<b>Formel 7:</b>	Berechnung der Wärmestromdichte (mehrschichtige Wand). ....	7
<b>Formel 8:</b>	Vorteilhaftigkeitskriterium der Kapitalwertmethode. ....	10
<b>Formel 9:</b>	Berechnung des Kapitalwertes einer Investition. ....	11
<b>Formel 10:</b>	Vorteilhaftigkeitskriterium des expliziten Alternativenvergleiches. ....	13
<b>Formel 11:</b>	Berechnung des Kapitalwertes einer Differenzinvestition. ....	14
<b>Formel 12:</b>	Berechnung der Steigerungsrate. ....	21
<b>Formel 13:</b>	Berechnung des temperaturbereinigten Gesamtenergieverbrauches. ....	25
<b>Formel 14:</b>	Berechnung der gewichteten Kapitalkosten (WACC). ....	39



## Abkürzungsverzeichnis

<b>a</b>	Jahr
<b>Abs.</b>	Absatz
<b>akt.</b>	aktualisierte
<b>Aufl.</b>	Auflage
<b>bearb.</b>	bearbeitete
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>DENA</b>	Deutsche Energie-Agentur
<b>e. V.</b>	eingetragener Verein
<b>EES</b>	Energieeinsparung
<b>EnEV</b>	Energieeinsparverordnung
<b>engl.</b>	englisch
<b>erw.</b>	erweiterte
<b>EStG</b>	Einkommenssteuergesetz
<b>FE</b>	Flächeneinheit
<b>GASAG</b>	Gasag Berliner Gaswerke Aktiengesellschaft
<b>GEV</b>	Gesamtenergieverbrauch eines Jahres
<b>GmbH</b>	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
<b>HGT</b>	Heizgradtage
<b>Hrsg.</b>	Herausgeber
<b>i. d. F. v.</b>	in der Fassung vom
<b>Inv.</b>	Investition
<b>IWU</b>	Institut für Wohnen und Bauen
<b>KfW</b>	Kreditanstalt für Wiederaufbau
<b>KZS</b>	Kalkulationszinssatz
<b>kWh</b>	Kilowattstunde (Einheit für Energiemenge [ein Kilowatt = 10 <sup>3</sup> Watt])
<b>RW</b>	(Energieverbrauch für) Raumwärme
<b>S.</b>	Seite (Fußnoten und Fließtext); Satz (Zitieren von Gesetzestexten)
<b>überarb.</b>	überarbeitete
<b>USt.</b>	Umsatzsteuer
<b>URL</b>	Uniform Resource Locator
<b>U-Wert</b>	Wärmedurchgangskoeffizient
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure
<b>WACC</b>	Durchschnittskapitalkostensatzes (Weighted average cost of capital)
<b>WDVS</b>	Wärmedämmverbundsystem
<b>WLF</b>	Wärmeleitfähigkeit
<b>WW</b>	(Energieverbrauch für) die Warmwasseraufbereitung
<b>zvE</b>	zu versteuerndes Einkommen
<b>ΔHEV</b>	Temperaturbedingten Heizenergieverbrauch

## Symbolverzeichnis

$A, A_S$	Flächeninhalt eines Körpers (Wärmelehre); Flächeninhalt einer Funktion (Integralrechnung)
$a, b, c_1, c_1$	(Teil-) Integrationsgrenzen zur Berechnung eines Integrals
$a_0$	Anschaffungsauszahlung
$c_0$	Wert des Kapitals zum Anschaffungszeitpunkt
$c_n$	Einzahlungsüberschuss in der Periode n
$c_t$	Wert des Kapitals zum Zeitpunkt t
$f(x)$	Funktion des unterjährlichen Temperaturverlaufs
$f_{Temp.}$	Korrekturfaktor zur Temperaturbereinigung
$f_{Temp., 0}$	Korrekturfaktor zur Temperaturbereinigung gleich 0
$f_{Temp., Grenz}$	Korrekturfaktor zur Temperaturbereinigung gleich Grenzkorrekturfaktor
$g(x)$	Funktion der jährlichen Heizgrenztemperatur (konstant)
$GEV_{temp.}$	temperaturbereinigter Gesamtenergieverbrauch im Betrachtungszeitraum
$i$	(Kalkulations-)Zinssatz
$i_{EK}$	Eigenkapitalzins; Eigenkapitalkostensatz der Unternehmung
$i_{FK}$	Fremdkapitalzins; Fremdkapitalkostensatz der Unternehmung
$i_{sicher}$	Zins einer sicheren Anlage
$K_0$	Kapitalwert einer Investition
$K_{0, x}$	Kapitalwert der Investition mit dem Index x
$n$	Nutzungsdauer (Betriebswirtschaft); Laufzeit (Kreditwesen)
$q, \dot{q}$	Wärmedichte, Wärmestromdichte
$Q, \dot{Q}$	Wärmemenge / Wärmestrommenge
$R$	Annuität;
$R_\lambda$	spezifischer Wärmeleitwiderstand eines (Bau-) Stoffes
$S_0$	Kreditsumme
$t$	betrachteter Zeitpunkt
$U$	Wärmedurchgangskoeffizient (bzw. U-Wert)
$\bar{x}_g$	geometrisches Mittel
$x_n$	Einzelwert von 1 bis n bei der Gesamtanzahl n
$\Delta T, T_1-T_2$	Temperaturdifferenz
$\Delta x, x_S$	Schichtdicke eines (Bau-) Stoffes
$\lambda, \lambda_S$	spezifische Wärmeleitfähigkeit eines (Bau-) Stoffes