

Christian Meyer

Energetische Sanierung von Gebäuden im Bestand

**Wirtschaftlichkeit und Maßnahmen
am Beispiel von drei Einfamilienhäusern**

Meyer, Christian: Energetische Sanierung von Gebäuden im Bestand: Wirtschaftlichkeit und Maßnahmen am Beispiel von drei Einfamilienhäusern. Hamburg, Diplomica Verlag GmbH 2015

Buch-ISBN: 978-3-95850-539-1

PDF-eBook-ISBN: 978-3-95850-039-6

Druck/Herstellung: Diplomica® Verlag GmbH, Hamburg, 2015

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.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden und die Diplomica Verlag GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte vorbehalten

© Diplomica Verlag GmbH

Hermannstal 119k, 22119 Hamburg

<http://www.diplomica-verlag.de>, Hamburg 2015

Printed in Germany

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VIII
Vorwort	IX
1. Einleitung	1
1.1 Historie der politischen Entwicklung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Studie.....	3
2. Vorstellung der Untersuchungsobjekte (3 EFH)	5
2.1 Gebäude I	5
2.2 Gebäude II	5
2.3 Gebäude III	6
2.4 Allgemeines.....	6
3. Bauphysikalische Grundlagen zur Bewertung des Energieverbrauchs der Untersuchungsobjekte (3 EFH)	7
3.1 Leistung, Verbrauch und Temperatur	7
3.2 Wärmeleitfähigkeit.....	7
3.3 Wärmedurchlasszahl, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchlasskoeffizient.....	10
3.4 Wärmedurchgang, Wärmedurchgangswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient	11
3.5 Wasserdampfdiffusionswiderstand.....	12
3.6 Bewertung	12
4. Vorgaben für die Untersuchungsobjekte (3 EFH) aus der Energieeinsparverordnung 2007 (EnEV16 2007)	16
4.1 Bauliche Anforderungen und Maßnahmen durch die EnEV 2007 an Gebäude im Bestand in Hinblick auf die Gebäudehülle.....	17
4.1.1 Außenwände	19
4.1.2 Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster	20
4.1.3 Außentüren.....	21
4.1.4 Decken, Dach und Dachschrägen	21

4.1.5	Wände und Decken geg. unbeheizte Räume und Erdreich	22
4.1.6	Vorhangfassaden	23
5.	Analyse der Gebäudehülle der Untersuchungsobjekte (3 EFH) nach folgenden Bauteilgruppen	25
5.1	Außenwandkonstruktion mit U-Wert	26
5.1.1	Gebäude I	27
5.1.2	Gebäude II	30
5.1.3	Gebäude III	33
5.1.4	Zusammenfassung.....	35
5.2	Dach/Decken	36
5.2.1	Gebäude I	36
5.2.2	Gebäude II	37
5.2.3	Gebäude III	38
5.3	Fußboden	39
5.3.1	Gebäude I	39
5.3.2	Gebäude II	40
5.3.3	Gebäude III	41
5.4	Resümee	42
6.	Mauerwerksaufbau und Dämmung der Außenwände der Untersuchungsobjekte (3 EFH).....	43
6.1	Kerndämmung und Umsetzung der Einschäumung der Außenwände mit Aminoplastortschaum	44
6.1.1	Die Bestandsaufnahme der Außenwandkonstruktion	47
6.1.2	Die Anforderungen der Dämmstoffe.....	50
6.1.3	Der Dämmstoff „Aminoplastortschaum“	52
6.1.4	Das Dämmungsverfahren	55
6.1.5	Vor- und Nachteile der Kerndämmung	57
6.2	Außen-Dämmung.....	58
6.2.1	Vor- und Nachteile der Außendämmung (WDVS).....	61
6.3	Innendämmung	61
6.3.1	Vor- und Nachteile der Innendämmung.....	64
6.4	Fazit bezogen auf die Dämmungsarten	64

7. Vergleich der Energiebilanzen (Energieverbrauch) der nachträglich wärme gedämmten Objekte mit Aminoplastertschaum.....	66
7.1 Vergleichskriterien.....	66
7.1.1 Veränderung des Heizverhalten	66
7.1.2 Veränderung der Bauteile und der Haustechnik	66
7.1.3 Veränderung der Nutzeranzahl.....	67
7.1.4 Klimafaktor (Witterungsberreinigung)	67
7.2 Energiebilanzen vor der Sanierungsmaßnahme	68
7.3 Energiebilanzen nach der Sanierungsmaßnahme	69
7.4 Vergleich anhand des Verbrauchs	72
8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der nachträglich kerngedämmten Untersuchungsobjekte (3 EFH) mit Aminoplastertschaum	75
8.1 Verfahren zur Berechnung	76
8.2 Kosten-Nutzen-Analyse.....	76
8.2.1 Investitionskosten	77
8.2.1.1 Gebäude I.....	78
8.2.1.2 Gebäude II.....	79
8.2.1.3 Gebäude III.....	80
8.2.2 Berechnung der monetären Energieersparnis	81
8.2.2.1 Preisentwicklung von Erdgas je Cent pro kWh	81
8.2.2.2 Einsparung Gebäude I.....	82
8.2.2.3 Einsparung Gebäude II.....	83
8.2.2.4 Einsparung Gebäude III.....	83
8.2.3 Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse	84
8.2.3.1 Gebäude I.....	85
8.2.3.2 Gebäude II.....	86
8.2.3.3 Gebäude III.....	87
8.3 Äquivalenter Energiepreis	88
8.3.1 Gebäude I.....	90
8.3.2 Gebäude II.....	91
8.3.3 Gebäude III.....	92
8.4 Amortisationsdauer	93
8.4.1 Gebäude I.....	94
8.4.2 Gebäude II.....	95

8.4.3	Gebäude III	96
8.5	Opportunitätskosten	97
8.5.1	Gebäude I	98
8.5.2	Gebäude II	99
8.5.3	Gebäude III	100
9.	Fazit der Studie	101
	Anlagenverzeichnis	103
	Quellenverzeichnis	109

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Vorstellung Gebäude I.....	5
Abb. 2: Vorstellung Gebäude II.....	5
Abb. 3: Vorstellung Gebäude III.....	6
Abb. 4: Wärmeleitwert von Baustoffen.....	8
Abb. 5: Bemessungswerte der Wärmedurchlasswiderstände R von Luftschichten	9
Abb. 6: Bau und Wärmedämmstoffe im direkten Vergleich	10
Abb. 7: Wärmedurchgang, Wärmedurchlass und Wärmeübergang.....	14
Abb. 8: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen.....	24
Abb. 9: Energieersparnis bei der Dämmung der einzelnen Bauteile	25
Abb. 10: Wandaufbau Gebäude I	27
Abb. 11: Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnung vor Dämmung von Gebäude I	28
Abb. 12: Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnung nach Dämmung von Gebäude I	29
Abb. 13: Wandaufbau Gebäude II	30
Abb. 14: Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnung vor Dämmung von Gebäude II.....	31
Abb. 15: Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnung nach Dämmung von Gebäude II.....	32
Abb. 16: Wandaufbau Gebäude III	33
Abb. 17: Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnung vor Dämmung von Gebäude III.....	34
Abb. 18: Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnung nach Dämmung von Gebäude III.....	35
Abb. 19: Dach-/Deckenaufbau Gebäude I	36
Abb. 20: Dach-/Deckenaufbau Gebäude II	37
Abb. 21: Dach-/Deckenaufbau Gebäude III	38
Abb. 22: Fußbodenaufbau Gebäude I	39
Abb. 23: Fußbodenaufbau Gebäude II	40
Abb. 24: Fußbodenaufbau Gebäude III	41
Abb. 25: Anteil der Außenwände an der Gebäudehülle.....	43
Abb. 26: Mauerwerksaufbau (zweischalig) von Außenwänden mit Luftschicht	45
Abb. 27: Mauerwerksaufbau von Außenwänden, Kerndämmung mit UF- Ortschaum	46
Abb. 28: Vertikalschnitt einer typischen zweischaligen Außenwand- Mauerwerkskonstruktion.....	47
Abb. 29: Endoskopie eines zweischaligen Mauerwerks	48
Abb. 30: Mögliche Luftschichtdicke bei zweischaligem Mauerwerksaufbau ...	49
Abb. 31: Luftschicht zwischen Mauerwerksschalen.....	50
Abb. 32: Inhalt eines Güteüberwachungssiegel als Muster	51
Abb. 33: Erster Schritt, Bohrung	56

Abb. 34: Zweiter Schritt, Einführung.....	56
Abb. 35: Dritter Schritt, Bohrloch schließen	57
Abb. 36: Vor- und Nachteile der Kerndämmung	57
Abb. 37: Mauerwerksaufbau von Außenwänden, Außendämmung	58
Abb. 38: Vor- und Nachteile der Außendämmung.....	61
Abb. 39: Mauerwerksaufbau von Außenwänden, Innendämmung.....	62
Abb. 40: Vor- und Nachteile der Innendämmung	64
Abb. 41: Durchschnittsverbrauch (kWh) vor der Dämmung, Gebäude I	68
Abb. 42: Durchschnittsverbrauch (kWh) vor der Dämmung, Gebäude II	69
Abb. 43: Durchschnittsverbrauch (kWh) vor der Dämmung, Gebäude III	69
Abb. 44: Voraussichtlicher Verbrauch (kWh Erdgas) nach der Dämmung, Gebäude I	70
Abb. 45: Voraussichtlicher Verbrauch (kWh Erdgas) nach der Dämmung, Gebäude III	70
Abb. 46: Heizenergieverbrauch der jeweiligen Monate	71
Abb. 47: Voraussichtlicher Verbrauch (kWh) nach der Dämmung, Gebäude I	71
Abb. 48: Verbrauch (kWh) nach der Dämmung, Gebäude II.....	72
Abb. 49: Voraussichtl. Durchschnittsverbrauch (kWh) nach der Dämmung, Gebäude III	72
Abb. 50: Darstellung des Verbrauchs (kWh) vorher/nachher	73
Abb. 51: Bereinigte Darstellung des Verbrauchs (kWh) vorher/nachher	73
Abb. 52: Gesamtsumme Investitionskosten Gebäude I	78
Abb. 53: Gesamtsumme Investitionskosten Gebäude II	79
Abb. 54: Gesamtsumme Investitionskosten Gebäude III	80
Abb. 55: Preisentwicklung je Cent pro kWh Erdgas der vergangenen Jahre ...	81
Abb. 56: Voraussichtliche Preisentwicklung für Gas je Cent pro kWh.....	82
Abb. 57: Einsparung in € Gebäude I	82
Abb. 58: Einsparung in € Gebäude II	83
Abb. 59: Einsparung in € Gebäude III	83
Abb. 60: Kosten-Nutzen-Verlauf von Gebäude I	85
Abb. 61: Erträge durch die Kerndämmung bei dem Gebäude I	86
Abb. 62: Kosten-Nutzen-Verlauf von Gebäude II	86
Abb. 63: Erträge durch die Kerndämmung von Gebäude II	87
Abb. 64: Kosten-Nutzen-Verlauf von Gebäude III	87
Abb. 65: Erträge durch die Kerndämmung von Gebäude III	88
Abb. 66: Preis der eingesparten Kilowattstunde Energie von Gebäude I.....	90
Abb. 67: Preis der eingesparten Kilowattstunde Energie von Gebäude II.....	91
Abb. 68: Preis der eingesparten Kilowattstunde Energie von Gebäude III.....	92
Abb. 69: Amortisation der Kerndämmungs-Maßnahme von Gebäude I.....	94
Abb. 70: Graphische Darstellung der Amortisation von Gebäude I	95
Abb. 71: Amortisation der Kerndämmungs-Maßnahme bei dem Gebäude II... 95	
Abb. 72: Graphische Darstellung der Amortisation bei Gebäude II.....	96
Abb. 73: Amortisation der Kerndämmungs-Maßnahme bei dem Gebäude III.. 96	
Abb. 74: Graphische Darstellung des Amortisation bei Gebäude III	97
Abb. 75: Endkapital bei Festgeldanlage der Sanierungskosten bei dem Gebäude I	98

Abb. 76: Endkapital bei Festgeldanlage der Sanierungskosten bei dem Gebäude II	99
Abb. 77: Endkapital bei Festgeldanlage der Sanierungskosten bei dem Gebäude III	100

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bsp.	Beispiel
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
EFH	Einfamilienhaus
EnEV	Energieeinsparverordnung
evtl.	eventuell
ggf.	gegebenenfalls
i. d. R.	in der Regel
KS	Kalksandstein
kWh	Kilowattstunde
o. g.	oben genannten
p. a.	Per annum
sog.	so genannte
Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
UF	Urea-Formaldehyd
usw.	und so weiter
Vgl.	Vergleich
z. B.	zum Beispiel

Vorwort

Die Entscheidung, mich in dem vorliegenden Buch mit der Thematik der Analyse und Bewertung von Energiebilanzen im Einfamilienhausbereich auseinander zu setzen, basiert im Wesentlichen auf zwei Gründe, die im Folgenden erörtert werden:

Im Praxissemester meines ersten Studiums hatte ich die Möglichkeit mich mit der nachträglichen Wärmedämmung von zweischaligem Mauerwerk durch Amoplastortschaum im Einfamilienhausbereich auseinander zu setzen. Dort war ich an der nachträglichen Wärmedämmung von mehr als 20 Objekten beteiligt. Insofern begründet sich die Auswahl der Themenstellung in der theoretischen Erweiterung der bereits im Praxissemester erworbenen Erkenntnisse.

Folgerichtig geht es in der vorliegenden Untersuchung um einen empirisch orientierten Hintergrund. Es ist im Zusammenhang mit der Wärmedämmmaßnahme primär, dass ein „wirtschaftliches Ergebnis“ der Objekte erzielt wird. Unter einem wirtschaftlichen Ergebnis versteht sich eine lohnende Energieersparnis, die sich aus den geringeren Geldausgaben des jeweiligen Eigentümers definiert. Daraus resultiert die ökonomische Perspektive der angesprochenen Sanierungsmaßnahme, die den ausschlaggebenden Grund zur theoretischen Auseinandersetzung mit der genannten Thematik darstellt.

„Ich kann freilich nicht sagen, ob es besser wird, wenn es anders wird; aber soviel kann ich sagen: es muss anders werden, wenn es gut werden soll.“ (Georg Christoph Lichtenberg)

1. Einleitung

1.1 Historie der politischen Entwicklung

Mit dem Beginn der Ölkrise von 1973 kam erstmalig einer breiten Öffentlichkeit der Bundesrepublik Deutschland das Bewusstsein für die Notwendigkeit zur Energieeinsparung auf. Durch die daraufhin erfolgte Drosselung der Erdölproduktion kam es zu einer Preissteigerung pro Barrel (159 Liter) Öl von über 400%. Die direkte Reaktion in Deutschland, angesichts der Ölkrise, war, dass an vier Sonntagen im November/Dezember 1973 ein Fahrverbot verhängt und neue Geschwindigkeitsbegrenzungen eingeführt wurden. Schließlich war die Ölkrise ein entscheidender Faktor, dass Gesetz zur Einsparung von Energien in Gebäuden (Energieeinspargesetz) vom 22.7.1976 zu verabschieden. Im weiteren Verlauf der Jahre wurde dieses Gesetz verändert und ergänzt. Demzufolge bildete dieses Gesetz die Grundlage für die Heizkostenverordnung vom 28.2.1981 und der Heizungsanlagenverordnung vom 20.1.1989. Ein weiterer Meilenstein war die Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung), welche am 16.8.1994 verabschiedet und am 1.1.1995 in Kraft trat. Erstmals wurden in dieser Verordnung Anforderungen an die Dichtheit eines Gebäudes gestellt.¹

¹ Vgl. Fischer/Hopfensperger/Pably/Schneiderhan, Energieausweis u. neue EnEV, 2007, S.12