

Florian A. Mertens

# Energetische Sanierung des Wohnungsbestands durch Passivhaus-Technologien

Eine szenariobasierte Lebenszyklus-Erfolgsanalyse



*Diplomica*





Florian A. Mertens

# **Energetische Sanierung des Wohnungsbestands durch Passivhaus-Technologien**

Eine szenariobasierte Lebenszyklus-Erfolgsanalyse

Mertens, Florian A.: Energetische Sanierung des Wohnungsbestands durch Passivhaus-Technologien. Eine szenariobasierte Lebenszyklus-Erfolgsanalyse, Hamburg, Diplomica Verlag GmbH

Umschlaggestaltung: Elisabeth Lutz, Hamburg

ISBN: 978-3-8366-5432-6

© Diplomica Verlag GmbH, Hamburg 2008

#### Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

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

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes. 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 GmbH, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.





# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	9
Abbildungsverzeichnis .....	10
Tabellenverzeichnis .....	11
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>13</b>
1.1. Problemstellung und aktueller Bezug.....	13
1.2. Zielsetzung und Hypothese.....	15
1.3. Methodik und Ablauf der Untersuchung.....	17
<b>2. Grundlagen der Untersuchung.....</b>	<b>21</b>
2.1. Grundlegende begriffliche Abgrenzungen .....	21
2.1.1 Passivhaus-Technologien .....	21
2.1.2 Der ökologische Mietspiegel .....	22
2.1.3 Investorengruppen .....	23
2.2. Methodische Grundlagen.....	23
2.2.1 Lebenszykluskosten-Analyse .....	23
2.2.2 Kapitalwertmethode.....	25
2.2.3 Risikoanalyse und Monte-Carlo-Methode.....	27
2.2.4 Szenario-Analyse.....	29
2.3. Prämissen.....	30
2.3.1 Bautypologie und Gebäudegeometrie.....	30
2.3.2 Sanierungsmaßnahmen und Nutzereinflüsse.....	31
2.3.3 Steuern, Finanzierung und öffentliche Förderung.....	31
2.3.4 Sonstige Prämissen .....	32
<b>3. Entwicklung von Szenarien.....</b>	<b>35</b>
3.1. Analyse der Ausgangssituation .....	35
3.1.1 Kritische Deskriptoren.....	36
3.1.2 Cross-Impact-Analyse .....	37
3.2. Prognose der Entwicklungen .....	39
3.3. Synthese - Szenarioformulierung .....	43
3.3.1 Szenario "Status Quo" .....	43
3.3.2 Szenario "Trend" .....	43
3.3.3 Szenario "Faktor 10".....	43
3.4. Strategieentwicklung - Handlungsalternativen des Investors.....	44
3.4.1 Der Basisfall .....	44
3.4.2 Die Referenzvariante .....	45
3.4.3 Die Zielvariante .....	45
3.5. Szenarien-Alternativen-Matrix .....	46
<b>4. Entwicklung des Simulationsmodells.....</b>	<b>49</b>
4.1. Modellelemente .....	50
4.2. Modellstrukturen .....	52
4.2.1 Berechnungsansätze für ökonomische Größen.....	53
4.2.2 Berechnungsansätze für technische Größen .....	56
4.2.3 Berechnungsansätze für statistische Größen .....	56
4.3. Konzeption der szenariobasierten simulativen Lebenszyklus-Erfolgsanalyse.....	57



<b>5. Datengewinnung und Datenstruktur</b> .....	<b>59</b>
5.1. Daten zur Generierung der Gebäuestichprobe .....	59
5.2. Daten zur Lebenszykluserfolgs-Simulation .....	60
5.2.1 Deterministische Größen.....	61
5.2.2 Stochastische Größen .....	62
<b>6. Ergebnisse und Implikationen</b> .....	<b>67</b>
6.1. Allgemeine Simulationsergebnisse .....	67
6.1.1 Darstellung der Ergebnisse - Szenario "Status Quo" .....	68
6.1.2 Darstellung der Ergebnisse - Szenario "Trend" .....	71
6.1.3 Darstellung der Ergebnisse - Szenario "Faktor 10" .....	74
6.2. Analyse und Interpretation.....	76
6.3. Schlussfolgerungen .....	79
<b>7. Schlussbetrachtung</b> .....	<b>83</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>87</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>107</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BGBL	Bundesgesetzblatt
BTF	Bauteilfläche
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Dreieck	Dreiecksverteilung
d. V.	der Verfasser/des Verfassers
EnEV	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung)
EU	Europäische Union
Gleich	Gleichverteilung
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
KF	Kollektorfläche
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
kKh	Kilokalvin-Stunde
kont.	kontinuierlich(e)
kWh	Kilowatt-Stunde
LZK	Lebenszykluskosten
MW	Mittelwert
N	Normalverteilung
Normal	Normalverteilung
OG	Obergeschoss
PH	Passivhaus
W	Watt
WDV	Wärmedämmverbund
WE	Wohneinheit
WF	Wohnfläche
WSV	Wärmeschutz-Verglasung
WWF	World Wide Fund For Nature

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Entwicklung von Heizölpreis und Gaspreis seit 2002 .....	41
Abb. 2: Ebenen und Elemente des Entscheidungsmodells .....	50
Abb. 3: Szenariobasierte simulative Lebenszyklus-Erfolgsanalyse.....	57
Abb. 4: Szenario "Status Quo" – Relative Häufigkeiten der Kapitalwerte.....	69
Abb. 5: Szenario "Status Quo" – Mittelwerte der dynamischen Lebenszykluskosten .....	70
Abb. 6: Szenario "Trend" – Relative Häufigkeiten der Kapitalwerte.....	72
Abb. 7: Szenario "Trend" – Mittelwerte der dynamischen Lebenszykluskosten.....	73
Abb. 8: Szenario "Faktor 10" - Relative Häufigkeiten der Kapitalwerte.....	75
Abb. 9: Szenario "Faktor 10" – Mittelwerte der dynamischen Lebenszykluskosten.....	76
Abb. 10: Betriebswirtschaftlich optimaler Technologieeinsatz .....	77
Abb. 11: Idealtypischer Verlauf der dynamischen Lebenszykluskosten .....	81
Abb. 12 : Schätzung der relativen Häufigkeiten der Anzahl der Wohneinheiten.....	89
Abb. 13: Schätzung der Verteilung der durchschnittlichen Wohnflächen.....	89
Abb. 14: Angepasste Verteilungsfunktion – Simulierte Verteilung Gesamtwohnflächen.....	90
Abb. 15: Wahrscheinlichkeits-Wahrscheinlichkeits-Diagramm.....	90
Abb. 16: Regression: Gesamte Hüllfläche / Gesamtwohnfläche zu Gesamtwohnfläche.....	91
Abb. 17: Regression: Anteil der Außenwandflächen zur Gesamtwohnfläche.....	91
Abb. 18: Regression: Anteil der Deckenfläche (OG) an der Gesamtwohnfläche.....	92
Abb. 19: Regression: Anteil der Fensterfläche .....	92
Abb. 20: Risikoprofile - Szenario "Status Quo" .....	103
Abb. 21: Risikoprofile - Szenario "Trend".....	103
Abb. 22: Risikoprofile - Szenario "Faktor 10".....	103
Abb. 23: Entwicklung der Heizölpreise seit Januar 2004.....	106

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Studien zur ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Passivhaus-Technologien.....	16
Tab. 2: Cross-Impact-Matrix .....	39
Tab. 3: Annahmebündel - Qualitative Prognose.....	40
Tab. 4: Annahmebündel - Quantitative Prognose.....	42
Tab. 5: Alternative Investitions-Projekte.....	47
Tab. 6: Szenarien - Alternativen - Matrix.....	47
Tab. 7: Verteilungsfunktionen - stochastische Gebäudevariablen .....	59
Tab. 8: Abhängigkeiten von der Gebäudegröße.....	60
Tab. 9: Verteilungsfunktionen - Lebensdauern der technischen Komponenten.....	63
Tab. 10: Verteilungsfunktionen - Herstellungs-Mehrkosten.....	64
Tab. 11: Korrekturfaktoren bei ausfallbedingten Ersatzinvestitionen.....	65
Tab. 12: Verteilungsfunktionen der sonstigen ertragsrelevanten Größen .....	66
Tab. 13: Szenario "Status Quo" – Kennzahlen zu den Kapitalwertverteilungen .....	69
Tab. 14: Szenario "Status Quo" – Sensitivitätsanalysen .....	70
Tab. 15: Szenario "Trend" - Kennzahlen zu den Kapitalwertverteilungen .....	71
Tab. 16: Szenario "Trend" - Sensitivitätsanalysen .....	73
Tab. 17: Szenario "Faktor 10" – Kennzahlen zu den Kapitalwertverteilungen.....	74
Tab. 18: Szenario "Faktor 10" – Sensitivitätsanalysen.....	75
Tab. 19: Erfolgsfaktoren für die Passivhaus-Technologie .....	80
Tab. 20: Reale Stichprobe zur Gebäudegeometrie .....	88
Tab. 21: Angesetzte Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile .....	93
Tab. 22: Ermittlung der Vollkosten von WDV-Systemen (mit Polystyrol- Dämmung).....	95
Tab. 23: Berechnungsannahmen für die Mehrkosten bei WDV-Systemen (mit Polystyrol-Dämmung) .....	95
Tab. 24: Ermittlung der Vollkosten für die Dämmung der obersten Geschossdecke .....	96
Tab. 25: Berechnungsannahmen für die Mehrkosten bei der Dämmung der obersten Geschossdecke .....	96
Tab. 26: Ermittlung der Vollkosten für die Dämmung der Kellerdecke (von unten ohne Bekleidung).....	96
Tab. 27: Berechnungsannahmen für die Mehrkosten der Dämmung der Kellerdecke.....	97

Tab. 28: Ermittlung der Vollkosten für die Wärmeschutzverglasung .....	97
Tab. 29: Berechnungsannahmen für die Mehrkosten der Wärmeschutzverglasung.....	97
Tab. 30: Ermittlung der Vollkosten für die Lüftungstechnik.....	98
Tab. 31: Berechnungsannahmen für die Mehrkosten der Lüftungstechnik .....	98
Tab. 32: Korrekturfaktoren für Kosten der Lüftungstechnik .....	98
Tab. 33: Wärmebrücken und Luftdichtheit – Mehrkosten der Referenzvariante (ggü dem Basisfall) .....	99
Tab. 34: Wärmebrücken und Luftdichtheit – Mehrkosten der Zielvariante (ggü. der Referenzvariante) .....	99
Tab. 35: Wärmebrücken und Luftdichtheit - Berechnungsannahmen .....	99
Tab. 36: Ermittlung der Vollkosten für die Heizungstechnik .....	100
Tab. 37: Berechnungsannahmen für die Minderkosten der Heizungstechnik .....	100
Tab. 38: Sonstige Berechnungsannahmen .....	100
Tab. 39: Verteilungsfunktionen der szenarioabhängigen Input-Variablen .....	101
Tab. 40: Szenario "Status Quo" – Medianwertanalyse zu den Kapitalwerten der Zielvariante .....	104
Tab. 41: Szenario "Status Quo" – Medianwertanalyse zu den Kapitalwerten der Referenzvariante .....	104
Tab. 42: Szenario "Trend" – Medianwertanalyse zu den Kapitalwerten der Zielvariante .....	104
Tab. 43: Szenario "Trend" – Medianwertanalyse zu den Kapitalwerten der Referenzvariante .....	104
Tab. 44: Szenario "Faktor 10" – Medianwertanalyse zu den Kapitalwerten der Zielvariante .....	105
Tab. 45: Szenario "Faktor 10" – Medianwertanalyse zu den Kapitalwerten der Referenzvariante .....	105