

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 |
| 1. Einleitung..... | 13 |
| 1.1. Problemstellung und aktueller Bezug..... | 13 |
| 1.2. Zielsetzung und Hypothese..... | 15 |
| 1.3. Methodik und Ablauf der Untersuchung..... | 17 |
| 2. Grundlagen der Untersuchung..... | 21 |
| 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 |
| 3. Entwicklung von Szenarien..... | 35 |
| 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 |
| 4. Entwicklung des Simulationsmodells..... | 49 |
| 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 |

| | |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| 5. Datengewinnung und Datenstruktur | 59 |
| 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 |
| 6. Ergebnisse und Implikationen | 67 |
| 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 |
| 7. Schlussbetrachtung | 83 |
| Anhang | 87 |
| Literaturverzeichnis | 107 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| BGB | Bürgerliches Gesetzbuch |
| BGBL | Bundesgesetzblatt |
| BTF | Bauteilfläche |
| CO ₂ | 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 |