

# Lebenszykluskosten Prognosemodell

Immobilien-Datenbank-Analysen zur Ableitung  
lebenszyklus-orientierter Investitionsentscheidungen

S. Geissler, M. Groß, S. Keiler, G. Neumann,  
A. Oelinger, T. Bernhold, B. Schuster, K. Sammer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**37/2011**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Lebenszykluskosten Prognosemodell

Immobilien-Datenbank-Analysen zur Ableitung  
lebenszyklus-orientierter Investitionsentscheidungen

Mag. Dr. Susanne Geissler, DI (FH) Maike Groß  
Österreichische Energieagentur

Mag. (FH) Sebastian Keiler  
Fachhochschule Kufstein

Günter Neumann, MSc  
Neumann & Partner – CREIS Immobilien

Ing. Andreas Oelinger  
BBRZ Group

Dr. Torben Bernhold  
FH Münster – ILF

DI Birgit Schuster  
Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen – FGW

Mag. Karin Sammer  
Österreichischer Verband der Immobilientreu-händer – ÖVI

Wien, Mai 2010

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## **Kurzfassung (Deutsch)**

In der frühen Planungsphase von Gebäuden stehen der Bauherr und der Architekt vor der Entscheidung, welches architektonische Konzept, welche Art und Qualität die Hülle und welche technische Ausstattung das Gebäude haben soll. Oftmals wird primär die Höhe der Baukosten als bestimmender Faktor herangezogen, während die laufenden Betriebskosten keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Zusätzlich liegt in den meisten Fällen keine Information über das Verhalten von einzelnen Lösungen während der Betriebsphase vor. Die Berechnung der gesamten Lebenszykluskosten von Immobilien bereits vor der eigentlichen Realisierung des Objektes (ex-ante-Analyse) ist ein zukunftsweisender Ansatz. Tatsache ist aber, dass kaum jemand in der Praxis die Lebenszykluskosten von Immobilienprojekten berechnet, insbesondere weil keine Daten zu den Folgekosten zur Verfügung stehen, die dem individuellen Gebäude entsprechen.

Ziel des Projekts ***Immobilien-Datenbank-Analysen zur Ableitung lebenszyklusorientierter Investitionsentscheidungen*** war die Entwicklung einer Entscheidungshilfe in der frühen Planungsphase, um eine Aussage über künftige Betriebskosten eines Gebäudes treffen zu können. Damit soll eine Vereinfachung des Zugangs zu Daten über laufende Kosten von Gebäuden erreicht werden.

***Kern des Projektes war die Entwicklung eines Wirkungsmodells zwischen Investitionskosten, Gebäudeeigenschaften und den zu erwartenden Betriebskosten und deren Verwendung zur Berechnung von Lebenszykluskosten (LZK) von Gebäuden.*** Für das Wirkungsmodell sollte in weiterer Folge eine bestehende Immobiliendatenbank überprüft und eine Leistungsbeschreibung zur Implementierung des Wirkungsmodells erarbeitet werden. Im Anschluss wurden Testbeispiele zur Ermittlung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes oder der Folgekosten einzelner technischer Systeme berechnet, um die Funktionalität und Aussagekraft des Wirkungsmodells zu überprüfen.

Mit Hilfe des Wirkungsmodells und der damit verbundenen Prognose der Betriebskosten von Gebäuden soll die Lebenszykluskostenanalyse den Sprung von der Theorie in die Praxis schaffen. Nur plausible, durch reale Beispiele belegte Daten sind nützlich für den Einsatz in der Lebenszykluskostenberechnung. Diese LZK-Berechnung bringt weit reichenden Nutzen in der frühen Planungsphase: Der Bauherr erhält substanzielle Informationen über die zu erwartenden Folgekosten des Gebäudes. Bei verschiedenen Lösungsmöglichkeiten gibt das Prognosemodell eine Entscheidungshilfe über die zu erwartenden Betriebskosten. Die Anwendung der Lebenszykluskostenanalyse in der frühen Planungsphase kann somit forciert und die Entscheidung hinsichtlich nachhaltiger Gebäude verbessert werden.

Recherchen zu bestehenden Tools zur Lebenszykluskosten-Analyse und Prognosemodellen zeigten, dass bestehende Lösungen noch erhebliche Mängel aufweisen: Keine der analysierten Lösungen ist universell nutzbar. Projekte und Programme zeigen vor allem erhebliche Mängel in Bezug auf die verfügbaren Kostendaten. Ausgereifte Systeme wie beispielsweise LEGEP verfolgen eher einen analytischen Ansatz und sind für Prognosen in der frühen

Planungsphase weniger geeignet. International liegt der Schwerpunkt laufender Aktivitäten im Bereich der Life Cycle Analysis (LCA), die sich auf die Ermittlung der gebäudebezogenen Input-Output-Ströme und der damit verbundenen Wirkungen konzentriert. Grundlage des Modells sind die Ursache-Wirkung-Beziehungen zwischen Gebäudequalitäten und Nutzungskosten, die mittels statistischer Analysen von Datensätzen der Benchmark-Datenbank des Immobilien-Benchmark-Instituts der Fachhochschule Kufstein ermittelt wurden. In der zweiten Projektphase lag der Schwerpunkt auf der Ergänzung und Überprüfung durch gebäudespezifische Datenanalysen. Hinsichtlich der Systemgrenze des Modells wurde der Fokus auf die energetische Betrachtung gelegt.

Die folgenden Kostenbereiche sind für die Lebenszykluskosten-Berechnung zu betrachten: (1) Errichtungskosten, (2) Betriebskosten, (3) Instandhaltungskosten, (4) Abbruchs- / Umnutzungskosten. Durch Einbeziehung der IBI-Benchmark-Datenbank lagen die Betriebskosten und die Instandhaltungskosten zur detaillierten Analyse vor. Die Errichtungskosten und auch die Abbruchs-/Umnutzungskosten werden hiermit jedoch nicht erfasst. Zur Ermittlung der Errichtungskosten wurden Kostenkennwerte für Errichtungskosten auf Basis der BKI-Baukosten errechnet, die im zu erarbeitenden Prognosemodell als Basiswerte Verwendung finden. Die Abbruchkosten wurden modellhaft auf der Basis einer Handlungshilfe ermittelt.

Die abschließende Konzeption des Prognose-Modells sieht eine empirisch-statistische Bearbeitung des Level 1 (Planungsphase) vor. Für höhere Detaillierungsgrade wurde eine analytische Herangehensweise als zielführend erachtet, z. B. in Form von Fallstudien sowie gezielten empirischen Analysen, beispielsweise in Hinblick auf energetische Implikationen.

Hinsichtlich der Verbreitung des Prognosemodells nach Projektabschluss ist zu beachten, dass moderne Anwendungen plattformunabhängig, schnell und vielseitig einsetzbar sein sollten. Lösungen mit umfangreichen Installationsroutinen und schwer zugänglichen Bedingungen sind nicht praktikabel und werden letztendlich vom Markt nicht akzeptiert.



## **Kurzfassung (Englisch)**

In the early planning phase of buildings the owner and the architect often have to decide on the architectural concept, the kind and quality of the envelope and on the technical equipment. In many cases the building costs are still considered to be the all-dominant factor, whereas the operating costs are not taken into account or still play a subordinate role. Additionally, information about the behaviour of individual technical solutions during the operating phase is often lacking.

The calculation of the entire life cycle costs of real estates before the actual realisation of the object (ex-ante-analysis) is already a trendsetting approach. A fact is however that hardly anyone calculates the life cycle costs of real estate projects in practice, as data about the running costs of corresponding individual buildings are not available.

The goal of the project ***Real Estate-Database Analysis for Life-Cycle Based Investment Decisions*** was to develop a support instrument in order to make decisions in the early planning phase easier. Such a tool enables an assessment of future operating costs of a building and also facilitates access to data of running costs of buildings.

***Core of the project was the development of a “cause and effect model” that compares the expected investment costs, the technical building equipment and the operating costs, which consequently enable the calculation of the building’s life cycle costs (LCC).*** In further consequence, the project team reviewed the existing real estate data base and compiles a service description for the implementation of the effect model in this database. Subsequently, examples of life cycle costs of buildings or running costs of individual technical systems were calculated in order to evaluate the explanatory power as well as the functionality of the effect model.

With the help of the effect model and the associated prognosis of the operating costs of buildings, the life cycle cost analysis should make the breakthrough from theory into practice. Only plausible data for running costs (proven through real examples) can be used in the life cycle cost calculation. The LCC calculation implies important benefits in the early planning phase. The owner receives substantial information about the expected running costs of the building. For different technical solutions, the prognosis model supports decision makers by informing about the expected operating cost. The application of the life cycle cost analysis in the early planning phase makes the decision towards a long lasting cost effective building more attractive.

Surveys on tools for life cycle cost analysis and forecasting models showed that existing solutions are not ready to be used yet. Due to several shortcomings, they all need adaptations or further development to be applicable to a broad range of application areas. In general, data availability poses a challenge, and existing projects and programmes suffer from a lack of cost data. Elaborated programmes such as LEGEP follow a rather analytical approach and are less suitable to be used as a forecasting model to be applied in the early design phase. On the international level, focus of activities is on life cycle analysis (LCA)

which deals with the inventory of building related input and output data on material, energy, water, soil, emissions, waste and the environmental impact being linked up with them.

In this project, a life cycle cost forecasting model has been developed. The model is based on cause/effect relations between different types of building qualities and the related costs of ownership which have been determined by means of statistical analysis of data records of the benchmark-database operated by the Immobilien-Benchmark-Institute of Fachhochschule Kufstein (University of Applied Science). The second phase of the project was focused on completion and verification by means of building specific data analysis. Concerning the system boundaries of the model, it was agreed to focus on energy aspects.

Life cycle cost calculations have to take into account the following cost categories: (1) construction cost, (2) operation cost, (3) maintenance cost, (4) demolition cost. The IBI-benchmark-database provides operation cost and maintenance cost for detailed analysis. Construction cost and demolition cost are not available and had to be calculated based on other sources. Construction costs were calculated based on the data compilation "BKI-Baukosten", and results were used in the forecasting model. Concerning demolition cost, a simplified approach has been developed based on existing guidelines.

The final forecasting model focuses on the empirical-statistical analysis of level 1 (planning phase, low level of detail). For more detailed work, the analytical approach will be useful, e.g. in the form of object-specific case studies and targeted empirical analysis regarding energy aspects.

With regard to the dissemination of the forecasting model after completion of the project it is important to consider the following requirements: modern tools have to be user-friendly, independent of platforms, and suitable for multi-purpose use. Solutions with comprehensive installations and complex conditions do not fit for practical use and thus will not be accepted by the market.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	9
1.1	<b>Problemstellung und Zielsetzung des Projekts</b> .....	9
1.2	<b>Allgemeine Einführung in die Thematik</b> .....	10
<b>2</b>	<b>Verwendete Methoden und Daten</b> .....	15
2.1	<b>Methodischer Ansatz zur Prognose von Investitionskosten</b> .....	16
2.2	<b>Methodischer Ansatz zur Prognose von Betriebskosten</b> .....	20
2.2.1	Regressionsanalysen zur Errechnung der energetischen Folgekosten.....	21
2.2.2	Methodologie zur statistischen Analyse von Datensätzen.....	22
2.2.2.1	Hypothesenfindung .....	24
2.2.2.2	Wirkungsmodell .....	24
2.2.2.3	Statistische Verfahren.....	25
2.2.2.4	Modellbildung Prognosemodell.....	27
2.3	<b>Methodischer Ansatz zur Prognose von Abbruchkosten</b> .....	28
<b>3</b>	<b>Entwicklung des Wirkungsmodells</b> .....	29
3.1	<b>Evaluierung bestehender Modelle und Tools</b> .....	29
3.1.1	Schlussfolgerungen für die Modellentwicklung.....	30
3.2	<b>Grundzüge des Wirkungsmodells</b> .....	32
3.3	<b>Wirkungsmodell für die Prognose von Betriebskosten</b> .....	34
3.3.1	Datensatz für die statistisch-empirische Ermittlung von Wirkungszusammenhängen .....	36
3.3.2	Vom Wirkmodell zum automatisierbaren Modell .....	37
3.3.2.1	Überprüfung des Wirkmodells.....	37
3.3.2.2	Adaption des Wirkmodells .....	39
3.3.2.2.1	Prognosemodelle.....	39
3.3.2.2.2	Deskriptive Analyse .....	44
3.3.2.2.3	Einflussfaktoren.....	44
3.3.2.2.4	Analysen der Wirkmodelle.....	44
3.3.2.2.5	Interpretation .....	54
3.3.2.2.6	Umsetzung .....	55
3.3.3	Diskussion zur Qualität der Ergebnisse.....	55
<b>4</b>	<b>Implementierung des Wirkungsmodells in die bestehende IBI Datenbank</b> .....	57
4.1	<b>Konzeptionelle Umsetzung in der Datenbank</b> .....	57
4.2	<b>Leistungsbeschreibung für Datenbankprogrammierung</b> .....	59
<b>5</b>	<b>Prognosemodell für den Testlauf an realen Gebäuden</b> .....	61
5.1	<b>Allgemeine Gebäudeinformationen</b> .....	61
5.2	<b>Prognose der Errichtungskosten</b> .....	62
5.3	<b>Prognose der Betriebskosten</b> .....	64
5.4	<b>Prognose der Abbruchkosten</b> .....	65
<b>6</b>	<b>Anwendung des Prognosemodells an realen Gebäuden</b> .....	68
6.1	<b>Testreihe 1</b> .....	68
6.2	<b>Testreihe 2</b> .....	69
6.3	<b>Testreihe 3</b> .....	69
6.4	<b>Testreihe 4</b> .....	71
6.4.1	Die Ergebnisse der Gebäude in der Kategorie „Qualität einfach“.....	72

6.4.2	Die Ergebnisse der Gebäude in der Kategorie „Qualität mittel“ .....	74
6.4.3	Die Ergebnisse der Gebäude in der Kategorie „Qualität hoch“ .....	75
6.4.4	Fazit der Testreihen.....	76
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Verbreitung der Ergebnisse .....</b>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>79</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>82</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>83</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung und Zielsetzung des Projekts

In der frühen Planungsphase von Gebäuden stehen Bauherr und Architekt vor der Entscheidung, welches architektonische Konzept gewählt werden soll, welche Art und Qualität die Hülle und welche technische Ausstattung das Gebäude aufweisen soll. Oftmals wird primär die Höhe der Baukosten als bestimmender Faktor für die Entscheidungen herangezogen, während die laufenden Bewirtschaftungskosten keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. Zusätzlich liegt in den meisten Fällen wenig Information über das Verhalten von einzelnen technischen Lösungen während der Betriebsphase vor.

Die Berechnung der gesamten Lebenszykluskosten von Immobilien bereits vor der eigentlichen Realisierung des Objektes (ex-ante-Analyse) ist jedoch ein zukunftsweisender Ansatz für die gesamtheitliche Optimierung von Gebäuden, insbesondere aus energetischer Sicht. Unterschiedliche Investitionsentscheidungen verursachen unterschiedliche Folgekosten, die mit der energetischen Qualität des Gebäudes zusammenhängen, wie zum Beispiel:

- Durch geringfügig höhere Investitionskosten für eine verbesserte Wärmedämmung wird der Energiebedarf während der Nutzung verringert;
- durch geringe Mehrinvestition in die frühe Planungsphase kann das architektonische Konzept so entwickelt werden, dass nicht nur die energetische Qualität steigt, sondern auch die Ausstattung mit Gebäudetechnik reduziert werden kann, was wiederum geringere Kosten für Energie, aber auch für Wartung und Instandhaltung nach sich zieht.

Lebenszykluskosten-Analysen ermöglichen es, bei Objekten, die vom Eigentümer selbst genutzt werden, die energetisch und ökonomisch beste Lösung zu finden, und tragen auch dazu bei, den Investor-Nutzer-Konflikt bei Investitionsobjekten transparent zu machen.

In den letzten Jahren wurden mehrere Forschungsprojekte zu Lebenszykluskosten-Modellen durchgeführt, um die Datenbasis für die Folgekostenabschätzungen zu verbessern und Berechnungsmodelle zu entwickeln, um Tools zur Verfügung zu stellen und so die Grundlage für eine breite Anwendung der Lebenszyklus-Analyse zu schaffen.

Ziel des hier beschriebenen Projekts „Lebenszykluskosten Prognosemodell“ war es, eine Entscheidungshilfe für die frühe Planungsphase zu entwickeln, um eine Aussage über die energetischen Folgekosten eines Gebäudes machen zu können. Kern des Projektes war die Entwicklung eines Wirkungsmodells zwischen Investitionskosten, Gebäudeeigenschaften und den zu erwartenden energetischen Folgekosten, sowie deren Verwendung zur Berechnung der Lebenszykluskosten (LZK) von Gebäuden. Das Wirkungsmodell wurde anhand von realen Gebäuden getestet und die prognostizierten Daten mit den tatsächlich aufgetretenen Folgekosten verglichen.

Die Belastbarkeit des Modells wurde somit überprüft. Mit dieser Voraussetzung wird das Modell in der Immobilienwirtschaft sicherlich auf Akzeptanz stoßen. Die breite Anwendung der Lebenszykluskosten-Analyse wird dazu führen, dass sich jene Planungs- und Errichtungsprozesse im Gebäudebereich durchsetzen, die zur Ausschöpfung der gebäudebezogenen Energieeffizienzpotenziale führen.

Dieser Bericht ist analog zur Vorgangsweise im Projektablauf wie folgt aufgebaut:

Kapitel 2 zeigt die methodischen Ansätze zur Prognose der einzelnen Kostenkategorien (Investition, Betrieb, Abbruch) auf. Im Kapitel 3 wird die Entwicklung des Wirkungsmodells beschrieben: Zunächst werden die bestehenden, evaluierten Modelle und Tools vorgestellt und analysiert, und im Anschluss daran werden die im Projekt entwickelten Grundzüge erläutert. Weiterführend stellt Kapitel 4 die Implementierung in die bestehende IBI-Datenbank vor, dies beinhaltet die konzeptionelle Umsetzung, wie auch eine Leistungsbeschreibung.

Im Kapitel 5 wird das im Rahmen des Projektes erarbeitete Prognosemodell präsentiert. Die mit diesem Modell durchgeführten Testreihen werden im darauf folgenden Kapitel 6 behandelt. Abschließend werden in Kapitel 7 die Schlussfolgerungen dargestellt, wie auch der Ausblick auf weitere Aktivitäten im Bereich der Lebenszykluskosten-Prognose.

## **1.2 Allgemeine Einführung in die Thematik**

Lebenszykluskosten sind definiert als die Summe aller Kosten, die während des kompletten Lebenszyklus einer Sache anfallen (vgl. Dhillon, 1989).

Die Lebenszykluskosten-Analyse dient der Optimierung von Systemen. Sie zielt darauf ab, die gesamten Kosten über den Lebenszyklus eines Systems und die damit verbundenen Prozessen abzubilden, zu prognostizieren, zu analysieren und schließlich zu optimieren (Herzog, 2005, 18).

Das Konzept des Life Cycle Costing (LCC) entstand in den USA und wurde 1960 vom Logistic Management Institute eingeführt. LCC stammt aus dem militärischen Bereich, und Methoden zur Berechnung von Lebenszykluskosten erlangten mit dem Bericht des US-Verteidigungsministeriums „Life Cycle Costs in Equipment Procurement“ weite Verbreitung (Logistic Management Institute, 1965).

Das Konzept wurde in den USA im Laufe der 1970er Jahre auf den Bereich öffentlicher Gebäude übertragen. Die US-Bundesgesetze „National Energy Conservation Policy Act“ (1978) und „Federal Energy Management Improvement Act“ (1988) bildeten die Grundlage zur Durchführung von Life Cycle Costing bei der Planung von öffentlichen Gebäuden. In weiterer Folge wurde die amerikanische Norm ASTM E 917 (1999) eingeführt, welche als normative Basis für die „Cost-Effectiveness-Analysis“ bei Entscheidungen über Investitionen und Investitionsalternativen in öffentlichen Gebäuden dient. Als Konsequenz der gesetzlichen Regelungen wurden computergestützte Programme (z. B. BLCC – Building Life Cycle Cost) entwickelt, welche die praktische Anwendung des LCC-Konzepts unterstützen (Herzog, 2005, 18).

Lebenszykluskosten-Analysen werden unter anderem in folgenden Bereichen eingesetzt:

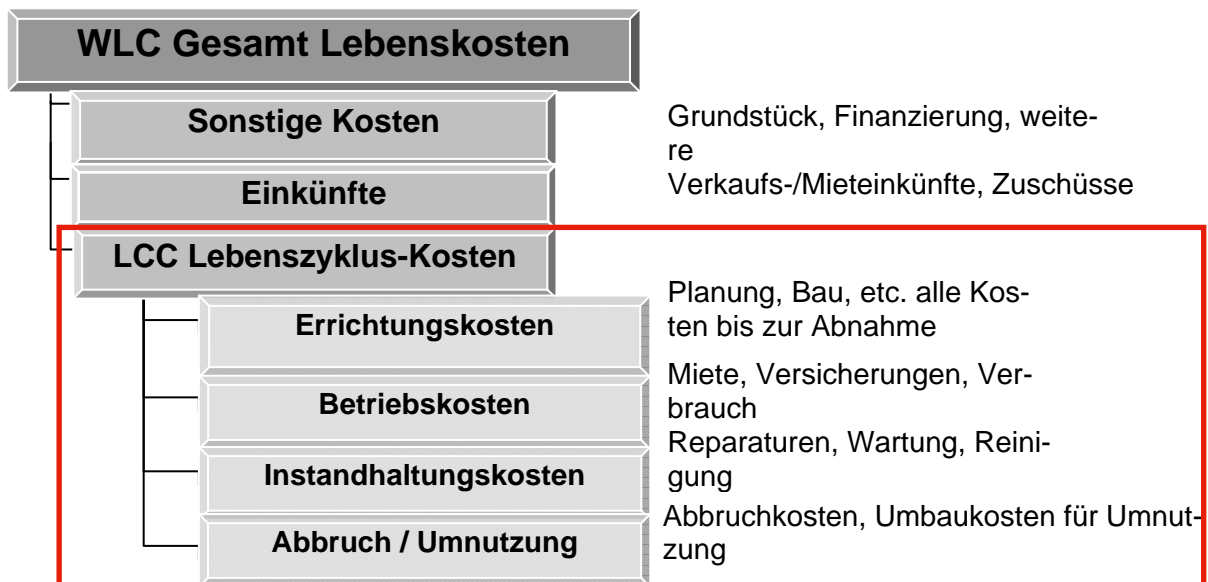
- Vergleich von konkurrierenden Projekten
- Controlling bei laufenden Projekten
- Langfristige Planung und Budgetierung

Man unterscheidet zwischen allgemeinen und spezifischen Life Cycle Costing Methoden. Für die Berechnung der Lebenszykluskosten von Gebäuden wurden spezifische Methoden entwickelt und Berechnungstools erarbeitet. Auf der Website des Bereichs „Energy Efficiency and Renewable Energy“ des U.S. Energy Department werden beispielsweise im „Federal Energy Management Program“ Software, Manuals und Trainings zur Berechnung der Lebenszykluskosten von Gebäuden zur Verfügung gestellt (Geissler, 2007, 33).

Die Begriffe „Lebenszykluskosten“ und „Lebenszykluskosten-Analyse“ werden mit den Begriffen „Life Cycle Costing“ (LCC) und „Life Cycle Costing Analysis“ (LCCA) ins Englische übersetzt, wobei dies im englischen Sprachraum mit dem Begriff „Whole Life Cost“ (WLC) gleichzusetzen ist.

Die ISO 15686-5 „Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Whole life costing“ (ISO/TC59/SC14) enthält folgende Begriffsabgrenzung: Im Gegensatz zu LCC können Whole Life Costs (WLC) auch Erträge, externe Kosten und immaterielle Werte beinhalten.

Abbildung 1: Lebenszyklus-Kosten (LCC) Überblick nach ISO 15686-5 (2008)



Davon abzugrenzen ist der Begriff „Through Life Cost“ (TLC), der sich auf die Kosten während der Betriebsphase konzentriert, aber auch die Investitionskosten umfassen kann und in diesem Fall mit LCC übereinstimmt.

In der Praxis werden die Begriffe derzeit teilweise überschneidend verwendet und es ist im Einzelfall abzuklären, welche Kosten gemeint sind. Nachdem der Begriff „Whole Life Costing“ laut ISO 15686-5 nicht nur Kosten, sondern auch Erträge beinhaltet und somit über die Ausgabenseite hinausgeht, handelt es sich in diesem Fall nicht mehr um eine Lebens-

zykluskosten-Analyse, sondern viel mehr um eine ökonomische Lebenszyklusbewertung (Lebenszyklus-Erfolgsprognose).

Diese auch einnahmenseitige Betrachtung gewinnt aus energetischer Sicht mit der zunehmenden Verbreitung von Plus-Energie-Gebäuden an Bedeutung: Diese Gebäude *verbrauchen* nicht nur Energie (Folgekosten während der Nutzungsdauer des Gebäudes), sondern *produzieren* auch Energie (Einnahmen während der Nutzungsdauer des Gebäudes).

Bei der Bewertung von Alternativen sind dafür nach ISO 15686-5 folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Lebensdauer des Bewertungsgegenstandes
- Zeitrahmen der WLC-Analyse
- Detaillierungsgrad der WLC-Analyse
- Kostenvariable
- Herstellungskosten
- Bewirtschaftungskosten
- Rückbaukosten (und Erträge)
- Diskontierungszinssatz
- Externe Kosten (Verursachergerechte Verrechnung der Leistungen derzeit noch freier Güter, beispielsweise Integration der externen Kosten der Klimaveränderung durch Besteuerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen)
- Kosten durch Umweltgesetzgebung (neue gesetzliche Auflagen, Einschränkungen, etc.)
- Soziale Kosten (beispielsweise Probleme mit Anrainern)
- Nachhaltiges Gebäude / umweltfreundliches Gebäude (Berücksichtigung von LCA-Ergebnissen)
- Immaterielle Werte (Imagewert; gute Arbeitsbedingungen, die zu erhöhter Produktivität führen)
- In einem abschließenden Report ist darzulegen, wie diese Faktoren bei der Ermittlung der WLC berücksichtigt wurden.



In Europa wurde 2001 die Task Group 4 (TG4) zum Thema „Whole Life Cost“ im Rahmen der Arbeitsgruppe „Sustainable Construction“ der DG Enterprise and Industry gegründet, die ihren Bericht 2003 vorlegte (Enterprise Directorate-General, 2003). Im Bericht werden sieben Empfehlungen präsentiert:

- Erarbeitung einer gemeinsamen europäischen Methode zur Bewertung der Lebenszykluskosten im Bausektor
- Unterstützung von Datensammlung, Benchmarking, Erstellung von Handbüchern zu Best Practice und Wartung
- Integration von Lebenszykluskosten in die öffentliche Beschaffung (Ausschreibung und Auftragsvergabe)
- Sichtbarmachen von Indikatoren zu Lebenszykluskosten in öffentlichen Gebäuden
- Ermittlung der Lebenszykluskosten im frühen Planungsstadium
- Einsatz von ökonomischen Steuerungsinstrumenten, um die Berücksichtigung von Lebenszykluskosten zu fördern.
- Entwicklung von Leitfäden und Fact Sheets

Für die Berechnung von LCC und WLC von Gebäuden bilden Ergebnisse von „Life Cycle Assessments“ (LCA, Ökobilanzen) nach ISO 14040 ff („Life Cycle Assessment“) wertvolle Grundlagen. Sie dokumentieren den Input und Output (Material, Wasser, Energie) von Prozessen und Produkten und stellen somit die physischen Grundlagen dar, die in der Folge mit monetären Werten belegt werden können. Die Lebenszykluskosten-Analyse greift auf Mengendaten der LCA zurück, die mit Marktpreisen versehen werden; sie berücksichtigt jedoch nicht die in den Materialien enthaltene Energie für die Herstellung der Produkte. Diese Berücksichtigung kann mit Hilfe der Ermittlung von externen Kosten erfolgen, die dann in die Berechnung der WLC einfließen. Zum Themenbereich „externe Kosten“ werden auf EU-Ebene seit 1990 Studien durchgeführt, die auf [www.externe.info](http://www.externe.info) dokumentiert sind. In Österreich wurden externe Kosten speziell für den Bereich Hochbau ermittelt (Adensam et al., 2000). Die Ergebnisse wurden als Internet-Berechnungstool aufbereitet<sup>1</sup> und flossen in die ÖNORM „M 7140 (2004) Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme“ ein.

Wegen dieser Verbindung zwischen LCCA und LCA war es naheliegend, dass Ökobilanzierungsmodelle für Gebäude um Kostenberechnungsmodule erweitert wurden. Das in Deutschland entwickelte Softwareprogramm LEGEP ermöglicht es beispielsweise, die Lebenszykluskosten nach den Ergebnissen der TG4 (Final Report Enterprise Directorate-General, 2003) zu berechnen.

Sowohl im Bericht der TG4 (Enterprise Directorate-General, 2003), wie auch in der ISO 15686-5 (2008) sind Methoden zur Berechnung der LCC angeführt, die jedoch breiten Spielraum zulassen und somit keinen einheitlichen Standard vorgeben. Zu beachten ist die zentrale Rolle der Umwandlung von zukünftigen Kosten in derzeitige Kosten. Diese Fragestellung wird mit der Berücksichtigung von Zinsen relevant. Es erfolgt somit ein Übergang von statischen zu dynamischen Berechnungsverfahren.

---

<sup>1</sup> [www.ecology.at/excoco](http://www.ecology.at/excoco)

Die Berechnung von Discounted Cash-Flows ermöglicht es unter anderem, den Gegenwartswert von Investitionen in der Zukunft zu bestimmen, wodurch Vergleiche von Alternativen möglich werden. Alle Zahlungsströme (Einzahlungen und Auszahlungen) über den Betrachtungszeitraum werden addiert und auf einen bestimmten Zeitpunkt in der Gegenwart abgezinst. Der so erhaltene Barwert kann als jener Betrag betrachtet werden, der zum gewählten Diskontzinssatz angelegt werden muss, damit die erforderliche Summe in der Zukunft zur Verfügung steht. Der Vergleich von Alternativen mittels Barwert ist besonders wichtig bei Vorhaben, bei denen Investitionen zu verschiedenen Zeiten anfallen, wie dies bei Gebäuden der Fall sein kann: Gebäude mit höheren Investitionskosten und geringen Folgekosten und Gebäude mit niedrigeren Investitionskosten und höheren Folgekosten können so mittels Barwert verglichen werden.

Kritischer Faktor ist die Wahl des Zinssatzes, weil die Höhe des Zinssatzes die Attraktivität von Anfangsinvestitionen für eine bessere Langzeitperformance des Gebäudes dramatisch beeinflusst. Die Wahl des Zinssatzes drückt die Bereitschaft des Anlegers aus, Geld nicht sofort, sondern in der Zukunft auszugeben; der Zinssatz ist somit eine Entschädigung für einen aufgeschobenen Nutzen, der in der Zukunft liegt und daher unsicher ist. Somit ist der Zinssatz auch ein Maß für das Risiko.

Zur Ermittlung der Diskontierungszinssätze werden in den einzelnen Ländern unterschiedliche Herangehensweisen praktiziert, die von der Bestimmung durch den Markt (vgl. Kranewitter 2007, S. 94ff) bis zur Verordnung (z. B. HM Treasury in Großbritannien) reichen.

Im November 2005 vergab die EU-Kommission einen Auftrag zur Entwicklung einer Methode für die standardisierte Berechnung der Lebenszykluskosten. Die von Davis Langdon erarbeitete Methode besteht aus einer Abfolge von 15 Schritten, die für den speziellen Fall konkretisiert werden müssen (Langdon, 2007).

Die Entwicklung standardisierter Kostenberechnungsmodule für Ökobilanzierungstools bzw. die Entwicklung standardisierter Lebenszykluskosten-Analysertools ist somit noch immer nicht möglich. Die derzeit verfügbaren Tools weisen infolge fehlender Kostendaten, unvollständiger Lebenszyklusbetrachtung oder unzureichender Bewertungsmethoden noch immer Verbesserungspotenzial auf. Das hier beschriebene Projekt ist als weiterer Baustein zur Verbesserung der Grundlagen für die Lebenszykluskosten-Analyse einzuordnen.

## 2 Verwendete Methoden und Daten

Prognosemodelle beschreiben auf Basis der Kenntnis der Ursache-Wirkungsbeziehung und bei gegebenen (singulären) Randbedingungen einen Tatbestand, der erst in Zukunft eintreten wird. Im Gegensatz dazu untersuchen Erklärungsmodelle die Gesetzmäßigkeiten zwischen bereits verwirklichten Ereignissen (Fürnrohr, 1992, 23).

Das Verfahren zur Vorhersage von Kosten beruht auf dem Wissen über den Zusammenhang zwischen Kosten und den sie bestimmenden Größen, den Kosteneinflussfaktoren. Aus dem Datenmaterial abgeschlossener Projekte, die mit dem neuen Vorhaben vergleichbar sind, wird ein Zusammenhang ermittelt. Bei der Prognose wird unterstellt, dass die gefundene Gesetzmäßigkeit auch für das zukünftige Vorhaben Gültigkeit besitzt (Fürnrohr, 1992, 35).

Der im gegenständlichen Projekt zur Anwendung kommende methodische Ansatz der Kostenprognose ist zwischen Größenordnungsprognose und konzeptioneller Prognose einzuordnen (siehe Tabelle 1). Ziel ist die Abschätzung der zu erwartenden energetischen Folgekosten in der frühen Planungsphase, wenn noch wenig Information zum konkreten Gebäudeprojekt vorliegt. Dennoch müssen die Ergebnisse ausreichend genau sein, damit eine seriöse Entscheidungsgrundlage zustande kommt.

Tabelle 1: Basisansätze von Kostenprognosen (Wübbenhorst, 1984, 236)

Bezeichnung	Zeitpunkt im Lebenszyklus	Zielsetzung	Erwartete Genauigkeit
<u>Größenordnungsprognose</u> Top-down-Methoden auf der Basis von Daten über andere Systeme (historischer Datenbestand)	Initiierungsphase	Alternativenbestimmung	+/- 30 % bis +/- 40 %
<u>Konzeptionelle Prognose</u> Top-down-Methoden auf der Basis komplexerer Kostenschätzbeziehungen („parametrische Kostenprognosen“); Verwendung von Daten von Referenzsystemen und Daten von neuen Systemen	Konzeptionsphase	Erstellung von Budgets	+/- 10 % bis +/- 15 %
<u>Detaillierte Prognose</u> Bottom-up-Methoden auf der Basis eines detaillierten kalkulatorischen Ansatzes	Design- und Konstruktionsphase	Steuerungs- und Kontrollzwecke	+/- 5 %

## 2.1 Methodischer Ansatz zur Prognose von Investitionskosten

Als Datengrundlage für die Prognose der Investitionskosten für Gebäude in der frühen Planungsphase wurden die Kostenkennwerte der BKI<sup>2</sup> Baukostentabellen Deutschland herangezogen.

Die BKI-Baukostendokumentation ist eine Datendokumentation zu real abgerechneten Gebäuden (Schulen, Kindergärten, Wohngebäude, Büros etc.), die jedes Jahr erneut herausgegeben wird. Die BKI-Baukostendokumentation gibt es in drei Teilen, die den folgenden Detailebenen (gemäß DIN 276) entsprechen:

- Teil 1: Gebäude; 1. Ebene der KG<sup>3</sup> (z. B. KG 300 Bauwerk – Rohbau)
- Teil 2: Grobelemente; 2. Ebene der KG (z. B. KG 330 Außenwände)
- Teil 3: Positionen; 3. Ebene der Elemente (z. B. KG 331 Tragende Außenwände) mit Informationen der Kosten einzelner Leistungsbereiche (z. B. Gerüstarbeiten, Erdarbeiten, Wasserhaltungsarbeiten etc.)

Die Kostengruppen nach DIN 276 entsprechen im Wesentlichen dem Aufbau der ÖNORM B 1801-1. Die folgende Tabelle zeigt die Gegenüberstellung der deutschen DIN 276 und der ÖNORM B 1801-1 für die Errichtungskosten des Bauwerkes.

Tabelle 2: Gegenüberstellung DIN 276 und ÖNORM B 1801-1 (Auszug)

Bezeichnung gem. DIN 276	Bezeichnung gem. ÖNORM B 1801-1
<b>300 Bauwerk – Konstruktion (Rohbau)</b>	<b>2 Bauwerk – Rohbau</b>
310 Baugrube	2 B Erdarbeiten, Baugrube
320 Gründung	2 C Gründungen / Bodenkonstruktionen
350 Decken	2 D Horizontale Baukonstruktionen
	<b>4 Bauwerk – Ausbau</b>
330 Außenwände	4 C Fassadenhülle
340 Innenwände	4 D Innenausbau
360 Dächer	4 B Dachverkleidung
390 Sonstige Baukonstruktionen	4 A Allgemein
	<b>5 Einrichtung</b>
370 Baukonstruktive Einbauten	5 B Betriebseinrichtungen
<b>400 Bauwerk – Technische Anlagen</b>	<b>3 Bauwerk - Technik</b>
410 Abwasser, Wasser, Gas	3 E Sanitär- / Gasanlagen
420 Wärmeversorgungsanlagen	3 C Wärmeversorgungsanlagen
430 Lufttechnische Anlagen	3 D Klima- / Lüftungsanlagen
440 Starkstromanlagen	3 F Starkstromanlagen
450 Fernmeldeanlagen	3 G Fernmelde- / informationstechnische Anlagen
460 Förderanlagen	3 B Förderanlagen
470 Nutzungsspezifische Anlagen	3 I Spezielle Anlagen
480 Gebäudeautomation	3 H Gebäudeautomation
490 Sonstige Technische Anlagen	3 A Allgemein

Mit den Informationen, die bereits in der frühen Planungsphase im Wesentlichen bekannt sind, kann das zu errichtende Gebäude auf der 2. Ebene in die Kategorien „einfach“, „mittel“

<sup>2</sup> Baukosteninformationszentrum deutscher Architektenkammern

<sup>3</sup> KG steht für Kostengruppe; Bezeichnung gemäß DIN

und „hoch“ eingeteilt werden. Dazu gibt es in den Tabellenwerken der BKI eine Orientierungshilfe, um dem Anwender die Einordnung seines Gebäudes in den Kategorien der BKI zu erleichtern. Die folgende Abbildung zeigt dies am Beispiel der KG 410 Abwasser-, Wasser- und Gasanlagen.

Abbildung 2: Orientierungshilfe zur Nutzung der BKI-Werte

<p><b>410 Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen</b>  <b>- kostenmindernd:</b>                  wenige, günstige Sanitärobjekte, zentrale Anordnung von Ent- und Versorgungsleitungen  <b>+ kostensteigernd:</b>                  Regenwassernutzungsanlage, Schmutzwasserhebeanlage, Benzinabscheider, Fett- und Stärkeabscheider, Feuerlösch- und Meldeanlagen, Sprinkleranlagen, Feuerlöschgeräte, Druckerhöhungsanlagen, Enthärtungsanlagen</p>	Quelle: BKI Bautabellen 2008
---	------------------------------

Der Nutzer geht die Grobelemente des neu zu errichtenden Gebäudes Schritt für Schritt durch und kategorisiert sie mit Hilfe der Orientierungshilfen (vgl. Abbildung 2) als Qualitätsstufe „einfach“, „mittel“ und „hoch“. Zu jeder Kategorie gehört eine bestimmte Punkteanzahl. Diese Zuordnung zeigt die folgende Tabelle.

Tabelle 3: Gebäudekategorisierung gemäß BKI-Bautabellen

KG Nr.	Titel	einfach	mittel	hoch	Punkte
310	Baugrube				-
320	Gründung	1	2	3	
330	Außenwände	5	7	9	
340	Innenwände	3	4	5	
350	Decken	3	4	5	
360	Dächer	2	3	5	
370	Baukonstruktive Einbauten	0	0	1	
390	Sonstige Baukonstruktionen				-
410	Abwasser, Wasser, Gas	1	1	2	
420	Wärmeversorgungsanlagen	1	1	2	
430	Lufttechnische Anlagen	0	1	2	
440	Starkstromanlagen	2	2	3	
450	Fernmeldeanlagen	0	1	2	
460	Förderanlagen	0	1	1	
470	Nutzungsspezifische Anlagen	0	0	1	
480	Gebäudeautomation	2	2	2	
490	Sonstige Technische Anlagen				-
<b>GESAMTSUMME PROJEKT:</b>					

Quelle: BKI-Bautabellen 2008

Addiert man die Punkte der einzelnen Grobelemente, ergibt sich die Gesamtsumme für das konkrete Objekt, und somit gleichzeitig die Standard-Zuordnung zu einer Qualitätsstufe. Die folgende Kategorisierung gilt für ein Bürogebäude (jede Gebäudeart hat eine eigene Punkte-

bewertung). Je Punktzahl, die man nach der oben gezeigten Rechenmethode ermittelt, ergibt sich die Kategorie, in die das eigene Gebäude eingeordnet wird. Es gilt für Bürogebäude:

- 20–26 Punkte = Qualität „einfach“
- 27–36 Punkte = Qualität „mittel“
- 37–43 Punkte = Qualität „hoch“

In weiterer Folge bieten die BKI-Tabellenwerke sogenannte „Kostenkennwerte“ für jede Gebäudequalität und Detailebene in der statistisch ermittelten Bandbreite an. Ausgewiesen werden die Kosten „von“, „Mitte“ und „bis“. Mit Hilfe der Zuordnung in eine Gebäudequalität werden die passenden Tabellenwerte ausgewählt. Die folgende Abbildung zeigt die Kostenkennwerte der BKI für ein Bürogebäude mittleren Standards.

Abbildung 3: Exemplarische Kostenkennwerte „Bürogebäude mittlerer Standard“

KG	Kostengruppen der 2. Ebene	Einheit	von	€/Einheit	bis	von	% an 300	bis
310	Baugrube	m <sup>3</sup> BGI	12	22	39	1,0	2,4	6,3
320	Gründung	m <sup>2</sup> GRF	184	252	319	6,5	8,9	14,2
330	Außenwände	m <sup>2</sup> AWF	358	467	559	25,0	32,6	38,6
340	Innenwände	m <sup>2</sup> IWF	208	253	334	11,8	18,8	22,4
350	Decken	m <sup>2</sup> DEF	234	295	434	10,3	18,3	22,5
360	Dächer	m <sup>2</sup> DAF	239	297	422	8,2	11,8	18,3
370	Baukonstruktive Einbauten	m <sup>2</sup> BGF	8	29	71	0,4	2,2	6,3
390	Sonstige Baukonstruktionen	m <sup>2</sup> BGF	23	50	74	2,2	5,0	7,4
						% an 400		
410	Abwasser, Wasser, Gas	m <sup>2</sup> BGF	29	52	97	8,3	16,9	25,6
420	Wärmeversorgungsanlagen	m <sup>2</sup> BGF	40	63	98	13,5	21,0	34,7
430	Lufttechnische Anlagen	m <sup>2</sup> BGF	25	50	101	1,3	10,8	23,7
440	Starkstromanlagen	m <sup>2</sup> BGF	74	106	159	24,1	33,4	39,4
450	Fernmeldeanlagen	m <sup>2</sup> BGF	11	34	98	2,6	9,3	18,7
460	Förderanlagen	m <sup>2</sup> BGF	8	23	54	0,6	3,5	16,3
470	Nutzungsspezifische Anlagen	m <sup>2</sup> BGF	4	18	50	0,2	2,6	10,1
480	Gebäudeautomation	m <sup>2</sup> BGF	–	261	–	–	2,0	–
490	Sonstige Technische Anlagen	m <sup>2</sup> BGF	4	10	20	0,0	0,5	4,4

Quelle: BKI Bautabellen 2008

Für die Kostenberechnung der KG 300 und 400 steht ein simples Kostensimulationsmodell zur Verfügung (MS Excel auf [www.bki.de/formulare](http://www.bki.de/formulare) „Kostensimulationsmodell“), mit welchem die unterschiedlichen Volumina und Flächen (vgl. Spalte „Einheit“ der obigen Abbildung) auf die Flächenkennzahl BGF umgerechnet werden können. Somit können allein mit Angabe der BGF die Kosten des Gebäudes (KG 300 und 400) abgeschätzt werden.

Die so berechnete Summe stellt die Bauwerkskosten dar, also die Kosten für das Gebäude an sich – ohne Planung, Außenanlagen und dergleichen. Diese weiteren Kosten können über Kostenanteile (in % an der Summe aus 300 + 400) errechnet werden. So gelten beispielsweise für Bürogebäude, mittlerer Standard, folgende Anteile:

- KG 200 (Herrichten und Erschließen) 2,3 %
- KG 500 (Außenanlagen) 6,3 %
- KG 600 (Ausstattung und Kunstwerke) 4,7 %
- KG 700 (Baunebenkosten) 16,6 %

Eine Ausnahme gilt für die Kosten des Grundstückes (KG 100) – hier entscheidet allein die Lage den Preis. Daher kann dieser Posten nicht über derartige Kennwerte kalkuliert werden.

Die Errichtungskosten für Bürogebäude in den Gebäudequalitäten „einfach“, „mittel“ und „hoch“ liegen demnach im Wesentlichen in den folgenden Bandbreiten:

- einfach: 775 bis 1.025 €/m<sup>2</sup> BGF
- mittel: 1.175 bis 1.575 €/m<sup>2</sup> BGF
- hoch: 1.650 bis 2.475 €/m<sup>2</sup> BGF

## 2.2 Methodischer Ansatz zur Prognose von Betriebskosten

In diesem Projekt wurden statistische Analyseverfahren (Regressions- und Clusteranalysen), das Experten-Know-how der beteiligten Organisationen und der umfangreiche Datenpool des Forschungsinstitutes für Immobilien-Benchmarking (IBI) zur Entwicklung eines Wirkungsmodells eingesetzt, mit welchem die Einschätzung von Betriebskosten von Gebäuden schon in der Planungsphase ermöglicht wird.

Es wurde ein empirisches Verfahren angewendet, bei dem Folgekosten auf Basis von bereits beobachteten Kosten prognostiziert werden. Dies hat gegenüber analytischen Verfahren den Vorteil, dass auch nicht planbare oder geplante Einflüsse aus der Nutzung mit einfließen.

Für diesen Ansatz ist jedoch eine hohe Anzahl von Gebäuden erforderlich, um somit die statistische Schwankungsbreite einzuschränken.

Die Werte für Folgekosten wurden mit sämtlichen in der IBI-Datenbank vorliegenden Einflussfaktoren ermittelt, wobei der Schwerpunkt in diesem Projekt auf die Folgekosten im Bereich Energie gelegt wurde.

Die statistischen Analysen konzentrierten sich auf die folgenden Gebäudeklassifizierungsmerkmale:

- Klimatisierung: Vollklima/ Teilklima/ keine Klimaanlage
- In Reihe stehend, frei stehend
- Baujahr
- Nettogeschoßfläche
- Anzahl der Geschoße
- Gebäudequalität: einfach – mittel – hoch
- Lift vorhanden
- Tiefgarage vorhanden

Bereinigt wird um die Faktoren Standort/Stadt, Heizgradtage und Nutzungsgrad/Leerstand.

Diese Art der Analyse hat zur Folge, dass das zu entwickelnde Wirkungsmodell etwas größere Strukturen aufweist – mit dem Nachteil, dass größere Schwankungsbreiten bei den Prognosen in Kauf genommen werden müssen. Der Vorteil dieses Modells ist jedoch, dass weniger Eingabedaten für eine Prognoserechnung herangezogen werden müssen, was für die praktische Anwendbarkeit spricht.

Die Entwicklungen im Zuge der Implementierung der EU-Richtlinie 2002/91/EG flossen insofern in das Projekt ein, als dass die Möglichkeiten der Verlinkung mit Energieausweisdatenbanken berücksichtigt wurden.



### 2.2.1 Regressionsanalysen zur Errechnung der energetischen Folgekosten

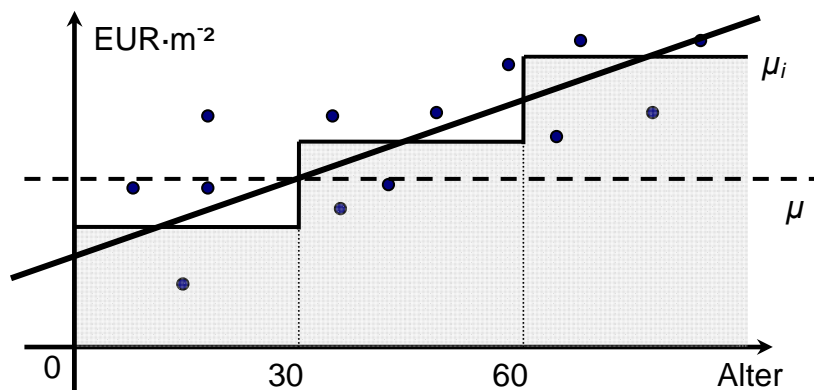
Ziel ist es, aus vorhandenen Datensätzen Kennwerte für bestimmte Kostenarten abzuleiten. Meist werden dafür Verteilungskennwerte wie Momente oder Mediane berechnet und zum Vergleich herangezogen. Auf Basis dieser Kennwerte ist es dann möglich, auf die Kosten eines Gebäudes *ex ante* zu schließen und die Lebenszykluskosten des Objekts (im folgenden Beispiel: die energetischen Folgekosten) zu berechnen. Diese Vorgehensweise soll nun näher beleuchtet werden.

#### Beispiel: Kennzahl Heizkosten pro Quadratmeter

Abbildung 4 veranschaulicht den oben beschriebenen Vorgang. Die Abszisse zeigt das Alter des Gebäudes, auf der Ordinate sind die Kosten in Euro pro Quadratmeter aufgetragen. Die gestrichelte Linie stellt den Mittelwert der fiktiven Beobachtungen dar. Da die Heizkosten mit dem Alter ansteigen, ist es notwendig, die Analyse in Cluster zu unterteilen und mehrere Kennwerte für verschiedene Altersgruppen zu berechnen. Dieser Vorgang wird durch die Treppenfunktion dargestellt, welche die Mittelwerte für verschieden alte Gebäude zeigt. Durch diese Annäherung können genauere Aussagen über Kostenverläufe getroffen werden.

Es ist aber möglich, dass die vorliegende Stichprobe sehr viele Gebäude mit einer niedrigeren Objektqualität und mit hohem Alter aufweist, bzw. sehr viele Objekte mit einer hohen Qualität mit geringem Alter. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass die Objektqualität auch die Wärmedämmung des Gebäudes einschließt. Dieser Effekt vermischt sich in dieser Darstellung mit dem Effekt des Alters. Somit werden die Auswirkungen von Objektattributen systematisch verzerrt dargestellt.

Abbildung 4: Graphische Darstellung von Kennzahlen



Es ist also nicht ohne Weiteres möglich, ein Objekt mit einem anderen Objekt zu vergleichen, da davon auszugehen ist, dass die Attribute der beiden Objekte verschieden sind und die Effekte sich so überlagern, dass keine Vergleichbarkeit gegeben ist. Deshalb ist es auch nur eingeschränkt möglich, Gebäude mit herkömmlich errechneten Benchmarkdaten zu vergleichen (Reisbeck & Schöne, 2006).

Der soeben beschriebene Sachverhalt wird durch die Regressionsanalyse von Daten in dreierlei Hinsicht entscheidend verbessert:

1. Die Regressionsanalyse erlaubt eine bessere Annäherung an tatsächliche Kostenverläufe bei stetigen Kategorien. Insbesondere semiparametrische Modelle zeigen hier sehr gute Annäherungen.
2. Durch die Regressionsanalyse werden die Daten von Seiteneffekten bereinigt. Es kann jedes Attribut einzeln betrachtet werden. Durch diese Analyse werden so genannte *ceteris paribus*<sup>4</sup> Betrachtungen möglich.
3. Die Regressionsanalyse ermöglicht den direkten Vergleich von Objekten durch eine *künstliche* Nivellierung.

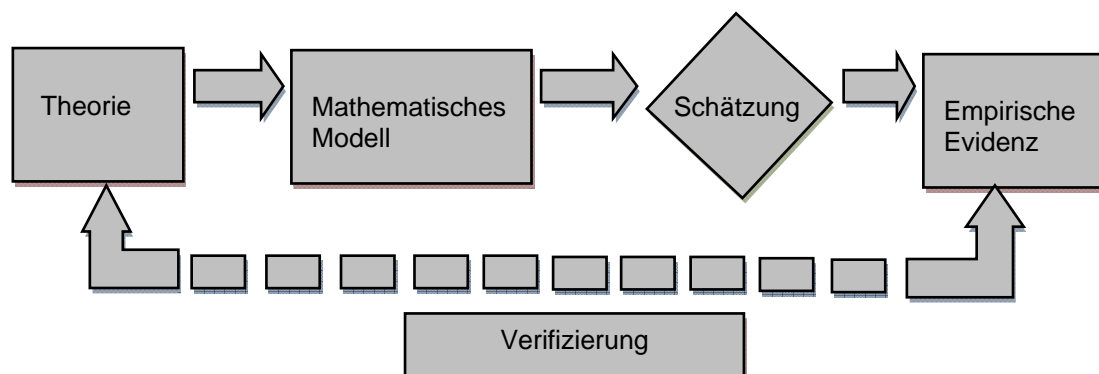
Die statistische Analyse von Datensätzen sollte dabei stets einem bestimmten Muster folgen, welches im folgenden Abschnitt dargelegt wird.

### 2.2.2 Methodologie zur statistischen Analyse von Datensätzen

Generell versucht die statistische Datenanalyse aus einer Stichprobe auf eine Grundgesamtheit zu schließen. Dabei ist es zunächst notwendig, eine theoretische Grundlage für die zugrunde liegenden Prozesse zu finden und diese mathematisch zu spezifizieren. Die Schätzung erfolgt anschließend anhand verschiedenster Verfahren. Hier wird dieser Ablauf einer statistischen Analyse beschrieben.

Zunächst wird ein theoretisches Modell erstellt. Im vorliegenden Forschungsprojekt entspricht dieser Schritt der Erstellung des theoretischen Wirkungsmodells (siehe Kapitel 2.2.2.2). Dieses theoretische Modell wird im Rahmen der Modellierung zunächst in ein mathematisches – später in ein ökonometrisch-statistisches – Modell überführt. Anhand dieses Ablaufs kann dann das theoretische Modell verifiziert werden. Dieser Vorgang ist in nachfolgender Abbildung dargestellt. Die Untersuchung der Betriebskosten im vorliegenden Projekt orientierte sich an diesem Schema.

Abbildung 5: Darstellung des Untersuchungsablaufs einer empirischen Studie



Auf Basis theoretischer Überlegungen wird also ein Wirkungsmodell erstellt. Dieses wird in ein mittels der Regressionsanalyse schätzbares Modell überführt und anschließend mit der

<sup>4</sup> Näheres siehe S. 27, Kapitel „Interpretation“

Theorie verglichen. In einem weiteren Schritt wird dann ein möglichst präzises Prognosemodell erarbeitet.

Bei der Konstruktion eines parametrischen Modells zur Schätzung von Lebenszykluskosten sind folgende Grundprinzipien zu beachten:

- Das Datenmaterial abgeschlossener, vergleichbarer Vorhaben dient als empirische Grundlage
- Es gilt die Annahme, dass der funktionale Zusammenhang, der aus dem historischen Datenmaterial ermittelt wurde, auch für zukünftige Projekte Gültigkeit besitzt.
- Die historische Datenbank enthält nicht nur alle Kosteninformationen, sondern auch die Daten aller relevanten Kosteneinflussgrößen.
- Die Konstruktion parametrischer Kostenschätzfunktionen besteht im Wesentlichen im Aufspüren und Spezifizieren der Zusammenhänge zwischen den Kosten und den sie bestimmenden Größen (Fürnrohr, 1992, 60)

Die **Vorgangsweise zur Konstruktion eines parametrischen Modells** zur Schätzung von Lebenszykluskosten ist wie folgt:

- Bestimmung der Kosteneinflussgrößen: Analyse, welche Größen einen signifikanten Einfluss auf die zu erklärenden Kosten haben.
- Aufbereitung des Datenmaterials
- Wahl des geeigneten Funktionstyps: Klärung der Frage, welche Funktionsform (linear, exponentiell, u.a.) den Zusammenhang zwischen zu erklärender und erklärenden Größen „am besten“ beschreibt (die Wahl der Funktionsform hat den Charakter einer Hypothesenbildung, bei der den realen Erscheinungsformen vermutete Ursachen zugeschrieben werden)
- Parameterschätzung: Durchführung einer Regressionsanalyse, in der die gewählte Funktion mittels geeigneter Schätzmethoden numerisch spezifiziert wird, d.h. die Parameter dieser Funktion geschätzt werden.
- Test: Empirische Überprüfung der aufgestellten Hypothese über den Zusammenhang zwischen Kosten und Kosteneinflussgrößen
- Wird der vermutete Zusammenhang nicht bestätigt, müssen die Kosteneinflussgrößen und die vermutete funktionale Beziehung revidiert und einer weiteren Überprüfung unterzogen werden (Fürnrohr, 1992, 61).

Die folgenden Abschnitte gehen weiter auf diese Vorgangsweise ein und erläutern die einzelnen Arbeitsschritte des Projekts.

### 2.2.2.1 Hypothesenfindung

Die Hypothesenfindung erfolgt auf Basis von theoretischen Überlegungen. Es werden Ursache-Wirkung-Zusammenhänge für die zu erklärenden Variablen ermittelt und diese werden in einem ökonomischen Modell abgebildet. Dann erfolgt die mathematische Modellierung dieser Zusammenhänge. Dabei wird die zu erklärende, abhängige Variable als Funktion einer unabhängigen Variable plus eines, im System nicht erklärten, Residualwerts angeschrieben:

$$(1) \quad y = \beta + \sum \beta_k \chi_k + \varepsilon$$

Ziel ist es also, diejenigen Parameter zu finden, welche diesen unerklärten Rest minimieren. Dieses Modell kann mit verschiedensten Schätzverfahren geschätzt werden. Bei einer Schätzung handelt es sich um eine mathematische Optimierungsaufgabe, die den Erklärungsgehalt (das Beta) maximieren und den unerklärten Rest (Epsilon) minimieren soll. Ergebnis der Schätzung ist eine Quantifizierung des Zusammenhanges. Je nach Verfahren müssen die Daten vorher noch transformiert werden.

### 2.2.2.2 Wirkungsmodell

In der Literatur (z. B. Wooldridge, 2006) ist im Rahmen einer ökonometrischen Analyse in der Regel der *theory driven approach* zu finden. Dieser Ansatz präferiert – im Gegensatz zum *data driven approach* – eine Aufstellung von mathematischen Modellen, welche aus bestehenden theoretischen Modellen abgeleitet werden. Der *data driven approach* hingegen versucht, Zusammenhänge aus dem Datensatz heraus zu erkennen.

Die Wahl der einen oder der anderen Vorgangsweise zieht verschiedene Vor- und Nachteile nach sich, z. B. die Problematik von *spurious correlation*<sup>5</sup> im Falle des datengetriebenen Ansatzes, und die Gefahr des Informationsverlustes beim theoriegetriebenen Ansatz.

Im Rahmen der angestellten Untersuchungen wurde der theoriegetriebene Ansatz angewendet. Abseits von statistisch-theoretischen Überlegungen waren für die Präferenz dieses Ansatzes folgende Argumente ausschlaggebend:

- Der Projektantrag sah die Entwicklung eines theoretischen Wirkungsmodells vor, welches aus den durchgeführten Recherchen hervorgeht. Durch die Integration von Theorie und der damit verbundenen systematischen Auflistung von potentiellen Einflüssen ist es möglich, fundierte Kenntnis über Zusammenhänge und Auswirkungen zu erlangen und diese in das mathematische Modell zu überführen.
- Das durch diesen Ansatz entstehende Modell ist generell einfach zu verstehen. Zusammenhänge sind fundiert und argumentierbar. Für Laien kann dieser Ansatz einfach und verständlich aufbereitet werden.
- Das entstandene Wirkungsmodell kann sofort in die Datenbank des Immobilien-Benchmarking-Instituts implementiert werden.

---

<sup>5</sup> Spurious Correlation – oder auch Scheinkorrelation – beschreibt einen Zustand, in dem zwei Wertereihen zwar korreliert sind, diese aber nicht kausal zusammenhängen. Ein bekanntes Beispiel ist die Anzahl der Störche und die Anzahl der Geburten in Österreich. Diese waren über viele Jahre (hoch) korreliert. Offenbar sagt dies aber nichts über einen kausalen Zusammenhang aus.

- Aufgestellte Theorien können einfach und schnell bestätigt werden, bzw. im Fall der Insignifikanz eines Parameters kann dies schnell Hinweise auf fehlende Einflüsse geben. Das heißt, das aufgestellte theoretische Wirkungsmodell ist empirisch überprüfbar.

### **Praktische Umsetzung**

Im Idealfall sollte für die praktische Umsetzung des Wirkungsmodells für jeden Kostentreiber eine Variable zur Verfügung stehen. Der im Projekt verwendete Datensatz wurde allerdings bereits in den Jahren 2000–2005 erhoben. Eine Nacherhebung nach den im Forschungsprojekt aufgezeigten Gesichtspunkten war nicht möglich. Es wird also von einem unvollständigen (nicht alle im Wirkungsmodell erfassten Einflussfaktoren sind vorhanden) Datensatz ausgegangen. Die Umsetzung im Rahmen der Implementierung in die IBI-Datenbank eröffnet die Möglichkeit, in Zukunft zusätzliche Daten mit aufzunehmen, und diese bei der Lebenszykluskosten-Analyse und -Prognose zu verwenden. Diese detaillierte Dateneingabe wäre jedoch mit zu hohem Aufwand verbunden und ist daher nicht praktikabel. Damit ist auch für die Zukunft von einem unvollständigen Datensatz auszugehen, und der für die Untersuchung verwendete Datensatz spiegelt daher tendenziell auch zukünftige Datensätze wider. Um diesem potentiellen Datenmangel entgegenzuwirken, wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, die in Kapitel 4 näher erläutert werden.

Dieses Modell wird in ein statistisch überprüfbares Modell überführt. Dazu kommen verschiedene Verfahren zur Anwendung, welche nachfolgend kurz umrissen werden.

#### **2.2.2.3            Statistische Verfahren**

Die Bearbeitung des in der vorhergehenden Phase erstellten Modells erfolgt mit so genannten Schätzverfahren, bei denen die Einflussfaktoren in Einflussrichtung und -stärke quantifiziert werden. Es handelt sich dabei um verschiedene mathematische Optimierungsalgorithmen, mit denen der Zusammenhang zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen abgebildet wird. Eine sehr alte, aber sehr häufig angewendete Methode ist die der kleinsten Fehlerquadrate, häufig abgekürzt mit OLS.<sup>6</sup> Dabei wird versucht, die Quadrate der Fehler (in nachstehender Formel mit Epsilon dargestellt) eines Modells zu minimieren. Diese Optimierungsaufgabe lautet beim obigen Modell:

$$\min \sum_{i=1}^n (u_i)^2 = \min_{\beta_0, \beta_1} \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 * x_i)^2$$

Diese Methode geht zurück auf Adrien Marie Legendre (1752–1833) mit Beiträgen von Carl Friedrich Gauss (1777–1855). Die Minimierung der Fehlerquadrate bringt Schätzungen ( $b_1$ ,  $b_2$ ) für den wahren Zusammenhang in der Grundgesamtheit. Es kann gezeigt werden, dass OLS unter bestimmten Annahmen (Gauss-Markov Annahmen) erwartungstreue und konsistente Ergebnisse liefert, sowie die kleinste Varianz in der Klasse aller linearen Schätzer besitzt (Wooldridge, 2006).

---

<sup>6</sup> Ordinary Least Squares

Dieses Prinzip ist generell stark erweiterbar. Nicht nur alternative Schätzverfahren wurden in den vergangenen Jahrzehnten entwickelt, auch erfolgten Erweiterungen für zahlreiche Problemstellungen, die mit dieser Problematik verbunden sind. In der vorliegenden Arbeit wurden grundsätzlich zwei Ansätze verfolgt.

Zum einen wurde das obige Modell als Einzelgleichungsmodell für jede der einzelnen Kostenkategorien eingesetzt:

$$y_{i,j} = \sum_{k=1}^K (b_{k,j} * x_{i,j,k}) + e_{i,j}$$

Zum anderen wurden sogenannte *Seemingly Unrelated Regression* Modelle eingeführt. Die Theorie hierzu geht zurück auf Zellner (1963) und bietet den Vorteil, durch eine gemeinsame Fehlerstruktur gleichungsübergreifende Schocks zu filtern und mit in die Gleichung aufzunehmen. Es handelt sich dabei um eine Form der Systemgleichungen, welche generell wie folgt definiert sein können.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & x_G \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_g \end{bmatrix}$$

Fett gedruckte Buchstaben stehen jeweils für Vektoren (klein) oder Matrizen (groß). Dieses System erhält seine Besonderheit durch die Fehlerstruktur, welche eine (kontemporäre) Korrelation zwischen den Gleichungen zulässt. Ausgedrückt wird dies durch die Formel  $e \approx \mathcal{N}(0, \sigma_{i,j}^2 \otimes I)$ , wobei I hier für die Einheitsmatrix steht.

### Interpretation

Die Interpretation der Koeffizienten der Schätzung ist abhängig von der gewählten funktionalen Form und soll hier nicht näher behandelt werden. Grundsätzlich kontrolliert die Regressionsanalyse allerdings die Effekte der einzelnen Variablen. Das heißt, der Effekt der einzelnen Variablen wird abgegrenzt und ermöglicht eine so genannte *ceteris paribus* Betrachtung. Somit können Aussagen getroffen werden, um wie viele Einheiten die abhängige Variable steigt, wenn eine unabhängige Variable um eine Einheit verändert wird und *alle anderen konstant* gehalten werden. Der unmittelbare Vorteil daraus ist die objektive Vergleichbarkeit von Effekten (also den Koeffizienten  $b$ ) und daraus resultierend auch Objekten, indem die Kosten mittels der Inferenz prognostiziert und dann vergleichbare Kosten errechnet werden (Wooldridge, 2006).

#### **2.2.2.4 Modellbildung Prognosemodell**

Im Rahmen des Projekts wurden vier verschiedene Modelle gewählt, geschätzt und anschließend, darauf basierend, ein idealtypischer Wert – die sogenannte Prognose – errechnet. Für eine detaillierte Diskussion von Anwendungen sowie bestehender Literatur zu diesem Themengebiet sei auf Yasin sowie Dattakumar und Yagadeesh verwiesen (Dattakumar & Jagadeesh, 2003, Yasin, 2002). Während sich zahlreiche Publikationen mit dem Thema Benchmarking sowie dessen Anwendungen beschäftigen, gibt es nur sehr wenig Literatur zum Thema Immobilien-Benchmarking. Als Standardwerk zu diesem Thema ist sicherlich ‚Immobilien-Benchmarking‘ zu nennen, welches eine umfassende Diskussion dieses Fachgebiets bietet (Reisbeck & Schöne, 2006).

Das Interesse an Marktdaten und Vergleichszahlen lässt sich allerdings klar durch den Erfolg verschiedenster Marktberichte zeigen. Hier ist besonders der Office Service Charges Analysis Report (Jones Lang Lasalle, 2000–2009) zu nennen, welcher in den vergangenen Jahren wertvolle Einblicke in Kostenstrukturen von Büroimmobilien bot. Zu erwähnen sind hier allerdings auch unter anderen der Key Report Office (ATIS Real Müller Facility Management, 2003–2007), aber auch der IFMA Benchmarking Report (Rotermund & Erba, 2003–2006).

Während oben genannte Studien pragmatische Methoden einsetzen, gibt es verschiedene Beispiele für neuere Ansätze. Häufig wird in diesem Zusammenhang auch auf die Werke von Christian Stoy Bezug genommen (Stoy & Kytzia, 2007). Weitere Ansätze werden beispielsweise von Quddus et al. (Quddus, Graham, & Harris, 2007) und anderen vertreten. Als methodisch am weitesten entwickelte Studie ist in diesem Zusammenhang sicherlich Brunauer et al. zu nennen, in der sowohl parametrische als auch semi-parametrische Ansätze verwendet werden (Brunauer, Steixner, & Lang, 2007).

## 2.3 Methodischer Ansatz zur Prognose von Abbruchkosten

Die Abbruchs-/Umnutzungskosten können wie die Investitionskosten aus den BKI-Baukosten ermittelt werden. Im Teil 2 „Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente“ sind Abbruchkosten ausgewiesen, diese sind aber den Elementen der 3. Ebene zugeordnet. Diese Zuordnung ist für das Projekt insofern nicht nutzbar, da es in der frühen Planungsphase zu wenig detaillierte Informationen über die einzelnen Bauelemente gibt.

Daher wurde eine Methode gesucht, die dem Wissensstand der frühen Planungsphase besser entgegenkommt. Die Handlungshilfe „Abbruch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden“ der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) Baden-Württemberg ([www.lubw.baden-wuerttemberg.de](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de)) bietet die Möglichkeit, eine Kostenermittlung für drei Abbruchszenarien durchzuführen.

Als Grundlage dienen die Kubikmeter Brutto-Rauminhalt ( $\text{m}^3$  BRI), über die folgende Abbruchszenarien kalkuliert werden können:

- Konventioneller Abbruch
- Teilselektiver Abbruch
- Selektiver Abbruch

Die detaillierte Herangehensweise wird im Kapitel 5 beschrieben.

Die Möglichkeit der Umnutzung eines Gebäudes verursacht zwar erhebliche Kosten, konnte aber im Projekt nicht mit einbezogen werden, da in der frühen Planungsphase eines Gebäudes nicht annähernd abschätzbar ist, welche Umnutzung zu welchem Zeitpunkt vorgenommen werden könnte. Die Laufzeit der geplanten „Erstnutzung“, sowie die Art der Umnutzung haben einen großen Einfluss auf die entstehenden Umnutzungskosten. Daher wurde entschieden, die Umnutzung nicht zu berücksichtigen.



## 3 Entwicklung des Wirkungsmodells

### 3.1 Evaluierung bestehender Modelle und Tools

Die Ermittlung des Wirkungsmodells erfolgte im direkten Vergleich mit bestehenden Systemen. Basis hierfür war eine nationale, sowie internationale Recherche. Dabei wurde zweistufig vorgegangen:

1. *Recherche bestehender Systeme*: Um bestehende Ansätze besser verstehen zu können sowie ein derzeitiges *best practice* System zu ermitteln, erfolgte die bereits beschriebene Recherche. Diese Recherche zeigte Forschungslücken und Verbesserungsmöglichkeiten. Insbesondere die eingeschränkte Verfügbarkeit konkreter Wirkmodelle bestehender Systeme machte den zweiten Schritt notwendig.
2. *Recherche theoretischer Einflussfaktoren*: Theoretische Einflussfaktoren wurden in Absprache mit Experten sowie auf Basis von Recherchen in Fachliteratur und einschlägigen Normen ermittelt.

Die Recherche zum Thema Lebenszykluskosten-Analyse und Prognosemodelle bestätigte, dass verschiedenste Softwaretools zur Analyse der Lebenszykluskosten von Gebäuden angeboten werden. Darüber hinaus bieten Dienstleistungsunternehmen die Erstellung maßgeschneiderter Softwaretools für die Lebenszykluskosten-Prognose an.

Die Untersuchung zeigte jedoch auch, dass bestehende Lösungen noch erhebliche Mängel aufweisen, und dass keine der analysierten Lösungen universell nutzbar ist. Projekte und Programme zeigen vor allem erhebliches Verbesserungspotenzial in Bezug auf die verfügbaren Kostendaten. Mit dieser Problematik zwangsweise verbunden ist ein Verlust an Präzision bzw. eine stark eingeschränkte Verwendbarkeit. Die Möglichkeit einer Darstellung und Berechnung scheitert häufig an der Datenlage. Darüber hinaus bieten zahlreiche Programme häufig lediglich die Analyse von Teilgebieten, Teilnutzungen oder eingeschränkte Auswahlmöglichkeiten. Diese Projekte bzw. Programme wurden im Rahmen dieser Analyse nicht berücksichtigt. Neben der unbefriedigenden Datenlage ist auch die nicht zeitgemäße Umsetzung einiger Programme als Mangel hervorzuheben. Moderne Anwendungen sollten plattformunabhängig, schnell und vielseitig einsetzbar sein. Lösungen mit umfangreichen Installationsroutinen und schwer zugänglichen Bedingungen sind nicht praktikabel und werden letztendlich vom Markt nicht akzeptiert.

Weiters wurden Forschungsprojekte zu Detailbereichen des Bausektors recherchiert. *Herzog* (2005) entwickelte ein Lebenszykluskosten-Prognosemodell für Baukonstruktionen, das unter anderem einen Schwerpunkt auf die materialbezogenen Instandhaltungs- und Entsorgungskosten setzt. Die Arbeit von *Riegel* (2004) zeigt die Entwicklung eines Berechnungsverfahrens zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden, dessen Ansätze für das Programm „BUBI“ verwendet wurden. Aufgebaut ist das Berechnungsverfahren auf einer „Struktur der automatischen Generierung des Gebäudes“, welche bereits ohne detaillierte Kenntnisse des Raumbuches zur Erstellung des Gebäudes genutzt werden kann.

Mit dem Projektfortschritt kann dann diese automatische Generierung Schritt für Schritt durch bekannte Werte ausgetauscht werden. Das Berechnungsverfahren strukturiert *Riegel* in die Bereiche Investitionsausgaben, Nutzungsausgaben und Einnahmen, um daraus den vollständigen Finanzplan und damit die Wirtschaftlichkeit einer Investition zu ermitteln. Im Zuge seiner Arbeit hat *Riegel* die Prognoseverfahren untersucht: Anhand von Realobjekten wurden die (mit BUBI und anderen Programmen) prognostizierten Betriebskosten den tatsächlichen Betriebskosten eines Jahres gegenübergestellt.

Bei *Röhrich* (2007) werden Lebenszykluskostenmodelle aus dem deutschen Sprachraum untersucht. Ihre vergleichende Analyse zeigt folgende Tendenzen bei den Ansätzen zur Berechnung der Lebenszykluskosten (Röhrich 2007, 78):

- Investitionskostenrechnung: Wechsel von der Kapitalwertmethode zur Methode der vollständigen Finanzierung
- Berücksichtigung des Betrachtungszeitraumes: Wechsel von der technischen Lebensdauer zur wirtschaftlichen Lebensdauer
- Betriebswirtschaftliche Betrachtungsweise: Wechsel von der Berechnung der Lebenszykluskosten zur Berechnung des Lebenszykluserfolges
- Unsicherheit der Kostenprognose: Ergänzung der Sensitivitätsanalyse mit einer Wahrscheinlichkeitsrechnung
- Kalkulation der Lebenszykluskosten: Wechsel von der Verwendung von fixen Kennwerten (ermittelt aus Daten von vielen anderen Gebäuden) zur Betrachtung eines bestimmten Gebäudekonzeptes oder bereits bestehenden Gebäudes
- Zielrichtung der Kalkulation von Lebenszykluskosten: Wechsel von der Kostenprognose eines Gebäudes hin zur Erfolgsprognose mehrerer Varianten

### **3.1.1 Schlussfolgerungen für die Modellentwicklung**

Die Analyse bestehender Modelle zeigte meist pragmatische Ansätze und lieferte wenige Einblicke in die zugrunde liegende Wirkweise der Software. Ausgenommen sind Entwicklungen wie das Prognosetool *Legep*, welches durch die Erhebung von Angebotspreisen eine fundierte Basis vorweisen kann. Allerdings werden die durch die Nutzung des Gebäudes auftretenden Schwankungen und Einflüsse nicht berücksichtigt. Das heißt, es fehlt ein mitunter sehr wichtiger Teil der Gesamtkosten. Durch die Verwendung von angefallenen Kosten – wie in der vorliegenden Analyse – kann dies berücksichtigt werden.

Generell zeigte sich, dass bei den bestehenden Lösungen zwei Verfahren dominieren: zum einen die analytische, zum anderen die empirische Berechnung von Lebenszykluskosten.

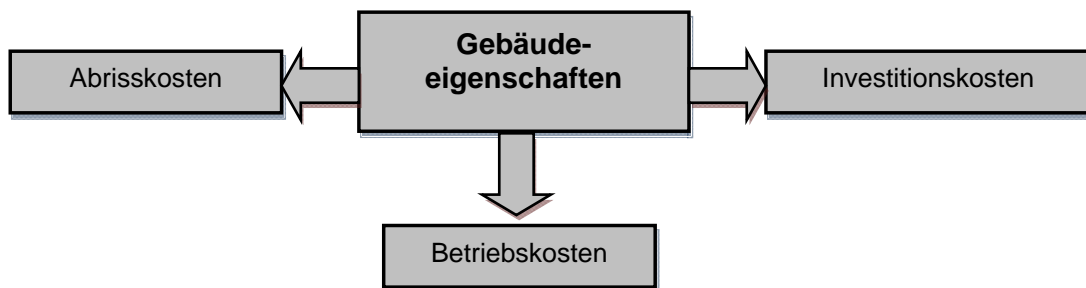
Das vorliegende Projekt baut auf letzterem auf, und wurde auch so bereits im Projektantrag konzipiert. Es sollten Kausalzusammenhänge zwischen Investitionskosten und den Betriebskosten gefunden werden. Hier ist hervorzuheben, dass durch diese Vorgangsweise die Analyse eines Kostenblocks betrieben wird, der durch verschiedenste Einflüsse verändert werden kann. Diese Einflüsse wiederum verschleiern häufig etwaige Kausalzusammenhänge. Dies ist in nachfolgender Abbildung beispielhaft illustriert. Dabei werden einzelne Einflüsse in Investitionskosten transformiert, um im äußerst rechten Schritt analysiert zu werden. Hierbei können allerdings wertvolle Informationen verloren gehen.

Abbildung 6: Konzeption des Wirkungsmodells laut Projektantrag (Einflussfaktoren beispielhaft)



Aus dieser Problemstellung heraus wurde bereits in einer sehr frühen Projektphase entschieden, einen anderen Ansatz zu verfolgen. Es wurde die Betrachtungsweise insofern geändert, als dass die Kausalzusammenhänge durch die Gebäudeeigenschaften und nicht durch die Investitionskosten begründet wurden. Das ermöglichte die tiefer gehende Analyse aller Kostenbereiche und verringerte zudem die Unschärfe durch die verschiedenen Einflüsse. Dieser Ansatz wird in nachfolgender Abbildung dargestellt.

Abbildung 7: Überarbeitetes Konzept des Wirkungsmodells

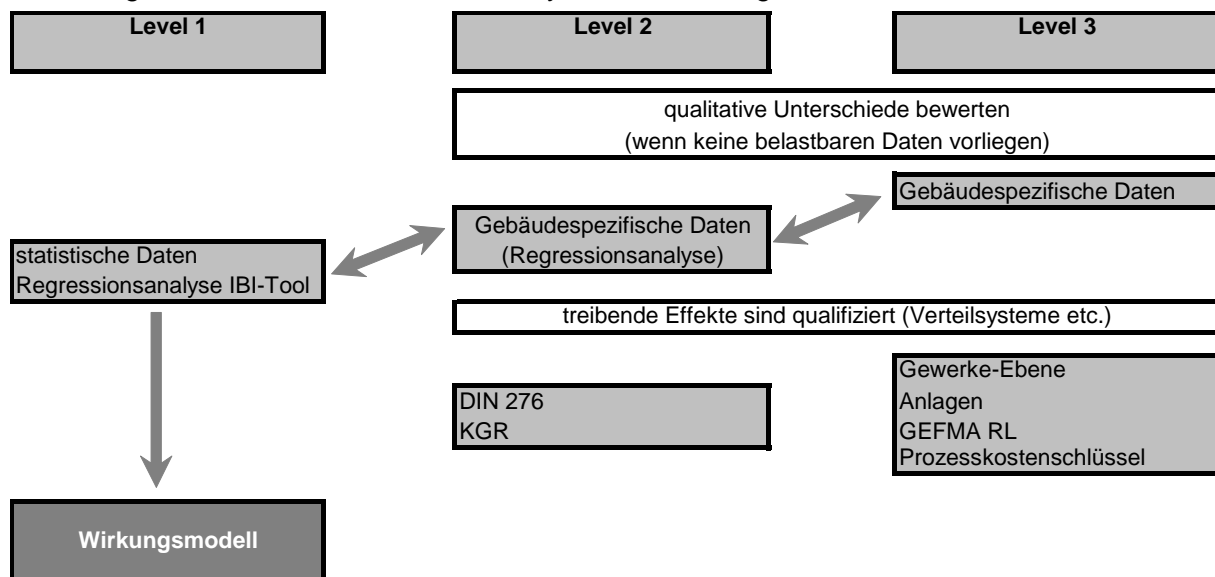


## 3.2 Grundzüge des Wirkungsmodells

Die Grundzüge des Lebenszykluskosten-Prognosemodells wurden wie folgt formuliert:

- Die Lebenszykluskostenprognose und -analyse soll den Planungsprozess begleiten. Damit besteht die Herausforderung, dass eine Anpassung an ein sich stetig verbesserndes Informationsniveau erfolgen muss.
- Es werden drei Analyse-Level unterschieden, um die planungsbegleitende Konkretisierung von Eingabedaten und Auswertungen zu ermöglichen (siehe Abbildung 8).
- Orientierung am Konzept der Whole Life Cost (WLC) der ISO 15686-5.
- Systemgrenze: Schwerpunkt auf energetische Betrachtung; eine spätere Erweiterung (z. B. Beeinflussung der Fassadenausführung auf die Reinigungskosten) soll möglich sein.

Abbildung 8: Detail-Niveaus des Lebenszykluskosten-Prognosemodells

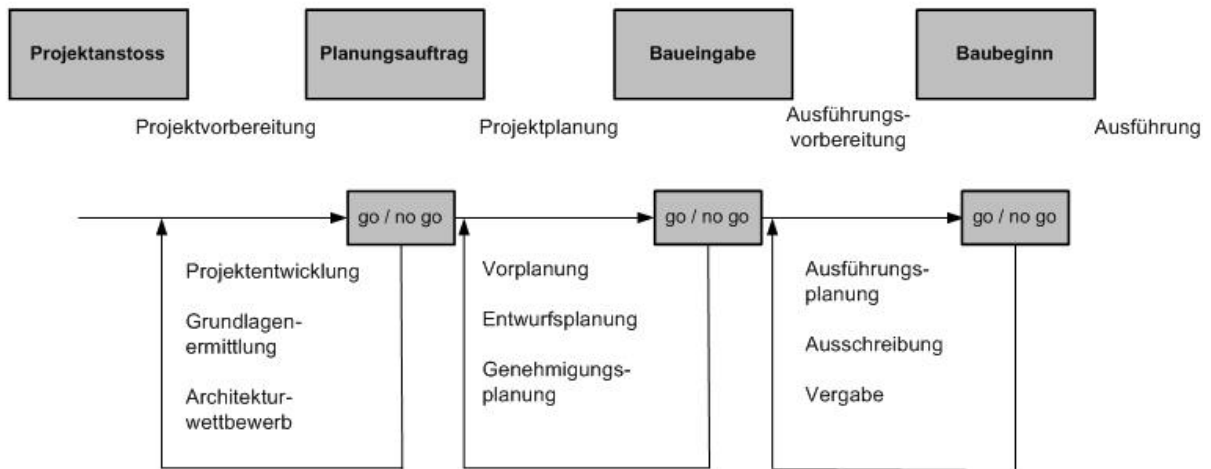


Mit dem ansteigenden Detaillierungsgrad der Analyse-Level 1 bis 3 steigen auch die Anforderungen an die vorhandene Datenbasis. Somit entspricht die Dreiteilung des Lebenszykluskosten-Prognosemodells dem Ablauf des Planungsprozesses eines Gebäudes.

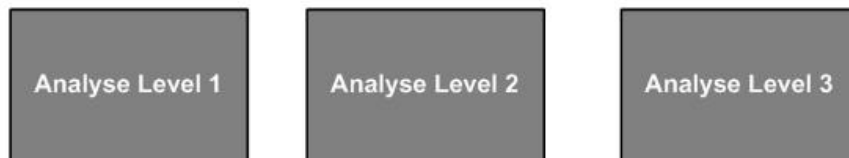
Abbildung 9 illustriert den Planungsablauf eines Gebäudes und das jeweils zugehörige Lebenszykluskosten-Prognosemodell. Mit der Ausarbeitung des Bauprojektes steigt auch die Präzision der Berechnung.

Abbildung 9: Analyse-Level in Verbindung mit dem Projektablauf

**Projektentwicklungsprozess**



**Geplante LCC Ansätze**



Die abschließende Konzeption sah eine Bearbeitung des Level 1 vor, die im vorliegenden Projekt durchgeführt wurde. Für höhere Detaillierungsgrade wurde eine analytische Herangehensweise als zielführend erachtet, was jedoch nicht mehr Inhalt des vorliegenden Projekts war. Diese kann durch etwaige Fallstudien sowie gezielte empirische Analysen beispielsweise in Hinblick auf energetische Implikationen ergänzt werden.

### 3.3 Wirkungsmodell für die Prognose von Betriebskosten

Es erfolgte eine empirisch-statistische Bearbeitung des Level 1: Grundlage sind die Ursache-Wirkung-Beziehungen zwischen Gebäudequalitäten und Nutzungskosten (siehe schematische Darstellung in Abbildung 10).

Zur Erstellung des Modells wurden zunächst potentielle Einflussgrößen erfasst und deren Einfluss auf die Gesamtkosten dargestellt.

Aufbauend darauf wurde ein theoretisches Wirkmodell konzipiert, also eine Auflistung potentieller Einflussfaktoren auf die jeweilige Kostenkategorie (Kostentreiber). Mit dieser Grundlage konnten die für die statistische Untersuchung notwendigen Variablen identifiziert werden.

Abbildung 10: Vorgangsweise bei der Ermittlung von Ursache-Wirkung-Beziehungen

#### Wirkungsmodell – Theorie

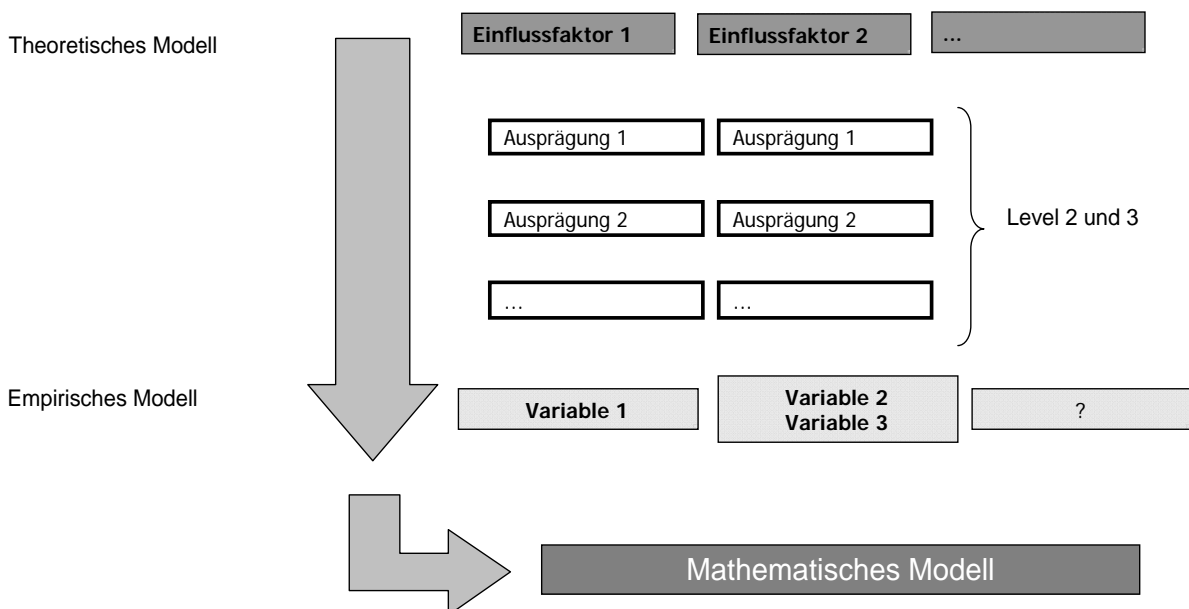
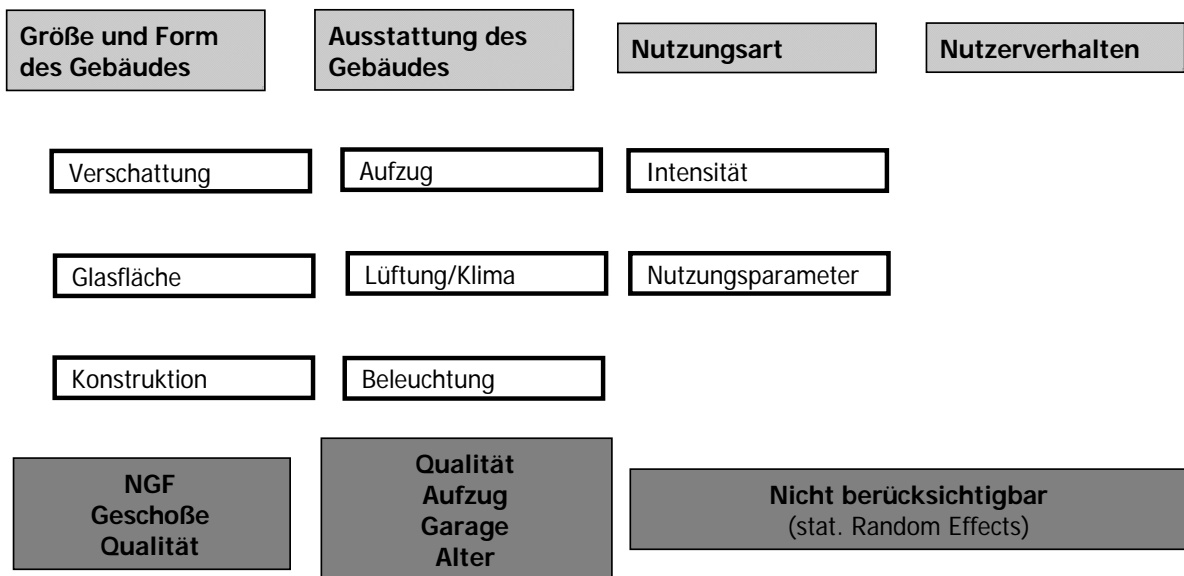


Abbildung 10 und Abbildung 11 illustrieren diese Schritte für die Betriebskosten. In obiger Darstellung wird die konkrete Vorgangsweise zur Untersuchung dargestellt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einzelne Zusammenhänge am Beispiel Stromkosten. Die grau-grün gefüllten Felder zeigen Objekteigenschaften auf Prognose-Level 1 (siehe zur Definition Abbildung 8), und die umrandeten Felder weisen einzelne Ausprägungen aus. Die blau ausgefüllten Flächen in Abbildung 11 zeigen die Zuordnung der Variablen zu den identifizierten Wirkmodellen und Wirkweisen.

Abbildung 11: Zuordnung von Einflussfaktoren und Variablen in Abhängigkeit unterschiedlicher Ausprägungen

### Wirkungsmodell – Beispiel Strom



Dieses Modell wird dann anhand eines geeigneten Datensatzes statistisch-empirisch überprüft.

Die Gliederung ist dabei von zentraler Bedeutung. Ein höherer Detailgrad generiert auch genauere Ergebnisse, allerdings steht dem die unzureichende Datenverfügbarkeit gegenüber. Die Dateneingabe ist mit Aufwand verbunden, der den Nutzern der Datenbank nur begrenzt zumutbar ist.

Es sind derzeit nur eingeschränkt Daten zu Gebäuden vorhanden, und es ist zu erwarten, dass die Datenverfügbarkeit auch weiterhin eine zentrale Problemstellung sein wird. Daher wurde eine Gliederung gewählt, die mit den verfügbaren Daten auskommt, anstelle einer theoretisch optimalen Struktur, die aber in der Praxis nicht angenommen wird.

### 3.3.1 Datensatz für die statistisch-empirische Ermittlung von Wirkungszusammenhängen

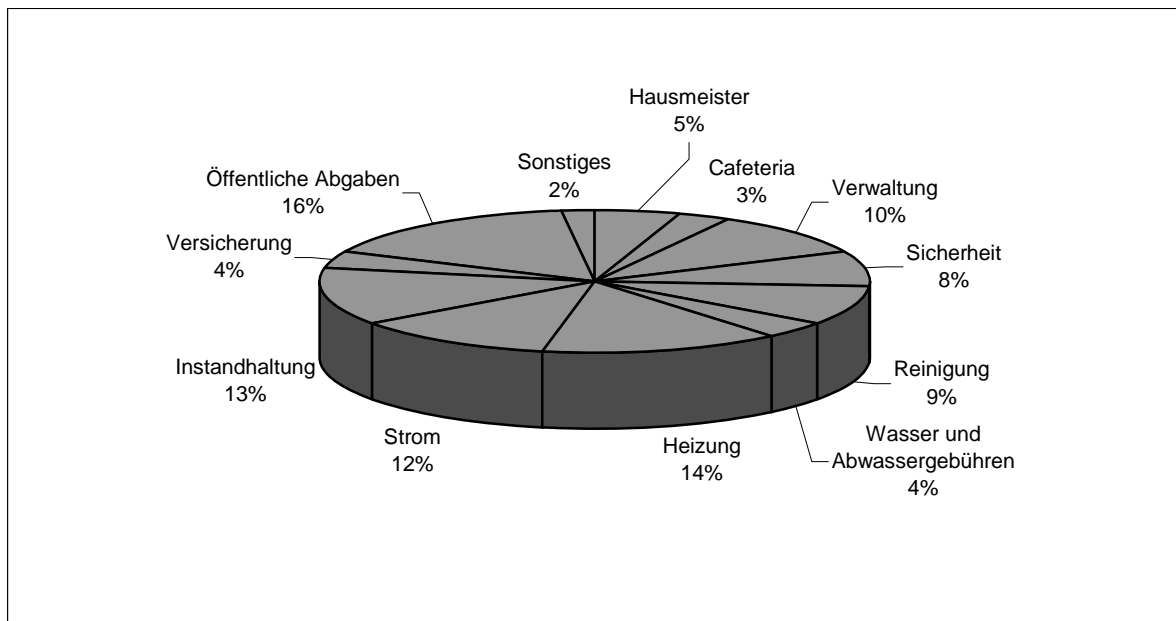
Der zugrunde liegende Datensatz entstammt dem CREIS Datenpool von Neumann und Partner und umfasst rund 1.500 Büroobjekte für die Jahre 2000 bis 2005. Es handelt sich dabei um Querschnittsdaten für zehn verschiedene Betriebskostenarten, welche von 24 deutschen Firmen zur Verfügung gestellt wurden. Die Objekte sind dabei auf 94 verschiedene Städte aufgeteilt. Da die Daten basierend auf Normen und Standards (DIN 277, DIN 18960) gesammelt wurden, ist sichergestellt, dass die Kosten vergleichbar sind. Zusätzlich zu den zehn Hauptkategorien der Betriebskosten, welche in mehr als 30 Unterkategorien aufgeteilt sind, enthält der Datensatz Gebäudeattribute, welche in dieser Untersuchung als unabhängige Variablen dienen.

Dieser Datensatz dient auch als Grundlage für den bekannten und jährlich publizierten OSCAR (Jones Lang LaSalle, 2000–2009).

Die folgende Abbildung zeigt zehn Hauptbetriebskostenkategorien und deren Anteil an den Gesamtbetriebskosten. Dabei fällt die Dominanz der vier größten Kostenarten auf, welche mehr als die Hälfte der gesamten Betriebskosten repräsentieren:

- Öffentliche Abgaben
- Heizung
- Strom
- Instandhaltung

Abbildung 12: Anteil der Hauptkostenarten an den Gesamtkosten (n=1.578)





### 3.3.2 Vom Wirkmodell zum automatisierbaren Modell

Die Vorgangsweise zur Entwicklung eines automatisierbaren Modells war wie folgt:

1. *Überprüfung der Wirkmodelle*: Die geschaffenen Wirkmodelle wurden mit funktionalen Zusammenhängen modelliert und im Rahmen einer Regressionsanalyse überprüft. Dazu wurde der oben beschriebene Datensatz verwendet.
2. *Adaption der Wirkmodelle für automatisierte Verwendung*: Aus den Ergebnissen der vorhergehenden Analyse galt es nun, das praktikabelste Wirkmodell zu finden. Hierbei waren zwei Anforderungen besonders wichtig:
  - Einfache Umsetzung: Das Modell sollte möglichst einfach in der Software zu implementieren sein. Der Nutzer sollte mit möglichst wenigen Eingaben konfrontiert werden.
  - Überlegenheit zu bisherigen Modellen: Derzeitige Modelle gehen in der Regel von geclusterten Mittelwerten aus. Um einen Mehrwert zu schaffen, ist es notwendig, diese Modelle in der Prognose zu übertreffen.

Entsprechend diesen Kriterien wird in diesem Kapitel zunächst die Überprüfung des Wirkmodells anhand komplexerer Modellierungen beschrieben und in einem zweiten Schritt die Überführung in ein automatisierbares Modell.

#### 3.3.2.1 Überprüfung des Wirkmodells

Zur Erstellung einer Regressionsanalyse wurden folgende Schritte ausgeführt:

- Identifikation von Kostentreibern und Einflussfaktoren (Theoretisches Wirkmodell)
- Gegenüberstellung der Faktoren mit den vorhandenen Gebäudeeigenschaften (Ökonometrisches Modell)
- Erstellung eines funktionalen Zusammenhangs durch mathematische Modellierung (Mathematisches Modell)
- Schätzung der einzelnen Modelle (Regression)
- Tests auf Signifikanz der einzelnen Parameter (verifiziertes Wirkungsmodell)

Die Klammern in der vorhergehenden Auflistung zeigen dabei jeweils das Ergebnis des Vorgangs. Auf die ersten drei Schritte wurde in den vorhergehenden Kapiteln ausführlich eingegangen. Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Ergebnisse der Schätzungen.

Die Zeilen in der folgenden Abbildung zeigen die verschiedenen Kostenkategorien, die Spalten die einzelnen Variablen (Gebäudeeigenschaften). Aus der Kombination dieser Faktoren entsteht das empirische Wirkmodell.

Abbildung 13: Zusammenfassung der Wirkmodelle

	Aufzüge	Qualität	Geschoße	Alter	Fläche	Klimatisiert	Garage	Verd. Bauweise	Geographie	Zeitl. Verlauf	Leerstand	Miete	Erklärungsgehalt
Verwaltung	+	+			-/+	-					-	+	0,301
Reinigung					-/+						-	+	0,06
Strom		+	+		+	+	+						0,27
Wärme		+	+/-		-/+	+				+			0,11
Versicherung		+			-						+	+	0,14
Hausmeister													0,05
Wartung		+				+	+	+	+				0,17
Öffentliche Abgaben		+			-		+		-				0,27
Sicherheit													0,21 u.a.
Wasser													0,06








	signifikant		gut
	Teilw. signifikant		mittel
	Nicht signifikant		schlecht
	Keine Angabe		

Abbildung 13 stellt die geschätzten Modelle dar: Die Spalten zeigen dabei die einzelnen Gebäudeeigenschaften im Modell. Über die direkt dem Objekt zuordenbaren Eigenschaften hinaus wurden auch geographische Faktoren, sowie der zeitliche Verlauf berücksichtigt. Die Vorzeichen in den Zellen weisen auf die Richtung des Effekts hin. Die Kombination aus +/- bzw. -/+ weist auf eine quadratische Modellierung hin, wobei das erste Zeichen für den linearen, das zweite für den quadrierten Term steht. Solche Modellierungen erreichen also ein Maximum bzw. ein Minimum (Greene, 2003). Die letzte Spalte zeigt das R<sup>2</sup> und damit den Erklärungsgehalt der Modelle.

Die Untersuchungen resultierten in folgenden Ergebnissen:

- *Wirkmodell bestätigt, höherer Erklärungsgehalt als der Mittelwert:* Alle Modelle lehnten den Hypothesentest mit der Hypothese  $b_1=b_2=...=b_k=0$  auf hohem Signifikanzniveau ab. Damit erklären die Modelle mehr als der Mittelwert.
- *Wirkmodell teilweise bestätigt:* Im Rahmen der Analyse wurde die Signifikanz der Parameter als Hinweis auf die Relevanz einer Variable im Wirkmodell betrachtet. Der Datensatz ist sehr heterogen. Dies führt zu hohen Standardfehlern, was die Aussagekraft mindert. Tendenziell ist allerdings von nur geringer bis mangelnder Beeinflussung durch einen Parameter auszugehen, wenn dieser insignifikant ist. Durch diese Betrachtungsweise konnte beispielsweise gezeigt werden, dass im Fall der Wartung die Parameter Alter, Höhe und Fläche eines Objekts keine Auswirkungen haben.
- *Wirkmodell nicht bestätigt, Erklärungsgehalt häufig gering:* Das R<sup>2</sup> zeigt, wie viel der Variation in der Stichprobe durch die Regression erklärt wird. Die Analyse der einzelnen Modelle zeigt hier eine teilweise unbefriedigende Situation. Zwar sind R<sup>2</sup> von 0,15 und weniger in Querschnittsdaten nicht selten (Greene, 2003), es bleibt aber trotzdem ein erheblicher Rest, der nicht erklärt werden kann. Dies ist durch die eingeschränkte Datenlage sowie die starke Heterogenität im Gebäudesektor begründet. Gerade für personalintensive Kostenkategorien gilt dies besonders stark. So fallen Hausmeisterdienste und Reinigung durch ein besonders niedriges R<sup>2</sup> auf.

### 3.3.2.2 *Adaption des Wirkmodells*

Die Untersuchung von Einflussfaktoren und Wirkmodell zeigt, welche Aspekte bei der Adaption des Wirkmodells besonders zu berücksichtigen sind:

- Die Klimatisierung eines Gebäudes hat große Auswirkungen auf die Kosten. Wird dieser Parameter aufgenommen, so ist er auch meist signifikant von 0 verschieden.
- Die Qualität eines Gebäudes hat meist große Auswirkungen auf die Kosten. Auch dieser Parameter ist häufig signifikant. Problematisch erweist sich allerdings die Kategorisierung der Qualitäten. Während ein klarer Unterschied zwischen hochqualitativen und Objekten mit niedriger Qualität besteht, verwischt dieser meist bei der mittleren Qualitätsstufe.
- Es gibt zahlreiche Einflüsse auf die Kosten eines Gebäudes, die im Datensatz nicht erfasst sind. Dies hat Auswirkungen auf den Erklärungsgehalt, führt aber nicht dazu, dass eine *naive Clusterung* die Regressionsanalyse in ihrer Güte übertrifft.

Ziel ist die Prognose, nicht die Erklärung. Aus diesem Grund erfolgt eine Verallgemeinerung der Modelle im nächsten Schritt.

#### 3.3.2.2.1 *Prognosemodelle*

Die Modellierung in diesem Abschnitt geht weg von der Erstellung von Wirkmodellen hin zur Erstellung von Prognosemodellen. Dies hat Auswirkungen auf Modellwahl und Modellierung. Aus den vorab getesteten Modellen wurden vier Modellklassen gewählt. Dieser Abschnitt vergleicht systematisch die Prognosequalität dieser Modelle. Drei dieser Modelle sind Regressionen, beim vierten handelt es sich um eine geclusterte Mittelwertbildung, die als Benchmarkmodell dienen soll. Bei der Modellierung wurde speziell auf die Möglichkeit zur Automatisierung dieser Methode Wert gelegt. Dieser Ansatz wurde insbesondere in Hinblick auf die Umsetzung in der IBI-Datenbank verfolgt.

Die Vereinfachung der Modelle erfolgte in zweierlei Hinsicht:

1. Zunächst wurden sehr schlanke Modelle bevorzugt. Diese Modellvariante ist insbesondere deshalb sehr vorteilhaft, weil die Prognose auch auf der Basis von ungenügenden Daten erfolgen kann. Nutzer müssen nur sehr wenige Daten bereitstellen.
2. Die Parametrisierung erfolgte durchgehend linear. Auf die Anpassung von Funktionen wurde also verzichtet. Wäre eine solche Optimierung gewünscht, so müsste anhand von Gütemaßen (also z.B. AIC,  $R^2$  o.ä.) versucht werden, eine optimale Anpassung an die Daten zu finden. Dabei wird versucht, mittels eines festgelegten Algorithmus` das Modell automatisch an die Daten anzugleichen. Die Güte der Angleichung wird mit dem oben genannten Gütemaß gemessen. Dies ist allerdings für die Umsetzung in der Datenbank nicht geplant und würde verschiedene Problemstellungen mit sich bringen, die in keiner Relation zum notwendigen Aufwand stehen.

Den oben beschriebenen Vereinfachungen folgend wurden nachfolgende Modelle geschätzt:

$$(1) \quad y = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_k + \varepsilon$$

$$(2) \quad y = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_k + \sum_j y_j z_j + \sum_l \delta_l d_l + \sum_m \phi_m t_m + \varepsilon$$

$$(3) \quad \ln(y) = \beta_0 + \sum_j y_j z_j + \sum_l \delta_l d_l + \sum_m \phi_m t_m + \varepsilon$$

$$(4) \quad y = \frac{\sum_i y_i}{n} + \varepsilon \quad \text{für } y \in \Theta$$

Modell (1): Dieses Modell ist das Basis- oder Referenzmodell. Es ist vollständig additiv-linear und berücksichtigt neben den einzelnen Objekteigenschaften keine weiteren Einflussfaktoren (zur Modellierung bzw. Klassifikation siehe auch Fahrmeir, Kneib & Lang, 2007). Die einzelnen  $x_k$ -Variablen sind also eine Zusammenstellung verschiedener Kennwerte wie etwa Nettogeschossfläche (NGF), Klimaanlage und Gebäudealter, von denen erwartet wird, dass sie einen Einfluss auf die Betriebskosten des Gebäudes haben. Dieses sehr grundsätzliche Modell steht sozusagen im Wettbewerb mit den nachfolgenden Alternativen.

Modell (2): Dieses Modell ergänzt das oben angeführte Modell um die Kovariablensätze  $z$ ,  $t$  und  $d$ . Dabei steht  $z$  für binäre geographische Kontrollvariablen. Beispiel: das Gebäude steht in München. Insgesamt gibt es sechs Regionen, die explizit in die Modellierung eingehen. Die Variablengruppe  $d$  beschreibt ebenso eine Gruppe von Dummyvariablen, welche die Zugehörigkeit eines Gebäudes zu einer von fünf bestimmten Großfirmen kontrollieren. Dies soll firmenspezifische Charakteristika erfassen. Variablen der Gruppe  $t$  sind Dummyvariablen, die jeweils den Zeittrend abbilden (zur Thematik *Fixed Effects* siehe Baltagi, 2008). Dieses Modell soll mehr Effekte erfassen und so die Prognose verbessern.

Modell (3): Dieses Modell ist eine Abwandlung von (2). Die abhängige Variable wurde logarithmiert, um Heteroskedastizität<sup>7</sup> vorzubeugen. Weiters schränkt diese Form der Modellierung die Auswirkungen von Ausreißern ein. Wie die folgenden Kapitel zeigen werden, handelt es sich bei dem im Projekt verwendeten Datensatz um einen durchaus heterogenen Datensatz, der verschiedene Ausreißer aufweist.<sup>8</sup> Dies macht eine solche logarithmische Transformation durchaus vertretbar. Der Effekt dieser Maßnahme ist Teil der Evaluierung (Wooldridge, 2006).

Modell (4): Dieses Modell zeigt die Nachbildung klassischer Benchmarks (vgl. OSCAR 2000–2009). Es handelt sich dabei um Mittelwerte. Um möglichst genaue Benchmarks zu erhalten, erfolgt zunächst eine Clusterung nach Gebäudequalität und Klimatisierungsart. Diese beiden Charakteristika haben in der Theorie sehr großen Einfluss. Für Kategorien ohne einen solchen theoretischen Einfluss (z. B. Reinigungskosten und Klimatisierung sind eher unabhängig voneinander) macht

<sup>7</sup> Heteroskedastizität beschreibt einen Datensatz, bei dem die Standardfehler (Epsilon) keine einheitliche Varianz (Sigma) aufweisen, sondern beispielsweise die Größe des Fehlerterms von der Größe des Gebäudes abhängt. Dies verstößt gegen bestimmte Annahmen, die der Regression zugrunde liegen. (Greene, 2003)

<sup>8</sup> Eine solche Vorgehensweise ist ebenfalls in der *Hedonic Pricing* Literatur verbreitet (Sheppard, 1999). Ähnliche Ansätze werden von Stoy und Kytzia (2006) verfolgt.

man sich die Eigenschaft der Multikollinearität<sup>9</sup> mit anderen Charakteristika zunutze.

Die dargestellten Modelle werden im Folgenden auf ihre Prognosequalität hin untersucht. Alle Modelle sind schnell in die Software implementierbar. Die Ermittlung der Qualität der Prognose erfolgt in vier Schritten:

1. *Errechnung der Prognose ( $\hat{y}$ )*: Wie in vorhergegangenen Abschnitten dargelegt, wird die Prognose errechnet. Es handelt sich dabei um die modellhaften Kosten in allen Qualitätskategorien.
2. *Errechnung der Abweichungen* (die sog. Residuen  $e$ ) zwischen Prognose und tatsächlichen Werten.
3. *Deskriptive Darstellung*: Die Residuen werden für alle vier Modelle in Boxgrafiken gegenübergestellt. Dies lässt bereits erste Schlüsse zu.
4. *Errechnung eines Gütemaßes*: Zur Beurteilung der Prognosegüte wird ein sogenanntes Gütemaß errechnet. Dieses erlaubt die Beurteilung des Modells anhand von zwei einfachen Werten.

---

<sup>9</sup> Multikollinearität beschreibt die Tatsache, dass zwei Variablen (in unserem Fall Gebäudeeigenschaften) im System hoch miteinander korreliert sind. Dies vermindert die Aussagekraft von einzelnen Koeffizienten, wenn aber eine Variable fehlt, so kann eine andere als sog. Proxy dienen und trotzdem Aussagekraft beisteuern. (Greene, 2003)

Die Prognose errechnet sich aus dem in der Regression geschätzten Zusammenhang. Mittels dieser Vorgangsweise werden die so genannten Koeffizienten, also Kennwerte für Art und Ausmaß des Zusammenhangs, errechnet. Diese werden mit  $b$  statt  $\beta$  (wie oben) bezeichnet<sup>10</sup>. Die Prognose wird also wie folgt berechnet:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_k b_k x_k$$

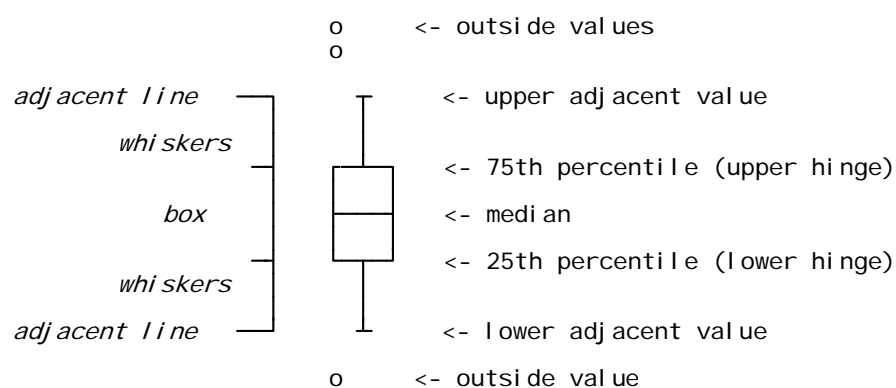
Dabei bezeichnet  $x_k$  jeweils den Wert von Interesse (z.B. 5.000 m<sup>2</sup>). Mit dieser Zahl kann nun die Abweichung berechnet werden:

$$e = y - \hat{y}$$

Das Residuum ist das Stichprobenäquivalent zum oben verwendeten Epsilon. Mit der so ermittelten Abweichung zwischen Prognose – also errechneten idealtypischen Kosten – und dem tatsächlichen Wert lassen sich nun Aussagen über die Qualität der Werte machen. Die Untersuchung erfolgt in zweierlei Hinsicht:

- **Graphische Untersuchung:** In so genannten Boxgrafiken werden die wichtigsten Kennwerte der Residuen dargestellt. Hier können die vier verschiedenen Modelle einander übersichtlich gegenüber gestellt werden. Boxgrafiken sind stets nach dem in der folgenden Abbildung dargestellten Schema aufgebaut.

Abbildung 14: Kennwerte des Boxplots (Quelle: STATA Corp. 2009)



Lage und relative Größe der einzelnen Boxen lassen Rückschlüsse auf die relative Performance des Modells zu.

<sup>10</sup> Wie bereits in der Theorie erläutert, bezeichnen wir mit griechischen Buchstaben den vermuteten Zusammenhang, mit lateinischen Buchstaben den geschätzten Koeffizienten.

- **Kennwerte:** Um eine eindeutige Kennzahl für die Güte der Regression zu erhalten, wird der *symmetric Mean Absolute Percentage Error* (*sMAPE*) verwendet. Diese Kennzahl fasst die gesamten Abweichungen im Sample zusammen und drückt sie in einer dimensionslosen Kennzahl aus. Der *sMAPE* ist definiert durch:

$$sMAPE = n^{-1} \sum_i \frac{|y - \hat{y}|}{|y| + |\hat{y}|}$$

Der *sMAPE* ist in den Grenzen von  $0 \leq sMAPE \leq 1$  definiert. Ein kleinerer Wert ist dabei strikt besser als ein größerer. Jede Beobachtung erhält einen eigenen Beitrag zum *sMAPE* – deshalb wird in dieser Untersuchung sowohl der *sMAPE* (als Mittelwert) als auch die Standardabweichung angegeben.

### **3.3.2.2 Deskriptive Analyse**

Die nachfolgende Analyse der Modelle umfasst zunächst eine deskriptive Darstellung der abhängigen Variablen (die jeweilige Kostenkategorie). Die Histogramme zeigen die (zum Teil große) Streuung der Werte. Das zweite Histogramm zeigt dieselbe Variable in logarithmierter Form. Aus den Histogrammen lassen sich verschiedene Schlüsse ziehen, die für die weitere Untersuchung relevant sind:

- *Wie sind die Daten verteilt?* Dies ist insbesondere interessant, um einen gewissen Wertebereich für die Daten zu erhalten. Weiters ist es möglich, Muster zu erkennen und später in der Inferenz<sup>11</sup> mit den Daten zu vergleichen.
- *Gibt es Ausreißer?* Ausreißer, also Werte, die sich stark von anderen abheben, können das Ergebnis beeinflussen. Sind Ausreißer vorhanden, geben Histogramme Hinweise darauf.
- *Was bewirkt die Logarithmierung?* Werden durch diese Maßnahme die Ausreißer bereinigt? Wird die Heteroskedastizität verringert?

Dem gegenüber wird eine deskriptive Analyse mit mehreren unabhängigen Variablen gestellt. Die Wirkmodelle zeigen wahrscheinliche Einflussfaktoren auf. Häufig werden die Qualität und das Vorhandensein einer Klimaanlage als Einflussfaktor genannt. Die Boxgrafiken vergleichen Kosten in den drei Qualitätskriterien sowie den drei Lüftungsarten. Auch wenn der Einfluss auf bestimmte Kategorien (z. B. öffentliche Abgaben) für Klimaanlagen nicht relevant sein sollte, so werden die Boxgrafiken trotzdem dargestellt, um diesen Zusammenhang zu veranschaulichen.

### **3.3.2.3 Einflussfaktoren**

Jede der nachfolgenden Analysen zeigt auch die potentiellen Einflussfaktoren, aufgrund derer die Modelle gebildet wurden.

### **3.3.2.4 Analysen der Wirkmodelle**

Die folgenden Kapitel beschreiben zunächst die einzelnen Kostenkategorien deskriptiv. Nachfolgend werden die im theoretischen Wirkmodell erfassten Einflussfaktoren aufgelistet. Im dritten Teil erfolgt die Bewertung der vorab spezifizierten Modelle. Dabei kommt zum einen ein Residuenplot, zum anderen auch ein Maß der Prognosegüte zur Anwendung.

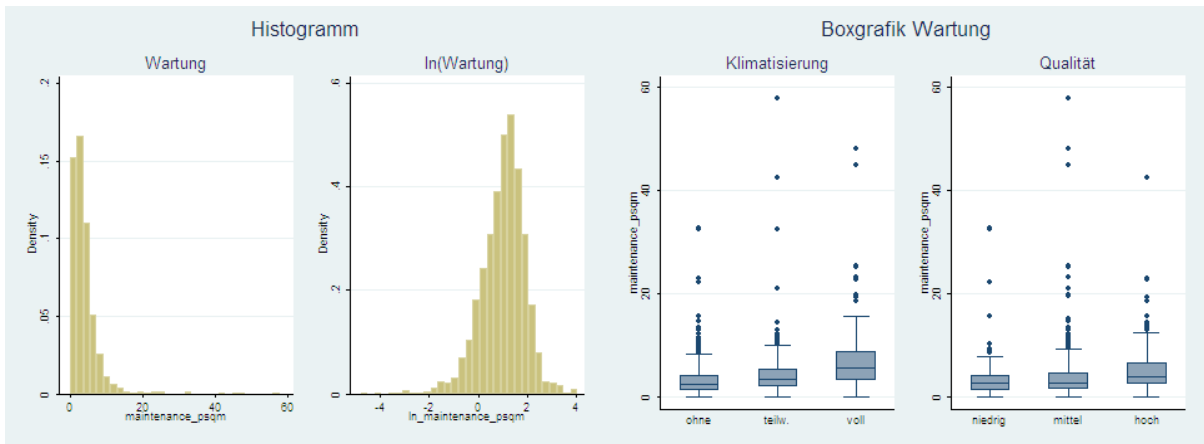
---

<sup>11</sup> Die Statistik gliedert sich grob (u. a.) in deskriptive, also beschreibende Statistik, bei der ein Datensatz möglichst gut beschrieben wird, und die induktive, also schließende Statistik, bei der von einer Stichprobe und dem beobachteten Zusammenhang auf die Grundgesamtheit geschlossen wird. (Fahrmeier et al. 2009) Die Inferenz stellt den Brückenschlag zwischen der Schätzung und dem Prognostizieren der Daten dar.



### 3.3.2.2.4.1 Instandhaltung

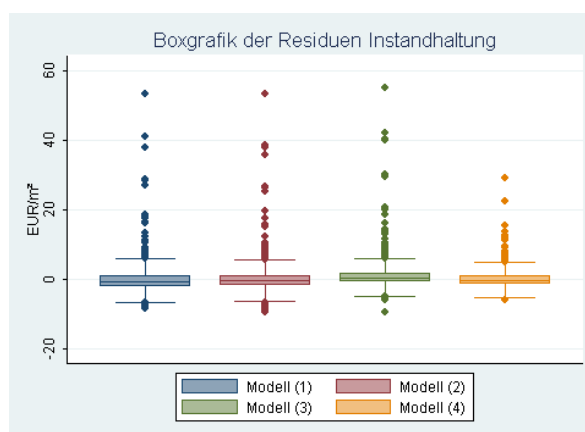
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

Instandhaltung	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Konstruktion	Intensität
Alter	
<i>Ausstattung</i>	<i>Vertragliche Rahmenbedingungen</i>
Förderanlagen	Vertragsgestaltung (Rahmenverträge etc.)
Lüftungsanlagen	Leistungserbringung (Servicelevel)
IT Ausstattung	Instandhaltungsstrategie
<i>Makroeinflüsse</i>	
Lohnniveau	

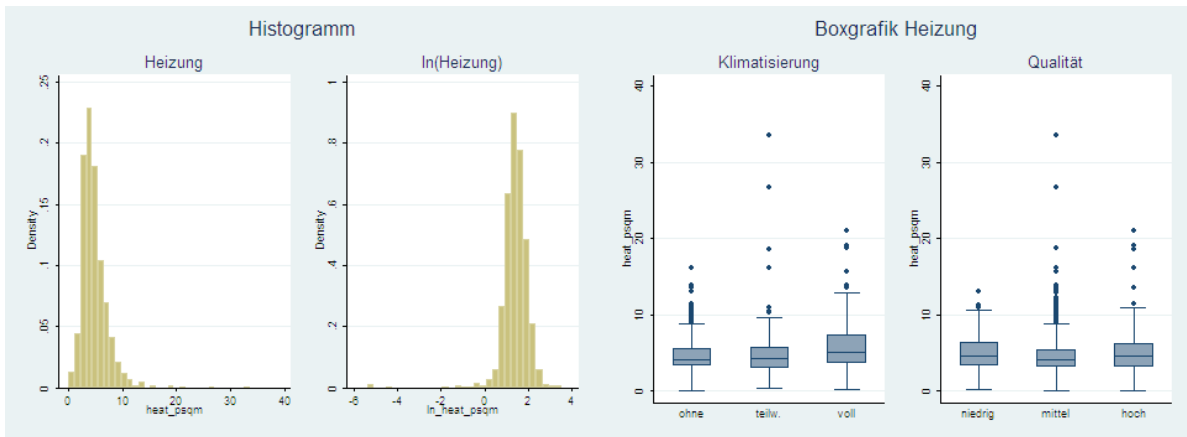
**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,2901316	0,2828043	0,2713524	0,2296344
Standardabw.	0,223897	0,2239439	0,9653925	0,2244471

### 3.3.2.2.4.2 Wärmeversorgung

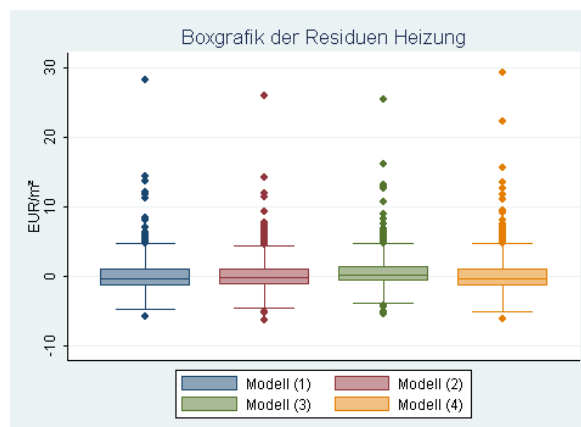
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

Wärmeversorgung	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Grundriss	Intensität
Grundfläche	Nutzerverhalten allgemein
Glasfläche	<i>Ausstattung</i>
Konstruktion	Wärmerückgewinnung
Verschattung	Lüftung
Alter	Interne Wärmequellen
<i>Makroeinflüsse</i>	Energiequellen
Energietarife	
Förderungen	

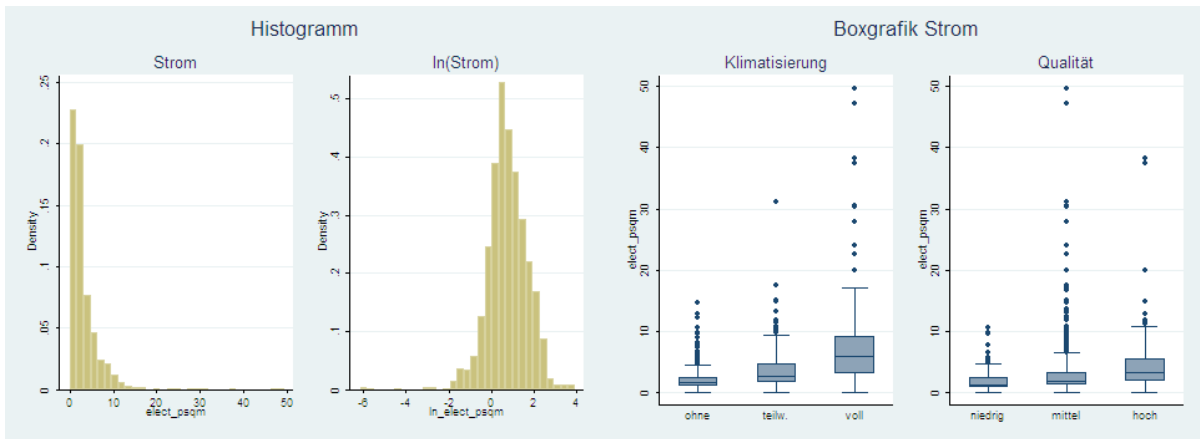
**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,1728897	0,1616206	0,09678	0,1758664
Standardabw.	0,1444211	0,1419129	0,4916272	0,1474764

### 3.3.2.2.4.3 Strom

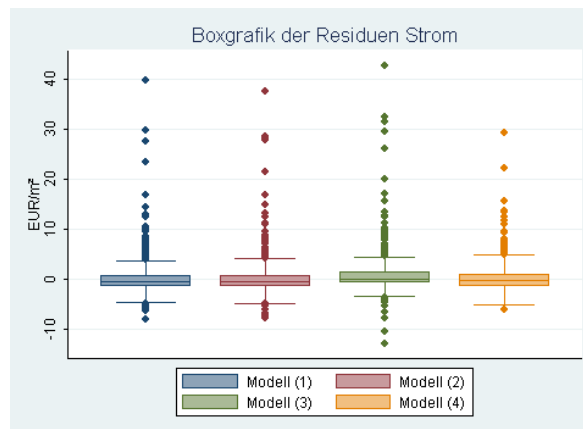
#### Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



#### Einflussfaktoren: Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

<b>Strom</b>	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Grundfläche	Intensität
Glasfläche	Nutzerverhalten allgemein
Konstruktion	<i>Ausstattung</i>
Verschattung	Klimatisierung
Alter	Lüftung
<i>Makroeinflüsse</i>	Beleuchtungsart
Energietarife	Förderanlagen
Klimatische Bedingungen	Server o. ä.

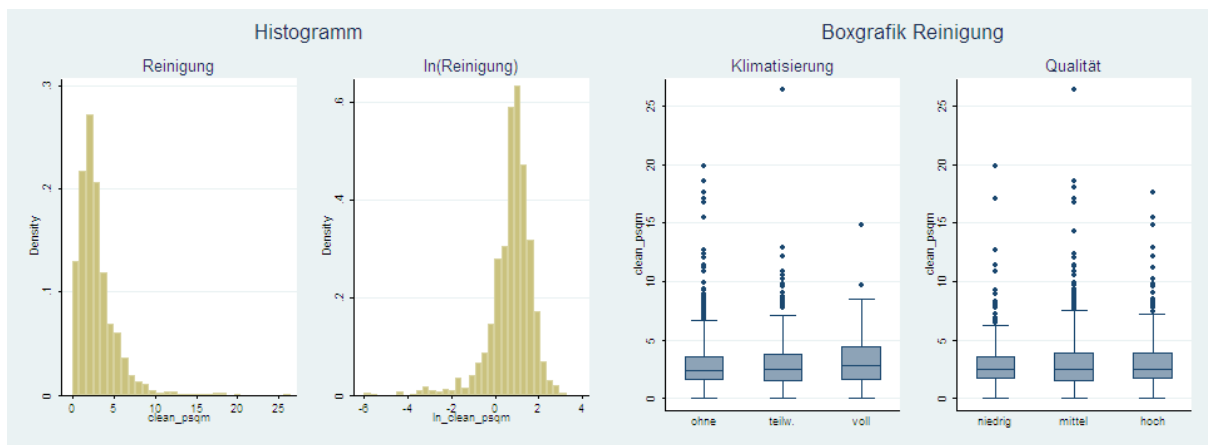
#### Ergebnisse: Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,2868214	0,3009135	0,397427	0,3224092
Standardabw.	0,2243946	0,2298482	1,615037	0,3481228

### 3.3.2.2.4.4 Reinigung

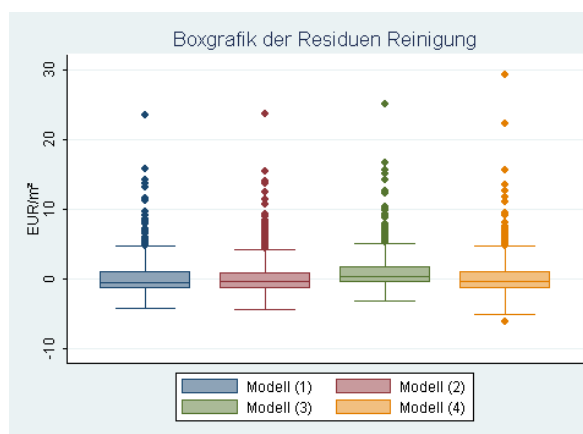
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

Reinigung	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Grundfläche	Intensität
Glasfläche	Nutzungstypus
Konstruktion	Bürotypus
Anzahl der Arbeitsplätze	Nutzerverhalten
<i>Vertragliche Bedingungen</i>	<i>Ausstattung</i>
Servicelevel	Designextras (zB Brunnen)
<i>Makroeinflüsse</i>	Zusatznutzungen (zB Kantine)
Lohnniveau	
Klimatische Bedingungen	

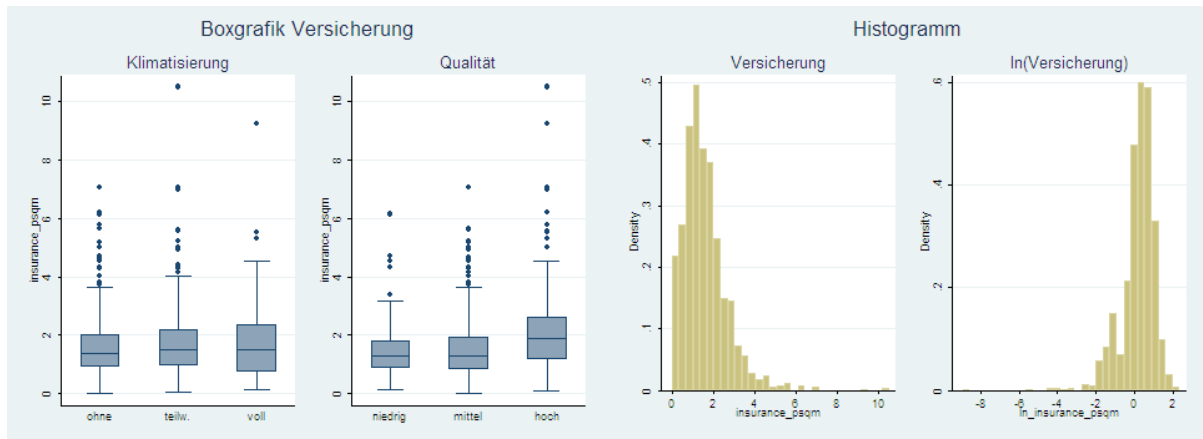
**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,2859209	0,2775389	0,4313915	0,2963912
Standardabw.	0,2357208	0,2326091	1,282564	0,3195054

### 3.3.2.2.4.5 Versicherung

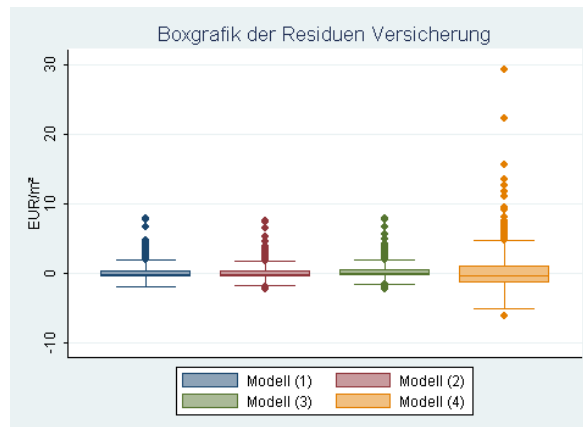
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

Reinigung	
Größe und Art des Gebäudes	Nutzungsart
Anschaffungswert (Schätzer für Zeitwert)	Risikorelevante Nutzungen
Ausstattung	
Qualität und Umfang der Ausstattung	

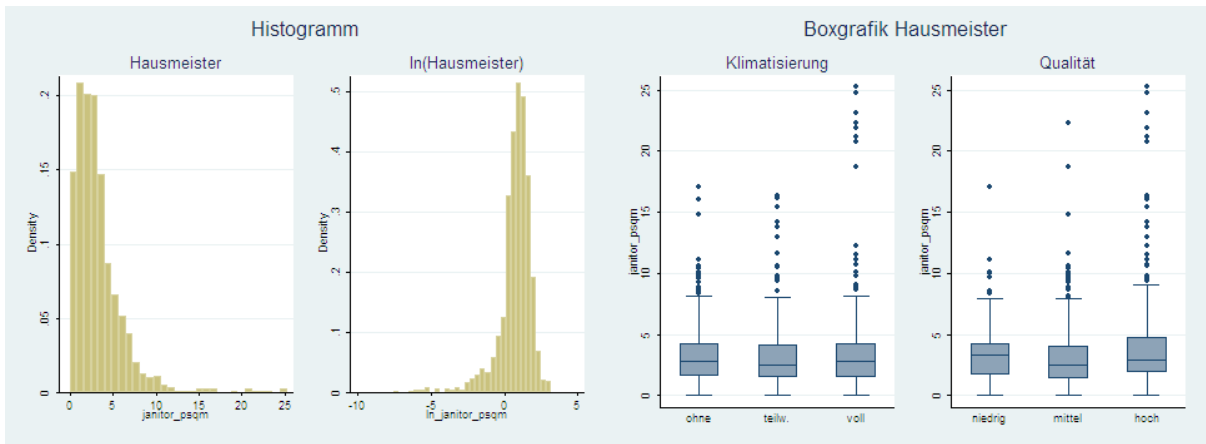
**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,2448527	0,2183807	0,4084451	0,5527124
Standardabw.	0,2026901	0,1941764	1,089107	0,5641553

### 3.3.2.2.4.6 Hausmeisterdienste

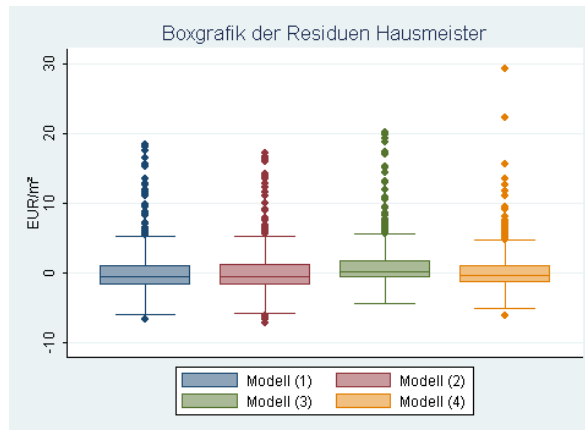
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

Hausmeisterdienste	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Fläche	Anzahl der Nutzer
Alter	Intensität der Nutzung
<i>Makroeinflüsse</i>	Instandhaltungsstrategie
Lohnniveau	Vertragliche Rahmenbedingungen

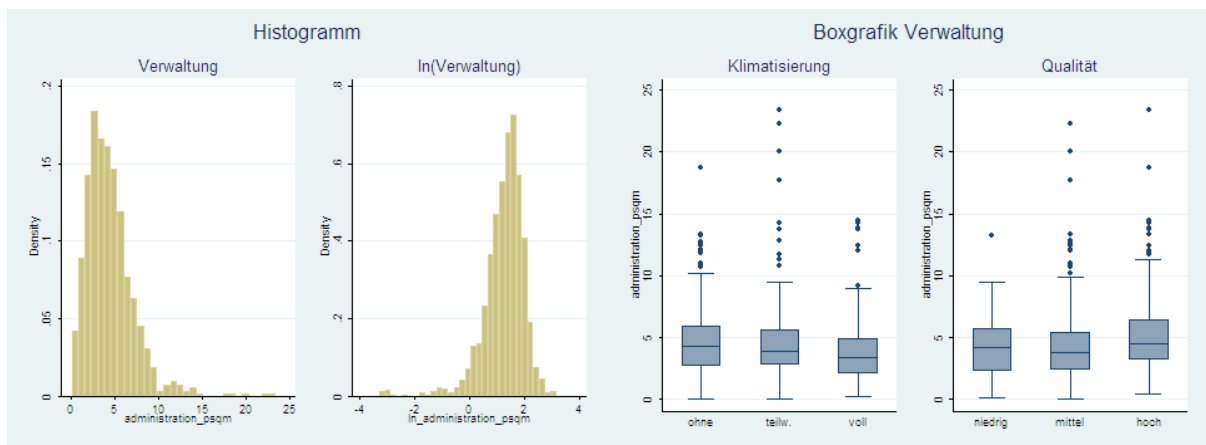
**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,3020008	0,3065992	0,3368735	0,2941936
Standardabw.	0,2339751	0,2373916	0,9381689	0,4116756

### 3.3.2.2.4.7 Verwaltung

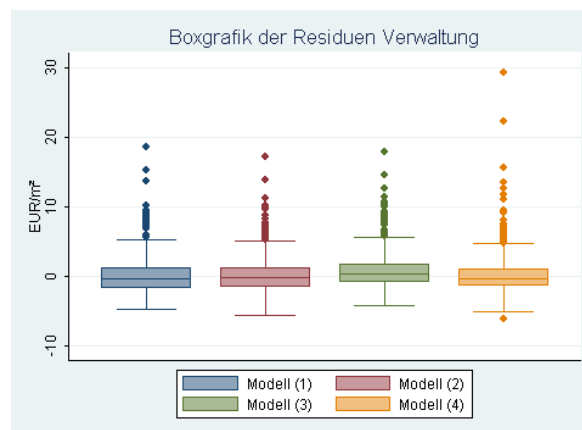
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

<b>Verwaltung</b>	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Fläche	Anzahl der Nutzer
Alter	Abrechnungsart
<i>Makroeinflüsse</i>	Nutzerstruktur
Lohnniveau	Vertragliche Rahmenbedingungen

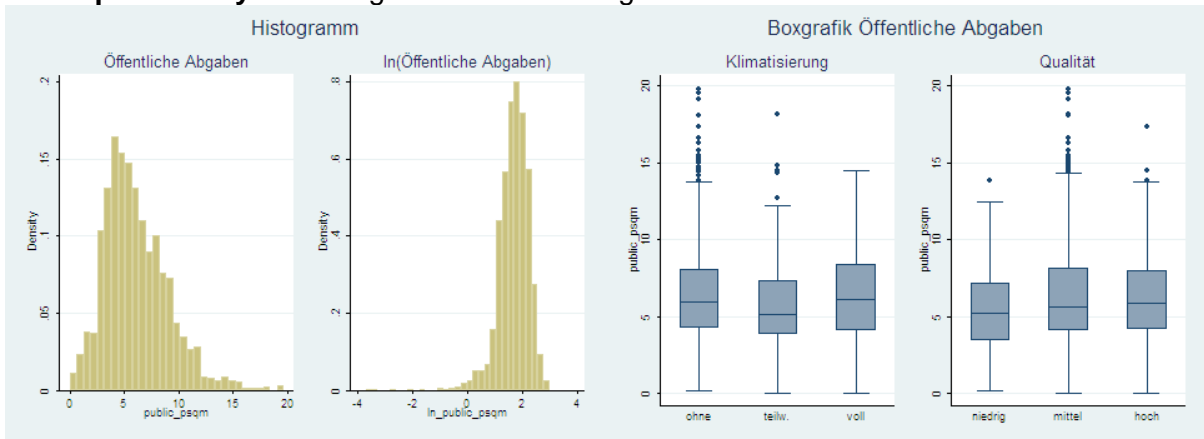
**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,2256502	0,2157256	0,1498329	0,2138752
Standardabw.	0,1878966	0,1811364	0,4608292	0,3004603

### 3.3.2.2.4.8 Öffentliche Abgaben

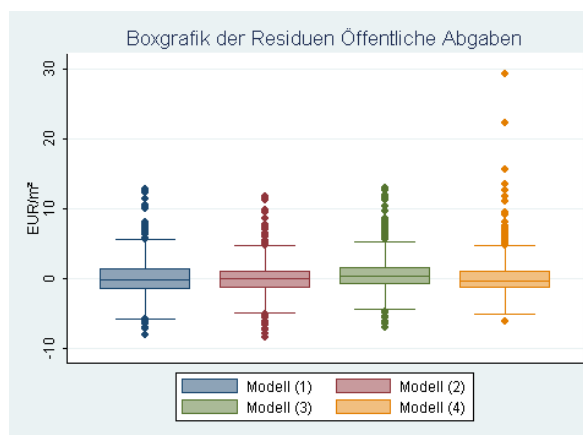
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

Öffentliche Abgaben	
Größe und Art des Gebäudes	Makroeinflüsse
Grundstücksfläche	Hebesatz
	Gemeinde

**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle

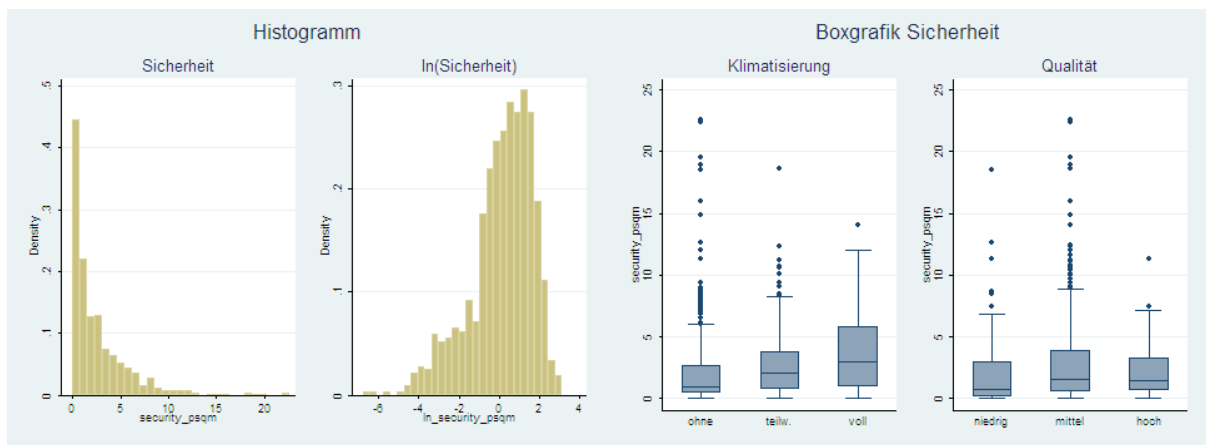


	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,168681	0,1470003	0,0663932	0,1433163
Standardabw.	0,1558782	0,1464294	0,2116366	0,1724361



### 3.3.2.2.4.9 Sicherheit

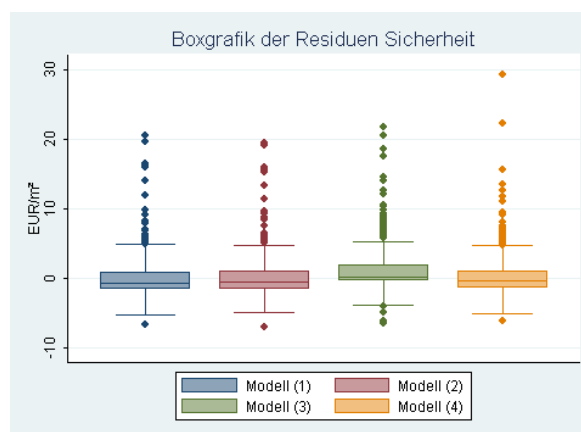
Deskriptive Analyse: Histogramme sowie Boxgrafiken



**Einflussfaktoren:** Zusammenfassung des theoretischen Wirkmodells

<b>Verwaltung</b>	
<i>Größe und Art des Gebäudes</i>	<i>Nutzungsart</i>
Fläche	Nutzungstyp
Grundriss	Risiko
Präventivmaßnahmen	<i>Ausstattung</i>
<i>Makroeinflüsse</i>	Alarmanlage
	Videoüberwachung
Lohnniveau	<i>Vertragliche Rahmenbedingungen</i>

**Ergebnisse:** Boxgrafik der Residuen und sMAPE der vier untersuchten Modelle



	sMAPE M(1)	sMAPE M(2)	sMAPE M(3)	sMAPE M(4)
Mittelwert	0,4447585	0,4416574	0,598456	0,4232407
Standardabw.	0,2957011	0,2942369	0,124835	0,5246119

### 3.3.2.2.5 Interpretation

Die geschätzten Modelle M(1) bis M(4) sind durch ihren unterschiedlichen Einsatz an vorhandenen Informationen geprägt. Bereits in den vorangegangenen Kapiteln wurde die theorie- versus datengetriebene Herangehensweise erläutert. Die vorliegenden Modelle vereinen diese Sichtweisen. Zum einen erfolgte eine sehr pragmatische Modellierung in M(1), andererseits versuchte M(3) den tatsächlichen Sachverhalt abzubilden. Der Fokus lag dabei stets klar auf der maschinellen Umsetzbarkeit. Die Untersuchung alternativer Modellierungen und anderer Ansätze erfolgte im Rahmen verschiedener Veröffentlichungen.

Die tiefer gehende Analyse der Modelle zeigt zunächst klar, dass M(4) – also das Mittelwertsmodell – stets größere Ausreißer in den Residuen hat als die anderen Modelle. Dies schlägt sich auch in der Standardabweichung des sMAPE nieder. Es zeigt sich, dass zwar keines der Modelle eine ausreißerfreie Prognose zulässt, die Regressionen allerdings zumindest etwas exaktere Prognosen zulassen. Vergleicht man die Regressionen untereinander, so zeigt sich erwartungsgemäß, dass M(3) in der Regel die anderen Modellvarianten überflügelt. Dies ist freilich zu erwarten – schließlich verwendet dieses Modell die meisten Informationen zur Erklärung und damit schließlich auch zur Inferenz der Kosten. Die Standardabweichung der einzelnen Beiträge zum sMAPE gibt Hinweise auf Ausreißer bei den einzelnen Prognosen. Auch hier bietet sich ein ähnliches Bild. In der Regel sind die Modelle M(1) bis M(3) besser als M(4).

Die vorgeschlagene Methode der Regression ist adäquat und besser als die Methode der geclusterten Mittelwerte (M(4)). Diese Aussage ist ebenso Kernergebnis verschiedener wissenschaftlicher Arbeiten, die aus diesem Projekt hervorgingen (siehe auch Kapitel 8).

M(3) ist klar besser als alle vorgeschlagenen Varianten. Mit vereinzelt Prognoseschwächen (z. B. Verwaltung) liefert dieses Modell bessere Ergebnisse.

Besonders interessant dabei ist die Auswirkung der Logarithmierung der abhängigen Variablen, welche auf Basis einschlägiger Literatur gewählt wurde (vgl. Greene, 2003; Malpezzi, 2003).

In der Klasse der Regressionsanalyse lässt sich wiederum feststellen, dass eine reine Logarithmierung *per se* keine Verbesserung der Ergebnisse bringt. Insbesondere ist dies vor dem Hintergrund der Implementierung in ein automatisiertes System zu sehen. Hier gilt es den zusätzlichen Datenaufwand gegenüber der Prognosesicherheit abzuwägen. Dabei ist speziell die in den Forschungsarbeiten vorgenommene Differenzierung von geographischen Effekten anzusprechen. Das heißt, es wurden speziell geographische Effekte bei der Modellierung berücksichtigt, die allerdings im Rahmen des automatisierten Prognoseprozesses nicht unbedingt zur Verfügung stehen. Diese Effekte sind allerdings auch in Modell M(3) und M(4) enthalten. Interne Diskussionen favorisierten die Modellierung in Form von M(1), welches letztendlich in Form eines Excel-Arbeitsblatts eingesetzt wurde. Diese Umsetzung wird im Rahmen des folgenden Kapitels beschrieben.

### 3.3.2.2.6 Umsetzung

Die Umsetzung im Rahmen des zuvor zitierten Excel-Arbeitsblatts wurde in Form einer additiven Prognose vorgenommen. Ausgangsbasis hierfür ist Modell M(1). Die Prognose erfolgt in Übereinstimmung mit Gleichung (4) (s. unten bzw. auf Seite 39).

$$(4) \quad y = b_0 + \sum_k b_k x_k \quad \text{es gilt: } b = \beta$$

Zu beachten dabei ist, dass es sich um den funktionalen Zusammenhang aus M(1) handelt. Es werden allerdings die aus der Stichprobe geschätzten Koeffizienten  $b$  für die Koeffizienten der Grundgesamtheit  $\beta$  verwendet. Diese sind als lateinische Buchstaben dargestellt. Für die Prognose ist also lediglich der jeweilige  $x$  Wert einzusetzen.

Die Umsetzung im Rahmen der Datenbankkomponente wird im folgenden Kapitel behandelt. Hier sei insbesondere darauf verwiesen, dass eine besonders flexible Umsetzung gewählt wurde, um so bei Vorhandensein zusätzlicher Daten jederzeit ein neues Modell einpflegen zu können. Von den bestehenden Kennzahlen, welche aus der Regression hervorgehen, auf die gesamten Betriebskosten über den Lebenszyklus zu schließen, ist nur noch ein kleiner Schritt. Es handelt sich dabei um Betriebskosten pro Quadratmeter. Es werden also nur die Betriebskosten mit einem entsprechenden Zinssatz zum Kapitalwert abgezinst und – sofern Gesamtkosten gewünscht werden – mit der Anzahl der Quadratmeter multipliziert.

### 3.3.3 Diskussion zur Qualität der Ergebnisse

Bei der Analyse von Betriebskosten ist zu berücksichtigen, dass sich diese Kostenkategorie von jenen anderer Nutzungsphasen unterscheidet.

Betriebskosten fallen regelmäßig an. Anders als beispielsweise die Investition, welche einmalig erbracht wird und durch einen bestimmten Zeitpunkt determiniert wird, sind Betriebskosten zyklisch wiederkehrend. Dies bringt die zeitliche Komponente ins Spiel und verlangt eine dynamische Betrachtung.

Dies wiederum indiziert folgende Problemstellungen:

- Um die Zeit zu berücksichtigen, werden dynamische Berechnungsverfahren angewendet. Der dafür verwendete Zinssatz stellt eine neue Variable dar. Gerade die Wahl des Zinssatzes ist essentiell und determiniert wesentlich die Ergebnisse.
- Die Problematik der Inflation sowie der Preisschwankungen ist ein weiteres zentrales Thema dieser Kostenkategorie. Dabei ist allein schon die Prognose der Preisveränderung schwierig. Die Aufnahme dieser Komponente erzeugt erneut Unwägbarkeiten, welche die Problematik der Wahl des Zinssatzes noch verstärken und eine weitere Unschärfe in die Berechnung einführen.
- Darüber hinaus umfassen die Kategorien der Betriebskosten eine enorme Fülle an Gütern (lagerbarer oder nicht lagerbarer Natur) welche eine Indizierung erneut erschweren. Man halte sich beispielsweise die stark unterschiedliche Kostenentwicklung von Lohnkosten und Ölpreisen vor Augen.

Bereits im vorangegangenen Unterpunkt wurde die Problematik der zahlreichen Kostenkategorien angesprochen. Insgesamt sind zehn Unterkategorien (vgl. Abbildung 13: Zusammenfassung der Wirkmodelle) vorhanden, welche unterschiedliche Wirkungsmodelle aufweisen. Dies führt nicht nur zu einer Vielzahl von Kostengruppen, sondern auch zu einer Vielzahl von potentiellen Einflussfaktoren, welche nicht oder nur schwer erfassbar sind.

Abschließend wird auf den Einfluss der menschlichen Komponente hingewiesen. Zu einem Großteil hängt die Höhe von Betriebskosten nicht von objektiven Kriterien wie etwa der Gebäudeausstattung ab. Zahlreiche Studien belegen den großen Einfluss des Nutzers, der bis zu 50 % der Kostenvariation erklärt (Messerschmidt, 2004).

Manche dieser Punkte konnten im Verlauf der Analysen bearbeitet und in das Modell aufgenommen werden. Andere können nur schwer erfasst werden, wie beispielsweise das Nutzerverhalten. Im Rahmen der Bearbeitung des Projekts wurde die Übereinkunft erzielt, soweit wie möglich standardisierte Kosten abzubilden. Dies wiederum schließt die Betrachtung der Nutzerkomponente von der Kostenprognose aus. Gänzlich außer Acht gelassen wurden auch Effekte wie der Effizienzgewinn z. B. durch gut beleuchtete Räume, da hier kaum Daten vorliegen. Die Recherchen zeigten allerdings, dass derzeit Ansätze bestehen, auch diese Einflüsse mit aufzunehmen.

## 4 Implementierung des Wirkungsmodells in die bestehende IBI-Datenbank

Die Umwandlung des theoretischen Wirkungsmodells in ein Softwaremodul erfolgte auf Basis des aus dem *FHPlus* Projekt hervorgegangenen IBI-Benchmarking Moduls. Wie bereits erläutert (s. Kapitel 3), besteht derzeit allerdings das Problem, dass die erforderlichen Daten in der Praxis entweder nicht vorhanden sind, oder nicht in das System eingegeben werden. Da allerdings für die Lebenszykluskostenprognose eine fundierte Datenbasis notwendig ist, musste sichergestellt werden, dass das Statistikmodul stets geeignete Kennzahlen zur Verfügung hat. Um dies zu gewährleisten, wurden verschiedene Maßnahmen in die Leistungsbeschreibung aufgenommen.

Diese umfassen unter anderem:

- Die Umsetzung wurde in Modulsichtweise beschrieben. Das bedeutet, dass die neue Lebenszykluskostenkomponente auf die bestehende Datenbank aufgesetzt wird.
- Loslösung der zugrunde liegenden Datenbank. Dies hat den Vorteil, dass verschiedene Datenquellen verwendet werden können. Die Notwendigkeit für diesen Schritt ist gegeben, weil z. B. Investitionskosten i. d. R. derzeit nicht in der Datenbank angegeben werden.
- Möglichkeit der händischen Dateneingabe.
- Verschiedene Lösungsansätze für die Errechnung von Kennzahlen.

### 4.1 Konzeptionelle Umsetzung in der Datenbank

Zur Umsetzung der erarbeiteten Wirkungsmodelle war es zunächst notwendig, die bestehende Datenbank auf Ihre Adaptierbarkeit zu überprüfen. Es galt festzustellen, welche der derzeitigen Lösungen übernommen werden konnten bzw. welche Adaptionen notwendig werden würden.

Nach eingehender Prüfung des Datenmodells wurde folgendes festgestellt:

- Die bestehende Umsetzung bedarf im Wesentlichen keiner Adaption. Es wurde darauf geachtet, dass so wenig wie möglich in die derzeitige Lösung eingegriffen werden muss. Aus diesem Grund wurde die oben erwähnte Modulkonzeption gewählt. Diese kann zur bestehenden Lösung einfach hinzugefügt werden und interagiert über Schnittstellen mit der derzeitigen Datenbank.
- Die bestehende Lösung der Datendefinition durch den Auftraggeber (in diesem Fall das Projektteam) mittels Spread Sheets und der anschließenden programmierischen Umsetzung durch den Auftragnehmer (die Softwarefirma) gewährleistet eine optimale Aufgabenteilung. Aufgrund der übersichtlichen Aufbereitung kann das Projektteam eine vollständige Datendefinition vornehmen; so wird die Gefahr von Missverständnissen und Informationsverlusten minimiert.

Die Erweiterung um zusätzliche Datenfelder ist nur eingeschränkt notwendig. Hier muss zwischen zwei Bereichen unterschieden werden:

**Gebäudeeigenschaften und Stammdaten:** Diese wurden bereits in der bestehenden Umsetzung vollständig definiert. Eine Veränderung dieses Datenmodells wäre kontraproduktiv, da sämtliche gespeicherten Daten auf dieser Definition aufbauen. Eine Neudefinition im Lebenszyklusmodul würde u. a. nach sich ziehen, dass auf bestehende Daten nicht mehr zugegriffen werden kann. Das bedeutet, dass der bestehende Datenpool enorm verkleinert und damit die Aussagekraft minimiert wird.

**Lebenszyklusdaten und Kennzahlen:** Die Daten, welche für die Berechnung von Lebenszykluskosten in diesem Zusammenhang notwendig sind, sind derzeit nicht in der Datenbank inkludiert. Es ist also notwendig, aufbauend auf dem oben erwähnten Datendefinitionsschema, diese Daten bzw. Informationen in die bestehende Lösung zu integrieren. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Kennzahlen zur Lebenszykluskosten-Berechnung sowie Marktdaten.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass das bestehende Modell durchaus erweiterungsfähig ist. Die notwendigen Änderungen betreffen hauptsächlich neue Datenfelder, welche mit der Lebenszyklusprognose in Verbindung stehen.

Die bestehende Methode der Dateneingabe ist über weite Strecken in Niveaus (Levels) gegliedert. Diese unterscheiden sich grundsätzlich durch die Detailtiefe der geforderten Daten. Das heißt, der Nutzer kann das Gebäude zunächst in geringer Detailtiefe spezifizieren. Beispielsweise ist es möglich, die Qualität eines Objekts in die Kategorien Hoch/Mittel/Niedrig einzustufen. Auf Level 2 ist eine Unterscheidung für einzelne Bauteile eingeplant. Der dritte (und derzeit detaillierteste Level) ermöglicht die Spezifizierung einzelner Elemente. Die Darstellung orientiert sich dabei stark am Standard DIN 276. Dieses Konzept wird auch für die folgende Umsetzung beibehalten. Dies hat die folgenden Vorteile: Die Organisation der Daten in Levels trägt dem wachsenden Informationsstand in der Planungsphase eines Objekts Rechnung. Die Darstellung der einzelnen Levels erlaubt daher die Berechnung von Lebenszykluskosten in allen Projektphasen. Mit dem wachsenden Informationsniveau kann auch die Berechnung verfeinert werden.

Bereits mit wenigen Daten können Aussagen über die zu erwartenden Lebenszykluskosten getroffen werden. Ein grober Vergleich ist bereits mit wenigen einzelnen Daten möglich. Bestehende Nutzer können bestehende Konzepte übernehmen. Dies schafft nicht nur eine kurze Einschulungszeit, sondern gewährleistet auch, dass bestehende Daten direkt übernommen werden können. Ein entsprechendes Feature wurde im derzeitigen Lastenheft berücksichtigt.

Dieses Konzept wurde auch für das Lebenszykluskosten-Prognosemodul übernommen. Die Überlegungen dazu waren folgende:

*Für die ex ante Prognose* (also die Prognose von Lebenszykluskosten im Rahmen der Planung) ist die stufenweise Annäherung essentiell. Schließlich stehen nicht alle Daten von vornherein zur Verfügung. Das im Rahmen des Projekts definierte Modell geht darauf ein (vergl. Abbildung 15).

Für die *ex post* Prognose kommen die verschiedenen Prognoselevels dem häufig eingeschränkten Datenstand von Unternehmen entgegen. Erfahrungen bestätigen, dass der Gebäudebestand meist nicht vollständig erfasst ist.

Abbildung 15: Darstellung der Detailtiefe der Dateneingabe

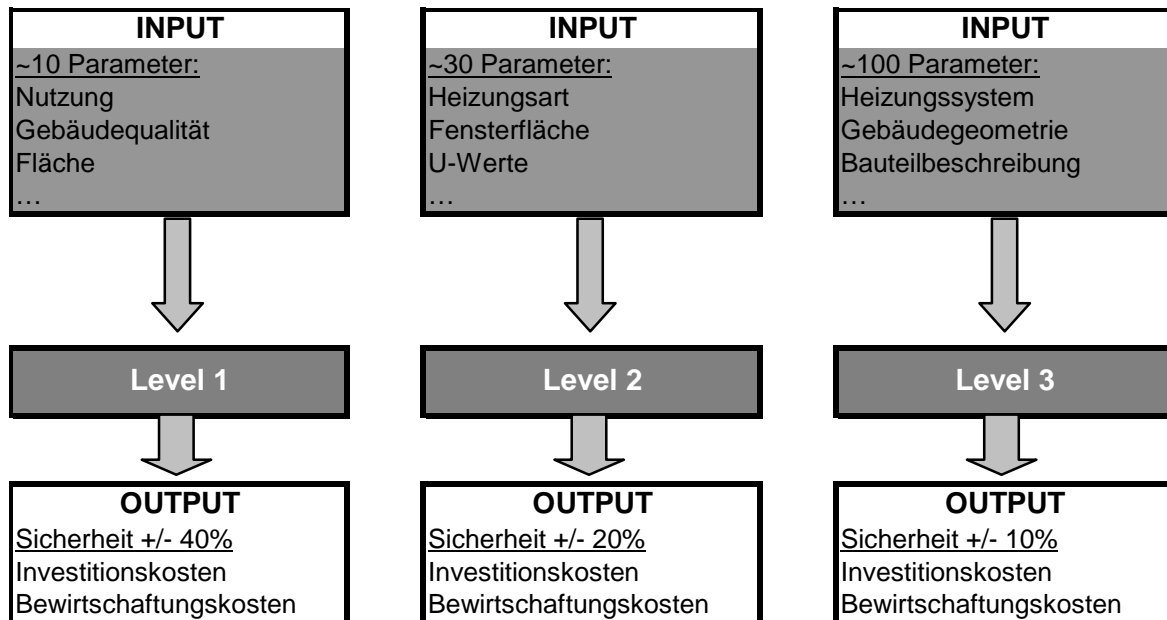


Abbildung 15 definiert die Level der Dateneingabe und die damit verbundene Prognoseunsicherheit. Wichtig dabei ist, dass das in der Abbildung beschriebene Konzept zum einen mit den derzeitigen Dateneingabeschemata übereinstimmt und zum anderen im Dateneingabemodul übernommen wurde.

## 4.2 Leistungsbeschreibung für Datenbankprogrammierung

Die im Projekt vorgesehene Leistungsbeschreibung wurde in Form eines Lastenheftes ausgeführt. Dies hat folgenden Vorteile:

- *Vereinfachte Umsetzbarkeit:* Mit der Erarbeitung des Lastenheftes wurde ein weiterer Schritt in Richtung Umsetzung unternommen. Dieses Lastenheft kann für eine etwaige Ausschreibung schnell eingesetzt werden.
- *Vertiefte Betrachtung:* Über die reine Beschreibung der Funktionen und Eigenschaften der Software hinausgehend enthält das Lastenheft weitere Aspekte, wie etwa den Bereich der Softwareergonomie oder auch allgemeine Benutzerführungsrichtlinien sowie zusätzliche Überlegungen zur Umsetzung.

Das Immobilien Benchmarking Institut, welches an der Fachhochschule Kufstein angesiedelt ist, konnte im Rahmen des FHPlus Projekts „Österreichische Immobiliendatenbank – Forschungsinstitut für Immobilienbenchmarking“ eine Immobilien-Benchmarking-Software aufbauen, welche in der Entstehungsphase des vorliegenden Projekts als Datenlieferant vorgesehen wurde. Dennoch war das Ziel, dieses Lebenszykluskosten-Prognosemodul möglichst unabhängig von vorhandenen Lösungen zu realisieren, um so ein Maximum an Flexibilität zu gewährleisten und eine Drittverwendung zu ermöglichen.

Die Definition wurde also so allgemein wie möglich gehalten, was auch die Eingabe von zusätzlichen Benchmarking Daten betrifft. Um dies zu gewährleisten, wurden die folgenden Punkte definiert:

- *Modulkonzeption*: Die neue Teilsoftware soll unabhängig von der derzeitigen Software programmiert werden. Dabei ist zwar auf bestehende Designs Rücksicht zu nehmen, die unabhängige Arbeitsweise soll allerdings davon unberührt bleiben.
- *Datenkonzeption*: Zusätzlich zu Benchmarks aus der bestehenden Datenbank wurde die Möglichkeit zum Import zusätzlicher Daten explizit im Vorhinein vorgesehen. Dies soll die Verfügbarkeit von Daten garantieren, auch wenn diese nicht aus der derzeitigen Datenbank hervorgehen.

Im Rahmen des Lastenhefts wurden die folgenden Punkte als Zielsetzung definiert:

- Schaffung eines Auswertungsmoduls zur Lebenszykluskosten-Berechnung und darauf aufbauend die Ableitung von Investitionsentscheidungen
  - Aufbau einer nach den Gesichtspunkten der Softwareergonomie gestalteten Eingabemaske
  - Ermöglichung verschiedener Auswahlmöglichkeiten
  - Grafische Darstellung von Alternativen
  - Sensitivitätsanalyse
  - Speicherung bestehender Profile
  - Übernahme bestehender Objekte
- Schaffung eines Statistikmoduls zur Bereitstellung von Daten für das Auswertungsmodul
  - Dynamische Errechnung von Kennzahlen aus dem bestehenden Datenpool
  - Import von Kennzahlen bei fehlender Datengrundlage
  - Export relevanter Kennzahlen zur weiteren Bearbeitung
- Schaffung einer Admin-Ebene
  - Admin-Ebene zur Verwaltung von Benutzern und Benutzerrechten
  - Anzeigen von Benutzerstatistiken
  - Verwaltung von Objekten und Kennzahlen
  - Datenbankwartung
- Unabhängigkeit der Datenbereitstellung und Auswertung/Statistik
- Trennung von Jahrgängen

Das vorliegende Forschungsprojekt hatte unter anderem das Ziel, eine Umsetzung der entwickelten Ansätze unabhängig von vorhandenen Lösungen zu ermöglichen. Daher werden die entwickelten Ansätze über die Beschreibung der Funktionen und Eigenschaften der Software hinausgehend präsentiert. Das Lastenheft beinhaltet weitere Aspekte wie etwa den Bereich der Softwareergonomie oder auch allgemeine Benutzerführungsrichtlinien sowie zusätzliche Überlegungen zur Umsetzung. Details zum Lastenheft können bei der Fachhochschule Kufstein eingeholt werden.



## 5 Prognosemodell für den Testlauf an realen Gebäuden

Für die Testphase innerhalb des Projektes wurde ein Excel-Modell programmiert, mit welchem die Funktionalität der erarbeiteten Zusammenhänge überprüft wurde. Das Modell und die Verknüpfungen der erforderlichen Daten mit den zur Prognose herangezogenen Kostendaten werden in diesem Kapitel näher beschrieben.

### 5.1 Allgemeine Gebäudeinformationen

Als erster Schritt ist die Definition des Gebäudes im Allgemeinen notwendig. Dazu gehört beispielsweise der Gebäudestandort. Die Datengrundlage des Prognosemodells sind deutsche Werte, da nicht ausreichend Informationen österreichischer Gebäude vorliegen. Die Kategorie „Gebäudestandort“ ist mit Korrekturwerten hinterlegt, mit denen die zugrunde liegenden deutschen Werte an die regionalen Gegebenheiten in Österreich angepasst werden können.

Des Weiteren sind Flächenangaben eine wesentliche Information. Hier hat sich gezeigt, dass zwei Flächenarten bekannt sein müssen: die Brutto-Grundfläche (BGF), wesentlich zur Ermittlung der Errichtungskosten, und die Netto-Grundfläche (NGF), die wesentlich für die Ermittlung der Betriebskosten ist. Die BGF ist einfach zu berechnen: sie ergibt sich aus den Außenmaßen des Gebäudes. Die NGF kann, wenn sie nicht bekannt ist, über einen Defaultwert berechnet werden, indem die BGF durch den Faktor 1,15 geteilt wird (Erfahrungswert für Büroimmobilien). In diesem Stadium wird der Einfachheit halber davon ausgegangen, dass die NGF der Nutzfläche (NF) entspricht, die zur Ermittlung der Nutzungskosten die eigentliche Bezugsgröße der IBI-Datenbank ist. Bei der Analyse der Betriebskosten stellte sich zudem heraus, dass ein direkter Zusammenhang der Betriebskosten und der Anzahl der Stockwerke besteht, weshalb diese Information auch einen wesentlichen Einfluss hat. Zudem wird die Anzahl der Stockwerke herangezogen, um die Abbruchkosten ermitteln zu können. Diese sind direkt an den Brutto-Rauminhalt (BRI) des Gebäudes gekoppelt. Hier ist ebenfalls eine Defaultberechnung möglich: die Anzahl der oberirdischen Geschosse wird zunächst mit der Raumhöhe (bei klimatisierten Gebäuden rund 3,50m; bei nicht-klimatisierten Gebäuden rund 3,20m) multipliziert, das Ergebnis daraus wird anschließend noch mit der BGF multipliziert, und man erhält den Brutto-Rauminhalt.

Weiters wurde die Beeinflussung durch eine Tiefgarage und durch die Nachbarbebauung eines Gebäudes festgestellt, weshalb diese beiden Parameter ebenfalls in das Prognosemodell einbezogen wurden.

Selbst wenn in der frühen Planungsphase beispielsweise nicht klar ist, ob eine Tiefgarage hergestellt werden soll oder nicht, so bietet das Modell die Möglichkeit, eine Kostenanalyse für die Variante mit und ohne Tiefgarage zu berechnen. Der Bauherr hat somit eine Entscheidungsgrundlage mehr zur Verfügung.

Die folgende Abbildung zeigt die wesentlichen Gebäudemerkmale, die auf die Prognose der Kosten relevanten Einfluss haben und über die sich der Bauherr Gedanken machen muss.

Tabelle 4: Die erforderlichen allgemeinen Informationen für die Lebenszykluskosten-Prognose

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Gebäudestandort	wichtig für regionale Unterschiede
Brutto-Grundfläche	erforderlich für die Ermittlung der Errichtungskosten [m <sup>2</sup> BGF]
Netto-Grundfläche	erforderlich für die Ermittlung der Betriebs- und Instandhaltungskosten [m <sup>2</sup> NGF]
Brutto-Rauminhalt	erforderlich für die Ermittlung der Abbruchkosten [m <sup>3</sup> BRI]
Anzahl der vollen, oberirdischen Geschosse	gekoppelt daran: Errichtungs-, Betriebs- und Instandhaltungskosten
Tiefgarage	gekoppelt daran: Errichtungs- und Betriebskosten [ja / nein]
Freistehend	gekoppelt daran: Errichtungs- und Betriebskosten [ja / nein]

## 5.2 Prognose der Errichtungskosten

Im Prognosemodell werden die Errichtungskosten wie bereits erläutert in Anlehnung an die BKI ermittelt. Daher wurde die Kostengruppe 300 (Bauwerk – Rohbau) herangezogen, um die Gebäude zu klassifizieren. Das Wirkmodell bietet anhand der folgenden Kategorien jeweils drei Möglichkeiten an, die im Folgenden vorgestellt werden.

Tabelle 5: Zusammenhänge zwischen Gebäudebeschreibung und Kostenprognose

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
Baukörper	gekoppelt daran: Errichtungskosten (310, 320) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Außenwände / Fassade	gekoppelt daran: Errichtungskosten (330) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Innenwände	gekoppelt daran: Errichtungskosten (340) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Decken / Böden	gekoppelt daran: Errichtungskosten (350) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Dächer	gekoppelt daran: Errichtungskosten (360) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Einbauten	gekoppelt daran: Errichtungskosten (370) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Besondere Maßnahmen	gekoppelt daran: Errichtungskosten (390) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)

Im Prognosemodell gibt es i. d. R. jeweils eine Kategorie „A“, „B“ und „C“, wobei die Kategorie „B“ der Standardausstattung (Analogie zur Kategorisierung „mittel“) entspricht. Die unterschiedlichen Kategorien sind absichtlich so „ungenau“ verfasst, dass die Festlegung in der frühen Planungsphase auch wirklich möglich ist.

Am Beispiel der ersten Kategorie „Außenwände/Fassade“ soll dies verdeutlicht werden. Gewiss hat der Bauherr noch keine detaillierte Vorstellung, wie die Fassade des Gebäudes im Detail aussehen soll, aber wesentliche Merkmale sind entweder bekannt, oder es stehen unterschiedliche Varianten zur Auswahl. Nimmt man zum Beispiel die Phase eines Architekturwettbewerbes, so könnte ein Entwurf beispielsweise eine Glasfassade aufweisen, ein anderer vielleicht ein monolithisches Mauerwerk und ein dritter eine vorgehängte Metallfassade. Genau diese „Detailtiefe“ nimmt auch das Modell auf. Die drei Möglichkeiten für die Kategorie „Außenwände / Fassade“ lauten:

- Lochfassade; monolithische Wände; einfache Materialien (Putz)
- Fensterbänder; vorgehängte Fassade
- Pfosten-Riegel-Fassade; hochwertige Materialien (Naturstein, Metalle)

Bei der Entwicklung des Modells wurde natürlich darauf geachtet, dass die Beschreibungen der einzelnen Kategorien gut mit den Definitionen der Kostengruppen nach BKI bzw. mit der Kategorisierung der IBI-Benchmarkdatenbank harmonisieren.

Der nächste Teil des Prognosemodells deckt den Teil ab, auf den das Projekt einen Schwerpunkt gesetzt hat: die technische Gebäudeausstattung.

Zum einen orientieren sich die Kategorien hier auch an den Kostengruppen nach BKI, aber vor allem auch an der Kategorisierung der IBI-Benchmarkdatenbank – denn insbesondere die Betriebskosten für Heizung, Strom, Wasser, sowie die technische Wartung und Instandhaltung sind von großem Interesse bei der Wahl zwischen unterschiedlichen Gebäudevarianten. Auch hier gilt, dass die unterschiedlichen Varianten so einfach wie möglich, aber so detailliert wie nötig definiert wurden, so dass in der frühen Planungsphase die Möglichkeit besteht, diese Definition auch vorzunehmen. Zumindest kann innerhalb der einzelnen Kategorien die Festlegung getroffen werden, welche Ziele erreicht werden sollen: Beispielsweise, ob eine herkömmliche Heizung installiert werden soll, oder ob (evtl. in Übereinstimmung mit der CSR des Unternehmens) eine innovative Wärmeversorgung geplant ist. Daher gibt es in der Kategorie Wärmeversorgung auch „nur“ zwei Varianten:

- Standard-Heizungsversorgung; überwiegend Heizkörper
- Überwiegend Fußbodenheizung; zusätzliche Solarkollektoren; regenerative Wärmeversorgung

Die Kategorien, die festgelegt werden müssen, sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 6: Kurzbeschreibung der Gebäudekategorien

<b>Bezeichnung</b>	<b>Kurzbeschreibung</b>
Sanitärausstattung	gekoppelt daran: Errichtungskosten (410) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Wärmeversorgung	gekoppelt daran: Errichtungskosten (420) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Klimatisierung	gekoppelt daran: Errichtungskosten (430) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Elektroversorgung	gekoppelt daran: Errichtungskosten (440) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Technische Ausstattung	gekoppelt daran: Errichtungskosten (450, 480, 490) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)
Aufzüge	gekoppelt daran: Errichtungskosten (460, 470) und Qualitätseinstufung (Betriebskosten)

Aus den gewählten Kategorien wird mit der im Kapitel 2.1 beschriebenen Punktzuordnung die Gebäudequalität ermittelt, die dann als Grundlage für die Nutzungskosten dient.

Abbildung 16: Abbildung des entwickelten Excel-Tools

<b>ERRICHTUNG</b>		
Kurzbeschreibung zur Kategorie.... A = geringe, B = mittlere, C = hohe Anforderung		
Es gilt die Kategorie zu wählen, die am besten zutrifft; i. d. R. ist B als "Standard" zu wählen.		
<b>BITTE WÄHLEN</b>		
<b>Baukörper</b>	B ▼	zusammengesetzter / gegliederter Baukörper
<b>Außenwände / Fassade</b>	C ▼	Pfosten-Riegel-Fassade; hochwertige Materialien (Naturstein, Metalle)
<b>Innenwände</b>	A ▼	gemauerte Innenwände
<b>Decken / Böden</b>	B ▼	abgehängte Decken; einzelne Bodenkanäle; Textil-, Holz-, Steinbodenbeläge
<b>Dächer</b>	A ▼	Wellfaserzement-, Blech-, Bitumen-, Kunststoff- oder Folieneindeckungen; Bekiesung
<b>Einbauten</b>	B ▼	wenige Einbauschränke oder -regale
<b>besondere Maßnahmen</b>	B ▼	keine
<b>Sanitärausstattung</b>	A ▼	einfache Sanitäranlagen
<b>Wärmeversorgung</b>	B ▼	Standard-Heizungsversorgung; überwiegend Heizkörper
<b>Klimatisierung</b>	C ▼	Vollklimatisierung; Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
<b>Elektroversorgung</b>	C ▼	Blitzschutzanlagen; Sicherheits- und Notbeleuchtungsanlagen; Photovoltaikanlage(n); Unterbrechungsfreie Ersatzstromanlagen; zentrale Batterieanlagen
<b>Technische Ausstattung</b>	B ▼	EDV-Verkabelung; Zugangskontrolle
<b>Aufzüge</b>	B ▼	ein/zwei Personenaufzug/-züge (keine Glaskabine)

### 5.3 Prognose der Betriebskosten

Die detaillierten Informationen zu den hinterlegten Modellen wurden im Kapitel 3.3 vorgestellt. Da die Datenbanknutzung kostenpflichtig ist, können die Ergebnisse hier nicht im Detail zur Verfügung gestellt werden. Weitergehende Informationen zum Immobilien-Benchmark-Institut (IBI) können bei der Fachhochschule Kufstein eingeholt werden.

## 5.4 Prognose der Abbruchkosten

Unter Angabe der zwei folgenden Rahmenparameter können die wesentlichen Abbruchkosten ermittelt werden:

- **Art des Abbruchs**
  - Konventionell
  - Teils selektiv
  - Selektiv
- **Bauweise des Gebäudes**
  - Holz-Fachwerkhäuser
  - Massivbau
  - Stahlbeton-Skelettbau
  - Beton-Massivbau
  - Stahl-Fachwerk-Gebäude

Damit können in Abhängigkeit des Brutto-Rauminhalts gemäß der Handlungshilfe des LfU (Landesanstalt für Umweltschutz, 2001) im Weiteren die Kosten für den Abbruch des Gebäudes festgelegt werden. Zunächst wird über die BRI des Gebäudes, und je nach Bauweise, die Menge an Abbruchmaterialien folgender Sorten ermittelt:

- Beton
- Ziegel
- Holz
- Metalle
- Restabfall
- Sonstiges

Die folgende Tabelle weist die Anteile in Tonnen je Kubikmeter BRI aus.

Tabelle 7: Materialanteile der unterschiedlichen Bauweisen

Bauweise	Materialanteile in t /m <sup>3</sup> BRI					
	Beton	Ziegel	Holz	Metalle	Restabfall	Sonstiges
Massivbau	0,137	0,206	0,008	0,003	0,015	0,003
Beton-Massivbau	0,036	0,238	0,028	0,003	0,004	0,001
Stahlbeton-Skelettbau	0,23	0,006	0,004	0,002	0,002	0,002
Stahl-Fachwerk-Gebäude	0,369	0,05	0,002	0,006	0,002	0,002
Holz-Fachwerk-Gebäude	0,077	0,023	0,009	0,016	0,001	0,001

Unter Berücksichtigung der Abbrucharten müssen noch die Anteile des zu entsorgenden Materials berücksichtigt werden, die in den jeweiligen Kategorien überhaupt möglich sind. So sind beim konventionellen Abbruch lediglich 40 % der Materialien sortenrein zu entsorgen, weitere 50 % sind in der Kategorie Sonstiges zu berücksichtigen und immerhin 10 % müssen dem Restmüll zugeordnet werden.

Die folgenden Tabellen zeigen die Anteile Materialkategorien für die Abbrucharten Konventionell und Teils selektiv.

Tabelle 8: Anteile der Materialkategorien im Fall des konventionellen Abbruchs

Art der Entsorgung	Beton	Ziegel	Holz	Metalle
Sortenrein	40 %	40 %	50 %	50 %
Sonstiges	50 %	50 %		
Restabfall	10 %	10 %	50 %	50 %

Tabelle 9: Anteile der Materialkategorien im Fall des teils selektiven Abbruchs

Art der Entsorgung	Beton	Ziegel	Holz	Metalle
Sortenrein	75 %	75 %	90 %	90 %
Sonstiges	21 %	21 %		
Restabfall	4 %	4 %	10 %	10 %

Für die selektive Entsorgung wird davon ausgegangen, dass alle Materialien zu 100 % sortenrein entsorgt werden.

Durch Multiplikation der Baumasse ( $m^3$  BRI) in den oben angeführten Materialanteilen können dann die Mengen der zu entsorgenden Materialien ermittelt werden.

Beispiel: 5.000  $m^3$  BRI Beton-Massivbau, Teils selektiver Abbruch

Die Verteilung der Materialanteile erfolgt gemäß Tabelle 5 in Tonnen pro  $m^3$  BRI. Daraus ergeben sich folgende Tonnagen:

- Beton = 180t, wovon 75 % sortenrein entsorgt werden, also 135t
- Ziegel = 1.190t, wovon 75 % sortenrein entsorgt werden, also 892,5t
- Holz = 140t, wovon 90 % sortenrein entsorgt werden, also 126t
- Metalle = 15t, wovon 90 % sortenrein entsorgt werden, also 13,5t
- Sonstiges = 5t; zzgl. 21 % aus der Kategorie Beton, also 37,8t; zzgl. 21 % aus der Kategorie Ziegel, also 249,9t; ergibt in Summe 292,7t
- Restabfall = 20t; zzgl. 4 % aus der Kategorie Beton, also 7,2t; zzgl. 4 % aus der Kategorie Ziegel, also 47,6t; zzgl. 10 % aus der Kategorie Holz, also 14t; zzgl. 10 % aus der Kategorie Metalle, also 1,5t; ergibt in Summe 90,3t

Diese Entsorgungsmengen müssen dann mit den Entsorgungskosten multipliziert werden. Die Berechnung ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 10: Beispielrechnung Entsorgungskosten

Entsorgungsmaterial	Entsorgungsmenge [t]	Entsorgungspreis je Tonne [€]	Entsorgungspreis je Material [€]
Beton	135	9,56	1.290,60
Ziegel	892,5	9,56	8.532,30
Holz	126	71,69	9.032,94
Metalle	13,5	-35,85	-483,98
Sonstiges	292,7	14,93	4.359,56
Restabfall	90,3	209,08	18.879,92
Summe Entsorgungskosten			<b>33.376,20 €</b>

Hinzugerechnet werden noch die Kosten für die Entkernung des Gebäudes. Dieser Wert liegt bei 3,10 €/m<sup>3</sup> BRI, wobei der Aufwand für den selektiven Abbruch mit dem Faktor 1,5 multipliziert werden muss. Für das obige Rechenbeispiel ergeben sich 15.500,-€ Entkernungskosten.

Schließlich werden noch die Abbruchkosten des entkernten Gebäudes ermittelt, ebenfalls über einen festen Wert je m<sup>3</sup> BRI. Dieser ändert sich in Abhängigkeit von der gewählten Bauweise des Gebäudes. Für Beton-Massivbau beispielsweise liegt er bei 5,14 €/m<sup>3</sup> BRI, woraus sich für das Rechenbeispiel die Summe von 25.700,- € ergibt.

Diese Hintergrundinformationen dienen in dem Excel-Tool als Datengrundlage. Durch die Auswahl bestimmter Kategorien (vgl. Abbildung 16) werden automatisch die Kosten berechnet und ausgewiesen.

## 6 Anwendung des Prognosemodells an realen Gebäuden

### 6.1 Testreihe 1

In der ersten Testphase wurden 27 Gebäude des Projektpartners CREIS Real Estate Solutions jeweils in das Wirkmodell eingegeben und anschließend mit den Ergebnissen der vorliegenden Aufzeichnungen (Errichtungskosten für KG 300 und 400, Instandhaltungskosten Technik, Stromkosten und Heizkosten) abgeglichen.

Diese 27 Testgebäude wurden nach folgenden Kriterien ausgesucht:

- Jeweils 9 Gebäude in den Kategorien Qualität einfach, mittel und hoch
- Je Qualitätsstufe 3 Gebäude in 3 unterschiedlichen Altersgruppen:
  - < 5 J. (innerhalb der Gewährleistungsfrist)
  - 5 – 15 J.
  - > 15 J. (Sanierungsbedürftig)

Die realen Errichtungskosten der Gebäude der Kategorie „Qualität einfach“ lagen durchwegs unterhalb der vom Wirkmodell ermittelten Kosten, in Bandbreiten von rund -23 % bis hin zu -62 % der Kosten. Die jährlichen Instandhaltungskosten der Gebäudetechnik lagen sogar um -94 % unter den prognostizierten Kosten gemäß Wirkmodell – wobei es sich in diesem Fall um eines der jüngeren Gebäude handelt, weshalb diese Abweichung nicht so ungewöhnlich ist. Die anderen Werte wichen zwischen -44 % und +2 % ab. Die Stromkosten bewegten sich im Bereich von -12 % bis hin zu +37 %, wobei die drei Gebäude, die mehr als 30 % Abweichung aufwiesen, die Sanierungsbedürftigen waren. Die Heizkosten lagen im Bereich von -69 % bis hin zu +14 %, wobei hier interessanterweise die sanierungsbedürftigen Gebäude diejenigen waren, die -27 % bis -69 % Abweichung aufwiesen. Daraus ließe sich folgern, dass ältere Gebäude nicht so stark geheizt werden, oder dass die Beheizung kontrollierter auf die Räume beschränkt ist, die auch genutzt werden.

In der Kategorie „Qualität mittel“ lagen die realen Errichtungskosten im Bereich von -33 % bis +4 % Abweichung zu den prognostizierten Kosten. Die jährlichen Instandhaltungskosten der älteren Gebäude wichen im Bereich von mehr als +21 % bis +41 % von den im Modell prognostizierten Werten ab – die neueren Gebäude im Bereich von +10 % bis hin zu +28 %. Hier entstehen also offensichtlich höhere Kosten, als von der Ausstattungsqualität her zu erwarten wäre. Die realen Stromkosten weichen von -17 % bis hin zu +28 % von den prognostizierten Werten ab. Die Heizkosten weisen Abweichungen in den Bereichen von -24 % bis hin zu +45 % auf, wobei die höheren positiven Abweichungen bei den älteren Gebäuden entstehen und die negativen Abweichungen bei den neuen Gebäuden (also scheinen die neueren, besser gedämmten Gebäude tatsächlich niedriger im Verbrauch).

In der Qualitätskategorie „Hoch“ lagen die prognostizierten Errichtungskosten im Bereich von -32 % bis hin zu +10 % Abweichung gegenüber den realen Kosten. Die jährlichen Instandhaltungskosten weichen hier am stärksten von den prognostizierten Kosten ab – alle Gebäu-



de haben reale Kosten, die im Bereich von +18 % bis hin zu +53 % abweichen, mit einer Ausnahme in der Höhe von -5 %. Daraus ließe sich nun ableiten, dass die Wartungs- und Instandhaltungskosten der hochwertigen Gebäudetechnik doch aufwendiger und kostenintensiver ist, als bisher angenommen. Die realen Stromkosten liegen bei allen Gebäuden in einer Bandbreite von -18 % bis +16 %.

Mit einer Ausnahme: Eine Abweichung von +30 % – interessanterweise ist dieser Ausreißer eines der neuesten Gebäude. Die realen Heizkosten aller 9 Testgebäude aus der Kategorie „Hohe Qualität“ lagen über den prognostizierten Werten – im Bereich von +15 % bis hin zu +45 %.

Es wurde festgestellt, dass eine Korrektur der realen Bauwerksherstellkosten der älteren Gebäude mit den zur Verfügung stehenden Baukostenindizes des statistischen Bundesamtes ([www.destatis.de](http://www.destatis.de)) zu gravierenden Abweichungen führte. Dies wiederum legte nahe, dass die betreffenden Gebäude entweder sehr kostengünstig gebaut wurden, oder dass eine „rückwirkende“ Kostenanalyse alter Gebäude mit dem entwickelten Modell nicht funktioniert.

Zudem ergab die Durchführung der Prognosen immer wieder Hebel, wo man ansetzen konnte, um die Annahmen zu verbessern und die Zusammenhänge differenzierter darstellen zu können.

Schließlich wurden die Zusammenhänge der Ausstattungsqualitäten und der Elementgruppen nochmals im Detail analysiert und einige Adaptierungen vorgenommen, woraus das Prognosemodell\_V2 hervorging.

## **6.2 Testreihe 2**

Auch nach der Überarbeitung des Wirkmodells und der Verfeinerung der Zusammenhänge, insbesondere der Nutzungskosten, waren die Ergebnisse der Nutzungskosten nicht zufriedenstellend.

Dies lag insbesondere an den jährlichen Schwankungen der Nutzungskosten. Das Prognosemodell ist aufgrund der Abhängigkeit empirisch festgestellter Abhängigkeiten und daraus abgeleiteter, mathematischer Formeln nicht in der Lage, mehrjährig anfallende Kosten einzeln auszuweisen. Stattdessen wird die Summe aller, in der Restnutzungsdauer des Gebäudes anfallenden Kosten aufsummiert und anschließend (regelmäßig) auf die Jahre verteilt.

Ein neues Sample an Testgebäuden für die mehrjährig dokumentierten Kostendaten für die Nutzungskosten war nötig.

## **6.3 Testreihe 3**

Für die dritte Testreihe wurden neue Gebäude zum Abtesten ausgewählt: Es wurden für diese Testreihe zunächst 10 Gebäude herangezogen, für die aus sechs aufeinander folgenden Jahren die Informationen zu den Nutzungskosten vorlagen.

Auch hier konzentrierten sich die Untersuchungen auf die Bereiche Errichtungskosten – Bauwerk und Technische Ausstattung, sowie die Nutzungskosten in den Kategorien Technischer Betrieb, Wasserkosten, Heizkosten und Stromkosten.

Die folgenden Tabellen zeigt die prozentuale Abweichung der untersuchten 10 Gebäude in den jeweiligen Kategorien (Ergebnis Prognosemodell vs. reale Kostendaten).

Tabelle 11: Ergebnisse der Testgebäude 1 bis 5, Prognosemodell\_V3

	Büro 1 Q hoch	Büro 2 Q hoch	Büro 3 Q hoch	Büro 4 Q hoch	Büro 5 Q hoch
<b>Abweichung</b>	%	%	%	%	%
<b>Errichtung</b>	<b>-4,51</b>	<b>-8,59</b>	<b>-14,16</b>	<b>-0,19</b>	<b>-9,96</b>
Bauwerk	-8,02	-11,71	-23,94	-5,59	-6,93
Technik	2,83	-3,24	22,23	-0,19	-17,16
<b>Nutzung</b>					
Technischer Betrieb	<b>-23,86</b>	<b>-0,52</b>	<b>-3,88</b>	<b>-5,25</b>	<b>-29,60</b>
Wasser	<b>19,80</b>	<b>20,03</b>	<b>48,19</b>	<b>40,19</b>	<b>63,39</b>
Wärme	<b>-6,73</b>	<b>7,57</b>	<b>0,93</b>	<b>14,33</b>	<b>-17,52</b>
Strom	<b>128,90</b>	<b>68,35</b>	<b>74,20</b>	<b>127,08</b>	<b>146,74</b>

Tabelle 12: Ergebnisse der Testgebäude 6 bis 10, Prognosemodell\_V3

	Büro 6 Q mittel	Büro 7 Q mittel	Büro 8 Q hoch	Büro 9 Q hoch	Büro 10 Q hoch
<b>Abweichung</b>	%	%	%	%	%
<b>Errichtung</b>	<b>9,01</b>	<b>11,84</b>	<b>-3,29</b>	<b>-4,47</b>	<b>-14,33</b>
Bauwerk	10,59	14,30	-7,84	-7,90	-11,71
Technik	-6,84	11,84	9,73	1,99	-20,03
<b>Nutzung</b>					
Technischer Betrieb	<b>10,16</b>	<b>-0,17</b>	<b>-9,11</b>	<b>-8,58</b>	<b>-3,86</b>
Wasser	<b>75,96</b>	<b>21,05</b>	<b>72,18</b>	<b>34,51</b>	<b>53,50</b>
Wärme	<b>29,98</b>	<b>11,77</b>	<b>0,97</b>	<b>9,85</b>	<b>-5,03</b>
Strom	<b>75,72</b>	<b>66,53</b>	<b>128,64</b>	<b>114,22</b>	<b>77,81</b>

Die Errichtungskosten, der technische Betrieb, wie auch die Kosten der Wärmeversorgung sind im Schwankungsbereich von +/- 30% zu finden, wohingegen die Wasser- und Stromkosten dieser Gebäude weit über den prognostizierten Kosten liegen.

In einer weiteren Überarbeitungsrunde wurden die Hintergrundinformationen zu den Gebäuden nochmals genauer analysiert. Für die hier untersuchten Gebäude lagen auch die Verbrauchswerte der jährlichen Ablesungen vor.

Aus der Analyse der Verbrauchsablesungen wurde Folgendes deutlich: All diese Gebäude haben einen recht hohen Stromverbrauch, der Durchschnitt über alle zehn Gebäude und alle Jahre liegt bei 152 kWh/m<sup>2</sup>a. Da der prognostizierte Wert aber um ein Vielfaches über den realen Werten liegt, würde dies bedeuten, dass die Bürogebäude in der Benchmarkdatenbank noch höhere Verbrauchszahlen haben. Dies schien unrealistisch, weshalb nochmals die Hintergrunddaten der Wirkmodelle der einzelnen Nutzungskostenkategorien detailliert analysiert wurden.

Nach nochmaliger Überprüfung aller empirisch festgestellten Zusammenhänge anhand der Benchmarkdatenbank und der Überprüfung aller hinterlegten Formeln im Prognosemodell selber wurde ein Verknüpfungsfehler festgestellt. Zudem wurden die Regressionsanalysen nochmals in der Datenbank durchgeführt, wobei diesmal die Ausreißer eliminiert wurden. Aus dem überarbeiteten Modell ergab sich schließlich die letzte Testreihe.

## 6.4 Testreihe 4

Für ein Sample von insgesamt 50 Gebäuden der Fa. Neumann + Partner, „CREIS Real Estate Solutions“ wurde das Excel-Tool herangezogen und 50 Gebäude berechnet, als ob sie in Planung wären. Dafür wurden die nötigen Angaben im Excel getätigt und die Ergebnisse aus dem Prognosemodell mit den realen Daten verglichen. Die realen Daten bestanden in diesem Fall aus den Errichtungskosten für das Bauwerk und die technische Ausstattung des Gebäudes; des Weiteren lagen für alle Gebäude die Betriebskosten jeweils für 6 aufeinander folgende Jahre vor: die Kosten für den technischen Betrieb (Betrieb, Wartung und Instandsetzung), die Kosten für Stromverbrauch, die Kosten für den Heizmittelverbrauch und die Kosten für den Wasserverbrauch.

Die folgenden Tabellen stellen die Ergebnisse der 50 Gebäude – geclustert in die Qualitätsstufen einfach, mittel und hoch – gesamt im Überblick dar. Im Anschluss wird auf die einzelnen Ergebnisse noch detaillierter eingegangen.

- Die Spalte „Ø reale Kosten“ weist die über die Gebäude gemittelten, tatsächlich vorliegenden Kosten in Euro je Quadratmeter Nutzfläche aus.
- Die Spalte „Ø Wirkmodell“ weist die für die Gebäude prognostizierten, gemittelten Kosten gemäß der Berechnung mit dem Wirkmodell aus.
- Die Spalte „Differenz Median“ weist die Median-Abweichung des Vergleichs realer Kosten und prognostizierte Kosten in % aus.
- Die Spalten „Abweichung Min“ und „Abweichung Max“ bilden die Bandbreite der Abweichungen ab – dargestellt sind die kleinste und die größte Abweichung der prognostizierten Ergebnisse gegenüber den realen Daten der Gebäude in %.

#### 6.4.1 Die Ergebnisse der Gebäude in der Kategorie „Qualität einfach“

##### Errichtungskosten:

Zunächst die Übersichtstabelle der einzelnen Ergebnisse für die fünf zur Verfügung stehenden Gebäude in der Qualität einfach.

Tabelle 13: Ergebnisübersicht Errichtungskosten Testgebäude CREIS, Qualität „einfach“

	Ø reale Kosten	Ø Wirkmodell	Differenz Median	Abweichung Min	Abweichung Max
	€/ m <sup>2</sup> NF	€/ m <sup>2</sup> NF	%	%	%
<b>Errichtung</b>	<b>1.121,-</b>	<b>989,-</b>			
Bauwerk	896,-	800,-	1,19%	-3,18%	16,28%
Technik	225,-	189,-	-3,37%	-5,87%	-0,27%

Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, dass die Errichtungskosten real und ermittelt nach Prognosemodell im Durchschnitt absolut gesehen um 132,- €/m<sup>2</sup> voneinander abweichen. Diese Abweichung ist in Anlehnung an die Ermittlung nach BKI, im Rahmen von üblichen Schwankungsbreiten: Die Errichtungskosten für Büroimmobilien in der Gebäudequalität einfach finden sich i. d. R. im Bereich von 775,- bis 1.025,- €/m<sup>2</sup> BGF, also (unter Heranziehung des Umwandlungsfaktors 1,15 für das Verhältnis BGF/NF) bei rund 891,- bis 1.179,- €/m<sup>2</sup> NF ein. Die hier untersuchten realen Gebäuden haben Errichtungskosten von durchschnittlich 1.120,- €/m<sup>2</sup> NF und liegen somit im oberen Bereich der Daten gemäß BKI. Das Wirkmodell mit rund 990,- €/m<sup>2</sup> NF hingegen pendelt sich eher im mittleren Bereich ein. Dies begründet sich vor allem damit, dass die im Prognosemodell hinterlegten Werte im Wesentlichen die Mittelwerte aus der BKI darstellen.

Die Prognosegenauigkeit im Bereich der hier erreichten -6 % bis +17 % ist für die frühe Planungsphase sehr zufriedenstellend.

##### Betriebskosten:

Tabelle 14: Ergebnisübersicht Betriebskosten Testgebäude CREIS, Qualität „einfach“

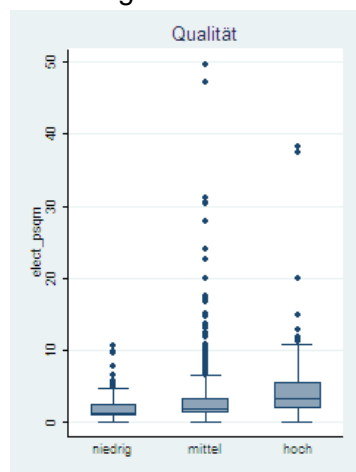
	Ø reale Kosten	Ø Wirkmodell	Differenz Median	Abweichung Min	Abweichung Max
	€/ m <sup>2</sup> NF	€/ m <sup>2</sup> NF	%	%	%
<b>Betrieb</b>	<b>14,16</b>	<b>10,55</b>			
Technischer Betrieb	3,86	3,33	-13,58 %	-18,46 %	-8,10 %
Wasser	1,49	0,98	-39,90 %	-43,84 %	-15,67 %
Wärme	5,56	4,56	-16,34 %	-30,58 %	-5,57 %
Strom	3,25	1,68	-48,55 %	-55,36 %	-31,59 %

Bei den Betriebskosten ist zu erkennen, dass zum einen die Mediane stärker abweichen, zum anderen auch die Bandbreiten der Prognosebereiche weiter gefächert sind, als bei den Errichtungskosten. Ebenso ist auffällig, dass die Kosten gemäß Prognosemodell durchweg niedriger prognostiziert wurden, als die datierten Kosten der realen Gebäude aufweisen. Dies hängt eng mit der Prognosegenauigkeit der Wirkmodelle zusammen (vgl. Kapitel 3.3).

Die Bandbreiten liegen hier über alle Kategorien betrachtet bei -55 % bis hin zu -5 % - wobei innerhalb derselben Kategorie die Wasserkosten die größte Bandbreite aufweisen (von -44 % bis -15 %). Dies ist beispielsweise dadurch zu erklären, dass die Jahresabrechnung über den gesamten Wasserverbrauch dokumentiert wird. Es kann nicht unterschieden werden, ob das Gebäude große Außenanlagen besitzt, die im Sommer bewässert werden, ob und wie viele Duschen, Handwaschbecken und Toiletten im Gebäude installiert sind und dergleichen.

Der Schwankungsbereich der Prognosegenauigkeit der Modelle ist in der folgenden Abbildung exemplarisch für den Bereich Stromkosten in Form einer Boxgrafik dargestellt.

Abbildung 17: Schwankungsbereiche / Boxgrafik für die Stromkosten



Die Abbildung zeigt, dass die in der Datenbank dokumentierten Stromkosten in der Gebäudequalität „mittel“ beispielsweise im Wesentlichen im Bereich von 0–8,- €/m<sup>2</sup> liegen, es aber auch einige Ausreißer (bis hin zu 49,- €/m<sup>2</sup>) gibt. Zwar wurden diese extremen Ausreißer (99 % Regel) im Prognosemodell V 4 nicht mit berücksichtigt, aber dennoch ist der Bereich der Streuung relativ groß. Es kann also durchaus sein, dass einzelne Gebäude (bzw. deren dokumentierte Daten) stärker von der Prognose abweichen.

#### 6.4.2 Die Ergebnisse der Gebäude in der Kategorie „Qualität mittel“

##### Errichtungskosten:

In dieser Qualitätskategorie konnten insgesamt 26 Gebäude analysiert werden.

Tabelle 15: Ergebnisübersicht Errichtungskosten Testgebäude CREIS, Qualität „mittel“

	Ø reale Kosten	Ø Wirkmodell	Differenz Median	Abweichung Min	Abweichung Max
	€/ m <sup>2</sup> NF	€/ m <sup>2</sup> NF	%	%	%
<b>Errichtung</b>	<b>1.465,-</b>	<b>1.484,-</b>			
Bauwerk	1.063,-	1.087,-	3,09 %	-21,25 %	12,66 %
Technik	402,-	397,-	4,86 %	-28,75 %	44,17 %

Aus dieser Tabelle wird zunächst ersichtlich, dass die Errichtungskosten real und ermittelt nach Wirkmodell im Durchschnitt absolut gesehen um 19,- €/m<sup>2</sup> voneinander abweichen und der Median der Abweichungen lediglich bei 3 bzw. 5 % liegt. Diese Abweichung ist absolut unbedenklich. Der Schwankungsbereich der Gebäude in dieser Kategorie ist weiter gefächert. Bei den Bauwerkskosten liegt der Schwankungsbereich bei grob +/- 20 %, bei den Technikkosten etwas höher. Hier liegen die Mittelwerte nach BKI im Bereich von 196,- bis 423,- €/m<sup>2</sup> BGF, also im Bereich von etwa 225,- bis 487,- €/m<sup>2</sup> NF. Die maximale Abweichung von -29 % bis hin zu +44 % spannen also diese Kosten nach Wirkmodell auf im Bereich von 282,- €/m<sup>2</sup> NF bis hin zu 572,- €/m<sup>2</sup> NF. In diesem Fall resultiert das unter anderem daraus, dass in einigen dieser Gebäude eine Vollklimatisierung installiert ist, was bei dem hier zugrunde gelegten Wirkmodell dazu führt, dass die Errichtungskosten in der Kosten-Gruppe 430 (Lufttechnische Anlagen) aus der Kategorie „hoch“ herangezogen wurden. Es ist jedoch festzuhalten, dass in der frühen Planungsphase eine Prognosegenauigkeit von +/- 40 % durchaus akzeptabel ist. Und betrachtet man die Abweichungen im Mittel, lässt sich auch hier sagen: Eine Prognosegenauigkeit von etwa 5 % ist mehr als zufriedenstellend.

##### Betriebskosten:

Tabelle 16: Ergebnisübersicht Betriebskosten Testgebäude CREIS, Qualität „mittel“

	Ø reale Kosten	Ø Wirkmodell	Differenz Median	Abweichung Min	Abweichung Max
	€/ m <sup>2</sup> NF	€/ m <sup>2</sup> NF	%	%	%
<b>Betrieb</b>	<b>14,85</b>	<b>12,94</b>			
Technischer Betrieb	4,19	4,13	-26,88 %	-50,05 %	54,85 %
Wasser	1,38	1,27	-17,16 %	-40,21 %	71,13 %
Wärme	5,57	4,54	-22,51 %	-44,11 %	13,99 %
Strom	3,71	3,00	-36,74 %	-62,42 %	96,58 %

Im Bereich der Betriebskosten ist der Effekt des größeren Schwankungsbereiches noch deutlicher zu sehen. Dies hat zum Teil den Grund, dass die Kategorisierung der Gebäudequalität in der IBI-Datenbank manuell erfolgt: Wenn eine Person die Wahl zwischen drei möglichen Varianten hat, wählt sie intuitiv am ehesten die Mitte – also in diesem Fall die Qualität „mittel“. Unterstützt wird diese Feststellung auch durch die Abbildung 17, die verdeutlicht, dass die Schwankungsbereiche der unterschiedlichen Qualitätsstufen unterschiedlich stark ausgeprägt sind.

### 6.4.3 Die Ergebnisse der Gebäude in der Kategorie „Qualität hoch“

#### Errichtungskosten:

Auch hier zeigt die Tabelle zunächst den Überblick über alle Ergebnisse.

Tabelle 17: Ergebnisübersicht Errichtungskosten Testgebäude CREIS, Qualität „hoch“

	Ø reale Kosten	Ø Wirkmodell	Differenz Median	Abweichung Min	Abweichung Max
	€/ m <sup>2</sup> NF	€/ m <sup>2</sup> NF	%	%	%
<b>Errichtung</b>	<b>2.303,-</b>	<b>2.391,-</b>			
Bauwerk	1.664,-	1.700,-	3,81 %	-9,74 %	14,66 %
Technik	640,-	691,-	10,87 %	-6,60 %	28,18 %

Die Errichtungskosten liegen in diesem Fall im Schwankungsbereich von -10 % bis +30 % was eine absolut zufrieden stellende Prognose für die Level 1 Detailtiefe darstellt.

#### Betriebskosten:

Tabelle 18: Ergebnisübersicht Betriebskosten Testgebäude CREIS, Qualität „hoch“

	Ø reale Kosten	Ø Wirkmodell	Differenz Median	Abweichung Min	Abweichung Max
	€/ m <sup>2</sup> NF	€/ m <sup>2</sup> NF	%	%	%
<b>Betrieb</b>	<b>21,22</b>	<b>21,09</b>			
Technischer Betrieb	6,95	7,24	32,07 %	-69,21 %	53,40 %
Wasser	1,73	1,90	29,17 %	-65,16 %	58,60 %
Wärme	7,80	5,74	-8,99 %	-80,04 %	3,07 %
Strom	4,74	6,21	63,65 %	-61,73 %	86,88 %

Für die Betriebskosten ist festzustellen, dass die Bandbreiten noch stärker gestreut sind, als in der Qualität „mittel“ bereits beschrieben. Dies wurde bereits mehrfach mit Hilfe der Abbildung 17 verdeutlicht. Erklären lässt sich dies nur schwer – ein Ansatz ist, dass die „Zusatzfeatures“ eines Gebäudes insbesondere dazu genutzt werden, die Qualität zu bestimmen.

Also wurden für die Entscheidung, das Gebäude in der Kategorie Qualität „hoch“ anzusiedeln, Besonderheiten herangezogen, wie beispielsweise Wasserspiele im Foyer, die Cafeteria, besonders repräsentative Atrien oder Empfangshallen und dergleichen, die jedoch indirekt dazu beitragen, dass die Prognose unsicherer wird, da nicht ersichtlich ist, welche Besonderheiten dazu geführt haben, dass dieses bestimmte Gebäude in der Qualitätskategorie „hoch“ eingeordnet wurde. Die Prognose ist daher noch unsicherer als bei den oben analysierten Qualitätsstufen.

Auch hier lässt sich jedoch sagen, dass die Differenz im Mittel noch akzeptabel für die erste Planungsphase ist – mit Ausnahme der Kategorie Stromkosten.

#### **6.4.4 Fazit der Testreihen**

Festgestellt wurde, dass das im Rahmen des Projektes erarbeitete Prognosemodell eine gute Methode darstellt, mit wenigen Informationen schnelle und recht zuverlässige Prognosen über die zu erwartenden Lebenszykluskosten eines Gebäudes zu erhalten. Die Level 1 Analyse ist möglich.

Eine Erweiterung des Wirkmodells in Richtung Level 2 würde einige Weiterentwicklungen erfordern, auf die im folgenden Absatz näher eingegangen wird.

Im Bereich der Errichtungskosten ist es erforderlich, dass die Kostenkategorien detaillierter definiert werden müssten. Am Beispiel der Außenwände soll dies exemplarisch verdeutlicht werden:

Die Angaben im Level 1 für Außenwände sind definiert in den folgenden 3 Kategorien:

- Lochfassade; monolithische Wände; einfache Materialien (Putz)
- Fensterbänder; vorgehängte Fassade
- Pfosten-Riegel-Fassade; hochwertige Materialien (Naturstein, Metalle)

Für eine Level-2-Prognose wäre die Ausführung der Außenwände wesentlich detaillierter zu definieren, wie z. B.

- Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, d=36,5 cm; Außenputz
- Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, d=24 cm, Außenputz
- Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, d=36,5 cm; Vorgehängte Eternitfassade
- Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, d=24 cm; Vorgehängte Eternitfassade
- Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, d=36,5 cm; Vorgehängte Natursteinfassade
- Tragendes Kalksandstein-Mauerwerk, d=24 cm; Vorgehängte Natursteinfassade

Mit den Informationen auf dieser Ebene (Zweite Ebene der KG nach DIN 267) wären genauere Prognosen möglich – wie hier dargestellt; dafür sind aber auch genauere Definitionen nötig, die eine zeitaufwändige Datendokumentation erfordern.



## 7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das im Rahmen des Projektes erarbeitete Prognosemodell stellt eine praktikable Methode dar, mit wenigen Informationen schnell und recht zuverlässige Prognosen über die zu erwartenden Lebenszykluskosten eines Gebäudes zu erhalten. Mit den entsprechenden Daten hinterlegt, können belastbare Prognosen erstellt werden. Auch eine Erweiterung des Modells in Richtung Level 2 ist theoretisch möglich. Dies erfordert jedoch eine Erweiterung der bestehenden Detailtiefe der Informationen – insbesondere im Bereich der Betriebskosten. Auch hier ist theoretisch eine Erweiterung möglich (siehe Kapitel 4), derzeit ist jedoch die Bereitschaft zur Eingabe umfangreicher Dateninformationen in eine Datenbank noch immer sehr gering. Es müssten verstärkt internetbasierte Lösungen geschaffen werden, die es ermöglichen, beispielsweise Messdaten aus der Jahresabrechnung (Verbrauchsdatenerfassung) und zugehörige Kosteninformationen in eine Gebäudedatenbank einzulesen, ebenso wie die gebäudespezifischen Informationen beispielsweise aus den Energieausweisen oder Zertifizierungsprozessen. Wenn alle Informationen zu einem Gebäude zentral in einer Datenbank gesammelt werden könnten, wäre eine Verknüpfung der Daten und darauf basierend eine ganzheitliche Betrachtung des Gebäudes wesentlich einfacher zu realisieren, als zeit- und somit kostenintensive, manuelle Dateneingaben zu entwickeln bzw. weiter auszubauen. Da weitgehend Bedenken hinsichtlich der transparenten Handhabung von Kostendaten bestehen, wird die Realisierung einer automatisierten Prognose in detaillierter Art und Weise (Level 2 und 3) in näherer Zukunft jedoch nicht für die Allgemeinheit zu realisieren sein.

## 8 Verbreitung der Ergebnisse

### **Veröffentlichungen – Double Blind Peer Reviewed**

- Keiler, S.; Schrag, T.; Stocker, E. (2010): *LCC: Benchmarking Plus*, FM Gespräche 2010, Kufstein (in Druck)
- Floegl, H., Madritsch, T. (2010), *Praxisnahe Analyse der Folgekostentreiber bei Gesundheitsimmobilien* in: Facility Management 2010, (in Druck)  
Schrag, T.; Keiler, S; Stocker, E.; Koch, D.; (2009): *Verbesserung der Lebenszykluskostenanalyse mit Regressionsanalysen*, In: Zimmermann, J.(Hrsg.) (2010): Tagungsband: 1. agenda4 Forschungssymposium der Baubetriebs- und Immobilienwissenschaften, agenda4 e.V.

### **Konferenzen**

- Madritsch, T. (2009): *Best Practice Benchmarking in order to analyze operating costs in the health care sector*, European Real Estate Management Conference ERES 2009, Royal Institute of Technology – KTH, Stockholm, Sweden
- Madritsch, T. (2009): Facility Management as Management Discipline and Developments in Europe, Guest lecturing, Pratt Institute New York, USA
- Groß, M. (2010): Lebenszykluskosten-Prognosemodell; Projektvorstellung im HdZ Plus Workshop, Wien
- Groß, M. (2010): Lebenszykluskosten: Prognosemodell und Überprüfung der prognostizierten Daten anhand von Bestandsgebäuden; Forum Building Science 2010, Krems a. d. Donau

### **Eingereicht**

- Keiler, S., Brunauer, W., Lang, S.: *Cost Drivers of Operation Charges and Variation over Time: An Analysis Based on Semiparametric SUR Models*, *Energy and Buildings*

## 9 Literaturverzeichnis

- Adensam, H., Bruck, M., Geissler, S. (2000): Externe Kosten im Hochbau. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Wien. Geschäftszahl: 600.216/1-V/A/3/00
- ASTM E 917 (1999): Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems. Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ATIS Real Müller Facility Management (2003–2007): Key-Report Office.
- Baltagi, B. (2008): *Econometric Analysis of Panel Data*, Wiley Publishing.
- BKI-Bautabellen (2008): BKI-Baukosten 2008, Teil 1: Statistische Kostenkennwerte für Gebäude, 2. korrigierte Auflage. Baukosteninformationszentrum deutscher Architektenkammern, Stuttgart.
- Brunauer, W., David S., and Lang, S. (2007): The determinants of heating and maintenance costs: An empiric survey. *European Real Estate Society*.
- Dattakumar, R., and R. Jagadeesh. (2003): A review of literature on benchmarking. *Benchmarking: An International journal* 10,176–209.
- Dhillon, B. S. (1989): *Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications*, New York: Gordon & Breach.
- DIN 276 (2008): *Kosten im Bauwesen*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Enterprise Directorate-General (2003): *Sustainable construction final report: Task Group 4 Final Report: Life Cycle Costs in Construction*, Brussels.
- Fahrmeir, L., Kneib, T. & Lang, S. (2007): *Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen* (2. Auflage). Springer, Berlin
- Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I. & Tutz, G. (2009). *Statistik: Der Weg zur Datenanalyse* (Springer-Lehrbuch, German Edition). Springer
- Federal Energy Management Improvement Act (1988): *Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*. U.S. Public Law 100-165.
- Fürnrohr, M. (1992): *Stochastische Modelle zur Prognose von Lebenszykluskosten komplexer Systeme*. Dissertation an der Fakultät für Wirtschafts- und Organisationswissenschaften der Universität der Bundeswehr München.
- Geissler, S. (2007): *Immobilienbewertung als Instrument zur Forcierung der nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Schwerpunkt Energie) im Hochbau*. Schriftenreihe des Departments Nr.13-August 2007, Wien: Universität für Bodenkultur, Department für Bautechnik und Naturgefahren.
- Geissler, S., Groß, M. (2009): *Recherchen (Europa) als Grundlage für die Modellentwicklung*. Projektbericht, Wien: Österreichische Energieagentur.
- Greene, W. H. (2003): *Econometric analysis* (5. ed., in.). London: Prentice Hall Internat.

Herzog, K. (2005): Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen. Entwicklung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden, Darmstadt: Dissertation an der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Massivbau.

HM Treasury: The UK's economics & finance ministry. <http://www.hm-treasury.gov.uk/>

ISO 14040 ff: Life Cycle Assessment; ISO 14040 Goal and Scope (1997); ISO 14041 Life Cycle Inventory Analysis (1998); ISO 14042 Life Cycle Impact Assessment (2000); ISO 14043 Life Cycle Interpretation (2000).

ISO 15686-5 (2008): Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Whole life costing.

Jones, Lang, LaSalle (2000–2009): OSCAR – Office Service Charge Analysis Report; Jährliche Nebenkostenanalyse. Frankfurt am Main: Jones Lang LaSalle.

Keiler, S. (2009): Recherchen (international) als Grundlage für die Modellentwicklung; Projektbericht. Tirol: Fachhochschule Kufstein Tirol.

Kranewitter, H. (2007): Liegenschaftsbewertung, 5. Auflage, Wien: Manz'sche Verlags- und Universitätsbuchhandlung GmbH.

Langdon, D. (2007): Lebenszykluskalkulation (LCC) als Beitrag zu nachhaltiger Bebauung: Eine allgemeine Methodik. Zusammenfassender Abschlußbericht, im Auftrag der Europäischen Kommission.

Landesanstalt für Umweltschutz [LfU] (2001): Handlungshilfe Abbruch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden, 1. Auflage, Karlsruhe: Eigenverlag

Logistic Management Institute (1965): Life cycle costing in equipment procurement. Washington D.C. Zitiert in: Kohler, N.: Life Cycle Models of Buildings – a new approach. Ifib Veröffentlichung, ohne Jahreszahl. [http://www.ifib.uni-karlsruhe.de/web/ifib\\_dokumente/dokumente.php?user\\_id=44](http://www.ifib.uni-karlsruhe.de/web/ifib_dokumente/dokumente.php?user_id=44) [18.11.2005].

Malpezzi, S. (2003). Hedonic Pricing Models: A Selective and Applied Review. In T. O'Sullivan & K. Gibbs, Housing Economics and Public Policy: Essays in Honor of Duncan (pp. 67-89). Blackwell Science Ltd.

Messerschmidt, J. (2004): Sparer und Verschwender gibt es überall. Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten. *TGA Fachplaner*, 3(2), Seite 18-21.

National Energy Conservation Policy Act [NECPA] (1978): National Energy Conservation Policy Act. U.S.: Public Law 95-619

ÖNORM B 1801-1 (2007):Kosten im Hoch- und Tiefbau – Kostengliederung. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM M 7140 (2004): Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode – Begriffsbestimmungen, Rechenverfahren, Wien: Österreichisches Normungsinstitut.

Pelzeter, A. (2007): Lebenszykluskosten von Immobilien – Vergleich möglicher Berechnungsansätze. In: Zeitschrift für Immobilienökonomie 2/2007, Seite 38–54. Wiesbaden: Gesellschaft für Immobilienwirtschaftliche Forschung.

- Quddus, M., Graham, J. D., & Harris, N. (2007). Metro Station Operating Costs: An Econometric Analysis. *Journal of Public Transportation*, 10(2), Seite 93-107.
- Reisbeck, T. & Schöne, L. [Hrsg.] (2006): Immobilien-Benchmarking: Ziele, Nutzen, Methoden und Praxis. Springer Berlin: T. Reisbeck & B. L. Schöne.
- Riegel, G. W. (2004): Ein softwaregestütztes Berechnungsverfahren zur Prognose und Beurteilung der Nutzungskosten von Bürogebäuden. Dissertation, Darmstadt: Eigenverlag, Heft 8.
- Röhrich, P. (2007): Lebenszykluskosten-Ansätze für Planung und Betrieb von Gebäuden. Master-Thesis am Department für Bauen und Umwelt der Donau-Universität Krems.
- Sheppard, S. (1999). Hedonic Analysis of Housing Market. In P. C. Cheshire & E. S. Mills, *Handbook of Regional and Urban Economics (Nummer. 3, Seiten: 1595–1635)*. Elsevier.
- Sigg, R. (2008): Ermittlung der Life Cycle Costs von Immobilien im Projektdesign. In: *Tagungsband Facility Management 2008, Facility Management Tagung 2008 in Frankfurt am Main* [http://www.intep.ch/downloads/Artikel\\_LCC\\_Immobilien\\_Projektdesign.pdf](http://www.intep.ch/downloads/Artikel_LCC_Immobilien_Projektdesign.pdf).
- Stata Corp. (2009): Stata graphics: Reference manual release 11. College Station, Tex.: Stata Press.
- Stoy, C. & Kytzia, S. (2006). Benchmarking electricity consumption. *Construction Management and Economics*, 24(10), Seite 1083–1089. Routledge.
- Wooldridge, J. (2006): *Introductory econometrics: A modern approach*. (3. Auflage), Mason, Ohio: Thomson/South-Western.
- Wübbenhorst, K. (1984): *Konzept der Lebenszykluskosten. Grundlagen, Problemstellungen und technologische Zusammenhänge*, Darmstadt: Verlag für Fachliteratur Darmstadt.
- [www.bki.de/formulare](http://www.bki.de/formulare) [22.04.2009]
- Yasin, M. M. (2002). The theory and practice of benchmarking: then and now. *Benchmarking: An International journal*, 9(3), Seiten 217–243.
- Zellner, A. (1962): An efficient method of estimating seemingly unrelated regressions and tests for aggregation bias. *Journal of The American Statistical Association*, 57(298), Seiten 348-368. Retrieved from <http://www.jstor.org/pss/2281644>.

## 10      **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Lebenszyklus-Kosten (LCC) Überblick nach ISO 15686-5 (2008) .....	11
Abbildung 2: Orientierungshilfe zur Nutzung der BKI-Werte .....	17
Abbildung 3: Exemplarische Kostenkennwerte „Bürogebäude mittlerer Standard“ .....	18
Abbildung 4: Graphische Darstellung von Kennzahlen .....	21
Abbildung 5: Darstellung des Untersuchungsablaufs einer empirischen Studie .....	22
Abbildung 6: Konzeption des Wirkungsmodells laut Projektantrag (Einflussfaktoren beispielhaft) .....	31
Abbildung 7: Überarbeitetes Konzept des Wirkungsmodells .....	31
Abbildung 8: Detail-Niveaus des Lebenszykluskosten-Prognosemodells .....	32
Abbildung 9: Analyse-Level in Verbindung mit dem Projektablauf .....	33
Abbildung 10: Vorgangsgweise bei der Ermittlung von Ursache-Wirkung-Beziehungen .....	34
Abbildung 11: Zuordnung von Einflussfaktoren und Variablen in Abhängigkeit unterschiedlicher Ausprägungen .....	35
Abbildung 12: Anteil der Hauptkostenarten an den Gesamtkosten (n=1.578) .....	36
Abbildung 13: Zusammenfassung der Wirkmodelle .....	38
Abbildung 14: Kennwerte des Boxplots (Quelle: STATA Corp. 2009) .....	42
Abbildung 15: Darstellung der Detailtiefe der Dateneingabe .....	59
Abbildung 16: Abbildung des entwickelten Excel-Tools .....	64
Abbildung 17: Schwankungsbereiche / Boxgrafik für die Stromkosten .....	73

## 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Basisansätze von Kostenprognosen (Wübbenhorst, 1984, 236) .....	15
Tabelle 2: Gegenüberstellung DIN 276 und ÖNORM B 1801-1 (Auszug) .....	16
Tabelle 3: Gebäudekategorisierung gemäß BKI .....	17
Tabelle 4: Die erforderlichen, allgemeinen Informationen.....	62
Tabelle 5: Zusammenhänge der Gebäudebeschreibung und der Kostenprognose.....	62
Tabelle 6: Kurzbeschreibung der Gebäudekategorien.....	63
Tabelle 7: Materialanteile der unterschiedlichen Bauweisen .....	65
Tabelle 8: Anteile der Materialkategorien im Fall des Konventionellen Abbruchs.....	66
Tabelle 9: Anteile der Materialkategorien im Fall des Teilselektiven Abbruchs .....	66
Tabelle 10: Beispielrechnung Entsorgungskosten .....	67
Tabelle 11: Ergebnisse der Testgebäude 1 bis 5, Prognosemodell_V3 .....	70
Tabelle 12: Ergebnisse der Testgebäude 6 bis 10, Prognosemodell_V3 .....	70
Tabelle 13: Ergebnisübersicht Errichtungskosten Testgebäude CREIS, Qualität einfach .....	72
Tabelle 14: Ergebnisübersicht Betriebskosten Testgebäude CREIS, Qualität einfach .....	72
Tabelle 15: Ergebnisübersicht Errichtungskosten Testgebäude CREIS, Qualität mittel .....	74
Tabelle 16: Ergebnisübersicht Betriebskosten Testgebäude CREIS, Qualität mittel .....	74
Tabelle 17: Ergebnisübersicht Errichtungskosten Testgebäude CREIS, Qualität hoch .....	75
Tabelle 18: Ergebnisübersicht Betriebskosten Testgebäude CREIS, Qualität hoch.....	75