

Verbesserung der Lebenszykluskostenprognose mittels Regressionsanalysen

Tobias Schrag, Sebastian Keiler, David Koch,
Thomas Madritsch, Emanuel Stocker

Fachhochschule KufsteinTirol

30. Oktober 2009

Kurzfassung: Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung in der frühen Planungsphase wird ein Lebenszykluskostenprognosemodell beschrieben. Zur Berechnung der Betriebskosten wird die Methode der Regressionsanalyse vorgestellt. Eine empirische Untersuchung zeigt die Überlegenheit dieser Benchmarks gegenüber herkömmlichen Ansätzen. Die vorgestellte Methodik wird eingehend diskutiert und weitere Ansatzpunkte werden angesprochen.

1 Einleitung

Lebenszykluskosten als Inbegriff ökonomischer Nachhaltigkeit sind ein in letzter Zeit in der Bau- und Immobilienwirtschaft viel verwendeter Begriff. Der Grund hierfür ist, dass die Kosten für den Betrieb und Unterhalt eines Gebäudes die Kosten der Erstinvestition meist um ein Vielfaches übersteigen (vgl. [Girmscheid, 2006](#); [GEFMA Facility Management e.V. & Helbling Management Consulting \(Hrsg.\), 1997](#)). Ausgehend von PPP-Projekten und dem runden Tisch zum nachhaltigen Bauen hat in Deutschland vor Allem die öffentliche Hand die Verwendung von Berechnungen zu Lebenszykluskosten (LZK) oder Life Cycle Costs (LCC) als eine der Entscheidungsgrundlagen eingesetzt. Durch die Ausbreitung des deutschen Nachhaltigkeitszertifikats (vgl. [Lützkendorf, 2009](#)) und durch die Forderungen der Europäischen Union (vgl. [EC Task Group 4, 29.10.2003](#)) wird vieler Orts an der Entwicklung geeigneter Methoden und normierter Berechnungsansätze gearbeitet. So setzt man sich auch an der FH Kufstein im Rahmen der Forschungsprojekte „HDZ

Lebenszykluskostenprognose“ und „Lebenszyklusorientierte Qualitätsoptimierung von Gebäuden – LQG“ mit dieser Thematik auseinander.

1.1 Ausgangslage

Die Denkweise und der Ansatz zur Berechnung von Lebenszykluskosten sind nicht neu und die Thematik wird im deutschsprachigen Raum schon seit ca. dreißig Jahren bearbeitet (vgl. [Wübbenhorst, 1984](#)). Durch die steigenden Energiepreise und erhöhten Kosten aus dem technischen Betrieb aufgrund steigender Technologiesierung, wuchs das Interesse an Folgekosten. Dennoch sind gegenwärtig bis auf wenige Ausnahmen in der Bauwirtschaft die Herstellungskosten das ausschlaggebende wirtschaftliche Kriterium für Entscheidungen. Selbstverständlich unterliegen Bauentscheidungen immer einem integralen Ansatz. Dieser umfasst zahlreiche Kriterien wie etwa Behaglichkeit, architektonische Gestaltung, Flexibilität oder Qualität, etc. Diese können durch eine vollständige ökonomische Bewertung, wie sie LCC bspw. darstellt, nicht ersetzt werden. Hinsichtlich der Lebenszykluskostenberechnung gibt es verschiedene Herangehensweisen und die vorhandene Normierung (ISO 15686-5: 2008, NS 3454: 2002) wie Richtlinien (GEFMA 220-1: 2006, IFMA Deutschland e. V.: 2005) lässt große Entscheidungsspielräume bezüglich Anwendung und Struktur offen. In der folgenden Abbildung sind der theoretische Planungsablauf, die Stufen der traditionellen Kostenplanung, sowie die bisher bestehenden Ansätze zur Lebenszykluskostenberechnung bzw. -analyse dargestellt. Dabei gibt es zahlreiche verschiedene Ansätze, welche je nach Planungsstadium zum Tragen kommen und sich vor allem durch ihre Prognosesicherheit, ihre Standardisierung und vor allem durch den Bedarf an Informationen als Berechnungsgrundlage unterscheiden. Hierzu zählen die Integration im Architekturwettbewerb (vgl. [Rotermund, 2008](#)) bzw. die Berechnung auf Basis von Benchmarks (vgl. [Ast, 2008](#)) aber auch detaillierte bauteilspezifischen Berechnungen (z.B. LEGEP®¹). Weiters gibt es die Integration in Ausschreibungs- und Vergabeverfahren (VDI 4703²) oder die Implementierung als Kriterium in der Zertifizierung (DGNB³).

Die vorliegende Arbeit greift den bestehenden Ansatz der Analyse und Hochrechnung mit Hilfe von Benchmarks auf. Der Grund liegt in der frühzeitigen Anwendbarkeit, sodass der Folgeaufwand in der Nutzungsphase im Rahmen einer mittel- bis langfristigen Budgetierung berücksichtigt werden kann. Die zu diesem Zeitpunkt bestehenden Interessen eines Investors, oder Eigentümers müssen dabei nicht kontrovers sein, sondern haben bei genauerer Betrachtung den Nutzen aus Optimierung der Gesamtkosten. Folglich eine Erhöhung der Objektrendite aus reduziertem Folgeaufwand. Die Betriebskosten, sprichwörtlich zweite Miete beeinflusst in einem Angebotsmarkt zudem die Wettbewerbsfähigkeit und auch Wertbeständigkeit, welche wiederum direkten Einfluss auf eine langfristige Wirtschaftlichkeit haben. Eine Unterstützung zur Entscheidung von

¹LEGEP: Ein Werkzeug zur integralen Lebenszyklusplanung auf Basis der sirAdos-Datenbank. ([LEGEP Software GmbH](#))

²Derzeit noch in Bearbeitung ([Verein Deutscher Ingenieure e.V.](#))

³DGNB: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen e.V. ([DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen](#))

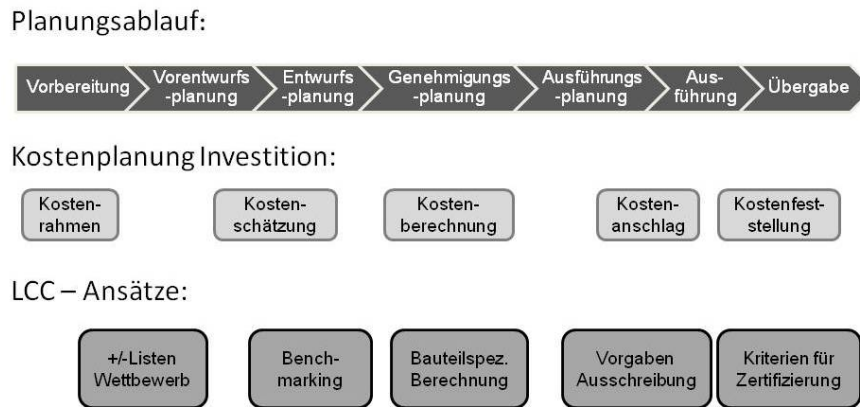


Abbildung 1: LCC-Ansätze in der Projektentwicklung

Bauteilen, oder Ausstattung kann mit dem hier vorgestellten Ansatz nicht erfolgen. Es soll jedoch durch Erweiterung der Methodik auf etwaige Kostentreiber aufmerksam machen, Transparenz in die Kostenaufwendungen innerhalb des Lebenszyklus bringen und Rückschlüsse über einzelne Einflüsse aus Gebäudetypologie und deren Ausstattung begründet werden.

1.2 Problemstellung

Bereits in der frühen Planungsphase ist es notwendig und Lebenszykluskosten zu berücksichtigen. Gleichzeitig bestehen in dieser Phase der Planung allerdings noch sehr wenige Informationen. Es ist also notwendig mit begrenzten Informationen Aussagen über die Implikationen gewisser Ausstattungs- oder Qualitätslevels treffen zu können. Hierfür sind Kostenschätzungen notwendig, welche derzeit in der Regel auf Mittelwerten basieren. Um dies zu Verbessern wird in dieser Studie der Einsatz von Regressionsanalysen vorgeschlagen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei in der Prognose der Betriebskosten eines noch zu erstellenden Gebäudes.

Es werden die vorgeschlagene Methodik und deren Implikationen dargestellt und mit bestehenden Ansätzen verglichen. Diesem empirischen Einschub folgend, erfolgt eine kritische Würdigung des Modells sowie eine abschließende Betrachtung.

2 Methodik

Die angewandte Methodik wird von zwei Bereichen dominiert. Zum einen greift die Arbeit auf Regressionsanalysen zurück, welche es erlauben die einzelnen Einflüsse von bestimmten Kostentreibern heraus zu filtern, zum anderen baut die Methode auf bestehende Methoden der Lebenszyklusberechnung auf.

Die erste Stufe der Berechnung wird, wie angesprochen, durch die Regressionsanalyse gebildet. Dieser Ansatz für die Lebenszyklusbetrachtung bietet einige Vorteile, welche im Folgekapitel

ausführlich thematisiert werden. In dieser Stufe erfolgt die Quantifizierung der Einflüsse auf den jeweiligen Kostenblock. Anhand der Regressionsanalyse kann bspw. festgestellt werden, um wie viel die Stromkosten steigen, wenn das Gebäude mit Vollklimatisierung anstatt einer Teilklimatisierung ausgeführt wird. Die Besonderheit liegt dabei in der Tatsache, dass *andere Einflüsse ebenfalls herausgefiltert werden*. Über diese Betrachtung hinausgehend lassen sich, als zweite Stufe, idealtypische Betriebskosten errechnen, welche in die dritte Stufe eingehen.

In der dritten Stufe der Berechnung wird auf die Ergebnisse der ersten Stufe zurückgegriffen. Diese werden dann – wie in der Lebenszykluskostenberechnung üblich – in eine dynamische Betrachtung über die Lebensdauer miteinbezogen. Der gesamte Prozess ist in Abbildung 2 bildlich dargestellt.

Der Detaillierungsgrad ist dabei, wie bereits einleitend erwähnt, auf die erste Planungsphase abgestimmt. Die eingehenden Parameter sind auf rund zehn Variablen beschränkt, um mit möglichst geringem Aufwand bereits eine erste Abschätzung treffen zu können.

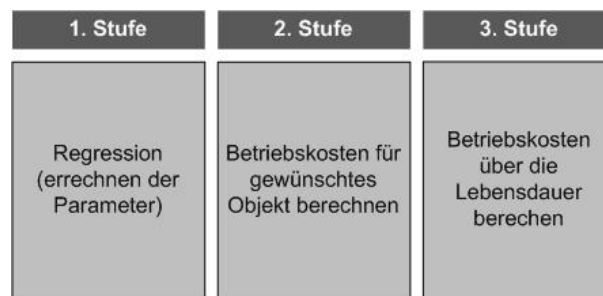


Abbildung 2: Aufbau des Lebenszykluskostenprognosemodells.

2.1 Benchmarking

Die Basis für Lebenszyklusbetrachtungen bilden häufig Benchmarks. Insbesondere für die Nutzungsphase sind diese zur Berechnung der Betriebskosten von hoher Bedeutung. In der Literatur werden hinsichtlich der Auswertung generell zwei wesentliche Unterscheidungen getroffen ([Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung \(Hrsg.\) et al., 2009](#)). Der statistische Ansatz geht von einem großen Sample mit wenigen Gebäudeeigenschaften aus. Die gewonnenen Benchmarks weisen geringen Detaillierungsgrad und wenig Information über Wirkungszusammenhänge auf. Andererseits zeigen die Kennzahlen durch die große Stichprobe generell eine hohe Belastungsfähigkeit. Der empirische Ansatz geht von einem relativ kleinen Sample aus. Hier ist allerdings die Informationsdichte höher. Das heißt es werden wesentlich mehr Informationen für die einzelnen Gebäude erhoben. Ausgehend von den gewonnenen Informationen erfolgt zum einen eine theoretische Bedarfsberechnung, zum anderen aber auch die empirische Analyse. Ziel ist generell die Schaffung eines typischen Gebäudes und die Errechnung von Kennzahlen mittels eines Modells.

Die wesentliche Unterscheidung der beiden Ansätze liegt einerseits im unterschiedlichen Fokus,

andererseits aber auch darin, dass der empirische Ansatz stark auf die analytische Komponente setzt, welche idealtypische Kennzahlen durch die Errechnung von Soll-Verbräuchen schafft. Dennoch weisen diese Methoden eine zentrale Problematik auf: Einzelne Effekte nie getrennt werden. Anders gesagt: Die Rückverfolgung, ob der erhöhte Stromverbrauch auf die Klimaanlage oder auf die höhere Gebäudekategorie zurück geht ist im statistischen Fall nicht möglich, im empirischen Fall wiederum kann keine pauschale Aussage getroffen werden. Wie das folgende Kapitel zeigen wird, ist dies im Rahmen der Regressionsanalyse, die beide Ansätze verbindet, theoretisch möglich.

2.2 Regression

Die Regressionsanalyse hat im wesentlichen zum Ziel die Veränderungen einer abhängigen oder erklärten Variable – in unserem Beispiel y – mit Hilfe einer oder mehrerer unabhängiger oder erklärender Variablen im weiteren Verlauf mit x_i betitelt zu erklären. Zu diesem Zweck wird ein mathematischer Zusammenhang definiert, der die beiden Variablengruppen sowie einen unerklärten Rest – in unserem Fall ε – enthält. Das heißt, der Zusammenhang wird in einen deterministischen und einen stochastischen Teil aufgespalten:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times x_1 + \varepsilon \quad (1)$$

Der Koeffizient β gibt dabei die Stärke des Zusammenhangs an. Gesucht wird der auf die einzelnen x_k bedingte Erwartungswert von y oder $E(y|x_k)$. Dieses Problem wird, wie unten für den Fall der Multiplen Regression dargestellt, durch die Minimierung der Fehlerquadrate ε^2 erreicht:

$$\min_{\beta_k} \sum_{i=1}^n \left(y_i - \sum_{j=1}^k (\beta_j \times x_{i,j}) \right) \quad \text{und } \forall i = 1 \dots n \quad \text{und } \forall j = 1 \dots k \quad (2)$$

Die Variable ε stellt den, bereits angesprochenen, üblichen $\varepsilon \sim iid \mathcal{N}(0, \sigma^2)$ Störterm dar.⁴ Im einfachsten Fall werden diesem Modell die sog. *Gauss Markov Annahmen* zugrunde gelegt. Diese gehen im wesentlichen von der Annahme

$$E(x_k|\varepsilon) = 0 \quad (3)$$

aus. Grundsätzlich umfassen die Gauss Markov Annahmen weitere teilweise recht strenge Bedingungen. Diese können jedoch bei geeigneter Modellierung ausgeschlossen werden (vgl. dazu auch [Greene, 2003](#)). Tatsächlich erweist sich diese sog. Orthogonalitätsbedingung aus (3) als die sensibelste Annahme dieser Methodik. Diese besagt vereinfachend ausgedrückt, dass der Stör-

⁴Der Störterm ist also *identically and independently distributed* (iid) diese Annahme ist relativ streng und für Teststatistiken zentral, kann aber beispielsweise durch die sog. Granger Konditionen abgeschwächt werden.

term ε keine relevanten Informationen für die erklärenden Variablen im Modell beinhalten darf. Wäre dies der Fall, so könnte der Einfluss auf die y nicht vollständig auf die x_k zurückgeführt werden, sondern würde durch die ε gestört. Die Ergebnisse würden dadurch verzerrt. Man kann sich in diesem Modell also den Störterm als reine Zufallsvariable vorstellen. Grundsätzlich lässt sich das vorgestellte Konzept allerdings beliebig ausbauen. Unter der Voraussetzung, dass die *Gauss Markov Bedingungen* halten, kann gezeigt werden, dass der Kleinstquadratschätzer (engl. Ordinary Least Squares – OLS) der beste Schätzer in der Klasse der linearen Schätzer ist.

Die OLS Regression bietet dabei mehrere Vorteile, die die Anwendung für diesen Fall begünstigen:

- *Aufspaltung der einzelnen Effekte:* Mittels der Regression können die einzelnen Effekte den jeweiligen Parametern zugeordnet werden. Das heißt, die erklärte Variable wird in die verschiedenen Einflüsse aller anderen Variablen aufgespalten. Die Interpretation ist dabei einfach zugänglich. Alle Koeffizienten können unter der *ceteris paribus* Bedingung – das heißt alle anderen Effekte bleiben gleich – interpretiert werden.
- *Möglichkeit vom Sample auf andere Objekte zu schließen:* Durch einfaches einsetzen in den geschätzten Zusammenhang kann von der Stichprobe auf eine (fiktive) Beobachtung (ein fiktives Gebäude) geschlossen werden. Diese Vorhersagen oder engl. Predictions (auch fitted Values) können dann für *ex post* Vergleiche – hierzu zählt beispielsweise Benchmarking – oder *ex ante* Prognosen (wie im vorliegenden Fall für Lebenszykluskosten) verwendet werden. Mathematisch ausgedrückt errechnet sich die Prognose wie folgt:

$$\hat{y}_i = \sum_{j=1}^k (b_j \times x_{i,j}) \quad (4)$$

Hier steht \hat{y} dabei für die Predictions. Die β ändern sich in b – es handelt sich um die, aus der Stichprobe heraus geschätzten, Koeffizienten.

Aufbauend auf diesen Predictions aus dem zuletzt beschriebenen Schritt kann im weiteren Schritt eine Lebenszykluskostenprognose erstellt werden. Ergänzend zu der recht abstrakten Einführung in die Regression sei hier kurz die Vorgehensweise für die vorliegende Arbeit beschrieben.

Basierend auf dem in Kapitel 3 beschriebenen Datensatz wird hier zunächst ein mathematisches Modell beschrieben. Dies erfolgt in drei Schritten:

1. Beschreibung des theoretischen Zusammenhangs. Hier werden den einzelnen Variablen der jeweiligen Kostenart zugeordnet.
2. Modellierung des mathematischen Zusammenhangs. Hier werden beispielsweise funktionale Formen für die einzelnen Variablen festgelegt.
3. Schätzung der Koeffizienten. Das mathematische Modell wird geschätzt, die Koeffizienten werden mittels Minimierung der Fehlerquadrate errechnet.

Nun ist es möglich beispielsweise den Effekt einer Klimaanlage auf die Stromkosten eindeutig zu benennen. Mittels dieser Werte können die Predictions gebildet werden. Diese können im oben zitierten Zusammenhang wie folgt interpretiert werden: Wieviel Strom sollte mein Haus verbrauchen, wenn ich aus der Systematik in meiner Stichprobe auf mein Objekt schließe.

In das im vorhergehenden Kapitel (s. Punkt 2.1) beschriebene Benchmarkingsystem reiht sich die Regressionsanalyse als Mischung aus beiden Ansätzen ein. Zum einen wird eine große Stichprobe betrachtet, zum anderen wird allerdings durch die Modellierung ein idealtypisches Gebäude geschaffen. Generell ist zu betonen, dass eine Beschränkung auf eine grobe Erfassung von Gebäudedaten in der Regressionsanalyse nicht erfolgen muss. Mit einem höheren Detaillierungsgrad ist es möglich weit mehr Effekte zu erfassen und heraus zu filtern.

2.3 Lebenszykluskostenbetrachtung

Auf Basis der nun vorliegenden Kostenkennwerte sind diese in einem weiteren Schritt mit Einflussfaktoren zu versehen, um am Ende die Lebenszykluskosten ermitteln zu können. Diese Einflussfaktoren bestehen aus objektspezifischen Eigenschaften (z.B. Gebäudegröße), standortbedingter (z.B. Preis- und Lohnniveau) und volkswirtschaftlichen Einflussgrößen (z. B. Baupreisindex). Nutzungsspezifische Einflüsse werden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Für die Lebenszykluskostenberechnung wird die Barwertmethode mit einer einheitlichen Bewertungsgrundlage (Kalkulationszinssatz) als zweckmäßig angesehen, da die Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen und durch die Methode vergleichbar werden. Mit den über die gesamte Lebensdauer diskontierten Betriebskosten und den Investitionskosten werden die Lebenszykluskosten gebildet. Für die letzte Phase, die Abbruch- bzw. Verwertungskosten fehlen im Moment noch geeignete Daten. Auf Grund der starken Diskontierung über die gesamte Lebensdauer, ist der Einfluß dieses Fehlers jedoch begrenzt. Entsprechend der Gefma Richtlinie 220 wird eine Sensitivitätsanalyse zur Bestimmung der Wertigkeit der verschiedenen Einflussfaktoren durchgeführt (GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management, 2006). Diese Sensitivitätsanalyse ist für die drei Schlüsselparameter, dem Zinssatz, der Nutzungsdauer und der Teuerungsrate vorzusehen.

3 Datensatz

Der zugrunde liegende Datensatz entstammt dem CREIS Real Estate Solutions Datenpool und umfasst rund 1 500 Büroobjekte für die Jahre 2000 bis 2005. Der Datensatz dient auch als Grundlage für den bekannten Office Service Charges Analysis Report (OSCAR) (Jones Lang Lasalle, 2000–2008) Es handelt sich dabei um Querschnittsdaten für zehn verschiedene Betriebskostentypen, welche von 24 deutschen Firmen zur Verfügung gestellt wurden. Die Objekte sind dabei auf 94 verschiedene Städte aufgeteilt. Die Daten werden Normen und Standards (DIN 277-2005, DIN 18 960-2008) basierend gesammelt. Damit 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. Diese dienen in der vorliegenden Untersuchung als unabhängige Variablen. Zu den im Datensatz enthaltenen Variablen zählen die Netto Grundfläche (NGF nach DIN 277-2005) das Gebäudealter und die Anzahl der Stockwerke. Darüber hinaus werden Kategorievalvariablen erhoben. Hierzu zählen die Qualität des Gebäudes (gut, mittel und schlecht), die Klimatisierung des Gebäudes (Voll-, Teilklimatisierung und keine), sowie besondere Eigenschaften wie etwa das Vorhandensein eines Aufzugs, einer Garage oder verdichtete Bauweise.

Natürlich werden Kosten auch von weiteren Attributen außerhalb der Domäne des Gebäudes beeinflusst. Hierzu zählen, je nach Kostenkategorie, makrowirtschaftliche Daten wie etwa Lohnniveaus oder auch Arbeitslosenraten, aber auch klimatische Daten wie etwa die Heizgradtage oder ähnliche Einflüsse. Es werden daher im Modell nicht nur gebäudespezifische Eigenschaften integriert, sondern auch die vorab erwähnten Einflussfaktoren.

4 Ergebnisse

Die erste Phase der Lebenszykluskostenberechnung besteht in einer Regressionsanalyse jeder einzelnen Kostenkategorie. Die hier gewonnenen Modelle werden für Predictions genutzt. Der wesentliche Unterschied zu bisher bestehenden Modellen (z. B. (Ast, 2008), (Rotermund, 2008)) besteht in diesem Schritt. In der Regel gehen derzeitige Modelle von Mittelwerten oder von Bandbreitenschätzungen aus. Das heißt, während das vorliegende Modell den bedingten Erwartungswert verwendet, der alle Informationen aus den erklärenden Variablen x nutzt (also $E[y|x]$), gehen diese Modelle vom unbedingten Erwartungswert also ($E[y]$) aus. Dieser nutzt nur die Informationen in den y Variablen. Intuitiv zeigt sich hier bereits, dass diese zusätzliche Information in einer Verbesserung der Ergebnisse resultieren muss.

Um diese Vorgehensweise darzustellen wurde für das vorliegende Sample eine Studie durchgeführt. Diese basiert auf der Prediction für jede einzelne Beobachtung im Sample auf Basis der Regressionsanalyse. Demgegenüber wurde der selbe Vorgang für Mittelwerte ausgeführt. Dabei wurde das Sample in die drei Qualitäten sowie die Lüftungsart (Voll-, Teil- und nicht klimatisiert) aufgeteilt um die Prognosequalität der Benchmarks zu erhöhen. Eine solche Vorgehensweise ist für Benchmarkingreports allgemein üblich. (vgl. beispielsweise dazu Jones Lang Lasalle, 2000–2008) Intuitiv lässt sich einfach sagen: Die Regression versucht alle quantifizierbaren Informationen zur Vorhersage der Benchmarks zu nutzen, während herkömmliche Benchmarks nur auf Kategorien basieren. Mathematisch ausgedrückt wurde verglichen: $E[y|\text{Alle Informationen im Sample}]$ mit dem ungleich simpleren $E[y|\text{Qualität}=j; \text{Klimatisierung}=k]$. Auf Basis der Predictions wurde die Abweichung zu den tatsächlichen Werten errechnet – das heißt $e = y - \hat{y}$. Diese so genannten Residuen sind in Abbildung dargestellt. Zusätzlich wurden – der Schiefe der Verteilung Rechnung tragend – auch Benchmarks für Medianwerte errechnet.⁵

⁵Der hier verwendete arithmetische Mittelwert ist, vereinfachend ausgedrückt, der Durchschnitt einer Zahlenrei-

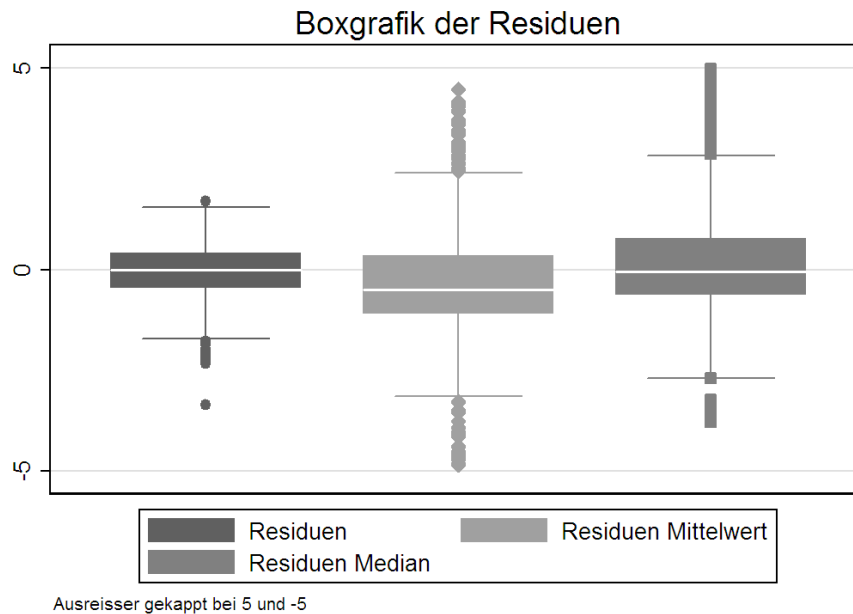


Abbildung 3: Residuen (e) für die Regression sowie die Kosten aus den Benchmarks. Nur für die Kategorie Strom.

Die Darstellung zeigt klar die Überlegenheit des gewählten Ansatzes der Regression. Während die Residuen hier regelmäßig um null verteilt sind und kaum Ausreißer bestehen, ist dies für die beiden anderen Berechnungsmethoden nicht der Fall. Sowohl die Standardabweichung als auch die Anzahl der Ausreißer ist erheblich größer. Was hier jedoch erheblich schwerer wiegt ist eine offensichtliche systematische Verzerrung der beiden Schätzer nach unten bzw. oben. Das heißt, sowohl der Mittelwert als auch der Median sind stark systematisch verzerrt, was eine Beurteilung der LZK aufgrund dieser Methode erschwert.

Drückt man dieses Missverhältnis in Zahlen aus, so wäre eine, aufgrund des Mittelwerts erstellte Prognose, 20 Prozent zu gering. Eine auf Basis des Medians erstellte Prognose würde die Lebenszykluskosten um immerhin vier Prozent überschätzen. Betrachtet man allerdings die Prognosesicherheit, so ist auch die Prognose aufgrund des Medians sehr stark in Zweifel zu ziehen. So ist die Standardabweichung der Regression mit 0,68 gerade halb so groß wie die der beiden anderen mit 1,40 (Median) und 1,51 (Mittelwert).⁶ Es zeigt sich also klar, dass sowohl Prognosequalität als auch Prognosesicherheit im Falle der Regressionsanalyse überlegen sind.⁷

he, während der Median von n nach ihrer Größe geordneten Werten den $n/2$ Wert annimmt (für ungerade n). Der Vorteil des Medians ist, dass er nicht so sensibel gegenüber Ausreißern ist.

⁶Eine in der Statistik häufiger verwendete Maßzahl ist der *Mean Squared Error* (MSE), welcher im vorliegenden Fall zu noch deutlicheren Ergebnissen kommt. MSE Regression: 0,63; MSE Mittelwert: 7,08; MSE Median: 7,71

⁷Natürlich sind diese Werte immer relativ zur Regressionsanalyse als soz. bester Alternative im Test. Eine uneingeschränkt gültige Aussage kann nicht getroffen werden, da der tatsächliche datengenerierende Prozess nicht offenliegt.

5 Weitere Ansatzpunkte

Die vorgestellte Methodik baut auf verschiedenen Rahmenbedingungen auf, welche verschiedensten Umständen Rechnung tragen. Diesen Fragestellungen soll im Rahmen dieses Kapitels Rechnung getragen werden. Die Diskussion dieser Problemstellungen ist dabei als Ausgangspunkt weiterer Forschungen, aber auch zur Anregung eines wissenschaftlichen Diskurses zu verstehen.

5.1 Datensatz

Der verwendete Datensatz bringt mehrere Problemstellungen mit sich. Zum einen handelt es sich zwar um eine große Anzahl an Objekten, was die statistischen Ergebnisse relativ sicher macht, andererseits ist die Menge an erklärenden Variablen im vorhandenen Datensatz stark eingeschränkt. Beispielsweise ist der verwendete Qualitätsbegriff sehr umfassend. Die Zuordnung in eine der drei Kategorien erfolgt über vordefinierte Eigenschaften des Objekts, welche einer der drei Ausstattungskategorien zugeordnet werden. Weitere Problemstellungen könnten beispielsweise darin gegeben sein, dass wesentliche Faktoren schlichtweg fehlen. Hier sei beispielsweise das Service Level der Reinigung oder ähnliches angeführt. Dies wiederum zieht weitere Problemstellungen nach sich, die häufig unter dem Begriff *Omitted Variable* Problematik subsumiert werden.

Angesichts der Zielsetzung in der ersten Phase des Forschungsprojekts, welche sich auf die Lebenszykluskostenprognose in der frühen Planungsphase konzentriert, ist die Verwendung des Datensatzes sicherlich vertretbar. Es ist allerdings zu erwarten, dass mit einer Verbesserung der Datengrundlage ein massiver Erkenntnisgewinn verbunden wäre.

5.2 Instandhaltung und Wartungsintervalle

Die konsequente Untersuchung der bereits aufgeführten Problemstellungen führt direkt zur Problematik der Reinvestitionen und Wartungen. So ist prinzipiell davon auszugehen, dass zahlreiche Komponenten einer Immobilie dieser Problematik unterliegen. Nun ist es allerdings nicht plausibel davon auszugehen, dass die Wartung über den Lebenszyklus einer Immobilie gesehen linear anfällt – anders ausgedrückt ein neues Gebäude wird mit hoher Wahrscheinlichkeit weniger Wartungsaufwand haben als ein Älteres. Die Errechnung von Lebenszykluskosten aufgrund von Benchmarks unterstellt allerdings genau diesen Zusammenhang. Diese Problematik lässt sich mit Prognosen auf Basis von Regressionsmodellen umgehen, indem für jede Jahresscheibe der Nutzung eine Prognose erstellt wird. Diese Vorgangsweise unterstellt allerdings implizit die Möglichkeit eines Rückschlusses von bestehenden Gebäuden auf zukünftige. Das heißt, die Annahme eines linearen Wartungsaufwands wird durch die Annahme ersetzt, dass heutige Gebäude die Wartungsmuster alter Gebäude aufweisen. Dies ist sicherlich eine Restriktion die letztendlich ähnlich schwer argumentierbar sein wird.

Die Problematik der Reinvestition ist wiederum eng verwandt mit der vorab zitierten Nutzungsdauer und soll hier nicht weiter erläutert werden. Es sei aber auch hier darauf hingewiesen, dass diese Problemstellung speziell im dynamischen Kontext relevant ist.

5.3 Nutzereinfluss

Die zentrale Komponente des Nutzers wurde in der bestehenden Diskussion nicht aufgegriffen. Je nach Kostenart finden Untersuchungen massive Kostenschwankungen welche dem Einfluss des Nutzers zugeschrieben werden. Es ist auch beim verwendeten Datensatz davon auszugehen, dass diese auftreten. Es mag hier angemerkt werden, dass die nicht Berücksichtigung eine systematische Verzerrung der Ergebnisse bewirkt. Dieses bewusste übergehen dieses Bestandteils liegt jedoch in der Prämisse begründet lediglich idealtypische Kosten abzubilden. Das heißt, es erfolgt eine Konzentration auf Kostentreiber, die im Rahmen der Bauentscheidung beeinflussbar sind. Hier wiederum zeigt sich ein weiterer Vorteil der Regressionsanalyse. Während durch reine Clusterbildung und Berechnung des Mittelwerts eine systematische Verzerrung auftritt, gehen diese Effekte bei der Regression in den Störterm ε ein.⁸

5.4 Statistische Problemstellungen

Zwar kann die Methode der Regressionsanalyse auf eine fundierte Theorie zurückgreifen, dennoch bestehen verschiedene Herausforderungen, welchen durch geeignete Mittel begegnet werden muss. (vgl. dazu auch [Greene, 2003](#)) Hier ist zunächst die Verfeinerung der Schätzung zu nennen. Generell lassen sich die beschriebenen Modelle auf verschiedene Weise optimieren. Hier stellt sich bspw. die Frage der mathematischen Modellierung. Erfolgt z. B. eine semiparametrische Modellierung verändern sich die Ergebnisse teils beträchtlich. Ebenso stellt sich die Frage der Aufnahme von Erweiterungen wie etwa Seemingly Unrelated Regressions. Diese bringt derzeit kaum nennenswerte Erfolge.

Darüber hinaus bestehen derzeit Problematiken, welche im Datensatz begründet sind. Hier ist bspw. die Problematik von Multikollinearität zu nennen, die es schwierig macht einzelne Effekte klar heraus zu filtern. Auch geographische Abhängigkeiten sind derzeit schwer erfassbar.

6 Abschließende Betrachtungen

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine Weiterentwicklung bestehender Lebenszyklusberechnungsansätze mittels der Verwendung von Regressionsanalysen. Die theoretische Behandlung zeigte die

⁸Diese Tatsache setzt voraus, dass erstens keine systematische Verzerrung auftritt – bspw. dass Nutzer in qualitativ minderwertigen Objekten mehr sparen – und, dass die Nutzereffekte nicht wesentlich mit Objekteigenschaften korreliert sind (dies wird auch durch die erste Bedingung impliziert). Dieser Sachverhalt wird von der Orthogonalitätsbedingung aus Kapitel 2.2, Gleichung 3 umschrieben.

Überlegenheit dieses Ansatzes, die durch die Verwendung aller Informationen in der Stichprobe hervortritt. Konsequenterweise konnte dies auch im Rahmen einer empirischen Studie belegt werden.

Das aufgezeigte Modell konzentriert sich auf die frühe Planungsphase und weist einen sehr geringen Detaillierungsgrad auf. Es konnte gezeigt werden, dass der Ansatz zwar bestehenden Methoden überlegen ist, dennoch aber verschiedene Fragestellungen – wie etwa die Behandlung von Preissteigerungen, Nutzereinflüssen oder auch der Nutzungsdauer – bestehen bleiben. Um wichtige Variantenentscheidungen beeinflussen zu können ist ausserdem eine Ausweitung der Prognosefähigkeit mit Betonung der bauteilspezifischen Prognose angestrebt. Zentral hierfür ist allerdings die Datenbasis. Hier erfolgt derzeit der Aufbau einer Datenbank, welche in Zukunft als Grundlage für die bauteilspezifische Analyse dienen soll.

Einen weiteren zentralen Punkt stellt die Verbesserung der statistischen Prognosequalität dar. Erste Ansätze wurden bereits angesprochen. Heraus zu heben ist dabei die Konzentration auf semiparametrische Modellierungen.

Literatur

- [IFMA Deutschland e.V. 2005] IFMA DEUTSCHLAND E.V. (Hrsg.): *Leitfaden FM-Gerechte Planung und Realisierung*. 2005
- [Ast 2008] AST, Helmut: Kennwerte und Kostentreiber: VDI 6009 FM im Kontext Lebenszykluskosten. In: *industrieBAU* (2008), Nr. 02, S. 50–53
- [Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.) et al. 2009] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR BAU UND STADTENTWICKLUNG (HRSG.) ET AL.: *Benchmarks für die Energieeffizienz von Nichtwohngebäuden: Vergleichswerte für Energieausweise*. BBSR-Online-Publikation, 2009
- [Deutsches Institut für Normung e.V. 2005] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau - Teil 1: Begriffe, Ermittlungsgrundlagen*. 2005
- [Deutsches Institut für Normung e.V. 2008–02] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *Nutzungskosten im Hochbau*. 2008-02
- [DGNB Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen] DGNB DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR NACHHALTIGES BAUEN: *Lebensräume zukunftsfähig gestalten: Offizielle Internetseite*. – URL <http://www.dgnb.de/>. – Zugriffsdatum: 30.10.2009
- [EC Task Group 4 29.10.2003] EC TASK GROUP 4 ; EUROPEAN COMMISSION TASK GROUP 4 (Hrsg.): *Life Cycle Costs in Construction: FINAL REPORT*. 29.10.2003

- [GEFMA e.V. Deutscher Verband für Facility Management 2006] GEFMA E.V. DEUTSCHER VERBAND FÜR FACILITY MANAGEMENT: *Lebenszykluskostenrechnung im FM; Einführung und Grundlagen*. 2006
- [GEFMA Facility Management e.V. & Helbling Management Consulting (Hrsg.) 1997] GEFMA FACILITY MANAGEMENT E.V. & HELBLING MANAGEMENT CONSULTING (HRSG.): *Facility Management in Deutschland*. 1997
- [Girmscheid 2006] GIRMSCHIED, Gerhard: Ganzheitliche Leistungsangebote sind nötig. In: *Bau+Architektur* (2006), Nr. 04, S. 4–6
- [Greene 2003] GREENE, William H.: *Econometric analysis*. 5. ed., internat. ed. London : Prentice Hall Internat., 2003. – ISBN 0131108492
- [International Organisation for Standardization 2008] INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDIZATION: *Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life-cycle costing*. 2008
- [Jones Lang Lasalle 2000–2008] JONES LANG LASALLE: *OSCAR Office Service Charge Analysis Report*. 2000–2008
- [LEGEP Software GmbH] LEGEP SOFTWARE GMBH: *LEGEP: Startseite: Offizielle Internetseite*. – URL <http://www.legoe.de/>. – Zugriffsdatum: 30.10.2009
- [Lützkendorf 2009] LÜTZKENDORF, Thomas: „Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen“ – durch Breite und Tiefe zur Spitze. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR NACHHALTIGES BAUEN E.V. (Hrsg.): *Consense 2009: Tagungsdokumentation*, 2009, S. 40–41
- [Norwegian Standard 2002] NORWEGIAN STANDARD: *Life cycle costs for building and civil engineering work - Principles and classification*. 2002
- [Rotermund 2008] ROTERMUND, Uwe: *Berechnung und Optimierung von Nutzungs- und Lebenszykluskosten*. 2008
- [Verein Deutscher Ingenieure e.V.] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V.: *„Billige Dinge können sich arme Leute nicht leisten.“, wusste Großmutter..* – URL [http://www.vdi.de/42665.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=48312&tx_ttnews\[backPid\]=42163&cHash=a468471397](http://www.vdi.de/42665.0.html?&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=48312&tx_ttnews[backPid]=42163&cHash=a468471397). – Zugriffsdatum: 30.10.2009
- [Wübbenhorst 1984] WÜBBENHORST, Klaus L.: *Konzept der Lebenszykluskosten: Grundlagen Problemstellungen und technologische Zusammenhänge*. Darmstadt : Verl. für Fachliteratur, 1984. – ISBN 3-924437-23-8