

# **Projektbezogene Spezifizierung der kalkulatorischen Lebensdaueransätze gebäudetechnischer Komponenten**

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt. Guido Hardkop

Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik, RWTH Aachen University, Deutschland

## **Abstract**

Die Ermittlung von Gebäudelebenszykluskosten gewinnt seit Jahren an Bedeutung, jedoch kann eine belastbare Kalkulation noch nicht in allen Bereichen sichergestellt werden. Zum Beispiel finden die Abschätzungen der Lebensdauer gebäudetechnischer Komponenten bislang ausschließlich anhand von groben Kennwerten statt, obwohl die Instandsetzungs- und Reinvestitionskosten der Komponenten einen bedeutsamen Teil der Lebenszykluskosten ausmachen. Insbesondere die Bandbreite und das daraus resultierende Zielwertspektrum der vorhandenen Kennwerte verdeutlichen den Bedarf an aktuellen und aussagekräftigen Lebensdauerangaben sowie an einer Methodik zur Berücksichtigung der vorhandenen Einwirkungen. Auf der Grundlage existierender Verfahren wurde für den Bereich der Gebäudetechnik eine Methodik entwickelt, die eine projektspezifische Diskretisierung des Erwartungswertes der technischen Lebensdauer anhand der relevanten Einflüsse ermöglicht.

Der Beitrag beinhaltet Ergebnisse einer Dissertation, die zurzeit am Lehrstuhl für Baubetrieb und Gebäudetechnik der RWTH Aachen von Prof. Dr.-Ing. Marten F. Brunk betreut wird.

**Keywords:** Lebensdauer, Lebenszykluskosten, Gebäudetechnik, Lebenszyklus

## **Einleitung**

Die stetig wachsende Bedeutung von Lebenszyklusbetrachtungen bei Gebäuden hat unterschiedliche Gründe, welche sowohl immobilienwirtschaftlicher als auch gesellschaftlicher Art sind. Die Immobilie hat zum einen als Kostenposition und Wertanlage an Bedeutung gewonnen, zum anderen sind auch die individuellen wie gesellschaftlichen Ansprüche an sie gestiegen. Da diese auch künftig zunehmen werden, ist mit einer wachsenden Relevanz der Lebenszyklusbetrachtungen von Gebäuden zu rechnen.

Ihren wesentlichen Impuls erhält die vorliegende Auseinandersetzung durch die strukturellen Veränderungen im Baugeschehen, welche beispielhaft anhand der Begriffe PPP, BOT und FM (Public Private Partnership, Build-Operate-Transfer, Facility Management) subsumiert

werden können. Die Auswirkungen dieses Wandels auf die Bauwirtschaft lassen sich in drei Erweiterungsdimensionen konkretisieren: Leistungsspektrum, Zeithorizont und Verantwortung (vgl. Abb. 1).

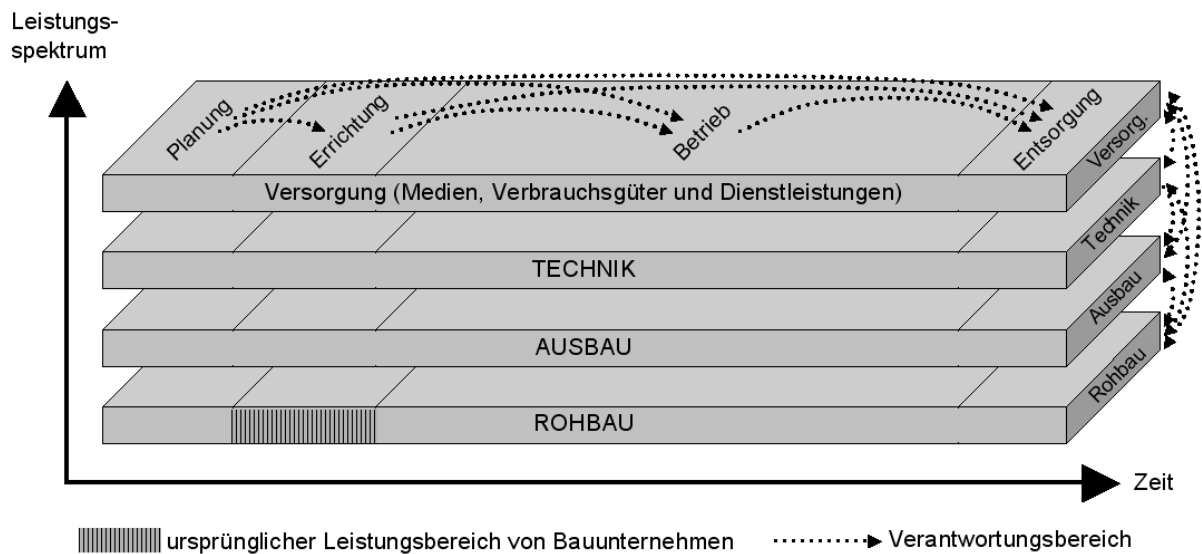


Abb. 1: Erweiterung der Dimensionen im Bauwesen

Besondere Bedeutung hat diese Entwicklung für die beteiligten Unternehmen im Rahmen der Kalkulation. Diese weitet sich von der Kalkulation der Herstellung auf die Kalkulation der Herstellung und des Betriebes der betrachteten Objekte aus. Dabei vergrößert sich nicht nur das zu erbringende Leistungsangebot, sondern es sind vielfältige, neuartige Interdependenzen zu berücksichtigen. Ein Lebenszyklusprojekt umfasst mehr als die Bündelung von eindeutig abgegrenzten Einzelleistungen. Vor allem die Abschätzung der mit dem Projekt verbundenen Lebenszykluskosten ist ein bedeutsamer Teil dieses Gesamtkomplexes.

### Grundlagen der Lebenszykluskostenkalkulation

Der entscheidende Mechanismus zur Determinierung des ökonomischen Erfolges eines Lebenszyklusprojektes liegt in der Genauigkeit der über den Betrachtungszeitraum geschätzten Gesamtkosten. Methoden zur Lebenszykluskostenermittlung existieren seit vielen Jahren und werden auf breiter Basis angewendet und genutzt. Zum Beispiel sollen nach dem Beschluss der Bundesregierung zur verstärkten Innovationsorientierung (Bundesregierung 2007) auch im Bereich der öffentlichen Beschaffung Bewertungen von Angeboten unter Berücksichtigung von Lebenszykluskosten vorgenommen werden. Dabei wird die Abschätzung der Folgekosten aufgrund fehlender Rechenmodelle als ausreichend angesehen.

Obwohl bereits zahlreiche Lebenszyklusprojekte initiiert wurden, werden häufig Verfahren genutzt, die nur eine überschlägige Antizipation der zukünftigen Kostenergebnisse vornehmen. Auch der in Unternehmen vorliegende Wissensstand kann als ungenügend beschrieben werden, da belastbare Informationen bislang nicht in ausreichendem Maße vorliegen.

Bei der Abschätzung von Lebenszykluskosten ist neben dem dominierenden Bereich des Energieverbrauchs insbesondere der Instandsetzung aufgrund der verursachten Kosten und des bestehenden Informationsbedarfs große Bedeutung beizumessen. Kritisch sind dabei vor allem die kalkulatorischen Lebensdauerannahmen zu gebäudetechnischen Komponenten.

Im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche konnten für den Bereich der Gebäudetechnik ca. 1.500 Lebensdauerangaben akkumuliert werden. Die Analyse schließt mit der Erkenntnis, dass der aktuelle Stand in Bezug auf Umfang, Verteilung, Aktualität und Aussagekraft der Daten für verbindliche Kalkulationen als unbefriedigend zu betrachten ist. Vor allem der Einsatz statischer Kennzahlen ist für gebäudetechnische Anlagen unzureichend. Die in den Datensammlungen festgestellten Bandbreiten der Lebensdauer von technischen Komponenten verdeutlichen diesen Sachverhalt (vgl. Abb. 2).

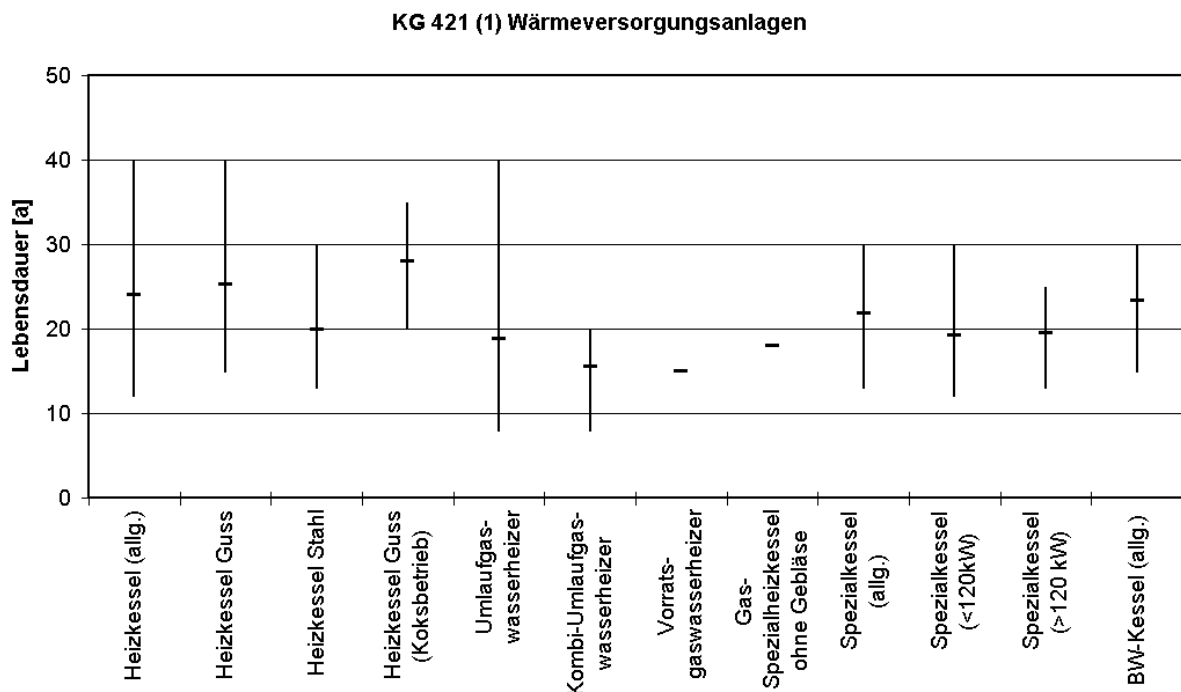


Abb. 2: Verdeutlichung der Bandbreiten vorhandener Literaturangaben (Auszug)

Die in der Regel vorliegenden Mittelwerte eignen sich zur Nutzung als grobe Richtwerte, auf keinen Fall aber zur belastbaren Abschätzung der Lebensdauer von technischen

Komponenten. Dabei ist vor allem die fehlende Berücksichtigung der vorhandenen Einflüsse auf die Höhe der Lebensdauer ursächlich. Aus diesem Mangel an differenzierten spezifischen Kennwerten leitet sich die Grundidee der durchgeführten Arbeit ab, die vorhandenen Verfahren zur Kalkulation von Lebenszykluskosten im Bereich gebäudetechnischer Anlagen um Lösungsansätze zur Berücksichtigung von elementaren Einflussgrößen auf die Lebensdauer der Komponenten zu erweitern.

### **Methodik zur Integration spezifischer Einflüsse**

Die Ansätze zur Vorhersage der Lebensdauer lassen sich unterteilen in analytisch-probabilistische und statistisch-approximierende Methoden. Analytische Prognosemethoden sind für Kalkulationen aufgrund des erforderlichen Aufwandes und des Mangels an notwendigen Informationen ungeeignet. Approximierende Verfahren hingegen werden seit einigen Jahren erfolgreich eingesetzt. Stand der Wissenschaft in diesem Feld ist das Verfahren nach ISO 15686, das die Einflüsse auf die Lebensdauer von Bauobjekten anhand des Faktorenansatzes rechnerisch berücksichtigt. Es besteht jedoch Handlungsbedarf, da die Methodik der ISO für gebäudetechnische Komponenten wenig konkrete Ansätze enthält und in Bezug auf den Ermittlungsprozess Optimierungspotenzial festgestellt werden kann.

Die Weiterentwicklung des Verfahrens besteht primär in der konsistenten Herleitung des entscheidungstheoretischen Rechenalgorithmus. Dabei sind vor allem die ergebnisrelevante Differenzierung zwischen den unterschiedlichen Einflussbereichen und die transparente Beschränkung des Zielwertspektrums von Belang. Für die Struktur der Einflussgrößen wurde eine Gliederung gewählt, die den gesetzten Ansprüchen in Bezug auf Allgemeingültigkeit und Vollständigkeit gerecht wird. Diese orientiert sich an den Lebenszyklusphasen und unterteilt zunächst in die Einflussphasen Herstellung, Planung, Montage und Betrieb. Auf Basis dieser Struktur wurden die vorliegenden Felder weiter diversifiziert und 19 untergeordnete Einflussbereiche (z. B. Produktqualität, Auslegung, Montage, Instandhaltung) festgesetzt. Die Ermittlung des Erwartungswertes der technischen Lebensdauer (ETLD) anhand eines durch Einflussfaktoren angepassten Referenzwertes (RTLTD) nach dem Beispiel der Norm wird grundsätzlich beibehalten (vgl. Abb. 3), jedoch im Detail vollständig überarbeitet.

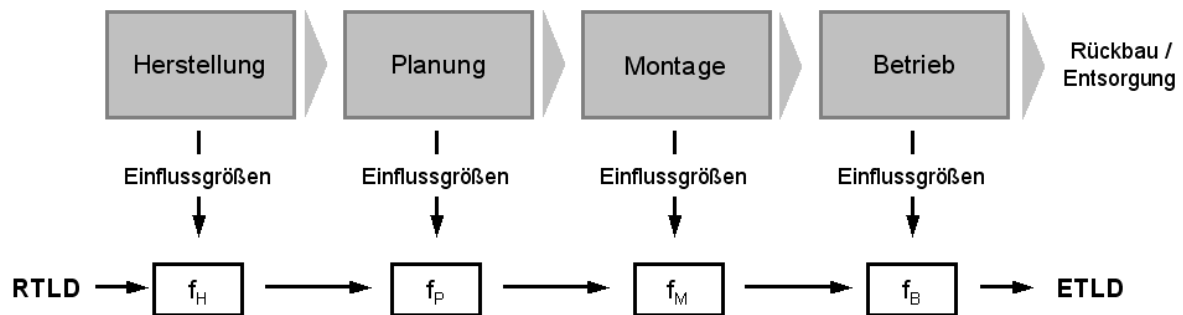


Abb. 3: Ermittlung des Erwartungswertes der technischen Lebensdauer (ETLD)

Die Phasenfaktoren  $f_{L,k,i}$  geben die Bandbreite des Lebensdauereinflusses der Einflussphase  $L$  an, welche im spezifischen Fall  $i$  durch die vorliegenden Ausprägungen der enthaltenen Einflussbereiche bei der Komponente  $k$  erreicht werden kann.

$$ETLD_{k,i} = RTLD_{MW,k} \cdot \prod_L f_{L,k,i} \quad (1)$$

Die übergeordneten Einflussphasen und die enthaltenen Einflussbereiche werden gewichtet ( $g_L$  bzw.  $g_{L,j}$ ) und mit der möglichen Bandbreite der Lebensdauer  $\Delta LD$  auf das Zielwertspektrum skaliert. Anhand von projektspezifischen Einflussbewertungen  $x_{L,j,i}$  kann dann der Erwartungswert der technischen Lebensdauer wie folgt ermittelt werden:

$$ETLD_{k,i} = RTLD_{MW,k} \cdot \prod_L [1 + g_L \cdot \sum_{j=1}^m (g_{L,j} \cdot x_{L,j,i}) \cdot \Delta LD] \quad (2)$$

### Erhebung geeigneter Eingangsdaten

Um die entwickelte Methodik praktisch nutzbar zu machen, wurde eine Prozesskette zur Generierung der erforderlichen Datengrundlage erarbeitet. Aufgrund des Mangels an Informationen war diesbezüglich eine eigenständige Erhebung notwendig. Diese wurde als Mixed Model durch Kombination quantitativer und qualitativer Verfahren konzipiert, um die heterogenen Erfordernisse zu befriedigen. Die Befragung erfolgte nach der Delphi-Methode, um auf strukturiertem Wege eine nutzbare Erhebung unter Experten zu gewährleisten.

Für den geplanten Zweck wurden eine adäquate Erhebungsmethodik und ein zielgerechtes Befragungskonzept entworfen. Die Beschränkung der Anzahl der zu untersuchenden Komponenten auf ein sinnvolles Maß an Key-Komponenten wurde anhand der Kriterien Kostenverursachung, kritische Lebensdauer und bestehender Informationsbedarf vorgenommen. Die so determinierten exemplarischen Untersuchungsgegenstände Kessel,

Brenner, Pumpen, Ventilatoren und Kältekompressoren wurden im Hinblick auf die gängigen Arten ihrer Nutzung untersucht und durch Komponentencuster in 15 Unterkomponenten eingeteilt.

Zur Generierung der Lebensdauerangaben und der Einflussgrößen wurden im Rahmen der Untersuchung rund 100 erfahrenen TGA-Fachleuten aller am Lebenszyklus von Gebäuden beteiligten Gruppierungen Fragebögen zugeleitet. Die Erhebung schließt mit ca. 500 Angaben für den Bereich der Lebensdauer. Die Ergebnisse weisen bei allen Elementen eine gute Übereinstimmung auf. Bei einigen Komponenten sind jedoch deutliche Abweichungen von den in der Regel höheren Literaturangaben festzustellen.

Für den Bereich der Einflussgrößen konnten von 46 Fachleuten insgesamt 276 Fragebögen ausgewertet werden. Eine lebenszyklusphasenbezogene Gewichtung der Einflussgrößen nach der Gruppenzugehörigkeit der befragten Personen wurde nicht identifiziert, die Einschätzungen sind nahezu gleichgerichtet. Die durchschnittlichen Beurteilungen der übergeordneten Einflussphasen liegen in einem engen Spektrum. Die Bewertungen der untergeordneten Einflussbereiche weisen hingegen eine deutliche Bandbreite auf (vgl. Abb. 4). Die Detailauswertung erfolgte nach Einflussbereichen, Gruppierungen und Komponenten.

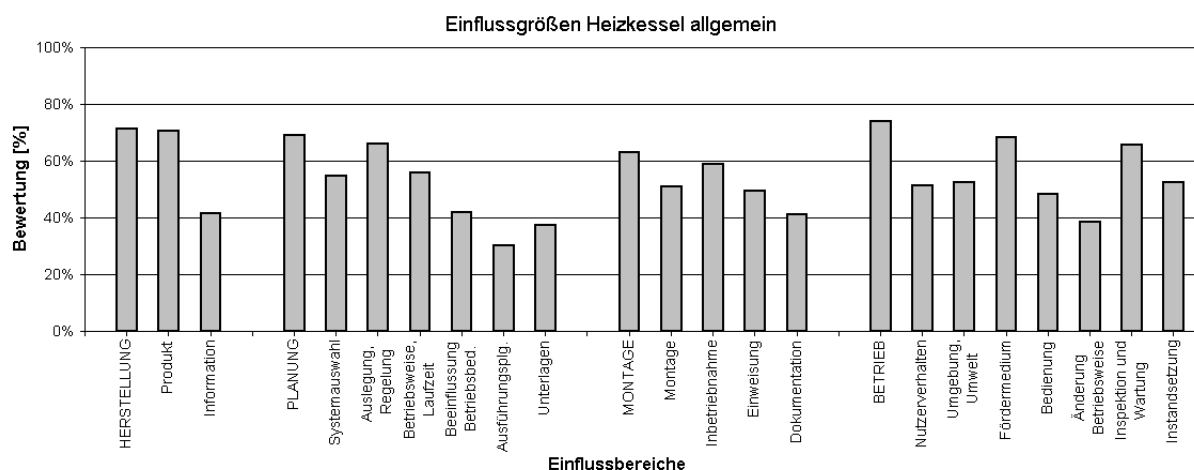


Abb. 4: Diagramm Erhebung Einflussgrößen, Beispiel Heizkessel allgemein

Als Resultat liefert die Erhebung eine Datengrundlage von Lebensdauereinschätzungen und Bewertungen der im Lebenszyklus auf die unterschiedlichen Komponenten einwirkenden Größen. Das wesentliche Ziel der Erhebung, die Generierung von Eingangswerten für das aufgestellte Verfahren, wurde erreicht. Außerdem kann konstatiert werden, dass zwischen der Lebensdauer und den festgelegten Einflussbereichen eine abzubildende Beziehung besteht.

## **Integration und Aufbereitung**

Nach Abschluss und Auswertung wurden die Ergebnisse in den zuvor aufgestellten Berechnungsalgorithmus eingearbeitet und anhand von realen Beispielen validiert. Die Überprüfung schließt mit der grundsätzlichen Verifizierung des Verfahrens.

Auf der Basis von Schätzwerten kann ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden, wenn die genutzten Eingangsgrößen ein gutes Maß an Bestimmtheit besitzen. Da die vorhandene Unsicherheit von Prognosen auch durch ein verbessertes Ermittlungsverfahren nicht vollständig beseitigt werden kann, bestand ein bedeutsames Ziel der Arbeit in der Schaffung von Transparenz. Für die Absicherung der Nutzbarkeit der ermittelten Ergebnisse sind Untersuchungen der statistischen Belastbarkeit unerlässlich. Zur Diskretisierung der bestehenden Unsicherheit der Resultate wurden Konfidenzintervalle für eine übliche Wahrscheinlichkeit von 95 % ermittelt. Die Konfidenzintervalle geben die Genauigkeit der Ergebnisse auf Basis der Bestimmtheit der verwendeten Eingangswerte an und beziehen dabei auch den vorhandenen Erhebungsumfang ein. Ein akzeptables Konfidenzintervall des Erwartungswertes von 25 % lässt sich zum Beispiel erreichen, wenn alle eingehenden Größen im Mittel ein relatives Konfidenzintervall von rund 11 % haben. Eine solche Genauigkeit wird in der Untersuchung bei den Komponenten erzielt, für die Daten aus mehr als 20 Befragungen vorliegen.

Nach der erfolgreichen Validierung wurde zur Unterstützung der Anwendung des Verfahrens ein Leitfaden erarbeitet, der zusätzlich zur Verdeutlichung der Vorgehensweise (vgl. Abb. 5) auch eine Aufstellung von Referenzlebensdauerangaben und Informationen zur Bewertung der Einflussgrößen umfasst.

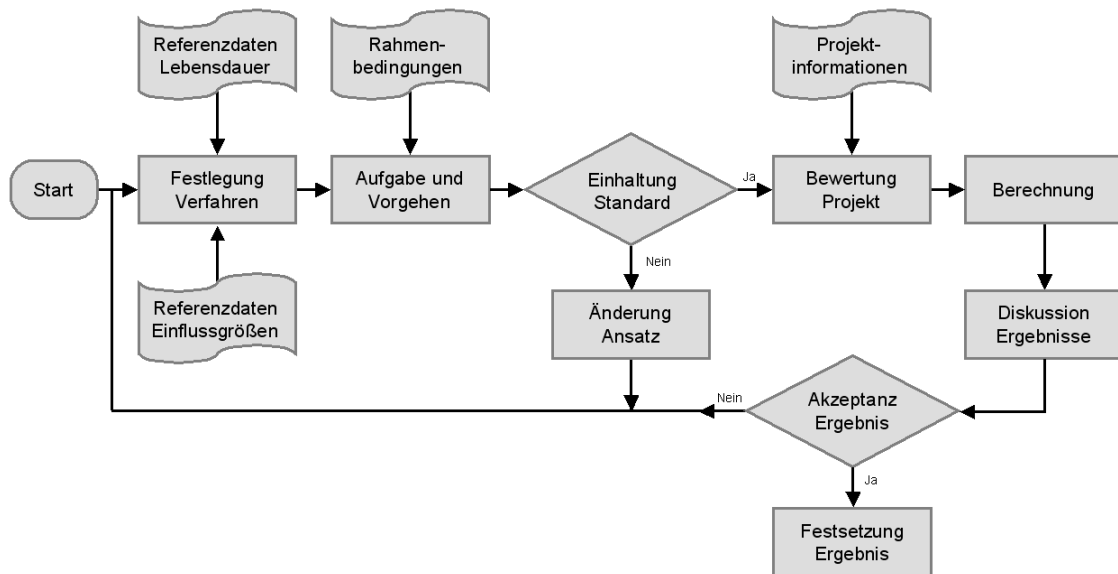


Abb. 5: Flussdiagramm Vorgehensweise

### Abschließende Bewertung

Die vorgestellte Arbeit leistet einen Beitrag zur Verbesserung und Systematisierung des Vorgehens bei der Abschätzung der Lebensdauer gebäudetechnischer Komponenten unter Anwendung statistischer Kontrollverfahren. Zusätzlich zur Vereinheitlichung der Strukturen und der Erweiterung der Datengrundlage wird die Nutzbarmachung der vorliegenden Einflussbereiche durch ein mit erfahrenen Fachleuten abgesichertes Verfahren erreicht.

Das entwickelte Verfahren verdeutlicht in transparenter Weise die integralen Belange von Lebenszyklusprojekten und kann so das Bewusstsein und die zielgerichtete Motivation der beteiligten Personen verbessern. Damit stellt es einen notwendigen Schritt zur Weiterentwicklung lebenszyklusorientierter Ansätze dar und kann als Ausgangsbasis für weitere Maßnahmen dienen. Auf dieser Grundlage sollte die derzeit unzureichende Datenbasis von allen beteiligten Fachleuten zielgerichtet ausgebaut werden.

### Literaturverzeichnis

Bundesregierung (2007): Beschluss der Bundesregierung zur verstärkten

Innovationsförderung öffentlicher Beschaffung, Aktenzeichen B 15 - O 1082 - 000/2, Berlin.

ISO (2000): ISO 15686-1, Buildings and constructed Assets, Service Life Planning, Part 1: General Principles, Genf.