

Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen

Endbericht

Forschungsprogramm

„Zukunft Bau“

Projektlaufzeit

20. November 2008 bis 26. Februar 2010

Aktenzeichen

10.08.17.7-08.20

im Auftrag

des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
sowie des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Dr.-Ing. Carolin Bahr

Prof. Dr.-Ing. Kunibert Lennerts

Kurzfassung

Das Interesse hinsichtlich der Berechnung von Bauteillebensdauern, hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Hintergrund ist u.a. die zunehmende Bedeutung von Lebenszykluskostenberechnungen, z.B. im Rahmen von PPP Projekten, aber auch der zunehmende Bedarf an Ökobilanzierungen. Sowohl für LCC- als auch für LCA-Betrachtungen, stellt die Lebensdauer eines Bauteils eine wichtige Eingangsgröße dar. Darüber hinaus stellt die Bauteillebensdauer eine wichtige Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Bauteilen in der Planungsphase, von Neubau-, aber auch Umbau- oder Instandsetzungsprojekten dar. So können aussagefähige Vergleiche verschiedener Lösungsvarianten nur auf Basis realitätsnaher Nutzungsdauern erstellt werden. Informationen über die Lebensdauer von Bauteilen erleichtern auch die Budgetierung und die Planung aller bauteilbezogenen Maßnahmen sowie des daraus resultierenden Instandhaltungsaufwands, während der Nutzungsphase einer Immobilie. Vor diesem Hintergrund ist es Ziel der Forschungsarbeit, einen Beitrag zur transparenten und nachvollziehbaren Berechnung von Bauteillebensdauern zu leisten. Es soll ein Modell entwickelt werden, das es Akteuren in der Praxis ermöglicht, die Lebensdauer von Bauteilen einfach und realitätsnah zu ermitteln. Mit Hilfe des Modells soll im Gegensatz zu bisherigen, pauschalen Schätzungen zum einen die Genauigkeit und zum anderen die Transparenz und die Überprüfbarkeit der verwendeten Lebensdauern erhöht werden.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden bisher verwendete Verfahren zur Ermittlung von Bauteillebensdauern vorgestellt und diskutiert. Der Fokus liegt hierbei auf den anwendungsorientierten Näherungsmethoden. Es wird überprüft, ob auf bisherige Verfahren aufgebaut werden kann, oder ein komplett neuartiger Ansatz zur Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen notwendig ist. Die Analyse zeigt, dass der Methodenvorschlag der ISO 15686 grundsätzlich sinnvoll ist. Die Referenzfaktormethode der ISO basiert auf der Annahme, dass die Lebensdauer eines Bauteils maßgeblich durch Einflüsse auf die Bauteilqualität, durch Umgebungseinflüsse und Nutzungsbedingungen geprägt wird.

Aufgrund der Tatsache, dass für das Abnutzungsverhalten eines Gebäudes eine Vielzahl von Faktoren verantwortlich ist, werden diese im Rahmen dieser Arbeit näher betrachtet. Einige wirken sich funktionsmindernd auf das Gebäude aus und beschleunigen den Abnutzungsprozess und somit das Aufbrauchen des Abnutzungsvorrates. Andere Faktoren hingegen, verzögern die Alterung von Bauteilen und verlängern dadurch deren Lebensdauer.

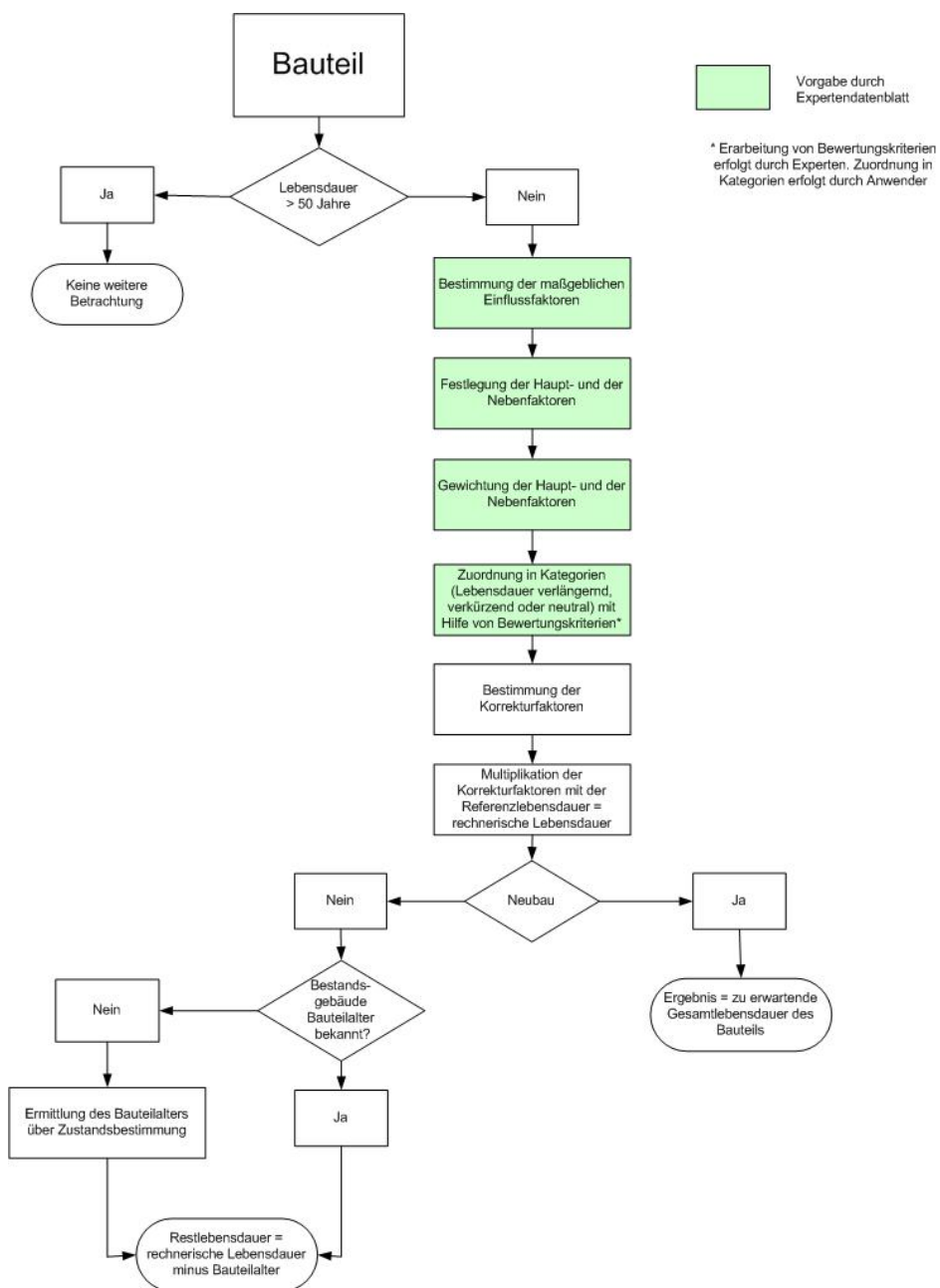
Hierbei wird zwischen Einflüssen auf das materielle Alterungsverhalten und Einflüssen der immateriellen Alterung eines Bauteils differenziert. Da die hier betrachtete technische Lebensdauer eines Bauteils von den materiellen Einflussfaktoren bestimmt wird, liegt der Fokus auf dieser Art von Einflüssen. Da ein Gebäude aus verschiedenen Bauteilen mit jeweils unterschiedlichen Materialien besteht, wird im Rahmen dieser Forschungsarbeit ein kurzer Einblick in die materialabhängigen Auswirkungen von Einflussfaktoren gegeben. In diesem Zusammenhang wird für die wichtigsten Materialien ein Einblick in die materialabhängigen Auswirkungen von Einflussfaktoren gegeben. Ziel ist es hinsichtlich der unterschiedlichen Reaktionen und Auswirkungen von Einflussfaktoren, in Abhängigkeit des verwendeten Materials zu sensibilisieren.

Kern der vorliegenden Forschungsarbeit stellt die Entwicklung des Modells zur Bestimmung der rechnerischen Lebensdauer von Bauteilen dar. Da sich der Methodenvorschlag der ISO 15686 hierfür grundsätzlich als sinnvoll erwiesen hat, wird die Faktorenmethode der ISO als Ausgangsbasis des zu entwickelnden Modells gewählt, sodass sich das grundsätzliche Vorgehen an dieser Richtlinie orientiert. Vor diesem Hintergrund werden im Modell die Lebensdauer beeinflussenden Parameter, mit Hilfe von Faktoren, mit der Referenzlebensdauer verknüpft.

Zur Verbesserung der Ergebnisse wird bei der Entwicklung des Modells versucht, die bisherigen Schwächen der Faktorenmethode und deren Hemmnisse hinsichtlich der Umsetzung in die Praxis, zu beseitigen. So wird die tatsächliche Anwendung des Verfahrens der ISO, zum Beispiel durch die fehlenden Angaben hinsichtlich der zu verwendenden Referenzlebensdauern, erschwert. In der vorliegenden Arbeit werden daher klare Empfehlungen hinsichtlich der zu verwendenden Referenzlebensdauern gegeben. Verbesserungswürdig erscheint darüber hinaus die Tatsache, dass bei der Faktorenmethode nach ISO alle Einflüsse gleich gewichtet werden. Da nicht alle Einflussfaktoren dieselbe Auswirkung auf die Lebensdauer eines Bauteils haben, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Möglichkeit geschaffen, Faktoren hinsichtlich ihrer Wirkungsstärke unterschiedlich zu gewichten. Hierfür wird eine Differenzierung zwischen Haupt- und Nebeneinflussfaktoren vorgeschlagen. Im Gegensatz zur ISO, die alle Einflussfaktoren gleich gewichtet, werden den Faktoren im Modell unterschiedliche Einflüsse zugeschrieben. Darüber hinaus werden im Gegensatz zur ISO, restriktive Vorgaben hinsichtlich der Höhe der Werte für die jeweiligen Einflussfaktoren gemacht, wodurch sich die Aussagekraft und die Transparenz des Verfahrens entscheidend verbessert.

Des Weiteren bietet das entwickelte Modell die Möglichkeit, Einflussfaktoren weiter zu differenzieren als die ISO. Hierzu werden zwei Bewertungsebenen vorgeschlagen. Während die erste Ebene allgemein gültige Kriterien definiert, ohne material- oder bauteilspezifische Eigenschaften genauer zu berücksichtigen, werden die Einflussfaktoren in der zweiten Bewertungsebene hingegen, durch materialspezifische Kriterien, unter detaillierter Betrachtung der gegebenen Randbedingungen beurteilt. Hierdurch ist eine genauere Berechnung, der zu erwartenden Lebensdauer eines Bauteils möglich.

Die Vorgehensweise des entwickelten Modells ist in nachfolgender Grafik dargestellt.



Um die Anwendung des Berechnungsmodells zur Ermittlung der zu erwartenden Lebensdauer demonstrieren zu können, wird das Modell an vier Bauteilen, die repräsentativ für unterschiedliche Beanspruchungsgruppen stehen, beispielhaft angewendet. Stellvertretend für den Zwischenbereich wurde das Bauteil Fensterflügel, Aluminium-Holzkomposit gewählt. Der technische Bereich wird hierbei durch die Betrachtung eines Heizkessels aus dem Bereich der heiztechnischen Geräte und Anlagen repräsentiert. Der interne Bereich wird anhand des Bauteils Teppichboden aus Synthetikfaser beschrieben und der externe Bereich durch die Dachdeckung aus Ziegel. Die exemplarische Anwendung des Modells an den ausgewählten Bauteilen verdeutlicht, dass die Bestimmung der jeweils maßgeblichen Faktoren und deren Einflussgewichtung ein enormes Fachwissen voraussetzt. Spezialisierte Kenntnisse auf Bauteil- bzw. Materialebene liegen beim Anwender des Verfahrens in der Regel jedoch nicht vor. Da die berechnete Lebensdauer sehr stark von der Wahl und der Gewichtung der Einflussfaktoren abhängt, muss bei der Anwendung des Verfahrens eine verfälschende Wahl der Faktoren ausgeschlossen werden. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich in Zukunft Arbeitshilfen zu erarbeiten und diese dem Anwender des Verfahrens zur verbindlichen Nutzung bei der Berechnung von Bauteillebensdauern bereitzustellen und den Entscheidungsspielraum des Anwenders hierbei möglichst stark einzugrenzen. Dies könnte zum Beispiel mit Hilfe von sogenannten Expertendatenblättern erfolgen, die dann für alle relevanten Bauteile, jeweils materialabhängig, die zur Berechnung notwendigen Informationen bereitstellen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird in Zusammenarbeit mit dem Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V. und Vertretern aus der Praxis dieser Branche, beispielhaft ein Expertendatenblatt für das Bauteil Fenster erarbeitet.

Um die Lebensdauer eines Bauteils in der Praxis tatsächlich transparent und nachvollziehbar berechnen zu können, sollte das hier vorgestellte Modell in Zukunft mit „Leben“ gefüllt werden. Hierfür ist es dringend erforderlich, die notwendige Informationsgrundlage nachhaltig zu verbessern. Dies gilt sowohl hinsichtlich standardisierter Referenzlebensdauern, als auch hinsichtlich bauteil- und materialspezifischer Informationen hinsichtlich der wirkenden Einflussfaktoren und deren Gewichtung. Ein nächster wichtiger Schritt stellt u.a. die sukzessive Erarbeitung von Expertendatenblättern dar. Um den Aufwand hierfür möglichst gering zu halten, wird in Kapitel 9.2 ein Vorschlag hinsichtlich der relevanten Bauteile sowie möglicher Ausschlusskriterien gemacht.

Summary

The objective of the project is to contribute to a transparent and reliable service life prediction of components and to draw up a model which facilitates an easy and reliable service life prediction of components. This enhances its transparency and significance.

In recent years there has been an increasing need for service life prediction of building components. This is based on several aspects, such as the increasing importance of Life Cycle Costs e.g. in the area of PPP projects or the rising demand for Life Cycle Assessment. For both LCC as well as LCA analyses, the service life of building components is an important input parameter that has a great influence on the outcome.

Reliable service life predictions for components, for example, are essential for an equally reliable maintenance plan. The service life of components regulates the number of replacement cycles during a building's useful life. In addition to that, comparisons of alternatives can only be conclusive if they are drawn up based on realistic useful life data. Hence, when it comes to choosing components during the planning of buildings or modifications, the service life of these components is of utmost importance in Life Cycle Costing.

In spite of their increased relevance, there exist as of yet no well-founded, realistic, and easy-to-use calculation methods for the service life of components. This is partly due to the lack of component service life data. The currently available service life predictions are either probabilistic approaches or practical approximation approaches.

There are several approaches which try to predict the specific service life of components based on real conditions and characteristics. The best-known method is the so-called factor method, first published in 2000 in the ISO 15686. According to the factor method, seven influencing factors are to be taken into account for a service life prediction of components.

In general, the approach to take into account influencing factors when dealing with specific conditions seems to make sense. However, the ISO 15686 does not give any information on reference service life or the values of the factors. This results in a method which is very difficult to implement.

Extensive research and interviews with practitioners brought to light the defects and flaws of the existing approaches when it comes to their implementation in the field. Using these data as a fundament, a model was developed which allows for a simple, transparent, and realistic

service life prediction of components. This model was tested with four components which represent different load and stress groups.

Therefore, the factor method of the ISO 15686 was chosen as a starting point and the proposed model basically follows this guideline.

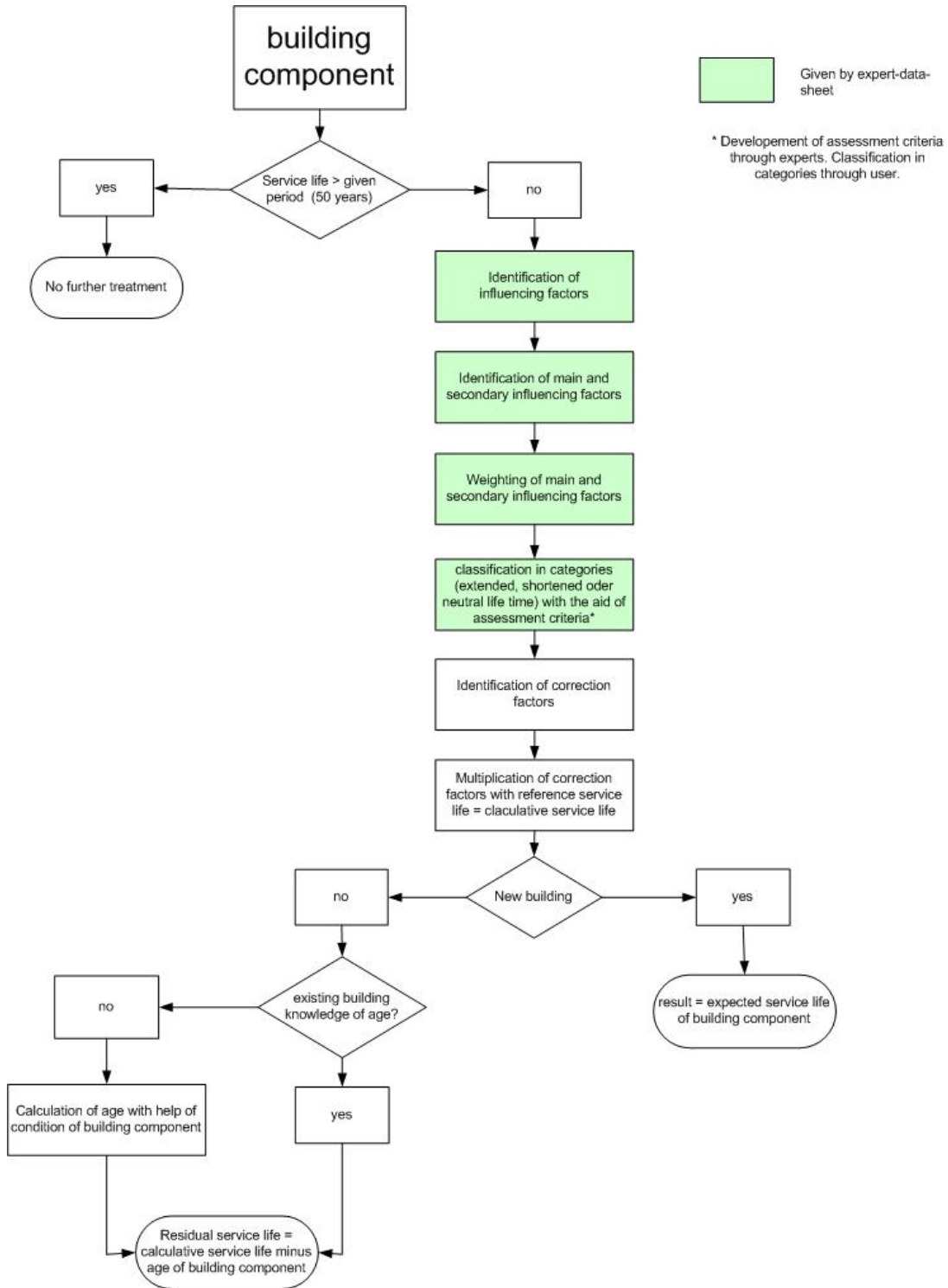
In order to improve the results of the factor method, the new model tries to eliminate the existing weaknesses and flaws with regards to the implementation.

One such flaw of the ISO approach is the fact that it does not provide any data on the usage of reference service life information. The new model, however, does give clear statements with regards to the application of reference service life parameters. There is also room for improvement where the ISO factor method assigns the same weight to all influencing factors. Taking into account that the different influencing factors might have very different impact, this does not reflect reality. With the new model, it is possible to weight each influencing factor differently. The suggestion is to differentiate between primary and secondary influencing factors. Therefore, and quite in contrast to the ISO which weights all influencing factors the same, the model at hand assigns different weight to different influencing factors. Furthermore, and again as opposed to the ISO, the values of the influencing factors are restricted in the new model. This enhances its transparency and significance.

Furthermore, the new model allows the user to differentiate the influencing factors to a greater extent than the ISO does. The following two levels are proposed. The first level provides universally valid criteria, disregarding material or component-related data. The second level does include those criteria and evaluates them while taking into account the existing conditions. This allows for a more exact prediction of the service life of a component.

For a demonstration of this project, this service life prediction model was tested with four components which represent different load and stress groups. It became apparent, that for choosing the relevant factors and weighting them, great expertise is an essential. However, the average user does not usually have this expertise on components and materials. It is therefore necessary to exclude the possibility of choosing inappropriate factors when using this approach, since a service life prediction greatly depends on the choice and weighting of the influencing factors. This makes it necessary to design tools which the user is obligated to employ when predicting the service life of components. It is also necessary to restrict the user's choices to a minimum. One possibility to do this is using so-called expert data sheets.

These data sheets would provide all data of the materials of the relevant components which are needed for their evaluation.



Inhaltsverzeichnis

1	EINFÜHRUNG	11
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung.....	11
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	12
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	14
2.1	Alterungsverhalten und Lebensdauer von Bauteilen.....	14
2.1.1	Abnutzung und Abnutzungsvorrat.....	14
2.1.2	Alterung eines Gebäudes	15
2.1.3	Lebensdauerarten.....	16
3	VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG VON BAUTEILLEBENSDAUERN	18
3.1	Anwendungsorientierte Näherungsmethoden	18
3.1.1	Kennwerte.....	18
3.1.2	Referenzfaktorenmethode von Tomm, Rentmeister und Finke.....	21
3.1.3	Faktorenmethode der ISO 15686	21
4	EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE BAUTEILLEBENSDAUER	24
4.1	Materielle Einflussfaktoren	24
4.1.1	Materialeigenes Alterungsverhalten.....	24
4.1.2	Baujahr	24
4.1.3	Bauteilqualität	26
4.1.4	Planungsqualität	26
4.1.5	Ausführungsqualität	27
4.1.6	Gegenseitige Beeinflussung von Bauteilen.....	28
4.1.7	Temperatureinwirkungen	29
4.1.8	Strahlung	29
4.1.9	Feuchtigkeit	31
4.1.10	Luftverschmutzung	32
4.1.11	Wind	33
4.1.12	Bauwerkserschütterung	34
4.1.13	Mechanische Belastungen.....	35
4.1.14	Art der Nutzung.....	35
4.1.15	Qualität der Instandhaltung.....	36

4.1.16	Instandhaltungsfreundlichkeit des Bauteils	39
4.1.17	Instandhaltungsstrategie	40
4.2	Immaterielle Einflussfaktoren.....	41
4.2.1	Funktionale Obsoleszenz.....	41
4.2.2	Modische Obsoleszenz.....	41
4.2.3	Baurechtliche Obsoleszenz	42
4.2.4	Ökologische Obsoleszenz	42
4.2.5	Ökonomische Obsoleszenz	42
4.2.6	Technisch Obsoleszenz.....	43
4.2.7	Sonstige.....	43
5	EINFLÜSSE AUF DIE LEBENSDAUER VON BAUWERKSTOFFEN.....	44
5.1	Einflüsse auf die Lebensdauer anorganischer Baustoffe.....	44
5.1.1	Beton	44
5.1.2	Mörtel.....	46
5.1.3	Keramische Werkstoffe.....	47
5.1.4	Naturstein	48
5.1.5	Glas	48
5.2	Einflüsse auf die Lebensdauer von Holzbauteilen	49
5.3	Einflüsse auf die Lebensdauer von Kunststoffen.....	50
5.4	Einflüsse auf die Lebensdauer bituminöser Baustoffe	52
5.5	Einflüsse auf die Lebensdauer von Metallen	53
5.6	Fazit zu materialspezifischen Einflüssen	55
6	ENTWICKLUNG DES MODELLS.....	56
6.1	Referenzlebensdauer	56
6.2	Einflussfaktoren.....	59
6.3	Kategorien und Gewichtung.....	64
6.4	Erste und zweite Bewertungsebene der Faktoren	66
6.4.1	Kriterien der ersten Bewertungsebene	67
6.4.2	Kriterien der zweiten Bewertungsebene	68
6.5	Bauteile.....	73
6.5.1	Ausschluss bestimmter Bauelemente	73
6.5.2	Gruppierung nach Belastungsschwerpunkten	74

6.6 Bestandsbauten	76
6.6.1 MER – méthode d'évaluation rapide.....	77
6.6.2 Impulsprogramm Bau (IPBau).....	77
6.6.3 DUEGA.....	78
6.6.4 STRATUS.....	78
6.6.5 INVESTIMMO.....	79
6.6.6 EPIQR.....	79
6.7 Innovative Bauprodukte	80
6.8 Zusammenfassung Modellablauf	80
7 MODELLANWENDUNG AN AUSGEWÄHLTEN BAUTEILEN	84
7.1 Beispiel Fenster.....	85
7.2 Beispiel heiztechnische Geräte und Anlagen.....	89
7.3 Beispiel: Bodenbelag.....	95
7.4 Beispiel Dach - Deckschicht außen.....	101
7.5 Diskussion und Schlussfolgerungen.....	105
8 RELEVANZ FÜR DAS BEWERTUNGSSYSTEM NACHHALTIGES BAUEN	111
9 UMSETZUNG IN DIE PRAXIS	115
9.1 Referenzlebensdauern.....	116
9.2 Erarbeitung von Expertendatenblätter.....	116
9.3 Erstellung eines Gebäudeerfassungsbogen.....	122
10 QUELLEN	124
ANHANG A CHARAKTERISTISCHE MATERIALIEN NACH BAUJAHRESGRUPPEN	10-A
ANHANG B REFERENZBAUTEILE UND EINFLUSSFAKTOREN	10-B

1 Einführung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Das Interesse hinsichtlich der Berechnung von Bauteillebensdauern hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Hintergrund ist u.a. die zunehmende Bedeutung von Lebenszykluskostenberechnungen, z.B. im Rahmen von PPP Projekten, aber auch der zunehmende Bedarf an Ökobilanzierungen. Sowohl für LCC- als auch für LCA-Betrachtungen, stellt die Lebensdauer eines Bauteils eine wichtige Eingangsgröße dar. Darüber hinaus stellt die Bauteillebensdauer eine wichtige Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Bauteilen in der Planungsphase, von Neubau- aber auch Umbau- oder Instandsetzungsprojekten dar. So können aussagefähige Vergleiche verschiedener Lösungsvarianten nur auf Basis realitätsnaher Nutzungsdauern erstellt werden. Informationen über die Lebensdauer von Bauteilen erleichtern auch die Budgetierung und die Planung aller bauteilbezogenen Maßnahmen sowie des daraus resultierenden Instandhaltungsaufwands während der Nutzungsphase einer Immobilie.

Bisher fehlt jedoch ein praxisgerechtes Berechnungsverfahren, mit dem die zu erwartenden Lebensdauern realitätsnah ermittelt werden können. Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen des Projekts ein Modell entwickelt werden, das eine transparente und nachvollziehbare Berechnung der Lebensdauern von Bauteilen in der Praxis ermöglicht.

Die Herausforderung bei der Entwicklung eines derartigen Berechnungsmodells, liegt zum einen darin, aus der großen Menge verschiedenartiger Einflussfaktoren und Randbedingungen, diejenigen Parameter herauszufiltern, die sich maßgeblich auf die Lebensdauer eines Bauteils auswirken. Zum anderen muss ein sinnvoller bzw. praxistauglicher Ansatz gefunden werden, um diese mit einem sogenannten Referenzwert zu verknüpfen. Hierbei ist insbesondere darauf zu achten, dass der erforderliche Aufwand zur Ermittlung der Bauteillebensdauern in einem sinnvollen Verhältnis zum erwarteten Nutzen und zur Genauigkeit des Verfahrens steht.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel der Forschungsarbeit ist es, einen Beitrag zur transparenten und nachvollziehbaren Berechnung von Bauteillebensdauern zu leisten. Es soll ein Modell entwickelt werden, das es Akteuren in der Praxis ermöglicht, die Lebensdauer von Bauteilen einfach und realitätsnah zu ermitteln. Mit Hilfe des Modells soll im Gegensatz zu bisherigen, pauschalen Schätzungen zum einen die Genauigkeit und zum anderen die Transparenz und die Überprüfbarkeit der verwendeten Lebensdauern erhöht werden.

Vor diesem Hintergrund werden zunächst die notwendigen Begrifflichkeiten erläutert und eindeutig abgegrenzt. Hierauf aufbauend wird zunächst der Lebenszyklus bzw. der Alterungsprozess von Bauteilen sowie die mögliche Einflussnahme auf diesen Prozess näher betrachtet.

Zur Entwicklung des Modells wird überprüft, ob auf bisherige Verfahren aufgebaut werden kann, oder ein komplett neuartiger Ansatz zur Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen notwendig ist. Hierzu werden verschiedene Verfahren zur Ermittlung von Bauteillebensdauern vorgestellt und diskutiert.

Um die Genauigkeit gegenüber bisherigen Ansätzen zu erhöhen, werden die unterschiedlichen Faktoren, die die Lebensdauer eines Bauteils beeinflussen, näher betrachtet. Grundsätzlich gibt es eine Vielzahl von Faktoren, die Einfluss auf das Abnutzungsverhalten haben. Während einige den Alterungsprozess beschleunigen, können andere Faktoren die Alterung eines Bauteils hingegen verzögern, sodass sich dessen Lebensdauer verlängert. Hierbei wird zwischen den materiellen und den immateriellen Einflussfaktoren differenziert, wobei die technische Lebensdauer maßgeblich von den materiellen Faktoren bestimmt wird.

Um zu verdeutlichen, dass die Auswirkungen von Einflussfaktoren sehr materialspezifisch sind, wird ein kurzer Einblick in die materialabhängigen Auswirkungen von Einflussfaktoren gegeben. In diesem Zusammenhang werden für die am häufigsten zum Einsatz kommenden Bauwerkstoffe, mögliche Lebensdauer beeinflussende Parameter kurz beschrieben. Ziel ist es hinsichtlich der unterschiedlichen Reaktionen und Auswirkungen von Einflussfaktoren, in Abhängigkeit des verwendeten Materials zu sensibilisieren.

Abschließend wird das Modell zur Ermittlung der rechnerischen Lebensdauer von Bauteilen entwickelt. Als Ausgangsbasis des Modells, wird die Faktorenmethode der ISO 15686 gewählt, sodass sich das grundsätzliche Vorgehen an dieser Richtlinie orientiert. Wie bei der

Faktorenmethode, werden auch bei diesem Modell die Lebensdauer beeinflussenden Parameter, mit Hilfe von Faktoren, mit der Referenzlebensdauer verknüpft. Jedoch wird versucht, die bisherigen Schwächen der Faktorenmethode zu beseitigen. Zur Anwendung in der Praxis, werden daher klare Empfehlungen hinsichtlich der zu verwendenden Referenzlebensdauern gegeben. Da nicht alle Einflussfaktoren dieselbe Auswirkung auf die Lebensdauer eines Bauteils haben, wird in dem Modell eine Möglichkeit geschaffen, Faktoren hinsichtlich ihrer Wirkungsstärke unterschiedlich zu gewichten. Hierfür wird eine Differenzierung zwischen Haupt- und Nebeneinflussfaktoren vorgeschlagen. Im Gegensatz zur ISO, die alle Einflussfaktoren gleich gewichtet, werden den Faktoren im Modell unterschiedliche Einflüsse zugeschrieben. Darüber hinaus werden im Gegensatz zur ISO, restriktive Vorgaben hinsichtlich der Höhe der Werte für die jeweiligen Einflussfaktoren gemacht, wodurch sich die Aussagekraft und die Transparenz des Verfahrens entscheidend verbessert. Des Weiteren bietet das Modell die Möglichkeit, Einflussfaktoren weiter zu differenzieren, als die ISO. Hierzu werden zwei Bewertungsebenen vorgeschlagen. Während die erste Ebene allgemein gültige Kriterien definiert, ohne material- oder bauteilspezifische Eigenschaften genauer zu berücksichtigen, werden die Einflussfaktoren in der zweiten Bewertungsebene hingegen, durch materialspezifische Kriterien, unter detaillierter Betrachtung der gegebenen Randbedingungen beurteilt. Hierdurch ist eine genauere Berechnung der zu erwartenden Lebensdauer eines Bauteils möglich.

Abschließend wird das Modell mit Hilfe von vier Bauteilen, die repräsentativ für unterschiedliche Beanspruchungsgruppen stehen, getestet. Die exemplarische Anwendung des Modells verdeutlicht, dass die Berechnung von Bauteillebensdauern ein enormes Fachwissen voraussetzt. Um das entwickelte Modell in der Praxis anwenden zu können, bedarf es somit Expertenwissen, das den Anwendern zu Verfügung gestellt werden muss. Dies könnte zum Beispiel mit Hilfe von sogenannten Expertendatenblättern erfolgen, die dann für alle relevanten Bauteile, jeweils materialabhängig, die zur Berechnung notwendigen Informationen bereitstellen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Alterungsverhalten und Lebensdauer von Bauteilen

2.1.1 Abnutzung und Abnutzungsvorrat

Beim Einbau eines Bauteils weist dieses eine bestimmte Gebrauchs- oder Funktionsfähigkeit auf. Der sogenannte Abnutzungsvorrat reduziert sich im Verlauf der Nutzungsphase und kann durch Instandhaltungsmaßnahmen wieder hergestellt werden. Dieser Abnutzungsprozess ist in Abbildung 1 grafisch dargestellt.

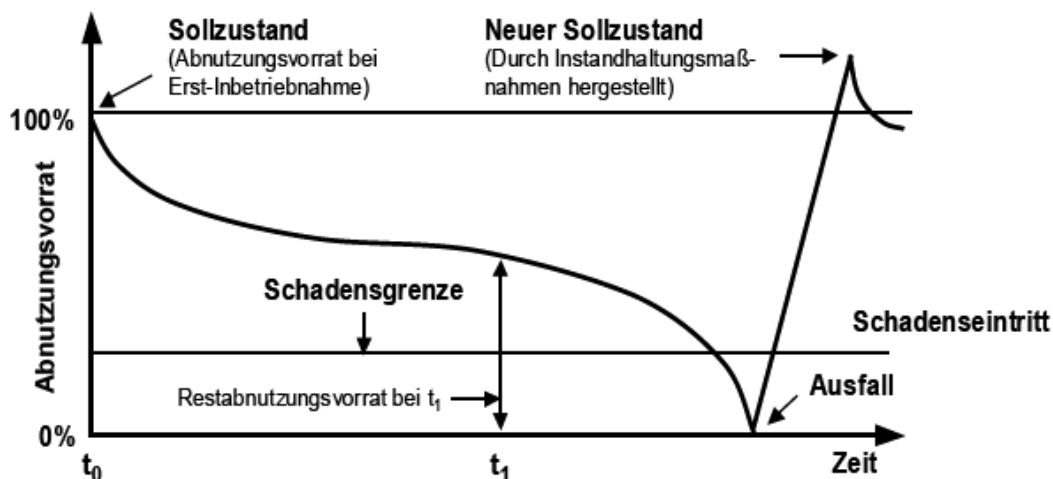


Abbildung 1: Modell des Abnutzungsvorrates [Alca00]

Das aufgezeigte Modell stellt den Abnutzungsverlauf vereinfacht durch eine Kurve dar. Der Abnutzungsvorrat (y – Achse) beträgt bei der Inbetriebnahme des Bauteils 100 %. Dieser Vorrat wird im Laufe der Zeit, durch die Nutzung und äußere Einflüsse immer weiter abgebaut. Bei Überschreitung der Schadensgrenze, ist der Abnutzungsvorrat so gering, dass ein Schaden am Bauteil eintritt. Zum endgültigen Ausfall kommt es bei einem Abnutzungsvorrat von 0 %, wobei spätestens zu diesem Zeitpunkt der Abnutzungsvorrat durch Maßnahmen der Instandhaltung wieder hergestellt werden muss. Auf Grund von technischen Verbesserungen ist es möglich, den Abnutzungsvorrat über die Grenze von 100% zu erweitern.

Nach DIN 31051:2003-06 [DIN03] sind die Begriffe Abnutzung, Abnutzungsvorrat und Abnutzungsgrenze wie folgt definiert:

Abnutzung:

Abbau des Abnutzungsvorrates, hervorgerufen durch chemische und / oder physikalische Vorgänge.

Abnutzungsvorrat:

Vorrat der möglichen Funktionserfüllung unter festgelegten Bedingungen, der einer Betrachtungseinheit aufgrund der Herstellung, Instandsetzung oder Verbesserung innewohnt.

Abnutzungsgrenze:

Der vereinbarte oder festgelegte Mindestwert des Abnutzungsvorrates.

2.1.2 Alterung eines Gebäudes

Die Alterung eines Gebäudes und dessen Bauteile wird durch verschiedene Parameter beeinflusst, die während des Lebenszyklus auf das Gebäude einwirken. Diese werden in Kapitel 4 näher beschrieben. Grundsätzlich wird zwischen der materiellen und der immateriellen Alterung differenziert.

Bei der immateriellen Alterung handelt es sich um Wertverluste, die ihre Ursache u.a. in den wachsenden oder sich ändernden Ansprüchen und Anforderungen der Nutzer oder in neuen, technisch und wirtschaftlich verbesserten Elementen haben. Neben dem technischen Fortschritt, kann es sich bei der immateriellen Alterung beispielsweise auch um Änderungen im Markt- und Konsumentenverhalten oder um gesetzliche Änderungen handeln. Diese Form der Alterung hat zwar keinen Einfluss auf den materiellen Abbau des Abnutzungsvorrates, jedoch hat sie einen Wertverlust des Gebäudes zur Folge [Klin07]. Die immaterielle Alterung kann dazu führen, dass voll funktionsfähige Bauteile u.a. aufgrund wirtschaftlicher, technischer oder rechtlicher Aspekte vorzeitig ersetzt werden.

Die materielle Alterung wird u.a. durch altersbedingte Elementveränderungen sowie Abnutzung, chemische Reaktionen oder auch mechanische Einwirkungen verursacht. Sie enthält als reguläre Abnutzung die Faktoren Ermüdung, Verschleiß, Korrosion und Alterung. Im Zuge der materiellen Alterung wird der Abnutzungsvorrat abgebaut, wobei es mit dem Erreichen der Abnutzungsgrenze zum Ausfall des Bauteils kommt.

2.1.3 Lebensdauerarten

Hinsichtlich der Lebensdauer eines Bauteils wird zwischen der technischen und der wirtschaftlichen Lebensdauer differenziert.

Die technische Lebensdauer ist die Zeitspanne zwischen Errichtung und Ausfall. Sie stellt eine Obergrenze für die Haltbarkeit von Bauteilen dar und ist somit erreicht, wenn ein Bauteil, die ihm zugeordnete Funktion nicht mehr erfüllen kann, Instandhaltungsmaßnahmen technisch nicht mehr möglich sind und das Bauteil ausgetauscht werden muss. Der Abnutzungsvorrat ist zum Ende der technischen Lebensdauer vollends verbraucht. Die technische Lebensdauer eines Bauteils ist in Abbildung 2 grafisch dargestellt.

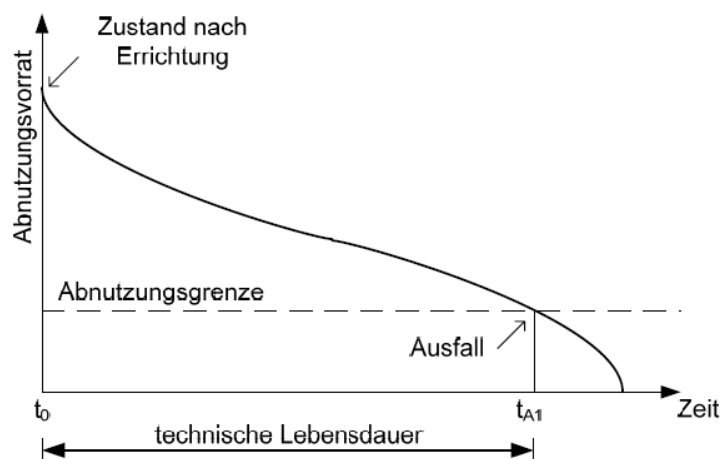


Abbildung 2: Technische Lebensdauer eines Bauteils [Klin07]

Die wirtschaftliche Lebensdauer bezeichnet den Zeitraum, in dem es unter den gegebenen Bedingungen ökonomisch sinnvoll ist, das Bauteil zu nutzen. Das Ende der wirtschaftlichen Nutzungsdauer ist erreicht, wenn die Kosten für das Bauteil die Erträge übersteigen, z.B. aufgrund von hohen Kosten für Instandhaltungen oder wenn alternative Nutzungen unter Berücksichtigung aller Kosten eine höhere Rendite erwirtschaften. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer bei Immobilien hängt sowohl von der Nutzungsmöglichkeit als auch von den Abhängigkeiten der Bauteile untereinander und den Nutzungsansprüchen ab. Je besser ein Gebäude, ein Bauteil bzw. eine Anlage sich an wechselnde Anforderungen anpassen lässt, desto positiver wirkt sich dies auf die wirtschaftliche Lebensdauer aus. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer ist in der Regel kürzer als die technische Lebensdauer.

Es ist zu bemerken, dass die tatsächliche Verweildauer eines Bauteils im Gebäude nicht unbedingt von der technischen Lebensdauer abhängt. So können immaterielle Einflussfaktoren, wie zum Beispiel modische oder rechtliche Aspekte (Vgl. Kapitel 4.2), zu einem vorzeitigen Austausch von voll funktionsfähigen Bauteilen führen. Die Abnutzungsgrenze wird in diesem Fall nicht erreicht, sodass die tatsächliche Lebensdauer des Bauteils kleiner als dessen technische Lebensdauer ist. Die Ursachen für einen vorzeitigen Austausch sind häufig nicht im Bauteil selbst begründet, sodass eine Vorhersage der tatsächlichen Lebensdauer nicht möglich ist.

Mit Hilfe des in Kapitel 6 entwickelnden Modells kann die technische Lebensdauer eines Bauteils berechnet werden.

3 Verfahren zur Ermittlung von Bauteillebensdauern

Grundsätzlich lassen sich die Verfahren zur Ermittlung von Lebensdauern aufteilen in wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden und in anwendungsorientierte Näherungsmethoden.

Die wahrscheinlichkeitstheoretischen Methoden sind meist sehr materialspezifisch und hoch spezialisiert. Ziel ist es den Alterungsprozess mithilfe probabilistischer Ansätze möglichst exakt zu beschreiben. Ein typischer Anwendungsbereich sind zum Beispiel Stahlbeton- und Stahlkonstruktionen. Mit einem enormen Anspruch an Präzision und Detaillierung werden verschiedene Beanspruchungen und die damit verbundenen Schadensbilder analysiert. Diese Untersuchungen sind sehr zeit- und kostenaufwendig. Im Baubereich rechtfertigen die Kosten solcher wahrscheinlichkeitstheoretischer Methoden den damit verbundenen Nutzen meist nicht.

Die anwendungsorientierten Näherungsmethoden haben zum Ziel mit Hilfe von Annahmen die Lebensdauern von Bauteilen plausibel abzuschätzen. In den nachfolgenden Kapiteln sind die wichtigsten anwendungsorientierten Näherungsmethoden aufgeführt.

3.1 Anwendungsorientierte Näherungsmethoden

3.1.1 Kennwerte

In der Literatur stehen zahlreiche Quellen mit Lebensdauerdaten und Intervallkataloge für die Instandhaltungsmaßnahmen zur Verfügung. Diese Angaben beruhen zum einen auf wissenschaftlichen Untersuchungen und zum anderen auf Erfahrungswerten aus der Immobilienwirtschaft oder auch auf Herstellerangaben. Tabelle 1 stellt beispielhaft Publikationen mit Angaben zu Lebensdauerdaten in einer Übersicht zusammen.

Es zeigt sich, dass bereits seit Jahrzehnten Angaben zu Lebensdauern ermittelt und zusammengetragen werden. Häufig handelt es sich hierbei um Lebensdauertabellen ohne weitere Angaben zu den Randbedingungen, unter denen die Daten gewonnen wurden, oder aus welchen Quellen sie stammen. Aufgrund der fehlenden Angaben zu Randbedingungen der Datengrundlage sind keine Vergleichs- und Beurteilungskriterien gegeben. Grund hierfür ist, dass bisher noch kein einheitlicher Standard oder Maßstab existiert, wie die Werte zu ermitteln sind.

Tabelle 1: Literaturangaben zu Lebensdauerdaten

Jahr	Verf./Hrsg.	Titel
1967	Zehme	Der Unterhalt von Bauten.
1970	Burkhardt et al.	Tatbestand Wohnen.
1974	SVW	Schweizerischer Verband für Wohnungswesen, Schriftenreihe SVW Nr. 3
1979	Menkhoff et al.	Baustoffe und Bauunterhaltungskosten. Wirtschaftlich günstige Relationen von Herstellungs- und Unterhaltungskosten der Gebäude.
1984	Peters	Instandhaltung und Instandsetzung von Wohnungseigentum
1985	Krug	Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung
1985	Potyka/Zabrana	Pflegefall Althaus. Reparaturzyklen von Wohnhäusern
1987	Simons et al.	Die Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen.
1988	Klocke	Mein Haus wird älter - was tun? Ratgeber mit Checklisten zur Vermeidung von Bauschäden durch preiswerte Pflege und Unterhaltung.
1988	Nägeli et al.	Handbuch des Liegenschaftsschätzers.
1989	Claus	Die Kosten der Instandhaltung des Bauwerksbestands in der Bundesrepublik Deutschland und deren Auswirkungen auf die Beschäftigung im Baugewerbe.
1991	WertR	Richtlinien für die Ermittlung der Verkehrswerte von Grundstücken. Die technischen Lebensdauern von baulichen Anlagen, von Außenanlagen sowie von besonderen Betriebseinrichtungen sind jedoch nicht in die aktuelle WertR2006
1992	Schröder	Zustandsbewertung großer Gebäudebestände
1994	IPBau	Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltungskosten.
1995	Hirschberger et al.	Senkung der Baufolgekosten durch systematische und zustnadsabhängige Erhaltung von Gebäuden und langzeitkostenoptimierte Baustoffwahl.
1995	Steiger et al.	Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten.
1995	Tomm et al.	Geplante Instandhaltung. Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden.
2000	Cox	Instandhaltungsmanagement im Wohnungsbau.
2001	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung	Leitfaden Nachhaltiges Bauen.
2001	Hellerforth	Facility Management. Immobilien optimal verwalten. Kosten reduzieren, Rendite erhöhen, Abläufe optimieren.
2008	BMVBS	Nutzungsdauer von Bauteilen. Download der Datenbank unter: http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html

Aufgrund der verschiedenen Quellen und den unterschiedlichen Randbedingungen, unter denen die Werte gewonnen wurden, zeigen sich bei einem Vergleich der Lebensdauerangaben eines Bauteils zum Teil erhebliche Streuungen der vorhandenen Lebensdauerangaben. Die Abweichungen der Werte verschiedener Quellen sind beispielhaft in Abbildung 3 und Abbildung 4 für das Bauteil Fenster bzw. Fußboden dargestellt.

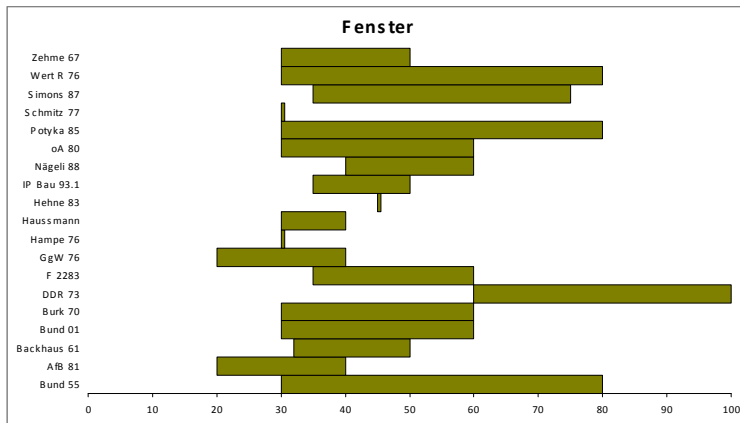


Abbildung 3: Lebensdauerangaben verschiedener Quellen, Bauteil Fenster [Buer04]

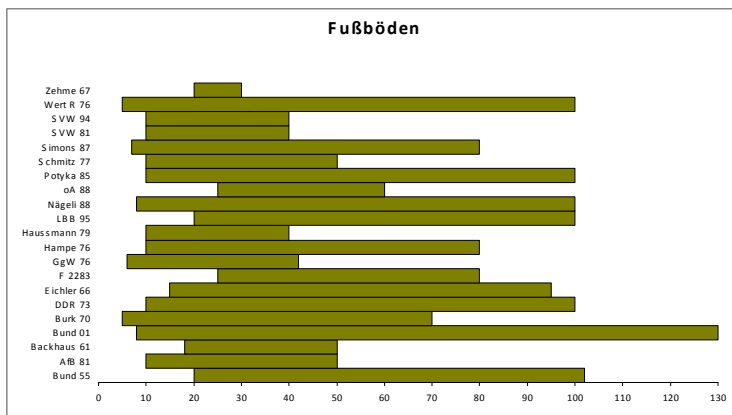


Abbildung 4: Lebensdauerangaben verschiedener Quellen, Bauteil Fußboden [Buer04]

Kennwerte zu Bauteillebensdauern können somit lediglich als erster Anhaltswert dienen. Aufgrund der unterschiedlichen gebäudespezifischen Eigenschaften und der verschiedenen Einflussfaktoren, die auf das Gebäude wirken, entspricht die Lebensdauer eines Bauteils meist nicht diesen Angaben. Vor diesem Hintergrund sollten die individuellen Randbedingungen und Eigenschaften eines Gebäudes in die Betrachtung der Lebensdauer einbezogen werden.

Es gibt unterschiedliche Forschungsarbeiten, die versuchen die spezifische Lebensdauer von Bauteilen in Abhängigkeit von Einflussfaktoren zu berechnen. Mit Hilfe sogenannter Korrekturfaktoren kann hiermit aus der mittleren Referenzlebensdauer die spezifische Lebensdauer eines Bauteils, abhängig von den vorliegenden Bedingungen, abgeleitet werden.

3.1.2 Referenzfaktorenmethode von Tomm, Rentmeister und Finke

1995 veröffentlichte das Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung (LBB) in Zusammenarbeit mit der ARGEBAU- Fachkommission „Standardisierung und Rationalisierung“ das „Verfahren zur systematischen Erfassung und Steuerung von Instandhaltungsmaßnahmen an Gebäuden“ [ToRF95].

Basis des Verfahrens bildet ein Bauelementekatalog, in dem die instandhaltungsrelevanten Bauteile gemäß DIN 276 gegliedert werden. Insgesamt beinhaltet der Katalog etwa 100 verschiedene Bauteilgruppen und deren Standarddaten als Orientierungshilfe. Die im Bauelementekatalog angeführten Angaben zur mittleren Lebenserwartung gehen von normalen, durchschnittlichen Verhältnissen bezüglich Nutzung, Qualität, Umwelt und Instandhaltungsintensität aus.

In einem ersten Schritt werden die für die Instandhaltung charakteristischen Merkmale des Gebäudes bis hin zum einzelnen Bauelement qualitativ erfasst und aufgelistet. Basierend auf dieser Dokumentation werden die im Katalog angegebenen „mittleren Lebensdauern“ der instandhaltungsrelevanten Bauteile über Einflussfaktoren und über Abzugsfaktoren wie Elementalter oder Abnutzung den spezifischen Verhältnissen angepasst. Berücksichtigt werden hierbei vier Einflussfaktoren, nämlich die Nutzung und die Qualität sowie die Umwelteinflüsse und die Instandhaltungsintensität. Die Berücksichtigung dieser Faktoren soll Helfen die mittlere Lebensdauerangabe nach oben oder nach unten abzuändern. Jedoch ist zu bemerken, dass keine Rechenvorschrift und auch keine Gewichtung der Einflüsse vorgegeben wird. Das heißt die Verkürzung oder die Verlängerung der Lebensdauer muss durch den Anwender anhand seiner individuellen Erfahrung den spezifischen Verhältnissen entsprechend erfolgen. Hierdurch unterliegt die Ermittlung der Lebensdauer von Bauteilen subjektiven und persönlichen Erfahrungen des Anwenders. Die Angaben zu den mittleren Lebensdauern basieren auf Daten und Erkenntnissen aus der Literatur, eigenen Erfahrungen der Bearbeiter sowie Informationen von externen Fachleuten und Firmeninformationen.

3.1.3 Faktorenmethode der ISO 15686

Im Jahr 2000 wurde die ISO 15686 [ISO01] mit der sogenannten Faktorenmethode veröffentlicht. Ähnlich wie das Verfahren von Tomm, Rentmeister und Finke [ToRF95] nur etwas detaillierter, versucht diese Methode zur Bestimmung der spezifischen Lebensdauer die tat-

sächlichen Umweltbedingungen einzelner Bauteile zu berücksichtigen. Vorbild war eine ähnliche Methode, die 1993 in Japan entwickelt wurde.

Die Referenzfaktormethode der ISO 15 686 basiert auf der Annahme, dass die Lebensdauer eines Bauteils maßgeblich durch Einflüsse auf die Bauteilqualität, durch Umgebungseinflüsse und Nutzungsbedingungen geprägt wird. Die ISO 15 686 definiert sieben Einflussfaktoren (A bis G), die bei der Ermittlung der zu erwartenden Bauteillebensdauer zu berücksichtigen sind. In Tabelle 2. sind diese Faktoren aufgeführt.

Tabelle 2: Faktoren der ISO 15 686

Qualität	A	Bauteilqualität	Herstellung, Lagerung, Transport, Materialien, Schutzschicht
	B	Konstruktionsqualität	Eingliederung, konstruktiver Schutz
	C	Ausführungsqualität	Einbau auf der Baustelle, klimatische Bedingungen auf der Baustelle
Umgebung	D	innerhalb des Gebäudes	Raumluftbedingungen, Kondensation
	E	ausserhalb des Gebäudes	Standort, Wetter, Luftverschmutzung, Bauwerkverschütterungen
Nutzungsbedingungen	F	Nutzung	mechanische Einflüsse, Art der Nutzung, Verschleiß
	G	Instandhaltungsqualität	Qualität und Zyklus der Instandhaltung, Zugänglichkeit für Instandhaltung

Ausgangsbasis des Verfahrens ist die Referenzlebensdauer des zu bewertenden Bauteils. Diese beschreibt die Lebensdauer, die ein Bauteil von durchschnittlicher Qualität unter durchschnittlichen Rahmendbedingungen erreicht. Die spezifischen Rahmendbedingungen werden berücksichtigt, in dem die Referenzlebensdauer mit Hilfe der in Tabelle 2 dargestellten Einflussfaktoren entsprechend modifiziert wird.

Die spezifische Lebensdauer eines Bauteils ermittelt sich durch die Multiplikation der Referenzlebensdauer mit den modifizierenden Faktoren wie folgt:

$$ESCL = RSCL \cdot \text{Faktor A} \cdot \text{Faktor B} \cdot \text{Faktor C} \cdot \text{Faktor D} \cdot \text{Faktor E} \cdot \text{Faktor F} \cdot \text{Faktor G}$$

$$\begin{array}{ll} ESCL & \text{Spezifische Bauteillebensdauer (estimated service life)} \\ RSCL & \text{Referenzlebensdauer (reference service life)} \end{array} \quad (3.1)$$

Grundsätzlich erscheint die Vorgehensweise, die spezifischen Rahmenbedingungen mit Hilfe von Einflussfaktoren rechnerisch zu berücksichtigen als sehr sinnvoll. Jedoch macht die ISO 15686 keine Angaben zu Referenzlebensdauern oder zu Werten der Faktoren, sodass die Anwendung des Verfahrens in der Praxis bislang sehr schwierig ist.

Hinsichtlich der Referenzlebensdauer verweist die Richtlinie auf Angaben der Literatur, auf Herstellerangaben und ähnliche Quellen. Diese Werte sind allerdings kritisch zu betrachten und können wie in Kapitel 3.1.1 dargestellt nicht ohne weiteres auf das zu bewertende Bauteil übertragen werden. Die Referenzlebensdauer ist jedoch eine zentrale Eingangsgröße, die mit Hilfe der modifizierenden Faktoren verkürzt oder verlängert wird. Um in Zukunft eine standardisierte Berechnung von Lebensdauern durchführen zu können, ist die Festlegung von einheitlichen Referenzlebensdauern auf internationaler Ebene dringend erforderlich, da diese die Grundlage für eine transparente Berechnung der spezifischen Bauteillebensdauern bilden.

Darüber hinaus stellt die fehlende Angabe von konkreten Werten für die Einflussfaktoren ein zentrales Problem hinsichtlich der Anwendung der Faktorenmethode dar. Die Höhe der Faktoren kann vom Anwender frei gewählt werden, was zu enormen Unsicherheiten bei den Berechnungen und zu Problemen bei der späteren Vergleichbarkeit führt. Die ISO 15686 empfiehlt zwar Werte zwischen 0,8 und 1,2, jedoch können theoretisch Werte zwischen null und unendlich verwendet werden, wobei Werte kleiner 1 Lebensdauer verkürzend auf das Bauteil einwirken und Werte größer 1 Lebensdauer verlängernd. Außerdem wird allen Faktoren die gleiche Einflusswirkung zugeschrieben. Das heißt, die Einflussfaktoren werden im Rahmen dieser Methode alle gleich gewichtet. Dies entspricht aufgrund der sehr unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Faktoren nicht der Realität.

4 Einflussfaktoren auf die Bauteillebensdauer

Für das Abnutzungsverhalten eines Gebäudes ist eine Vielzahl von Faktoren verantwortlich. Einige wirken sich funktionsmindernd auf das Gebäude aus und beschleunigen den Abnutzungsprozess und somit das Aufbrauchen des Abnutzungsvorrates. Andere Faktoren hingegen, verzögern die Alterung von Bauteilen und verlängern dadurch deren Lebensdauer.

Grundsätzlich wird zwischen Einflüssen auf das materielle Alterungsverhalten und Einflüssen der immateriellen Alterung eines Bauteils differenziert. Während Erstere die technische Lebensdauer eines Bauteils bestimmen, hängt die tatsächliche und die wirtschaftliche Lebensdauer eines Bauteils von den immateriellen Einflussfaktoren ab.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die jeweiligen Einflussfaktoren der beiden aufgeführten Kategorien vorgestellt und erläutert.

4.1 Materielle Einflussfaktoren

4.1.1 Materialeigenes Alterungsverhalten

Bauteile nutzen sich nicht nur durch äußere Einflüsse ab, sie können auch materialabhängig ohne äußere Belastungen altern und können daher eine bestimmte Lebensdauer nicht überschreiten. Beispielsweise tritt bei manchen Kunststoffen, auch ohne Lichteinwirkung ein Volumenverlust und/oder eine Versprödung auf. Dies wird häufig durch Weichmacherabgang oder andere autooxidative Prozesse ausgelöst. Dieser Vorgang wird als materialeigenes Alterungsverhalten beschrieben. Gegen ein materialeigenes Alterungsverhalten sind Schutzmaßnahmen für ein Bauteil während der Planung oder Ausführung nicht möglich [GE-FÖB05].

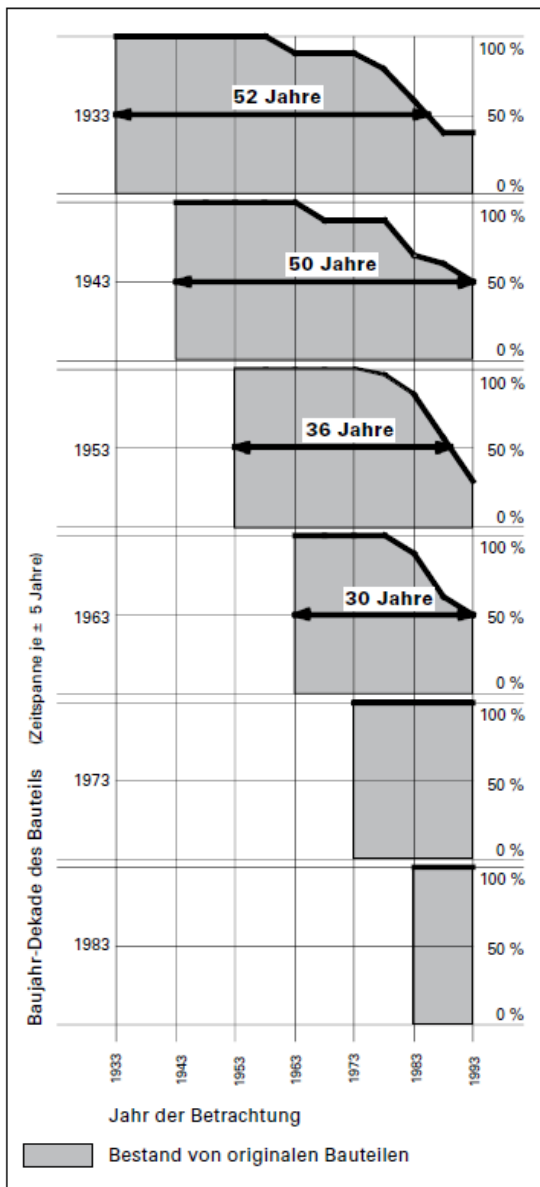
Im Berechnungsmodell (Vgl. Kapitel 6) wird das materialeigene Alterungsverhalten eines Bauteils durch die Referenzlebensdauer der jeweiligen Bauteile indirekt berücksichtigt.

4.1.2 Baujahr

Das Baujahr eines Gebäudes könnte neben dem Alter, einen indirekten Einfluss auf die Lebenserwartung eines Bauteils haben. Im Laufe der Zeit ändert sich die Wahl der Baumaterialien und der Bauweise, wodurch sich auch die Qualität und die Dauerhaftigkeit der Bauteile

verändert. So unterscheiden sich die heute verwendeten Baustoffe und ihre Verarbeitung von denen vor einigen Jahrzehnten teils erheblich, insbesondere im Hinblick auf die technischen Anlagen. Während traditionelle Materialien zum Teil noch nach Jahren eine hohe Funktionstüchtigkeit aufweisen, fehlt vielen modernen Baumaterialien diese Eigenschaft [IPBau94].

Welche Baumaterialien für die unterschiedlichen Baujahresgruppen charakteristisch sind, ist in Anhang beispielhaft für Wohnhäuser aufgeführt.



Eine Untersuchung des IPBAU (Impulsprogramm BAU des Bundesamtes für Konjunkturfragen der Schweiz) ermittelte an 200 Gebäuden unterschiedlichen Alters den Ersatzzeitpunkt von Bauteilen. Abbildung 5 zeigt den Bestand originaler Bauteile in Abhängigkeit des Erstellungsjahrzehnts.

Auffällig ist der sich stetig verkürzende Ersatzrhythmus. Von den 1933 erstellten Bauteilen wurde 1983 die Hälfte der Bauteile durch neue ersetzt, d.h. die Bauteile wurden im Schnitt nach 52 Jahren ausgetauscht. Dagegen verblieben Bauteile, die 1963 erstellt wurden, durchschnittlich nur 30 Jahre im Gebäude. Das Alter der Bauteile wird in der Regel geringer, je jünger ein Bauteil ist. IPBAU begründet dieses Ergebnis mit der geringeren Lebensdauer von Materialien, reparaturanfälligeren Konstruktionen, hohem Verschleiß durch intensivere Nutzung und aggressiveren Umwelteinflüssen. [IPBau94].

Abbildung 5: Ersatzzeitpunkte für das Bauteil „Verputz“ [IPBau94]

Jedoch sind Rückschlüsse vom Erstellungsjahr auf die Lebensdauer eines Bauteils, aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren, sehr schwierig. Dies wird an dem hier aufgeführten Beispiel des Bauteils „Verputz“ (vgl. Abbildung 5) sehr schön deutlich, denn ein Großteil der Erneuerungen wurde aufgrund der verschärften Wärmeschutzvorschriften in den 80er Jahren durchgeführt. Die Erneuerungsmaßnahmen wurden fast alle zum gleichen Zeitpunkt und weitgehend unabhängig vom Alter der Gebäudehülle durchgeführt. Bei älteren Gebäuden ist die Verweildauer des Bauteils im Gebäude somit länger als bei Jüngeren.

Das Beispiel zeigt, dass auch immaterielle Faktoren, wie in diesem Fall zum Beispiel gesetzliche Änderungen, zum Austausch eines Bauteils führen können. Im Nachhinein ist es meist sehr schwierig die tatsächlichen Auslöser, die zum Austausch eines Bauteils geführt haben, zu identifizieren. Eine nachträgliche Ursachenbewertung führt sehr leicht zu Fehlinterpretationen und falschen Schlussfolgerungen. Vor diesem Hintergrund sollte das Baujahr eines Gebäudes nicht mit den Eigenschaften von Bauteilen verknüpft werden.

4.1.3 Bauteilqualität

Die Eigenschaften der Baustoffe werden unter anderem durch Normen und durch die Leistungsbeschreibungen der Planer bestimmt. Werden diese nicht erfüllt, die Baustoffe aber dennoch eingebaut, ist häufig eine Verkürzung der technischen Lebensdauer der betroffenen Bauteile, aufgrund erhöhter Schadensanfälligkeit die Folge.

Für die Qualität von Gebäudeelementen spielen deren Planung, die Herstellungsweise, die Materialwahl und der Einbau bzw. die Ausführung eine wichtige Rolle. Positiv auf die Bauteilqualität wirkt sich eine gute Dimensionierung und Profilierung, gute Materialauswahl, fachgerechte Ausführungsart und eine richtige Bauteilkombination aus. Dagegen wirken einfache Bauweisen, geringe Materialqualität, Ausführungsmängel, Anwendung nicht ausreichend bewährter Konstruktionssysteme und Materialien Lebensdauer verkürzend.

4.1.4 Planungsqualität

Fehler bei der Bauplanung können zu einer Reduktion der Lebensdauer des betroffenen Bauteils führen. Insbesondere bei der Ausführungsplanung sind die anerkannten Regeln der Technik zu beachten, die sich aus zahlreichen Normen, Richtlinien, Bestimmungen und Fachregeln zusammensetzen. Richtige Maße und Dimensionierungen im Rahmen der Planung, korrekte Ausführungspläne und Anweisungen erhöhen die spätere Ausführungsquali-

tät und somit auch die Lebensdauer des Elements. Insbesondere sollte die spätere Umsetzbarkeit der Planung beachtet werden, denn komplizierte Konstruktionen, Sonderbauteile oder unzureichend geplante Arbeitsflächen für die Ausführenden, können sich bei der späteren Umsetzung negativ auf die Qualität auswirken und somit auch auf die Lebensdauer des Bauteils.

Darüber hinaus kann sich die Wahl ungeeigneter Baustoffe, die unzureichenden bzw. fehlerhaften Ausarbeitungen von Details sowie unzureichende Voruntersuchungen und Ausschreibungsfehler, negativ auf die Dauerhaftigkeit von Bauteilen auswirken.

Um eine möglichst hohe Lebensdauer der Bauteile zu erreichen, sollten im Rahmen der Planung insbesondere auch physikalische Vorgänge, die im Gebäude stattfinden beachtet werden. Ein Beispiel dafür sind die Dampfdiffusion und die Tauwasserbildung im Bauteil, z.B. das Dach betreffend. Bei fehlender Planung oder falscher Ausführung einer Konstruktion kann es - auch ohne äußere Undichtigkeiten - zum Entstehen von Wasser in Dämmschichten, den Schichten der Dachdichtung oder Luftschichten kommen. Dieses Tauwasser kann, genau wie von außen eindringendes Wasser, zur Schädigung oder Zerstörung von Bauteilen führen. In jedem Fall mindert es die Dämmwirkung des Bauteils [Klock88].

Im Idealfall werden bereits in der Planungsphase Instandhaltungsaspekte berücksichtigt. Beispielsweise erleichtern instandhaltungsarme oder -freundliche Bauteile, einen leichten Zugang zu instandzusetzenden Bauteilen oder gute Inspektionsmöglichkeiten später notwendige Instandhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen.

4.1.5 Ausführungsqualität

Der erhöhte Zeit- und Kostendruck beim Bauen führt häufig zu Mängeln bei der Bauausführung. So wird bei der Ausführung immer wieder gegen anerkannte Regeln der Technik verstoßen oder von den Bauplänen abgewichen. Dies kann einen erhöhten Aufwand im Rahmen der späteren Instandhaltung und eine Verkürzung der Lebensdauer von Bauteilen zur Folge haben.

Wird bei einem Estrich beispielsweise aus zeit- und terminlichen Gründen nicht die geforderte Trocknungszeit eingehalten und der Bodenbelag auf den noch feuchten Estrich angebracht, ist mit Lebensdauer verkürzenden Folgen der betroffenen Bauteile zu rechnen.

Bewährte Arbeitstechniken und geeignete Werkzeuge, Geräte und Maschinen helfen hingegen, die Ausführungsqualität zu erhöhen. Auch die Qualifikation und Erfahrung des eingesetzten Personals hat einen erheblichen Einfluss auf die Ausführungsqualität.

Darüber hinaus spielt der Umgang mit den Materialien beim Transport zur Baustelle und deren Lagerung eine wichtige Rolle. Werden beispielsweise Dämmstoffe ungeschützt vor Witterungseinflüssen gelagert, können sie durch Feuchtigkeit unbrauchbar werden. Werden sie dennoch eingebaut, hat das nicht nur negative Auswirkung auf das Wärmedämmverhalten, sondern kann auch gravierende Schäden an angrenzenden Bauteilen hervorrufen.

Einfluss auf die Ausführungsqualität haben auch die Umwelt- und Standortbedingungen der Baustelle. Wind und direkte Sonneneinstrahlung können ein zu rasches Trocknen von Putz bewirken. Darüber hinaus kann auch die Jahreszeit hinsichtlich der Ausführungsqualität eines Gebäudes eine wichtige Rolle spielen. Wird ein Gebäude zum Beispiel im Winter erstellt, so können niedrige Temperaturen beim Einbau zum Beispiel die Qualität von Beton beeinträchtigen. Werden Materialien oder Baustoffe trotz ungünstiger Bedingungen verarbeitet oder eingebaut, mindert sich deren Qualität, was wiederum zu einer Verkürzung der Lebensdauer oder einem erhöhten Aufwand für Instandhaltung führen kann.

4.1.6 Gegenseitige Beeinflussung von Bauteilen

Die Kombination von kurzlebigen und langlebigen Bauteilen kann sich in Abhängigkeit der gewählten Verbindungsmittel als nachteilig erweisen. Sind beide Teile fest miteinander verbunden und ist die Abnutzungsgrenze des kurzlebigen Bauteils erreicht, muss im Rahmen einer Instandsetzungsmaßnahme das langlebige Bauteil ebenfalls ausgetauscht werden. Dadurch wird die potenzielle Lebensdauer des langlebigeren Bauteils nicht ausgeschöpft.

Des Weiteren können funktionsfähige Bauteile auch durch das Einwirken angrenzender, schadhafter Bauteile geschädigt oder zerstört werden. So kann ein undichtes Verblendmauerwerk eines Schornsteinkopfes beispielsweise ein Flachdach zerstören, indem Regenwasser durch die Undichtigkeit eindringen kann und zur Durchfeuchtung der Wärmedämmung und der Decke führen [Klock88].

Darüber hinaus können sich Bauteile aus unterschiedlichen Materialien, anhand chemischer oder thermischer Reaktionen gegenseitig schädigen. So können unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten beispielsweise zu Spannungen zwischen den jeweiligen Bauteilen führen und dadurch Risse verursachen. Eine hohe Potenzialdifferenz, wie sie zum Beispiel

zwischen Zink und Kupfer vorliegt, kann beim Kontakt der beiden Metalle zu einer so genannten Kontaktkorrosion und dadurch zu einem verfrühten Ausfall der jeweiligen Bauteile führen.

Eine gegenseitige Beeinflussung von Bauteilen ist aber auch im positiven Sinne möglich. So können sich Bauteile auch gegenseitig Schutz gegenüber eventuellen Einflüssen bieten. Ein Bauteil, das an einer vor Alterungseinflüssen geschützten Stelle eingebaut wurde, unterliegt weniger den Abnutzungsprozessen als eines, das den Schädigungen direkt ausgesetzt wird. Beispielsweise schützt ein überstehendes Dach unter anderem die Fassade oder die Fenster vor Witterungseinflüssen.

4.1.7 Temperatureinwirkungen

Bauteile können durch Temperatureinwirkung stark beansprucht werden, wodurch sich die Lebensdauer verkürzen kann. Besonders kritisch sind in diesem Zusammenhang Extremtemperaturen und Temperaturschwankungen, die entweder täglich oder auch bedingt durch die jahreszeitlichen Klimaveränderungen auftreten können.

Temperaturänderungen bewirken Längen- und Volumenänderungen von Bauteilen. Dies kann zu Spannungen, Ermüdungen durch thermisch bedingte Wechselbeanspruchung und Rissen führen. Besonders betroffen sind Bauteile, die aus verschiedenen Baumaterialien zusammengesetzt sind (siehe auch Kapitel 4.1.6).

Ein typisches Beispiel für die Einflusswirkung von Extremtemperaturen ist die Frostbeanspruchung. So kann Frost zum Beispiel in einem porösen Baustoff bei gleichzeitigem Vorhandensein von Feuchtigkeit eine enorme Sprengwirkung entwickeln. Dies kann u.a. am Beispiel von Betonbauteilen beobachtet werden.

Im Gegensatz dazu können durch Hitze extreme Spannungen entstehen. Um unnötige Risse zu vermeiden, ist eine angemessene Bewegungsmöglichkeit erforderlich. Kritisch sind insbesondere große Temperaturdifferenzen innerhalb eines Bauteils.

4.1.8 Strahlung

Die im Sonnenlicht enthaltene ultraviolette Strahlung bewirkt zum Teil eine starke Beanspruchung bzw. schnelle Alterung, der ihr ausgesetzten Bauteile. Die UV-Strahlung kann zu einem Aufspalten der chemischen Bindungen führen. Dies kann u.a. Versprödung und Festigkeitsverluste zur Folge haben.

Die kurzweilige Strahlung des Sonnenlichts kann insbesondere organische Baustoffe von der Oberfläche her zerstören. Klassische Bauteile sind bituminöse Dachbahnen und Folien, aber auch Oberflächenbeschichtungen aus Harzen und Kunstharzen.

Es bestehen regionale Unterschiede hinsichtlich der Strahlungsintensität, im Süden Deutschlands ist sie beispielsweise deutlich höher als am Niederrhein (siehe Abbildung 5.1.3.3-1).

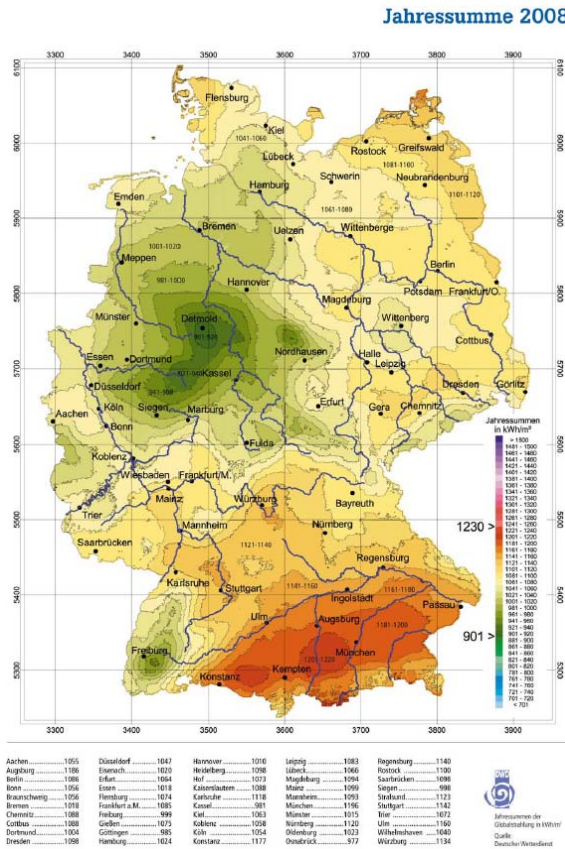


Abbildung 6: Global-Strahlungskarte für das Jahr 2008 [www 1]

Darüber hinaus ist die Strahlungsintensität der Sonne stark abhängig von den Wetterbedingungen:

- klarer blauer Himmel 1000 W/m²
- Sonne bricht durch 600 W/m²
- Sonne als weiße Scheibe 300 W/m²

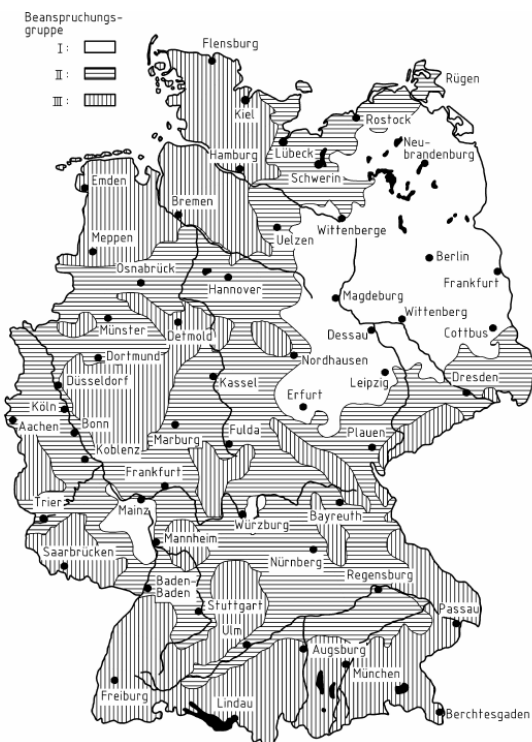
4.1.9 Feuchtigkeit

Feuchtigkeit ist ein wichtiger Einflussfaktor hinsichtlich der Lebensdauer von Bauteilen. Sie kann sowohl von außen, beispielsweise in Form von Niederschlag, Grundwasser oder Luftfeuchtigkeit, als auch von innen, beispielsweise in Form von Wasserdampf (insbesondere in Bädern und Küchen), Kondens- bzw. Tauwasser oder auch Baufeuchte auf die Bauteile einwirken.

Feuchtigkeit kann beispielsweise zum Quellen eines Bauteils und damit zu einer Längen- bzw. Volumenänderung führen, wodurch wieder Spannungen entstehen, die die Lebensdauer eines Bauteils heabsetzen können. Feuchtigkeit führt insbesondere auch in Zusammenhang mit Frost zu enormen Schäden (vgl. 4.1.7). Auch die Entwicklung von Insekten, Pflanzen, Algen und Pilzen wird durch Feuchtigkeit begünstigt, was ebenfalls zu einer Reduktion der Lebensdauer von Bauteilen führen kann.

Das Verhalten eines Bauteils gegenüber Feuchtigkeit ist von den spezifischen Eigenschaften der verwendeten Materialien abhängig. So begünstigt Feuchtigkeit u.a. zum Beispiel das Auslaugen von Mörtel und Beton, das Verrotten von Holz, das Verwittern von Stein sowie das Oxidieren von Stahlbauteilen. Desweiteren kann sie zu Putz- und Lackablösungen führen. Die zerstörende Wirkung kann durch enthaltene schädigende Stoffe im Wasser verstärkt werden.

Feuchtigkeit tritt sehr häufig in Form von Niederschlag wie z.B. Regen, Schnee oder Hagel auf. Zur Beurteilung der Beanspruchung existieren Kartierungen, mit so genannten Beanspruchungs- oder Risikogruppen. Ein Beispiel für Regen ist in nachfolgender Abbildung gegeben.



Beanspruchungsgruppe I

- gilt für Jahresniederschlagsmenge: < 600 mm
- gilt für größere Niederschlagsmengen bei besonders windgeschützter Lage

Beanspruchungsgruppe II

- gilt für Jahresniederschlagsmenge: 600 - 800 mm
- gilt für größere Niederschlagsmengen bei besonders windgeschützter Lage
- gilt für Hochhäuser sowie für Häuser in exponierter Lage, die ansonsten in Gruppe I eingeordnet würden

Beanspruchungsgruppe III

- gilt für Jahresniederschlagsmenge: > 800 mm
- gilt bei geringeren Niederschlagsmengen in windreichen Gebieten
- gilt für Hochhäuser sowie für Häuser in exponierter Lage, die ansonsten in Gruppe II eingeordnet würden

Abbildung 7: Regenbeanspruchungskarte [www 2]

4.1.10 Luftverschmutzung

Verunreinigungen der Luft können u.a. durch Rauch, Ruß, Staub oder Gase hervorgerufen werden. Sie können den normalen Alterungsprozess, insbesondere von exponierten Bauteilen, die den Luftverschmutzungen besonders stark ausgesetzt sind, beschleunigen.

Die wichtigsten Auslöser der Luftverschmutzung sind neben der Energieerzeugung, die Industrie und die landwirtschaftliche Tierhaltung sowie der Verkehr. Vor diesem Hintergrund ist die Luftverschmutzung in Ballungsräumen bzw. in stark besiedelten Gegenden besonders groß.

Wirkende Schadstoffe sind neben Kohlenstoffdioxid (CO₂), u.a. auch Schwefeldioxid (SO₂), Stickstoffoxide (NO_x) und Ammoniak (NH₃), die sauren Regen zur Folge haben können, sowie chemisch aggressives Ozon. Die Schadstoffe lagern sich auf der Bauteiloberfläche, bei porösen Materialien auch innerhalb der Poren ab und beschleunigen dadurch den normalen Alterungsprozess. Aber auch der Salzgehalt von Luft und Regen z.B. in Küstennähe, kann zu verstärkter Korrosion führen.

Das Verhalten und die Beständigkeit von Bauteilen gegenüber Luftverschmutzungen hängt von den spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Materialien ab. So kann die Verunreinigung von Luft, beispielsweise bei mineralischen Baustoffen zur Auflösung und Auswaschung von Bindemittel führen, was Absandungen und Abplatzungen zur Folge haben kann. Hiervon sind besonders Natursteine mit porösem Gefüge und kalk- bzw. dolomithaltigen Bindemitteln, aber auch zementgebundene Baustoffe betroffen. Bei Metallen hingegen können aggressive Luftbestandteile die Oberflächenstruktur verändern, was zu einer beschleunigten Korrosion führen kann.

Zur Beurteilung der Beanspruchung existieren, wie auch für den Niederschlag, Kartierungen mit Angaben zu den entsprechenden Schadstoffbelastungen.

4.1.11 Wind

Einwirkungen durch Windlast beschleunigen den Alterungsprozess beanspruchter Bauteile. Aus Windeinwirkung entstehen u.a. Druck- und Sogkräfte, die auf die Außenflächen einwirken und dadurch Schwingungen hervorrufen können. Sie wirken jedoch nicht nur direkt auf die Außenfläche geschlossener Gebäude, sondern auch indirekt über Öffnungen auf innenliegende Wände. Darüber hinaus kann beispielsweise auch durch Wind transportierter Sand zu so genannten Abrasionsschäden an exponierten Bauelementen führen und dadurch die Lebensdauer der entsprechenden Elemente verkürzen [Thie09]. Bei Flachdächern dagegen kann eine beschleunigte Alterung der bituminösen Abdichtung, durch eine lokale Windverfrachtung der Kiesschicht stattfinden, wodurch Teile der Abdichtung freigelegt werden [Blai99].

Die Windlast ist sowohl zeitlichen als auch räumlichen Schwankungen unterworfen. Zur Beurteilung der Beanspruchung durch Wind, existieren Kartierungen mit Angaben zu den entsprechenden Windlasten. Ein Beispiel ist in nachfolgender Abbildung gegeben.

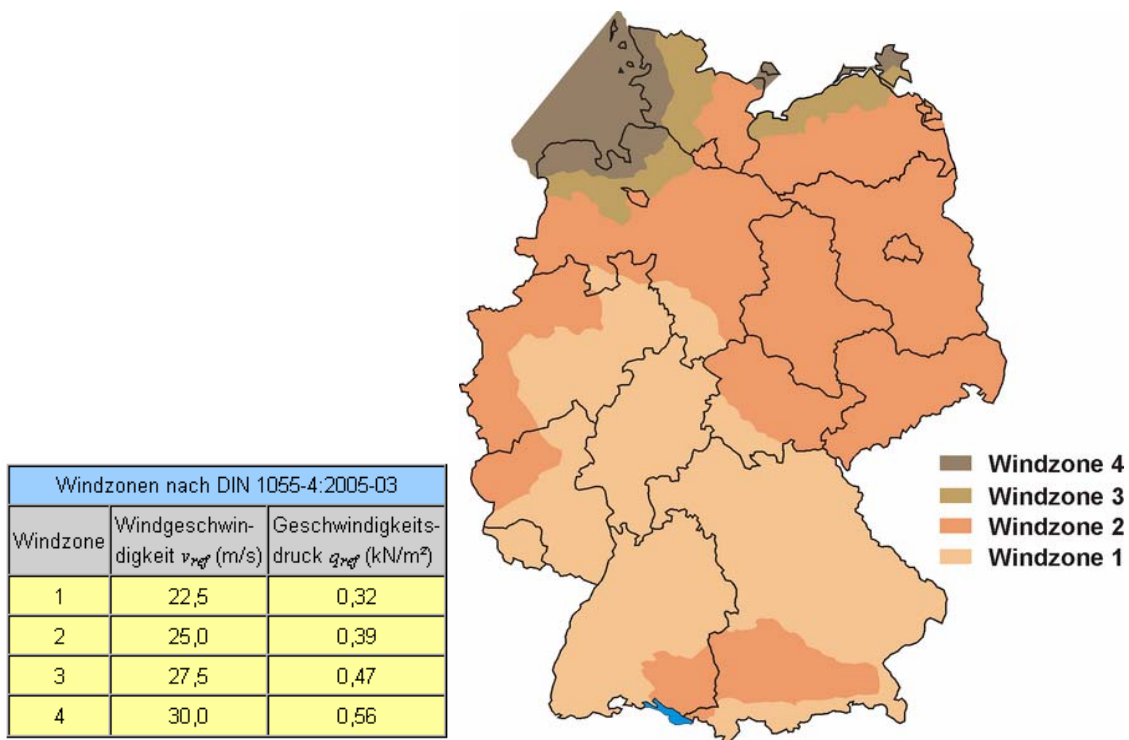


Abbildung 8: Windlastkarte [www 3]

4.1.12 Bauwerkserschütterung

Bauwerkserschütterungen können zu erheblichen Schäden an Bauteilen führen und dadurch deren Lebensdauer beeinflussen. Abhängig von der Belastungsstärke reicht das Schadensbild von Risschäden in der Gebäudesubstanz bis hin zu Tragfähigkeitsverlust eines Gebäudes.

Für die Erschütterung von Gebäuden gibt es zahlreiche, sehr unterschiedliche Ursachen. So ist ein Gebäude häufig extremen Belastungen zum Beispiel durch Bahnverkehr, Schwerlastverkehr, Straßenfahrzeuge und Flugzeuge ausgesetzt. Auch Baustellen in Bauwerksnähe können, aufgrund der zum Einsatz kommenden Maschinen und Geräte (z.B. Vibrations- und Rammgeräte), bei Abbrucharbeiten, Sprengungen oder Tunnelvortrieb zu starken Erschütterungen und somit zu Schäden am Gebäude führen.

Darüber hinaus können auch infolge ungleichmäßiger und ungleichförmiger Setzungen Schäden am Gebäude auftreten. Diese können beispielsweise durch Bergbauarbeiten, durch Grundwasserabsenkungen oder auch aufgrund geologischer Ursachen ausgelöst werden.

4.1.13 Mechanische Belastungen

Auch mechanische Belastungen können die Lebensdauer eines Bauteils beeinflussen. Sie haben zahlreiche verschiedene Ursachen und Folgen. So können sich Bauteile durch die Nutzung des Gebäudes, wie zum Beispiel das Begehen des Fußbodens oder der Dachflächen usw., „abnutzen“. Aber auch der Anprall von Fahrzeugen oder anderen Gegenständen, wie z.B. Steinschlag, sind mechanische Beanspruchungen, die sich negativ auf die Lebensdauer von Bauteilen auswirken. Darüber hinaus kann aber auch eine Erhöhung der Lasten am Gebäude beispielsweise durch Umbauten, Aufstockungen oder auch Nutzungsänderungen zu Bauwerksschäden führen. Auch Belastungen in Folge von Windeinwirkung, Schnee- oder Eisauflast zählen zu den mechanischen Belastungen.

4.1.14 Art der Nutzung

Eine wichtige Rolle in der Lebensdauerbetrachtung kommt der Nutzung eines Gebäudes zu. Dies betrifft besonders die Bauteile des Ausbaus, wie z. B. Boden, Wand, Türen und Fenster sowie alle beweglichen Teile der technischen Anlagen, z.B. Bedienelemente. Die Art der Gebäudenutzung bestimmt indirekt die Intensität der Nutzung, wie auch die Art und die Höhe von möglichen Belastungen.

Bauteile intensiv genutzter Bauwerke, wie z.B. Schulen, Krankenhäuser oder Einzelhandelsimmobilien, unterliegen beispielsweise einem stärkeren Verschleiß, als das bei Altenheimen der Fall ist. Der Abnutzungsprozess ist darüber hinaus abhängig von der Anzahl der dort lebenden bzw. arbeitenden Personen, vom Umfang der zur Verfügung stehenden Flächen und von der täglichen Nutzungsdauer. Je nach Stärke der Beanspruchung kann ein Bauteil kürzer oder länger halten.

Die Nutzungsart beeinflusst auch die Art und die Höhe von Lebensdauer beeinflussenden Faktoren auf Bauteile. In Industrie- oder Gewerbebauten können beispielsweise chemische, bauteilbelastende Substanzen zum Einsatz kommen, die für Bauteile im Wohnungsbau nicht beachtet werden müssen. In einem Schwimmbad spielt der Einfluss von Luftfeuchtigkeit (z.B. Erblinden der Fensterscheiben durch Kondenswasserbildung) eine größere Rolle als in einem gewerblich genutzten Gebäude.

Die Abnutzung der Bauteile hängt nicht nur von deren Eigenschaften, sondern auch in besonderem Maße vom Verhalten der Nutzer ab. Im günstigsten Fall pflegt der Nutzer das Gebäude mit der erforderlichen Sorgfalt selbst. Im ungünstigsten Fall werden Teile des Gebäu-

des durch Vandalismus zerstört. Ausschlaggebend für das Nutzerverhalten ist vor allem der Grad der Identifikation eines Nutzers mit dem Gebäude [Kalu04].

Eine geringe Nutzerakzeptanz führt zu einer schnelleren Abnutzung bestimmter Bauteile. Sie zeigt sich beispielsweise vermehrt in Gemeinschaftsbereichen von großen Wohnanlagen wie z.B. Eingangsbereiche, Treppenhäuser oder Aufzüge. Anonyme Wohnsiedlungen beeinflussen das Benutzerverhalten oft negativ, was sich auch auf die Lebensdauer von einzelnen Bauelementen auswirkt. Im Gegensatz dazu fördern Gebäude, mit sich gegenseitig kennenden Nutzern das persönliche Verantwortungsbewusstsein. So werden kleine Instandhaltungsmaßnahmen teilweise eigeninitiativ erbracht, was sich wiederum positiv auf die Lebensdauer von Bauteilen auswirkt [Klin07]. Generell wird sich ein Eigentümer mehr um seine Immobilie kümmern als ein fremder Nutzer, wodurch bei primär von Dritten genutzten Immobilien die Abnutzung vermutlich größer ist, als bei eigen genutzten Gebäuden.

Ein weiterer Einflussfaktor auf die Lebensdauer von Bauteilen ist die missbräuchliche Nutzung eines Gebäudes oder eines Bauteils.

Wird ein Gebäude nicht nach seiner eigentlichen Bestimmung genutzt, so können durch Überlastungen Alterungsprozesse an Bauteilen schneller ablaufen. Ist die Belastung aus der tatsächlichen Nutzung (z.B. Produktionsbetrieb mit hohen Lasten oder Emissionen oder Erschütterungen) höher als die geplante Belastbarkeit für die ursprüngliche Nutzungsart des Gebäudes (z.B. Einzelhandel), ist mit Schädigung der Bausubstanz zu rechnen [vHau99].

Darüber hinaus spielt auch das nutzungsbedingte Fehlverhalten hinsichtlich der Alterung von Bauteilen eine wichtige Rolle. Typische Beispiele hierfür sind falsches Heiz- und Lüftungsverhalten oder auch Aktivitäten, wie zum Beispiel waschen und trocknen von Wäsche in dafür ungeeigneten Räumlichkeiten mit z.B. unzureichenden Lüftungsmöglichkeiten.

4.1.15 Qualität der Instandhaltung

Hinsichtlich der Lebensdauer von Bauteilen spielt die Qualität der Instandhaltung eine besonders wichtige Rolle. Diese zeigt sich zum einen in ihrer Intensität, zum Beispiel in Form der Häufigkeit bzw. Regelmäßigkeit von Inspektions- und Wartungsmaßnahmen, und zum anderen in der Art ihrer Ausführung, wie zum Beispiel durch die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben, Richtlinien oder Herstellerempfehlungen.

Werden empfohlene Inspektions- und Wartungsintervalle nicht eingehalten bzw. zu lange ausgedehnt oder Instandhaltungsmaßnahmen nicht sachgemäß durchgeführt, so ist eine

vorzeitige Abnutzung zu erwarten. Instandhaltungsmaßnahmen werden durchgeführt, um das Abnutzungspotenzial wieder herzustellen oder sogar zu erhöhen. Hierdurch kann sich die Lebenserwartung von Bauteilen verlängern.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht grafisch den Einfluss von Instandhaltungsmaßnahmen auf die Lebensdauer eines Bauteils. Es ist zu erkennen, dass ein Bauteil ohne Instandhaltung deutlich schneller altert, als mit durchgeführter Instandhaltung.

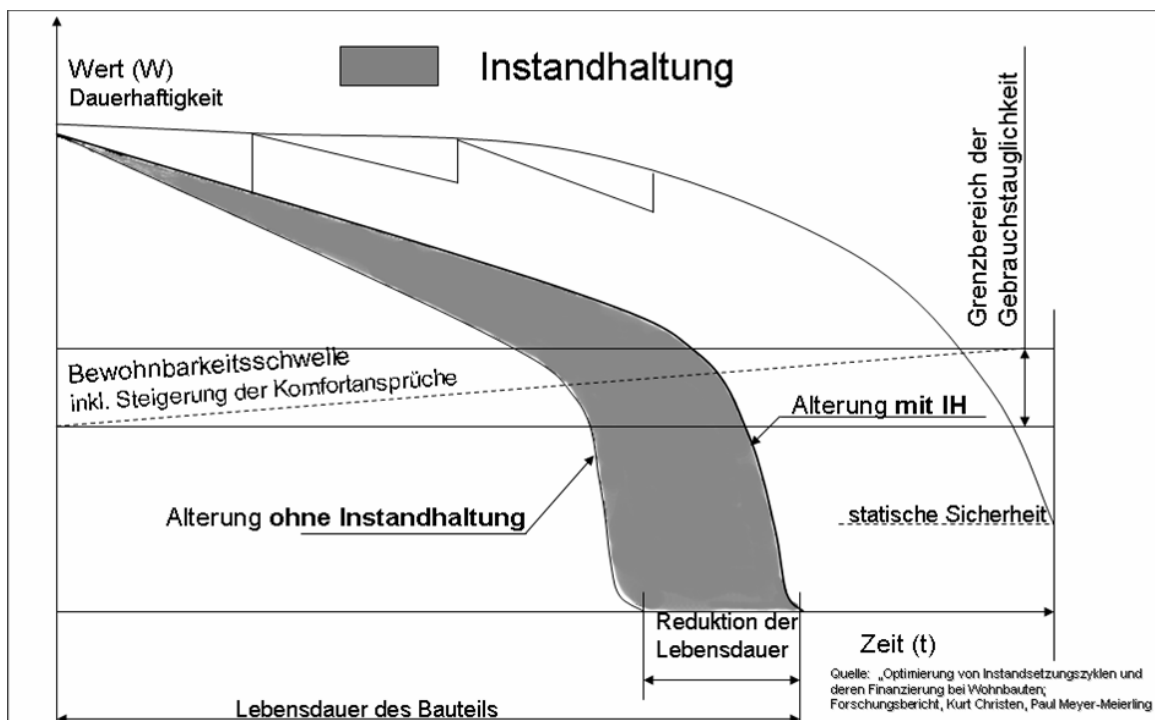


Abbildung 9: Einfluss von Instandhaltungsmaßnahmen [ChMe99]

Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft für die Bauteile Sanitärinstallation, Fenster und Flachdach wie sich die Lebensdauer in Abhängigkeit von der Instandhaltungsqualität verändert.

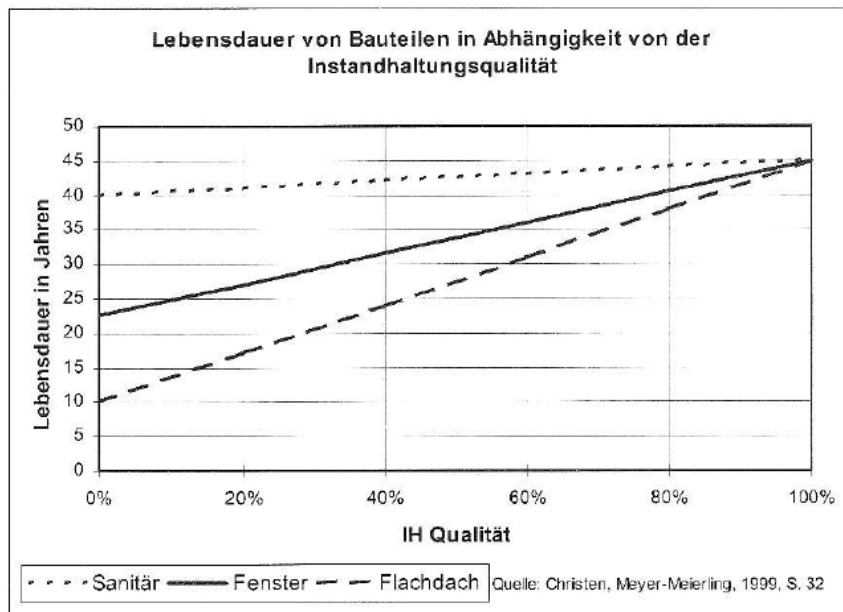


Abbildung 10: Lebensdauer von Bauteilen und Einfluss auf die Instandhaltungsqualität [ChMe99]

Es wird deutlich, welche Bedeutung die Instandhaltung hinsichtlich der Lebensdauer von Bauteilen hat. Hinsichtlich der Reduktion der Lebensdauer verschiedener Bauelemente bei unterlassener Instandhaltung, gibt die nachfolgende Tabelle Anhaltswerte.

1	Rohbau massiv	0 - 10%
2	Rohbau übriges	10%
3	Dachhaut	Steildach 70%
		Flachdach 80%
4	Fassaden	konv. verputzt 10%
		Kompaktfassade 30%
		Holz 50%
5	Fenster, Läden	in Holz 50%
		in Metall/Kunstst. 10%
6	Elektro	0%
7	Heizung	0%
8	übrige Haustechnik	20%
9	Sanitär	10%
10	Innenausbau	0%

Abbildung 11: Reduktion der Lebensdauer bei 0%-IH-Qualität [ChMe99]

Ein Hinweis hinsichtlich der Instandhaltungsqualität können zum Beispiel abgeschlossene Wartungsverträge geben, bei denen die Qualitätshöhe vertraglich vereinbart ist. Ob die Ausführungsqualität den im Wartungsvertrag vereinbarten Leistungen tatsächlich entspricht, zeigt sich jedoch erst im Ergebnis.

Darüber hinaus hängt die Instandhaltungsqualität auch in hohem Maß von der Qualifikation des Instandhaltungspersonals sowie vom Einsatz geeigneter Geräte, Werkzeuge und Pflegemittel ab.

Wird ein Bauteil trotz Erreichen der Abnutzungsgrenze nicht instandgesetzt, können Folgeschäden entstehen. So kann zum Beispiel die verzögerte Reparatur einer undichten Regenrinne zu Schäden am Fassadenputz bis hin zur Durchfeuchtung der Wand führen [BMBa88]. Eine regelmäßige Inspektion der Dacheindeckung und der Austausch schadhafter Ziegel kann hingegen verhindern, dass eindringendes Wasser Folgeschäden an der Tragkonstruktion verursacht, deren Kosten die der Inspektion und Instandsetzung um ein Vielfaches übersteigen [IPBau]. Durch das Identifizieren von Bauteilen, die ihre Abnutzungsgrenze erreicht haben, kann somit auch eine schädigende Beeinflussung anderer, funktionsfähiger Teile vermieden werden.

4.1.16 Instandhaltungsfreundlichkeit des Bauteils

Die Instandhaltungsfreundlichkeit eines Bauteils kann die Instandhaltungsqualität beeinflussen und damit auch die Lebensdauer des Bauteils. Ein instandhaltungsfreundliches Bauteil erleichtert die Instandhaltung, was in der Regel mit einer verbesserten Instandhaltungsqualität einhergeht. Parameter für die Instandhaltungsfreundlichkeit können u.a. sein:

- Zugänglichkeit zu den instandzuhaltenden Bauteilen, Prüfpunkten oder Schmierstellen
- Prüfbarkeit einer Betrachtungseinheit zur Feststellung des IST-Zustandes
- Überwachbarkeit durch in Anlagen installierte Überwachungseinrichtungen zur Abgabe von Warnsignalen
- Austauschbarkeit von Komponenten, Geräten und Bauteilen
- die Standardisierung von Komponenten, Geräten, Bauteilen, Befestigungs- und Verbindungsmitteln
- ggf. leichte Justierbarkeit und Kalibrierbarkeit

- die Wahl instandsetzungsfreundlicher oder instandsetzungsfreier Geräte oder Bauteile [SIN01]
- die Art der Verbindung des Bauteils mit der übrigen Bausubstanz (z.B. leicht lösbar, bedingt lösbar, unlösbar)

4.1.17 Instandhaltungsstrategie

Die gewählte Instandhaltungsstrategie legt zum einen die Qualität der Instandhaltung und zum anderen den Zustand eines Bauteils zum Ersatzzeitpunkt fest. Die Strategie entscheidet somit über das Ende der Lebensdauer des Bauteils. Eine Strategie, die auf eine qualitativ hochwertige Instandhaltung setzt, wirkt sich positiv auf die Lebensdauer eines Bauteils aus. Durch sorgfältig durchgeführte Inspektionsmaßnahmen können Abnutzungserscheinungen oder Schäden zum Beispiel frühzeitig entdeckt und behoben werden, bevor schwerwiegende Schäden entstehen.

Auf Bauteilebene wird grundsätzlich differenziert zwischen den präventiven Instandhaltungsstrategien und den korrektiven Instandhaltungsstrategien.

Präventive Instandhaltungsstrategien haben zum Ziel, Instandhaltungsmaßnahmen bereits vor dem Ausfall eines Bauteils auszuführen, um Funktionseinschränkungen zu vermeiden und die Ausfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren. Auf die Lebensdauer eines Bauteils kann sich das auf unterschiedliche Weise auswirken. Zum einen können präventive Instandhaltungsmaßnahmen die Lebensdauer erhöhen, zum anderen können funktionstüchtige Bauteile im Zuge einer präventiven Maßnahme auch vor dem Ende ihrer technischen Lebensdauer ausgetauscht werden. Der Abnutzungsvorrat wird dadurch nicht vollständig ausgeschöpft, sodass sich die Lebensdauer entsprechend verkürzen kann.

Im Gegensatz dazu haben die korrektiven Instandhaltungsstrategien zum Ziel bereits vorhandene Schäden zu beheben. Das heißt entsprechende Maßnahmen werden erst nach dem Unterschreiten der Abnutzungsgrenze des jeweiligen Bauteils durchgeführt. Die korrektive Instandhaltung kann zu einer vorzeitigen Alterung des entsprechenden Bauteils führen. Dies kann sich nicht nur auf das betroffene Bauteil selbst negativ auswirken, sondern darüber hinaus auch auf weitere, meist angrenzende, Bauteile. Eine korrektive Instandhaltung kann Schadensfolgekosten in beträchtlicher Höhe nach sich ziehen.

Üblicherweise wird zwischen der Ausfallstrategie, der Inspektionsstrategie und der Präventivstrategie differenziert, die in nachfolgender Abbildung dargestellt sind.

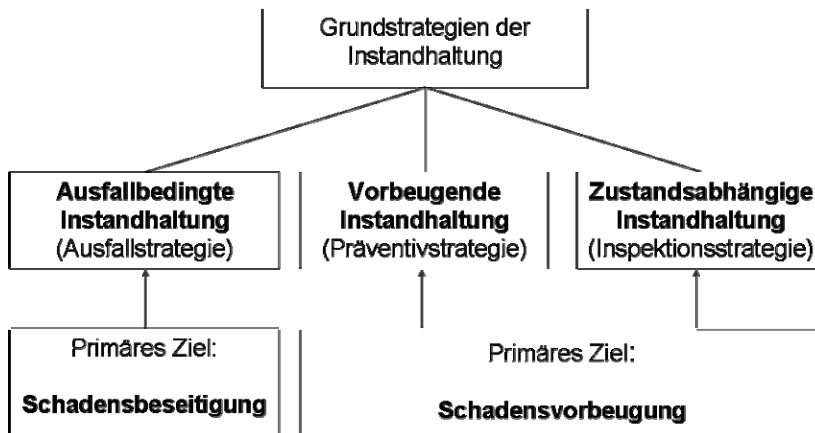


Abbildung 12: Grundstrategien der Instandhaltung

4.2 Immaterielle Einflussfaktoren

Neben den materiellen Einflüssen, können auch immaterielle Faktoren zum Ersatz eines Bauteils führen. Die Verweildauer eines Bauteils im Gebäude hängt somit nicht zwangsläufig von der technischen Lebensdauer eines Bauteils ab. So können zum Beispiel modische Aspekte, der technische Fortschritt oder auch normative Änderungen dazu führen, dass noch voll funktionstüchtige Bauteile vorzeitig ersetzt werden und die potenzielle Lebensdauer eines Bauteils nicht voll ausgenutzt wird. Die sogenannte immaterielle Alterung ist nicht im Bauteil selbst begründet und kann daher auch nicht beeinflusst werden, sodass die Vorhersage der tatsächlichen Verweildauer von Bauteilen nicht möglich ist.

4.2.1 Funktionale Obsoleszenz

Hinsichtlich der Lebensdauer von Bauteilen spielt häufig auch die Änderung funktionaler Anforderungen eine wichtige Rolle. Zum Teil werden Bauteile aus funktionalen Gründen vor der Erreichung ihrer technischen Lebensdauer ausgetauscht, z.B. wenn sich die Anforderungen an die Funktionalität und die Gestaltungsqualität eines Gebäudes ändert. Auslöser sind häufig Nutzungsänderungen. Aber auch gesellschaftliche Änderungen wie z.B. der zunehmende Platzbedarf pro Kopf bei Wohngebäuden, oder auch sich ändernde Arbeitsstrukturen wie z.B. Großraum- statt Einzelraumbüro, spielen hinsichtlich der funktionalen Obsoleszenz eine wichtige Rolle.

4.2.2 Modische Obsoleszenz

Die modische Obsoleszenz bezieht sich auf Änderungen hinsichtlich modischer bzw. formaler Ansprüche, wodurch funktionstüchtige Bauteile aus ästhetischen Gründen ersetzt werden. Hierdurch wird deren potenzielle Lebensdauer nicht ausgeschöpft. Betroffen sind häufig Innenbauteile, wobei insbesondere die Oberflächen hinsichtlich Farbe, Muster und Machart eine wichtige Rolle spielen. Die Beurteilung, ob ein Bauteil noch zeitgemäß ist, oder nicht, ist individuell sehr unterschiedlich, sodass eine Einschätzung der jeweiligen Auswirkung hinsichtlich der Lebensdauer eines Bauteils sehr schwierig ist.

Indirekt könnte die Art der Nutzung eines Gebäudes, Aufschluss über die Häufigkeit von modischen Änderungen einer Immobilie geben. So wird eine Schule zum Beispiel nur selten von modischen Trends beeinflusst. Im Gegensatz dazu spielen die gestalterischen Anforderungen bei Immobilien mit Repräsentationszweck, wie zum Beispiel bei einem Hotelgebäude, eine wichtige Rolle.

4.2.3 Baurechtliche Obsoleszenz

Die Änderung bzw. Erweiterung oder auch die Anpassung von Normen, rechtlichen Verordnungen oder auch Richtlinien und Empfehlungen können die Lebensdauer eines Bauteils beeinflussen. Obwohl die Funktionstauglichkeit im eigentlichen Sinne noch gegeben ist, müssen Bauteile in diesem Zusammenhang zum Teil ausgewechselt oder nach den gültigen baurechtlichen Auflagen angepasst werden. Beispiele hierfür sind Änderungen der Wärme-, Schall- und Brandschutzanforderungen.

4.2.4 Ökologische Obsoleszenz

Ökologische Aspekte spielen im Bauwesen eine zunehmend wichtige Rolle. Die Anforderungen an ein Gebäude bezüglich der Vermeidung von Umweltverschmutzungen, der Energieeffizienz sowie des Recyclings haben in den letzten Jahren im Zuge eines verstärkten Umweltbewusstseins deutlich zugenommen. Entspricht ein Bauteil unter Berücksichtigung von ökologischen Kriterien nicht mehr dem Stand der Technik, kann es zur Förderung des Umweltschutzes trotz bestehender Funktionstüchtigkeit, ausgetauscht werden.

4.2.5 Ökonomische Obsoleszenz

Auch ökonomische Aspekte sind hinsichtlich der Lebensdauer von Bauteilen von Bedeutung. So werden Bauteile zum Teil ersetzt, weil sie nicht mehr wirtschaftlich sind. Beispielsweise

könnte die Wärmedämmung aufgrund gestiegener Energiekosten erneuert werden. Hohe Instandhaltungskosten hingegen könnten zum Ersatz eines technischen Bauteils führen, das grundsätzlich noch funktionsfähig ist. Darüber hinaus könnte zum Beispiel der Wertzuwachs eines Grundstücks dazu führen, dass ein Gebäude frühzeitig abgerissen und aufgrund der höheren Rendite ein neues Gebäude erstellt wird.

4.2.6 Technisch Obsoleszenz

Die technische Weiterentwicklung verläuft sehr rasant, sodass Bauteile häufig nicht mehr den aktuellen technischen Standards entsprechen. Mit den technischen Entwicklungen, verändern sich auch die Ansprüche der Nutzer. Dies kann dazu führen, dass die Bauteile unabhängig von ihrer potenziellen Restlebensdauer ausgetauscht und durch neue bzw. modernere Bauteile ersetzt werden. Auch das Fehlen von passenden Ersatzteilen zur Instandhaltung eines Bauteils älteren Jahrgangs, kann zu einem Austausch des gesamten Bauteils führen.

4.2.7 Sonstige

In der Literatur lassen sich darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Einflussfaktoren auf die immaterielle Abnutzung eines Bauteils finden. Für Gebäudebetreiber bzw. -besitzer können beispielsweise die aktuellen Konjunkturdaten, Änderungen im Steuer- oder Mietrecht oder auch staatliche Förderprogramme ausschlaggebend dafür sein, Bauteile noch vor Beendigung ihrer technischen Lebensdauer gegen andere auszutauschen. Ebenso kann das übliche Verhalten in der Praxis zu einem vorzeitigen Austausch einzelner Bauteile führen. Zum Beispiel wenn mehrere Instandhaltungsmaßnahmen zu sogenannten Maßnahmepaketen zusammengefasst werden.

Weitere Beispiele für immaterielle Einflussfaktoren können u.a. sein [Schw02]:

- die Verlagerung eines Produktionsstandortes
- Bebauungsplanänderung
- Planungsrechtliche Festsetzungen, Denkmalpflege
- Abschreibungsmöglichkeiten
- Förderprogramme

5 Einflüsse auf die Lebensdauer von Bauwerkstoffen

Ein Gebäude besteht aus verschiedenen Bauteilen, die wiederum aus verschiedenen Materialien bestehen. Jeder Werkstoff besitzt ein materialspezifisches Alterungsverhalten und reagiert individuell auf die unterschiedlichen Einflüsse, denen er ausgesetzt wird. Bei der Bewertung der Wirkungsweise von Einflussfaktoren ist das Wissen über die spezifischen Materialeigenschaften von Bedeutung.

Dieses Kapitel soll für die wichtigsten Materialien einen Einblick in die materialabhängigen Auswirkungen von Einflussfaktoren geben. Dabei werden Einflussfaktoren, die nicht materialspezifisch sind, wie beispielsweise das Nutzerverhalten oder die Planungs- und Erstellungsqualität, nicht explizit erwähnt, da sie Auswirkungen auf alle Werkstoffe haben können.

Es ist zu erwähnen, dass im Rahmen dieses Projekts aufgrund des enormen Umfangs und der Komplexität dieser Thematik lediglich ein kurzer Einblick in die Vielfalt der unterschiedlichen Werkstoffe und Bauteile möglich ist. Vor diesem Hintergrund wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Ziel ist es vielmehr hinsichtlich dieser Thematik zu sensibilisieren. Zur genauen Bewertung der materialspezifischen Reaktionen und Auswirkungen auf die unterschiedlichen Einflussfaktoren ist das Wissen von Fachexperten daher unbedingt erforderlich.

5.1 Einflüsse auf die Lebensdauer anorganischer Baustoffe

5.1.1 Beton

Die Lebensdauer von Betonbauteilen wird maßgeblich durch externe Einflüsse und die Planungs- und Verarbeitungsqualität beeinflusst. Schädigende Einwirkungen verursachen zum einen Oberflächenschäden wie Risse, Ausblühungen und Verkrustungen und zum anderen Schäden, die die Dauerhaftigkeit und die Standsicherheit herabsetzen.

Auslöser für Betonbeschädigungen können u.a. sein:

- thermische oder mechanische Spannungen im Bauteil
- lastbedingte Verformung, Überbeanspruchungen
- Oberflächenbeanspruchung bzw. Abrasion

- Einwirkung von Frost
- unterlassene Instandhaltung, so dass kleine Schäden schnell zu großen Schäden anwachsen
- Planungsfehler wie z.B. falsch gewählte Betonkonsistenz, unzureichender Abstand der Bewehrungseisen untereinander, unzureichende Anordnung von Rüttelgassen zur Verdichtung, ungeschickte Bewehrungsform, Stahlkonzentrationen nicht beachtet, falsche Biege Maße, Unterschätzung dynamischer Belastungen etc.
- Ausführungsmängel wie z.B. mangelhafte Betonqualität, ungenügende Dichtigkeit (hohe Porosität), ungenügende Betonüberdeckung, Kiesnester, Einschlüsse von Fremdstoffen, Verzögerungen beim Einbau des Betons, unsachgemäße Verdichtung, falsche, ungeeignete oder unzureichende Anzahl an Abstandhalter, Bewehrungsfehler, ungeeignete Schalung, etc.
- Bewehrung ist Sauerstoff und Feuchtigkeit ausgesetzt, die Folge sind Korrosionsschäden, da der Bewehrungsstahl nicht mehr durch den Beton geschützt wird. Da Rost das mehrfache Volumen des ursprünglichen Stahls besitzt, baut sich Druck auf, der die Betondeckung absprengen kann.
- chemische Einflüsse:
 - lösender Angriff findet u.a. beim Einwirken saurer Medien wie z.B. saurer Regen oder Boden, bei der Einwirkung starker Basen oder beim Angriff durch austauschfähige Salze statt
 - beim treibenden Angriff entstehen im Inneren des Gefüges Reaktionsprodukte, die solange problemlos auskristallisieren können, bis der Porenraum ausgefüllt ist, danach steigt der Kristallisationsdruck, der das umgebende Gefüge bis zur völligen Zerstörung auflockert.
 - Chloridbelastung durch Tausalz oder Brand in Verbindung mit Feuchtigkeit

Die nachfolgende Abbildung gibt eine Übersicht über mögliche Auslöser und beschreibt deren Auswirkungen auf das betroffene Betonbauteil.

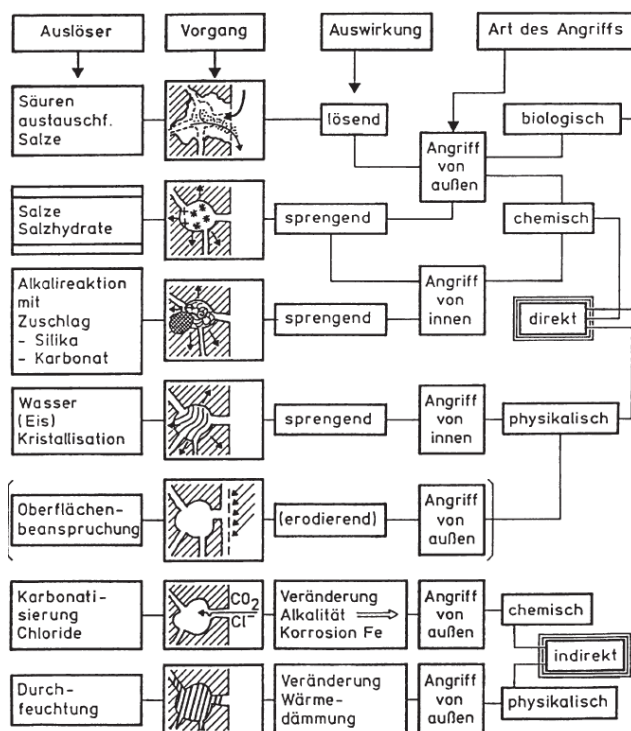


Abbildung 13: Angriffe und Auswirkungen auf poröse Stoffe [IBMB]

5.1.2 Mörtel

Mörtel kommt im Bauwesen u.a. als Außen-, Innen- und Dämmputz, als Mauer- und Fugenmörtel, oder auch als Ansetzmörtel z.B. für keramische Platten, zum Einsatz [Grun80].

Die sich auf die Lebensdauer des Mörtels auswirkenden Einflüsse sind zum Teil ähnlich wie bei Beton:

- Lastabtrag und Überlastung
- Fehler und Mängel in der Ausführung
- ungeeignete Materialwahl
- Beschaffenheit des Untergrundes
- Verschleiß infolge mechanischer Belastung oder Umwelteinflüssen (klimatisch, chemisch, biologisch)
- Ermüdung
- Feuchtigkeit

- Frostsprengung
- Salzsprengung
- Bindemittelauslaugung
- unterschiedliches Schwindverhalten von Bauteilen
- Verformungen von Bauteilen wie Decken können zu Rissbildung führen
- thermische Bewegungen in den Konstruktionen

5.1.3 Keramische Werkstoffe

Grundlage für die Herstellung keramischer Baustoffe wie zum Beispiel Ziegel, Klinker, Fliesen und Platten, sind tonhaltige Massen, die neben dem Hauptbestandteil Ton noch Feldspat- und Quarzanteile enthalten [Thie08c].

Hinsichtlich der Dauerhaftigkeit keramischer Materialien ist die Porosität der Baustoffe ausschlaggebend, da von ihr die Aufnahmefähigkeit von Feuchtigkeit abhängt. So werden die Materialien bei genügender Sättigung zum einen frostempfindlich und zum anderen können durch den Wassertransport Auflösungserscheinungen im Inneren bzw. Ausblühungen an der Oberfläche ausgelöst werden [IPBAU02].

Folgende Faktoren wirken sich negativ auf die Lebensdauer keramischer Werkstoffe aus:

- Frostbeanspruchung
- Temperatur- oder Feuchtigkeitswechsel (Wasseraufnahme/-abgabe)
- starke mechanische Beanspruchung
- Ausführungsmängel wie z.B. fehlende Dehn-/ Trenn-/ Anschlussfugen (bei Mauerwerk, Fliesen, etc.)
- unzureichende Festigkeit des Untergrundes bei Belastung
- Schwind- und Kriechvorgänge
- setzungsbedingte Veränderungen
- falsche Reinigungsmittel [BAKA06]
- chemische Reaktionen: Kalkeinschlüsse (CaO) im Ziegel können z.B. in Verbindung mit Wasser aufgrund erheblicher Volumenvergrößerung zu Treiberschei-

nungen (Abplatzen der Oberfläche, Zersprengen der Ziegel) führen. Größere Gesteinseinschlüsse verursachen Rissbildung, Chloride und Sulfate (Gips) führen zu Ausblühungen. Schwefelkiese bewirken örtliche Färbung, Treiberscheinungen sowie eine verminderte Feuer- und Witterungsbeständigkeit. [Grun80]

5.1.4 Naturstein

Naturwerksteine finden vor allem als Außenwandbekleidung (Fassadenplatten, Sockelverkleidung) sowie als Boden- und Stufenbelag Anwendung. Des Weiteren als Fensterbänke, Treppen und Wandverkleidungen.

Schädigende Einflüsse, die die Lebensdauer von Natursteinbauteilen herabsetzen sind u.a.:

- aggressive Luftverschmutzungen (v.a. SO₂ und CO₂, Ruß, Staub, Chlorid, Fluor, Ammonium)
- Witterungseinflüsse
- Abnutzung
- Feuchtigkeit (Frost, Schimmelbildung, biologischer Bewuchs durch Algen und Flechten) [BAKA06]

Die Schadensbilder sind beispielsweise Risse, Ausblühungen, Krusten, Absanden und Abplatzungen. Chemische Abläufe, die durch Anwesenheit von Feuchtigkeit ausgelöst werden können, sind von der chemischen Zusammensetzung und der Porosität des Gesteins abhängig.

5.1.5 Glas

Glas ist ein sehr beständiger und chemisch kaum zu zerstörender Werkstoff. Glas kann sich zwar verfärben und unter dem Einfluss ionisierender Strahlung trüb werden, jedoch geschieht dies in einer für die Baupraxis irrelevant großen Zeitspanne.

Allerdings kann stehendes Kondenswasser bzw. anhaltende Feuchtebelastung bei Isoliergläsern beispielsweise zur Korrosion des Randverbundes führen. Die dabei entstehenden Substanzen greifen das Glas an und verändern dessen Oberfläche. Als Folge verliert das Glas allmählich seine Transparenz bis hin zur Erblindung. Glas kann darüber hinaus durch

Flußsäure oder Kieselfluorwasserstoffsäure verätzt werden. Auch konzentrierte, alkalische Lösungen können zu einer Trübung des Glases führen [BAKA06].

5.2 Einflüsse auf die Lebensdauer von Holzbauteilen

Holz wird häufig zu Holzwerkstoffen weiterverarbeitet, beispielsweise zu Brettschichtholz, Konstruktionsvollholz, Balkenschichtholz, Lagenholz (z.B. Multiplan-Platten, Sperrholz), Spanplatten, Holzfaserplatten, Holzwolleleichtbau-platten [Thie09b].

Gegenüber Chemikalien ist Holz im Allgemeinen sehr beständig und auch bei korrosiver Atmosphäre einsetzbar, die für andere Materialien problematisch ist. In solchen Fällen muss die Korrosionsgefahr für die verwendeten metallischen Verbindungsmittel beachtet werden.

Die Alterung von Holzbauteilen ist von folgenden Einflüssen abhängig:

- Witterungseinflüsse wie UV-Strahlung und Feuchtigkeit bzw. Feuchteschwankung
(ungeschütztes kann Holz innerhalb weniger Jahre unter dem Einfluss von UV-Strahlung und Feuchtigkeit verwittern. Der schädigende Einfluss der Feuchte wird durch das Quellen und Schwinden infolge Feuchteschwankungen verstärkt)
- Holzschädlinge (Pilze, Bakterien, Insekten)
- mechanische Einflüsse, die zur Verformung und Schädigung führen
- falsche Baukonstruktion, z.B. nicht vorhandene oder fehlerhaft angebrachte Dampfsperren
- Erdkontakt, Dauerfeuchte
- Überbeanspruchung von Holzverbindungen (Quetschungen, Brüche, Spalten)
- Korrosion von metallischen Verbindungen

Je nach Einbausituation ist Holz in unterschiedlichem Maße dem Angriff der aufgeführten Bauteile ausgesetzt. Vor diesem Hintergrund kann Holz in sogenannte Gefährdungsklassen eingeteilt werden. Diese erleichtern die Beurteilung über Art und Umfang eventuell notwendiger Schutzmaßnahmen.

Holz wird nach DIN 68 800 T.3 in folgende Gefährdungsklassen eingeteilt:

Tabelle 3: Zuordnung von Holzbauteilen zu Gefährdungsklassen nach DIN 68 800 T.3 [Ste104]

Gefährdungsklasse	Beanspruchung	Gefährdung durch			
		Insekten	Pilze	Auswaschung	Moderfäule
0	Innen verbautes Holz, ständig trocken	nein	nein	nein	nein
1		ja	nein	nein	nein
2	Holz, das weder dem Erdkontakt noch der Witterung oder Auswaschung ausgesetzt ist, vorübergehende Befeuchtung möglich.	ja	ja	nein	nein
3	Holz der Witterung oder Kondensation ausgesetzt, aber nicht in Erdkontakt	ja	ja	ja	nein
4	Holz in dauerndem Erdkontakt oder ständiger starker Befeuchtung ausgesetzt ¹⁾	ja	ja	ja	ja

1) Besondere Bedingungen gelten für Kühltürme sowie für Holz im Meerwasser

5.3 Einflüsse auf die Lebensdauer von Kunststoffen

Kunststoffe kommen im Bauwesen auf vielfältige Weise zur Anwendung, beispielsweise als Folien, Dichtungsbahnen, Fugenbänder, Fugenmassen, Kunststofffenster, Rolladen, Dübel, Sanitärartikel, Bodenbeläge, Putze auf Kunststoffbasis, Polymer-Beton, Rohrleitungen, Korrosionsschutz, Isolation, Beschichtungen, Imprägnierung, etc. [Müll05] [Thie07b].

Die Lebensdauer von Kunststoffen ist u.a. von folgenden Einflüssen abhängig:

- Chemische Einflüsse
- Witterungsbedingte Einflüsse
- Biologische Einflüsse
- Mechanische Beanspruchung
- Verarbeitungsfehler
- Konstruktionsfehler
- Fehler in der Werkstoffauswahl

Die Beständigkeit gegenüber chemischen Einflüssen von Kunststoffen ist aufgrund des stofflichen Aufbaus der Kunststoffe im Allgemeinen gut, da an ihrer Oberfläche jene Ionenreaktionen, die beispielsweise zur Korrosion metallischer oder mineralischer Stoffe führen, nicht

stattfinden kann. Abhängig von der Art des Kunststoffes können hingegen Einflüsse in Folge von Säuren, Laugen oder Lösungsmitteln u.ä. kritisch sein. Grundsätzlich gilt, dass Thermoplaste beständiger gegen Säuren und Laugen, Duroplaste dagegen beständiger gegen organische Lösungsmittel sind [Beck00].

Die nachfolgende Tabelle zeigt die chemische Beständigkeit verschiedener Kunststoffarten gegenüber verschiedenen Angriffstoffen.

Tabelle 4: Chemische Beständigkeit von Baustoffen [Beck00]

Kunststoffe		Angriffstoffe																
		Säuren					Laugen		Lösemittel				Treibstoffe und Öle					
		schwach	stark	oxydierend	Flußsäure	Halogene (trickeln)	schwach	stark	Alkohole	Ester	Ketone	Äther	Chlorkohl.-W.	Benzol	Benzin	Treibstoffgem.	Mineralöl	Fette, Öle
PE	hart	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+	○	⊕	○	⊕	⊕	⊕	+
	weich	+	+	-	+	-	+	+	○	○	○	-	-	-	⊖	-	○	⊖
PP		+	+	-	○	⊖	+	+	+	⊕	⊕	○	⊖	⊖	⊕	○	+	+
PIB		+	+	○	+	○	+	+	+	-	○	-	-	-	-	-	-	-
PVC	hart	+	+	⊕	⊕	○	+	+	+	-	-	-	⊖	-	+	⊖	+	+
	weich	+	⊕	○		-	+	○	○	-	-	-	-	⊖	-	○	○	
PMMA		+	+	○	○	○	+	+	○	-	-	○	-	-	+	-	+	+
PVAC									-	-	-	-	-	⊕		⊕		
PS	hart	+	⊕	○	⊕	-	+	+	+	-	-	-	-	-	○	-	○	+
	Schaum																	
PTFE		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PA		-	-	-	-	-	+	○	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
UP		+	○	⊖	⊖	⊖	○	⊖	⊕	⊖	-	-	-	⊖	+	+	+	+
EP		+	+	-	⊕	+	⊕	⊕	+	○	⊕	+	○	+	+	+	+	+
PUR	hart	○	-	○	⊖		+	-	⊕	○	⊖	+	○	+	+	○	+	○
	Schaum	+	○	-	-	-	○	○	⊕	-	-	⊕	-	⊖	+	○	+	+
Si		+	-	-	-		+	⊕	⊖	⊖	+	-	-		○	○	○	⊕
MF		○	-				+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PF, Preißm.		+	-				+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

+ = beständig ⊕ = bedingt beständig bis beständig
 ○ = bedingt beständig ⊖ = bedingt unbeständig bis unbeständig
 - = unbeständig

Hinsichtlich der witterungsbedingten Einflüsse ist zu sagen, dass Bauteile aus Kunststoff vergleichsweise sehr witterungsbeständig sind. Jedoch altern auch sie unter der komplexen Einwirkung von wechselnder Feuchte, Temperatur und Sonnenlicht schneller. Die kurzweilige UV-Strahlung des Sonnenlichts führt beispielsweise zu einem Aufspalten der chemischen

Bindungen. Folgen davon sind: Versprödung und Festigkeitsverluste, Verschlechterung der Durchsichtigkeit transparenter Kunststoffe und der Lichtbeständigkeit etc. [Beck00]

Hinsichtlich der biologischen Einflüsse sind Kunststoffe im Allgemeinen gegen Pilze und Mikroben resistent, sofern sie nicht fetthaltige Weichmacher oder organische Füllstoffe enthalten. In seltenen Fällen können Käfer, Termiten und Nager Zerstörungen verursachen [Beck00].

Typische Schadensbilder an Kunststoffbauteilen sind u.a.:

- plastische Deformation, Verformung,
- Rissbildung und Längenänderung
- Bruch
- Oberflächenschäden
- Verfärbungen, Abnahme von Transparenz und Oberflächenglanz
- Versprödung
- Nachlassen der Klebewirkung

5.4 Einflüsse auf die Lebensdauer bituminöser Baustoffe

Bitumen und Teer sind organische Werkstoffe, die im Bauwesen häufig verwendet werden. Bei ihrer Anwendung wird weniger von ihren Festigkeitseigenschaften, sondern mehr von ihrer Klebefähigkeit, Dichtigkeit und Verformbarkeit Gebrauch gemacht [Müll05].

Im Hochbau findet Bitumen u.a. auf folgenden Gebieten Verwendung:

- als Kleb-, Tränk- und Deckmasse für Bitumen-Dachbahnen und Dichtungsbahnen
- als Fugenvergussmasse
- als Korrosionsschutzmittel für Metalle
- als Bindemittel für Estriche und Fußbodenbeläge [Müll05]

Bitumen zeigt sich gegen die Einwirkung der meisten anorganischen Säuren, Salze, aggressiver Wässer, Kohlensäure und Alkalien als sehr widerstandsfähig. Dabei ist der Grad der Widerstandsfähigkeit gegenüber starken Säuren temperaturabhängig und abhängig von der

oxidierenden Wirkung von Säuren. Prinzipiell kann gesagt werden, dass mit zunehmender Bitumenhärte die Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien ansteigt. Chemikalien in flüssiger Konsistenz sind dem Bitumen gegenüber aggressiver als in fester oder gasförmiger Form. Gegenüber Kraftstoffen (Benzin, Diesel), Ölen, Fetten und vielen organischen Lösemitteln ist Bitumen nicht beständig [Thie08b].

5.5 Einflüsse auf die Lebensdauer von Metallen

Metalle werden meist nicht in ihrer elementaren Form, sondern fast ausschließlich als Legierungen verwendet. Als Baustoff kommt Stahl, einer Legierung im Wesentlichen aus Eisen und Kohlenstoff, die größte Bedeutung zu. Metalle unterliegen in der natürlichen Umwelt zahlreichen Einwirkungen, die zum Teil zur Korrosion führen können.

Durch ungünstige Kombination verschiedener Metalle kann Materialabtrag durch Kontaktkorrosion auftreten. Die nachfolgende Tabelle bewertet die Kombinationsmöglichkeiten verschiedener metallischer Werkstoffe nach ihrer Korrosionsgefährdung.

Zu beurteilender Werkstoff B	O _B		Paarungswerkstoff P												
	O _P		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Magnesiumlegierung	klein		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	groß		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2 Zink	klein	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	groß	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
3 Feuerverzinkter Stahl	klein	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	groß	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4 Aluminiumlegierung	klein	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	groß	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
5 Cadmiumüberzug	klein	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
	groß	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
6 Baustahl	klein	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
	groß	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●
7 Niedriglegierter Stahl	klein	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
	groß	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●
8 Stahlguß	klein	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
	groß	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
9 Chromstahl	klein	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
	groß	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●
10 Blei	klein	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●
	groß	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●
11 Zinn	klein	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
	groß	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
12 Kupfer	klein	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
	groß	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●
13 nichtrostender Stahl	klein	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●
	groß	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●

● starke Korrosion

● mässige Korrosion (in sehr feuchter Atmosphäre)

● geringe oder keine Korrosion

} des zu beurteilenden Werkstoffs

O_B / O_P = Verhältnis der (benetzten) Oberfläche des hinsichtlich Kontaktkorrosion zu beurteilenden Werkstoff B zu der des Paarungswerkstoff P

Abbildung 14: Abschätzung des Grades möglicher Kontaktkorrosion bei Materialpaarungen [IPBau92]

Eisen und Stahl

Das Alterungsverhalten von Material aus Eisen bzw. Stahl ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Dazu zählen u.a.:

- Witterungseinflüsse wie z.B. Luftfeuchtigkeit, Temperatur und UV-Licht
- Chemische Einflüsse, so können sich Eisen und Stahl z.B. in Salz- und Schwefelsäure auflösen. Eisen angreifende Chlorid- und Sulfationen können aus Baustoffen (Gips, Magnesiabinder) oder Streusalz stammen.
- örtlich erhöhte aggressive Einflüsse (Spritzwasserzonen, Bereiche mit Salz Sprühnebelbeanspruchung, Zonen im Tausalzbereich, Zonen mit Ablagerungen von schädlichen Stoffen (Luftverschmutzung, Chemikalien, Exkrementen, usw.), Stellen mit elektrochemischen Einflüssen (Potentialdifferenzen, Streuströme), Chloridbeaufschlagung)
- Kondenswasserbildung
- Mangelnder Korrosionsschutz
- Feuchtigkeit (Nass-Trocken Zyklen)
- Ermüdung durch wechselnde Belastungen und Spannungen

Auch wenn die erreichten Spannungsspitzen unterhalb der statischen Bruchfestigkeit des Materials liegen, kann durch die wechselnden Spannungszustände ein Bruch infolge Ermüdung eintreten. Besonders gefährdet sind Bereiche mit Schrauben- und Nietlöchern, Schweißnähten sowie Kerben.

Aluminium

Aluminium ist empfindlich gegen Säuren und Basen. Da Aluminium von säurehaltiger Industrieluft und stark salzhaltiger Meeresluft angegriffen wird, ist in diesen Fällen eine Beschichtung sinnvoll, ebenso beim Einsatz von Aluminium bei frischem Kalkputz und Beton (alkalisch reagierende Baustoffe). Darüber hinaus kann Aluminium in Kontakt mit Meerwasser und mit Magnesiabinder sehr stark korrodieren [Thie08d].

Kupfer

Kupfer kann wegen seiner guten Korrosionsbeständigkeit gegen Witterungseinflüsse, ohne weiteren Schutz für den Außeneinsatz (z.B. Bleche für Bedachungen) und an erdberührten Stellen eingesetzt werden. Unter der Einwirkung von Ammoniak färbt sich Kupfer zunächst schwarz und bildet dann lösliches, blaues, giftiges Tetramminkupferhydroxid.

Eine direkte Verbindung mit anderen Baumetallen in feuchtem Milieu ist zu vermeiden.

Gegen Kalk und Zement, Trink- und Brauchwasser ist Kupfer beständig, in Legierungen auch gegen Meerwasser. Dagegen ist es gegen Chlorid und Kohlensäure unbeständig [Thie08d].

5.6 Fazit zu materialspezifischen Einflüssen

In diesem Kapitel wurden mögliche lebensdauerbeeinflussende Parameter von häufig zum Einsatz kommenden Bauwerkstoffen beschrieben. Schon dieser kurze Überblick verdeutlicht, dass die Auswirkungen von Einflussfaktoren sehr materialspezifisch sind.

Das Alterungsverhalten eines Bauteils wird somit auch von dessen Material bestimmt. Vor diesem Hintergrund müssen in das Berechnungsmodell zur Ermittlung von Bauteillebensdauern materialspezifische Beurteilungskriterien integriert werden.

6 Entwicklung des Modells

In Kapitel 3 wurden die bisherigen Ansätze zur Ermittlung der Lebensdauer von Bauteilen vorgestellt und diskutiert. Hierbei hat sich der Methodenvorschlag der ISO 15686, der Lebensdauer beeinflussende Parameter mit Hilfe von Faktoren mit der Referenzlebensdauer verknüpft, grundsätzlich als sinnvoll erwiesen. Als Ausgangsbasis des zu entwickelnden Modells wird somit die Faktorenmethode der ISO 15686 gewählt, sodass sich das grundsätzliche Vorgehen an dieser Richtlinie orientiert.

Zur Verbesserung der Ergebnisse wird bei der Entwicklung des Modells versucht, die bisherigen Schwächen der Faktorenmethode und deren Hemmnisse hinsichtlich der Umsetzung in die Praxis, zu beseitigen. So wird die tatsächliche Anwendung des Verfahrens der ISO zum Beispiel durch die fehlenden Angaben hinsichtlich der zu verwendenden Referenzlebensdauern erschwert. Verbesserungswürdig erscheint darüber hinaus die Tatsache, dass bei der Faktorenmethode alle Einflüsse gleich gewichtet werden, da dies aufgrund der sehr unterschiedlichen Auswirkungen und Wirkungsstärken der verschiedenen Einflussfaktoren nicht der Realität entspricht. Ein weiteres wesentliches Problem hinsichtlich der Anwendung der bisherigen Faktorenmethode besteht zum Beispiel in dem Fehlen, restriktiver und verbindlicher Vorgaben hinsichtlich der Höhe der Werte für die jeweiligen Einflussfaktoren. Letztendlich liegt in der weiteren Differenzierung der Einflussfaktoren und der detaillierten Beschreibung von Kriterien zur Bewertung der Faktoren ein weiteres Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen.

In den nachfolgenden Kapiteln, werden die aufgeführten Kritikpunkte schrittweise bearbeitet und hierauf aufbauend das Modell zur Berechnung der Lebensdauern entwickelt. Abschließend wird das Modell mit Hilfe von vier Bauteilen, die repräsentativ für unterschiedliche Beanspruchungsgruppen stehen, getestet.

6.1 Referenzlebensdauer

Zur Berechnung der Lebensdauer eines Bauteils orientiert sich das Verfahren ebenso wie die ISO 15686 an einer sogenannten Referenzlebensdauer, die dann mit Hilfe von Korrekturfaktoren an die spezifischen Gegebenheiten einer Immobilie angepasst wird. Die ISO macht jedoch keine Angaben, welche Referenzlebensdauern als Ausgangsbasis für die Berech-

nung der tatsächlichen Lebensdauer verwendet werden soll. Dies erschwert die Anwendung des Verfahrens in der Praxis erheblich und macht es darüber hinaus auch sehr intransparent.

In einem ersten Schritt hinsichtlich der Umsetzung des Verfahrens in der Praxis, gilt es also die Referenzwerte, die als Ausgangsbasis verwendet werden sollen, zu bestimmen.

In Kapitel 3.1.1 wurde bereits erläutert, dass die Angaben hinsichtlich der Lebensdauer von Bauteilen äußerst kritisch zu betrachten sind. Die Lebensdauer eines Bauteils ist sehr von den Baustoffen, den Baukonstruktionen, der Kenntnis maßgeblicher Einwirkungen und ihren zeitlichen Auswirkungen auf die Eigenschaften von Baustoffen und Bauteilen und damit von einer Vielzahl bekannter, häufig aber auch nicht oder nur begrenzt bekannter Parameter abhängig. Um sie in ein Modell zur Lebensdauerberechnung einbeziehen zu können, sollten die Randbedingungen unter denen diese Werte zustande kamen idealerweise dokumentiert bzw. standardisiert sein.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass derzeit keine standardisierten Referenzlebensdauern mit Angabe zu Randbedingungen, die zu einem Vergleich herangezogen werden können, existieren. In der Literatur lassen sich zwar zahlreiche Angaben finden, diese stammen jedoch aus sehr unterschiedlichen Quellen, beispielsweise aus Erfahrungen der Praxis, Ergebnissen aus (Labor-)Experimenten oder Herstellerangaben und wurden unter schwer vergleichbaren Gesichtspunkten gewonnen. Nur äußerst selten lassen sich Angaben über die Randbedingungen der Datengewinnung finden.

Die umfassendste und aktuellste Zusammenstellung mit Lebensdauerangaben zu Bauteilen, wird derzeit im Zuge der Überarbeitung des Leitfadens „Nachhaltiges Bauen“ erstellt. Um die Tabelle mit Lebensdauerangaben des Leitfadens aus dem Jahr 2001 zu ergänzen und zu differenzieren, wurde 2008 am Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V., eine Studie zur Überarbeitung von Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen des Hochbaus durchgeführt. Hierin werden sehr differenzierte Angaben zu den Lebensdauern von Bauteilen gemacht. Die ursprüngliche Datenbasis wurde in diesem Zusammenhang wesentlich erweitert und neu strukturiert. Die Ergebnisse dieser Studie werden derzeit vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) überarbeitet. In Zukunft werden diese Werte zur Lebenszyklusbetrachtung für Bundesgebäude angesetzt werden.

Die Datensätze werden zur besseren Anwendbarkeit in der Planungspraxis entsprechend den Kostengruppen 300, 400 und 500 der DIN 276-1 gegliedert. Durch die detaillierte Be-

trachtung von Bauteilen und Materialien sowie von Funktionen und Oberflächenbehandlungen, wurde eine sehr differenzierte Gliederungsstruktur gewählt. Diese soll insbesondere als Grundlage für Lebenszyklusanalysen dienen.

Die Bewertung der Nutzungsdauer wird in den letzten Spalten als minimale, maximale und mittlere Nutzungsdauer angegeben, wobei die mittlere Nutzungsdauer als gewichteter Wert zu verstehen ist, der einen Querschnitt üblicher typischer Nutzungsdauern eines Bauteils darstellen soll. Nachfolgende Abbildung zeigt einen beispielhaften Auszug der überarbeiteten Lebensdauerangaben und deren Gliederung.

300 Baukonstruktionen			min	max	Mittel
340 Innenwände					
344 Innentüren und -fenster	Fensterzubehör, Schlösser		20	40	30
344 Innentüren und -fenster	Kunststoffstegplatten transparent, Acrylglasplatten		30	50	40
344 Innentüren und -fenster	Kunststoffstegplatten transparent, Polycarbonatplatten		30	50	40
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Aluminium		40	70	60 *
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Aluminium-Holz-Komposit		40	70	60
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Aluminium-Kunststoff-Komposit		40	70	60
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Hartholz, behandelt		40	70	60
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Kunststoff		40	70	60
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Stahl, verzinkt und beschichtet		40	70	60
344 Innentüren und -fenster	Rahmen und Flügel, Weichholz, behandelt		40	70	60

Abbildung 15: Auszug aus [IEMB08]

Die Bandbreite unterschiedlicher BauteilAusführungen, Einsatzorte und Beanspruchungen, etc. wird durch die Angabe eines Minimal-, eines Maximal- und eines Durchschnittswerts berücksichtigt. Darüber hinaus wurden bei mehrschichtigen oder zusammengesetzten Bauteilen, deren Einzelkomponenten unterschiedliche Nutzungsdauern erwarten lassen, jede Bauteilschicht bzw. –komponente einzeln angegeben.

Aufgrund des Umfangs der Detailliertheit und der Aktualität werden für das Modell die Werte aus der vorgestellten Überarbeitung der Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen des Hochbaus für den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ herangezogen. Es wird davon

ausgegangen, dass diese Werte aufgrund des enormen Datenumfangs, der ausgewertet wurde, „durchschnittliche“ Randbedingungen widerspiegeln.

Als Referenzlebensdauer des zu entwickelnden Modells kommt somit die mittlere Lebensdauer aus den Nutzungsdauerangaben des überarbeiteten Leitfadens nachhaltiges Bauen zur Verwendung.

Weiterer Forschungsbedarf wird in diesem Zusammenhang hinsichtlich der Standardisierung von Randbedingungen gesehen, mit deren Hilfe die Aussagekraft der Lebensdauerangaben von Bauteilen erheblich gesteigert werden könnte.

6.2 Einflussfaktoren

Im Rahmen der Faktorenmethode nach ISO 15686 wird die spezifische Lebensdauer eines Bauteils durch die Multiplikation der Referenzlebensdauer mit Einflussfaktoren ermittelt. Diese Vorgehensweise wird auch für das zu entwickelnde Modell gewählt.

Die Herausforderung besteht darin, aus der großen Menge verschiedenartiger Parameter die maßgeblichen Einflussfaktoren herauszufiltern. Also diejenigen, die maßgeblich auf das Alterungsverhalten eines Bauteils einwirken. Hierbei ist auf ein Gleichgewicht zwischen Ermittlungsaufwand und die damit erreichbare Genauigkeit, also der Nutzen für die Praxis zu achten.

In Kapitel 4 wurden die wichtigsten Einflussfaktoren vorgestellt und beschrieben. Diese lassen sich grundsätzlich in materielle und immaterielle Einflussfaktoren gliedern. Das zu entwickelnde Verfahren konzentriert sich zur Berechnung der Lebensdauer auf die materiellen Einflüsse, da eine Vorhersage normativer, wirtschaftlicher oder auch gesellschaftspolitischer Einflüsse nicht möglich ist. Vor diesem Hintergrund kann mithilfe des Verfahrens die technische Lebensdauer ermittelt werden und nicht die tatsächliche Verweildauer eines Bauteils im Gebäude, die aufgrund immaterieller Faktoren deutlich kürzer sein kann.

Für die Entwicklung des Modells gilt es nun, die wichtigsten Einflussfaktoren herauszuarbeiten und diese sinnvoll zu strukturieren. Hierzu werden die in Kapitel 4 beschriebenen materiellen Einflussfaktoren an dieser Stelle zu den nachfolgend aufgeführten neun Faktoren zusammengefasst. Hierbei lehnt sich die Gliederung der Faktoren an die Gliederung der ISO 15686 an. Zu erwähnen ist, dass im Vergleich zur ISO zwei zusätzliche Einflussfaktoren eingeführt werden. Dies sind der Faktor A2 „Materialkombination“ und der Faktor F2 „Nutzung nach Bestimmung“, die sich jeweils unabhängig von den Faktoren A1 bzw. F1 auf das Alte-

ungsverhalten eines Bauteils auswirken können. Die Beschränkung auf neun Parameter dient zum einen der Übersichtlichkeit des Bewertungssystems und zum anderen der Anwendbarkeit bzw. Umsetzbarkeit des Verfahrens in der Praxis.

Die Strukturierung der Einflussfaktoren sind in nachfolgender Tabelle als Übersicht zusammengefasst dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung erfolgt im Anschluss.

Einflussfaktoren
A Bauteil
A1 Bauteilqualität
A 2 Materialkombination
B Konstruktiver Schutz
C Ergebnis der Bauausführung
D interne bauphysikalische Einflüsse
E externe bauphysikalische Einflüsse
F Nutzung
F 1 Nutzungsart
F 2 Nutzung nach Bestimmung
G Instandhaltungsqualität

Tabelle 7.3-1 Gliederung der Einflussfaktoren

Faktor A 1, Bauteilqualität

Die Bauteilqualität umfasst viele der in Kapitel 4.1 aufgeführten Faktoren. Bei der Beurteilung der Qualität eines Bauteils werden indirekt auch Faktoren wie Planungsqualität, Herstellungsqualität, Herstellungsbedingungen, Baustelleneinflüsse, Transport und Lagerung mitbewertet, da sich diese direkt auf die Bauteilqualität auswirken.

Zu bewerten ist folglich nur der Ist-Zustand des Bauteils und nicht die Ursachen und Randbedingungen, die für den Zustand maßgeblich sind. Ein Kriterium stellt hierbei z.B. dar, ob das Bauteil dem Anforderungsprofil (z.B. vorgegeben durch DIN) gerecht wird.

Vor diesem Hintergrund können auch Eigenschaften wie das Baujahr, oder das Gebäudealter vernachlässigt werden, da diese nur Indikatoren für die Bauteilqualität sein können (z.B.

die sehr allgemeine Aussage, dass Gebäude, die vor 1930 gebaut wurden, aus besonders hochwertigen Materialien bestehen) und nicht zwingend den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechen. Anhand von festgelegten Normen kann die Bauteilqualität objektiv bewertet werden.

Faktor A 2, Materialkombination

Unabhängig von der einzelnen Materialqualität können zwei oder mehrere verschiedene Materialien oder aneinandergrenzende Bauteile sich gegenseitig beeinflussen, weshalb dieser Faktor hier zusätzlich eingeführt wird.

Besonders Lebensdauer verkürzend wirkt sich die Kombination zweier nicht verträglicher Materialien (s. auch Kapitel 4.1.6) aus. Auch die Kombination von Materialien mit unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten kann eine beschleunigte Alterung verursachen, da es zu Spannungen in den Bauteilen kommt.

Aufgrund der unterschiedlichen Reaktionen von Materialien auf Einflüsse, entstehen Bau-schäden häufig an den Schnittstellen verschiedener Bauteile bzw. Materialien. Hinsichtlich der Bestimmung der Lebensdauer eines Bauteils, ist es daher wichtig, die Kombination verschiedener Materialien bzw. Bauteile zu berücksichtigen.

Faktor B, konstruktiver Schutz

Bei einem von Lebensdauer beeinflussenden Faktoren geschütztem Bauteil kann von einer längeren Lebensdauer ausgegangen werden als bei einem ungeschützten. Zum Beispiel ist ein unter einem Balkon angebrachtes Fenster besser vor Witterungs- und Strahlungseinflüssen geschützt, als ein den Einflüssen direkt ausgesetztes Fenster und altert daher langsamer. Ebenso verhält es sich bei einer Eingangstür, die durch ein Vordach geschützt wird. Teilweise sind Bauteile vollständig von anderen Bauteilen umgeben. Diese schirmen es also vor Einflüssen ab, die Auswirkungen auf das Alterungsverhalten haben könnten. Dieser Schutz ist so lange gegeben, wie das schützende Bauteil unbeschädigt bleibt oder ein unerwartetes Ereignis eintritt, das materialbedingt nur das betrachtete Bauteil schädigt, beispielsweise wenn durch einen Wasserschaden eine Betonwand durchfeuchtet und dadurch Dämmmaterial mit Feuchtigkeit in Berührung kommt. Die Betonwand, als eigentlich schützendes Bauteil, kann schadlos austrocknen, während das Dämmmaterial Schaden nimmt. Auch zum Schutz der TGA können schützende Maßnahmen ergriffen werden. Die VDI-Richtlinie 6004: Schutz der Technischen Gebäudeausrüstung - Blitze und Überspannungen beschreibt beispielsweise die Errichtung verschiedener Schutzvorkehrungen.

Es ist daher wichtig, die Lage des Bauteils im Bauwerk und die konstruktiven Gegebenheiten im Umkreis zu betrachten, um die Lebensdauer des Bauteils besser beurteilen zu können. Dies wird im Modell unter dem Faktor „konstruktiver Schutz“ berücksichtigt.

Faktor C, Ergebnis der Bauausführung

Im Modell wird nur das Ergebnis der Bauausführung bewertet und nicht die Umstände, die das Ergebnis bewirkt haben. Die in Kapitel 4.1 genannten Faktoren wie Einbau und Verarbeitung auf der Baustelle, Qualifikation Personal, Kontrolle der Arbeiten, Einbaubedingungen (Witterung, Erschwernisse, besondere Techniken, besondere Schutzmaßnahmen) beeinflussen das Ergebnis, sie müssen jedoch nicht einzeln bewertet werden. Auch hierzu existieren viele Normen, Richtlinien und Herstellerempfehlungen, die eine objektive Bewertung erleichtern. Wird beispielsweise eine gewünschte Festigkeitsklasse des Betons erreicht, spielen Faktoren wie z.B. die Einbaubedingungen für die Bewertung keine Rolle mehr, denn für die Betrachtung der Lebensdauer genügt die Beurteilung, ob ein Bauteil fach- bzw. normgerecht eingebaut wurde.

Faktor D, interne bauphysikalische Einflüsse

Die Einflüsse, die innerhalb eines Gebäudes auf Bauteile wirken, sind sehr vielfältig. Ihre Auswirkungen auf die Lebensdauer der Bauteile sind materialabhängig. Interne bauphysikalische Einflüsse sind beispielsweise Raumlufumbedingungen, Kondensationsgefahr, Höhe der Luftfeuchtigkeit, Luftfeuchtigkeitsschwankungen, Wasserqualität (z.B. wichtig für bestimmte Bauteile der TGA), Raumtemperatur, besondere Belastungen, z.B. durch Chemikalien. Im Modell wird innerhalb der ersten Bewertungsebene zunächst das Vorhandensein Lebensdauer beeinflussender Faktoren bewertet. Zur detaillierteren Bestimmung der Einflusswirkung werden in der zweiten Bewertungsebene, Gebäude- und materialspezifische Bewertungskriterien gesucht.

Faktor E, externe bauphysikalische Einflüsse

Bei den externen Einflüssen verhält es sich wie bei den internen Einflüssen. Auch hier sind die Auswirkungen material- und bauteilabhängig. Zu ihnen zählen Faktoren wie Witterung, Temperatur, Strahlung, Niederschlag, Wind, Schneelast, Luftzusammensetzung, Bauwerkserschütterung, Standort, Baugrundbewegung, Grundwassersituation, Feuchtigkeit (s. auch Kapitel 4.1). Im Modell wird innerhalb der ersten Betrachtungsebene zunächst eine grobe Bewertung durch die Betrachtung der Einflussfaktoren im Allgemeinen vorgenommen und erst im zweiten Schritt (Ebene 2) material- und bauteilgerecht weiter differenziert.

Faktor F 1, Nutzungsart

Ausgehend von der Nutzungsart lässt sich in gewissem Maße auf Faktoren wie zum Beispiel die Nutzungsintensität, das Nutzerverhalten oder auch auf die Höhe der zu erwartenden Verkehrs- und Flächenlasten schließen. Deshalb werden diese Faktoren in der ersten Bewertungsebene des Modells unter den Einflussfaktor „Nutzungsart“ zusammengefasst. In der detaillierteren zweiten Bewertungsebene werden weitere material- bzw. bauteilspezifische Kriterien betrachtet, um eine Aussage über die zu erwartende Einflusswirkung treffen zu können.

Faktor F 2, Nutzung nach Bestimmung

Der Einflussfaktor „Nutzung nach Bestimmung“ wird als weiterer wichtiger Einflussfaktor erachtet und im Rahmen des zu entwickelnden Modells als eigener neuer Faktor eingeführt.

Wird ein Gebäude nicht bestimmungsgemäß genutzt, kann das Auswirkungen auf die Lebensdauer betroffener Bauteile haben, da diese für andere Rand- bzw. Nutzungsbedingungen konzipiert und dimensioniert wurden.

Faktor G, Instandhaltungsqualität

Ein weiterer wichtiger Faktor für das zu entwickelnde Modell zur Bestimmung der Bauteillebensdauer stellt der Einflussfaktor „Instandhaltungsqualität“ dar.

Die Instandhaltungsqualität wird bestimmt durch die in Kapitel 4.1 beschriebenen Faktoren, wie zum Beispiel Wartungs- und Instandhaltungsintervalle, die gewählte Instandhaltungsstrategie (abhängig von Image, finanzielle Faktoren, etc.), der Qualifikation des Instandhaltungspersonals, der Einhaltung von Vorgaben, Richtlinien, Empfehlungen, die Wahl der Pflegemittel, etc..

Für einige Bauteile, vor allem aus dem Bereich der TGA, existieren Vorschriften und Normen, die die Instandhaltung regeln. In diesem Fall ist eine Bewertung einfach, da hier die Kriterien bereits vorgegeben sind. Aber auch für andere Bauteile gibt es Richtlinien oder Herstellerempfehlungen, die mögliche Bewertungskriterien zur Bestimmung der Einflusswirkung bezüglich der Instandhaltungsqualität enthalten.

6.3 Kategorien und Gewichtung

Ein wesentliches Problem hinsichtlich der Anwendung der bisherigen Faktorenmethode besteht darin, dass keine konkreten Werte für die Einflussfaktoren vorgegeben sind. Der Nutzer hat diesbezüglich absolute Wahlfreiheit. So sind theoretisch Werte zwischen null und unendlich möglich, was zu enormen Unsicherheiten bei der Anwendung des Verfahrens und darüber hinaus zu Problemen bei der späteren Vergleichbarkeit führt. Zwar empfiehlt die ISO die Verwendung von Werten zwischen 0,8 und 1,2, jedoch sind diese nicht verbindlich vorgeschrieben.

Außerdem erscheint das empfohlene Intervall als sehr groß, wodurch den Faktoren eine sehr große Möglichkeit zur Einflussnahme eingeräumt wird. Nach Ansicht der Autoren wird diese insbesondere hinsichtlich der Lebensdauer verlängernden Faktoren überbewertet. Hierdurch kann die mit der Faktorenmethode berechnete Lebensdauer Werte annehmen, die unrealistisch sind und darüber hinaus die Angaben hinsichtlich der minimalen bzw. maximalen Lebensdauer eines Bauteils bei weitem über- oder unterschreiten. Werden beispielsweise alle sieben Einflussfaktoren mit 1,2 bewertet, so ergibt sich ein Korrekturfaktor von 3,6. Bei der beispielhaften Betrachtung eines Bauteils mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 50 Jahren ($L_{\min} = 35$ Jahre, $L_{\max} = 60$ Jahre) ergibt sich aus der Berechnung, mittels der Faktorenmethode nach ISO eine Lebensdauer von 180 Jahren. Umgekehrt ergibt sich eine berechnete Lebensdauer von 10,5 Jahren, wenn alle Faktoren Lebensdauer verkürzend, d.h. mit 0,8 bewertet werden. Während im „worst-case“ eine derartige Verkürzung der Lebensdauer für einzelne Bauteile in der Praxis durchaus möglich sein könnte, ist die Verlängerung der Lebensdauer auf den 3,6-fachen Wert sehr unrealistisch.

Das Beispiel zeigt, dass die Verwendung der Faktorenmethode ohne eine Beschränkung der Werte, für die Faktoren nicht zielführend ist und die Ergebnisse sehr stark verfälschen können.

Ein weiterer wesentlicher Kritikpunkt hinsichtlich der Faktorenmethode in ihrer aktuellen Form ist, dass alle Einflussfaktoren gleich gewichtet werden. Das heißt, allen aufgeführten Faktoren wird der gleiche Einfluss zugeschrieben. Eine Differenzierung hinsichtlich unterschiedlicher Auswirkungen mittels einer Gewichtung ist derzeit nicht vorgesehen. Auch dieser Punkt erscheint verbesserungswürdig, da nicht alle Faktoren dieselbe Auswirkungsintensität auf das zu untersuchende Bauteil haben.

Durch eine Möglichkeit zur Gewichtung der Einflussfaktoren und durch restriktive Vorgaben hinsichtlich der Höhe der Werte für die jeweiligen Einflussfaktoren, könnte die Aussagekraft und die Transparenz des Verfahrens entscheidend verbessert werden.

Um ein genaueres Ergebnis zu erzielen, werden die Lebensdauer beeinflussenden Faktoren für das zu entwickelnde Modell in Abhängigkeit von ihrer Wichtigkeit bzw. Einflussstärke, in Haupt- und Nebeneinflussfaktoren geteilt. Dabei wird jeweils zwischen drei Kategorien differenziert: Lebensdauer verkürzend, durchschnittlich und Lebensdauer verlängernd.

Die Haupteinflussfaktoren werden im Modell folgendermaßen gewichtet:

- 0,9 für Einflüsse, die eine beschleunigte Alterung des Bauteils hervorrufen
- 1,0 für Einflüsse, die die Lebensdauer weder verkürzen, noch verlängern
- 1,1 für Einflüsse, die eine Lebensdauer verlängernde Wirkung auf das Bauteil haben

Die Bewertung der Nebeneinflussfaktoren wirkt sich auf die Lebensdauerberechnung im Vergleich zu den Haupteinflussfaktoren weniger stark aus:

- 0,95 für Einflüsse, die eine beschleunigte Alterung des Bauteils hervorrufen
- 1,0 für Einflüsse, die die Lebensdauer weder verkürzen, noch verlängern
- 1,05 für Einflüsse, die eine Lebensdauer verlängernde Wirkung auf das Bauteil haben

Zur Verdeutlichung der Werte für die Haupt- bzw. Nebeneinflussfaktoren wird deren Auswirkung auf die Lebensdauer beispielhaft an einem Bauteil mit einer durchschnittlichen Lebensdauer von 50 Jahren ($L_{\min} = 35$ Jahre, $L_{\max} = 60$ Jahre) dargestellt. Werden alle Faktoren als Lebensdauer verkürzend bewertet, so ergibt sich eine Lebensdauer von 24 Jahren bei den Haupteinflussfaktoren und von 35 Jahren bei den Nebeneinflussfaktoren. Umgekehrt ergibt sich nahezu die doppelte Lebensdauer (97 Jahre) bei den verlängernden Hauptfaktoren. Bei den Nebeneinflussfaktoren beträgt die Lebensdauer noch 70 Jahre.

Es ist zu erwähnen, dass durch die gewählten Werte für die Gewichtung noch keine realitätsgetreue Abbildung der Einflussfaktoren erreicht wird. Es handelt sich hierbei zunächst um vorläufige Werte, die durch weitere Forschungsarbeiten noch weiter spezifiziert werden müssen. So haben erste Diskussionen mit Fachexperten gezeigt, dass einzelne Bauteile in der Praxis bei starker Beanspruchung Lebensdauern aufweisen können, die kürzer sind, als sie mit den hier empfohlenen Werten erreicht werden. Im Extremfall ist, nach Aussage der Experten, eine sehr starke Verkürzung der Lebensdauer von Bauteilen möglich, so dass der

Gewichtungsfaktor von 0,8 nach ISO in solchen Fällen passend sein könnte. Jedoch ist im Gegensatz zu den verkürzenden Faktoren nach Aussagen der Experten keine Verlängerung der Lebensdauer möglich, die den entsprechenden „Gegenfaktor“ von 1,2 rechtfertigt. Grundsätzlich ist es daher auch denkbar die Lebensdauer verlängernden bzw. verkürzenden Faktoren unterschiedlich stark zu gewichten. In der Praxis wirken sich negative Einflüsse vermutlich stärker auf die Lebensdauer eines Bauteils aus, als die positiven. So kann sich die Lebensdauer von Beton zum Beispiel bei ungenügender Überdeckung der Bewehrung sehr stark reduzieren. Im Gegensatz dazu wird jedoch durch eine Übererfüllung der Anforderungen keine entsprechende Verlängerung der Lebensdauer erreicht. Vor diesem Hintergrund könnte die Einflussmöglichkeit der positiven und der negativen Werte auch unterschiedlich stark gespreizt werden, sodass bei den Haupteinflussfaktoren Gewichtungen von 0,8 bis 1,1 und bei den Nebeneinflussfaktoren von 0,9 bis 1,05 denkbar sind.

6.4 Erste und zweite Bewertungsebene der Faktoren

Ein weiteres Verbesserungspotenzial, hinsichtlich der Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen, könnte in der weiteren Differenzierung der Einflussfaktoren und der detaillierten Beschreibung von Kriterien zur Bewertung der Faktoren liegen. Dies gilt insbesondere für die internen und externen Einflussfaktoren. Vor diesem Hintergrund wird eine Bewertung in zwei Ebenen vorgeschlagen.

In der ersten Ebene werden allgemein gültige Kriterien definiert, ohne material- oder bauteil-spezifische Eigenschaften genauer zu berücksichtigen. Die Bewertung innerhalb der ersten Ebene liefert somit ein grobes, materialunabhängiges Ergebnis. Für diese Abschätzung sind keine genaueren Vorkenntnisse erforderlich, sodass eine erste Annäherung an die tatsächliche Lebensdauer eines Bauteils schnell und einfach zu ermitteln ist.

In der zweiten Bewertungsebene hingegen, werden die Einflussfaktoren durch materialspezifische Kriterien, unter detaillierter Betrachtung der gegebenen Randbedingungen beurteilt. Es wird mit Hilfe eindeutiger Bewertungskriterien ein Gewichtungsfaktor ermittelt, der die vorhandenen Gegebenheiten genauer abbildet, als der Faktor innerhalb der ersten Ebene. Aufgrund dieser Tatsache ist mit einer Bewertung innerhalb der zweiten Ebene, eine genauere Berechnung der zu erwartenden Lebensdauer eines Bauteils möglich.

Eine Berechnung der zu erwarteten Lebensdauer kann grundsätzlich auch durch eine Kombination beider Ebenen erfolgen. Sind zu einigen Einflussfaktoren keine exakten Angaben

möglich, wird der Gewichtungsfaktor für diese innerhalb der ersten Berechnungsebene bestimmt, während die anderen Faktoren anhand der Kriterien aus der zweiten Berechnungsebene berechnet werden. Da die Kriterien der ersten Ebene allgemein gültig formuliert sind, ist immer eine Aussage zu allen Faktoren möglich.

6.4.1 Kriterien der ersten Bewertungsebene

Um die Lebensdauer eines Bauteils innerhalb der ersten Bewertungsebene zu beurteilen, werden die auf das Bauteil zutreffenden Einflussfaktoren betrachtet und die gegebenen Bedingungen in die zutreffende Kategorie „-“ (Lebensdauer verkürzender Einfluss), „Ø“ (durchschnittlicher Einfluss) oder „+“ (Lebensdauer verlängernder Einfluss) wie folgt eingeordnet.

Table 5: Kriterien der ersten Bewertungsebene

Einflussfaktor	Einfluss Lebensdauer verkürzend -	durchschnittlicher Einfluss auf Lebensdauer Ø	Einfluss Lebensdauer verlängernd +
A Bauteil			
A 1 Bauteilqualität	nicht fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	besonders gute, hochwertige Bauteileigenschaften
A 2 Materialkombination	auf geeignete Materialkombination wurde nicht geachtet	geeignete Materialkombination gewählt	optimale Materialkombinationen gewählt
B konstruktiver Schutz			
	Bauteil schutzlos schädigenden Einflüssen ausgesetzt	Bauteil durch konstruktive Maßnahmen geschützt	durch Lage im Bauwerk keinen schädigenden Einflüssen ausgesetzt
C Ergebnis der Ausführung			
	nicht fach- und normgerecht	fach- und normgerecht	besser als vorgegeben
D Interne bauphysikalische Einflüsse			
	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
E Externe bauphysikalische Einflüsse			
	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
F Nutzung			
F 1 Nutzungsart	hohe Beanspruchung	mittlere Beanspruchung	niedrige Beanspruchung
F 2 Nutzung nach Bestimmung	höhere Belastung als geplant	Belastung wie geplant	Belastung geringer als geplant
G Instandhaltungsqualität			
	nicht fachgerecht	fachgerecht	besonders sorgfältig und werterhaltend

6.4.2 Kriterien der zweiten Bewertungsebene

Um genauere Werte zu erhalten, werden in der zweiten Bewertungsebene die material- und bauteilbezogenen Einflüsse mit einbezogen. Im Rahmen des vorliegenden Kapitels wird beispielhaft beschrieben, wie die Kriterien der zweiten Bewertungsebene aussehen könnten und welche Unterlagen prinzipiell als Grundlage zur Bewertung hinzugezogen werden könnten. Es wird explizit darauf hingewiesen, dass dies an dieser Stelle nur als Beispiel zur Anschauung des Modells dient und nicht zur direkten Anwendung gedacht ist. Aufgrund der Komplexität dieser Thematik ist sowohl die Festlegung der Kriterien selbst, als auch der entsprechende Detaillierungsgrad bzw. die Beschreibungstiefe im Rahmen einer detaillierten Modellentwicklung, ausschließlich durch Experten der jeweiligen Material- bzw. Bauteilbereiche möglich. Aufgrund des enormen Umfangs kann dies nicht im Rahmen dieser Arbeit erfolgen. Ist ein detailliertes Modell, mit entsprechenden bauteil- bzw. materialspezifisch ausgearbeiteten Kriterien einmal entwickelt, so kann dies später von verschiedenen Akteuren in der Praxis auch ohne spezifisches Fachwissen angewandt werden. Bei der detaillierten Ausarbeitung des Modells mit Hilfe von Fachexperten ist darauf zu achten, dass alle material- und bauteilbezogenen Kriterien eindeutig beschrieben werden.

Das vorliegende Kapitel ermöglicht ebenso wie die beispielhafte Modellanwendung in Kapitel 6.6 einen ersten Einblick, wie aufwendig sich die Ermittlung eindeutiger Bewertungskriterien im Rahmen der Modellentwicklung gestaltet, zumal dies für eine Vielzahl unterschiedlicher Bauteile bzw. Bauteilmaterialien erfolgen muss. Zur detaillierten Erarbeitung eines Modells sollte in Zukunft eine Ausarbeitung der entsprechenden Kriterien, sukzessiv für die wichtigsten Bauteile in enger Zusammenarbeit mit den dafür notwendigen Fachexperten erfolgen. Hinsichtlich der Vorgehensweise wird hierfür in Kapitel 8 ein Vorschlag gemacht.

Grundsätzlich können als Grundlage zur Bewertung, verschiedene Quellen dienen. Hilfreich sind vor allem DIN-Normen, die Materialanforderungen, Einbau- und Ausführungsvorschriften, Einteilung eines Bauteils in Nutzungs- oder Beanspruchungsklassen, Instandhaltungsvorschriften, etc. enthalten. Für Bauteile oder Bereiche, die noch nicht durch eine Norm oder Verordnung (z.B. Betriebssicherheitsverordnung BetrSichV) beschrieben werden, kann auf Richtlinien (z.B. VDI-Richtlinien, Empfehlungen des AMEV oder des VDMA) oder Herstellerangaben und -empfehlungen zurückgegriffen werden.

Zur Verdeutlichung werden nachfolgend, beispielhaft denkbare Bewertungskriterien der zweiten Ebene für die internen und die externen Einflussfaktoren sowie für den Faktor Nut-

zungsort aufgeführt. Darüber hinaus werden in Kapitel 6.6 für die anderen Einflussfaktoren einige Beispiele zu den dort behandelten Bauteilen gegeben.

Interne bauphysikalische Einflüsse

Es gibt eine Vielzahl interner Einflüsse, die in ihrer Art und Intensität häufig von der Nutzungsart abhängen. Auch hier spielen die materialspezifischen Merkmale der Bauteile eine große Rolle. Im Rahmen einer detaillierteren Ausarbeitung des Modells müssen die Lebensdauer beeinflussenden Faktoren hinsichtlich des Grades der Auswirkung für jedes Bauteil, separat und materialspezifisch ermittelt werden. Darüber hinaus gilt es für die unterschiedlichen Bauteile, Grenzwerte hinsichtlich der Einteilung in Bewertungskategorien festzulegen.

Tabelle 6 zeigt Beispiele für Bewertungskriterien des Einflussfaktors „interne bauphysikalische Einflüsse“.

Tabelle 6: Beispiele für Kriterien der Bewertung interner Bedingungen

D Interne bauphysikalische Einflüsse			
1.Ebene	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
	Luftfeuchtigkeit	feucht, >80%	normal, 50-80%
	Wasserhärte	Härtegrad ≥ 3	Härtegrad 2
2.Ebene	chemische Belastung	Labore, Krankenhäuser, Industrie...	Commercial, Einsatz normaler Haushaltschemikalien
	Temperatur	besondere Bedingungen wie in Kühlhäusern, Industrie, etc.	normale Wohn- und Arbeitsklimaverhältnisse
	Temperaturschwankungen	häufige Temperaturschwankungen, große Temperaturdifferenzen	Seltene Temperaturschwankungen, eher kleine Temperaturdifferenzen
	Feuchtigkeit	permanent Feuchtigkeit ausgesetzt	gelegentliche Feuchtigkeitsbelastung
	mechanische Belastung: Fußgängerverkehr	schwer, gewerblich (nach AGI-Arbeitsblätter A 10 und G 10)	Mittel (nach AGI-Arbeitsblätter A 10 und G 10)
			Leicht (nach AGI-Arbeitsblätter A 10 und G 10)

Die aufgeführten Beispiele verdeutlichen, dass eine pauschale Festlegung der Kriterien bauteil- bzw. materialübergreifend nicht möglich ist. So kann eine hohe Luftfeuchtigkeit auf ein

Bauteil aus Holz der Gefährdungsklasse null z.B. Lebensdauer verkürzend wirken, während sie auf ein Bauteil aus anderem Material keinen Einfluss hat.

Externe bauphysikalische Einflüsse

Auch die Auswirkungen externer Einflüsse sind abhängig vom Bauteil bzw. Material sehr vielfältig. Ebenso wie bei den internen Einflüssen, müssen im Rahmen der detaillierten Ausarbeitung des Modells Grenzwerte für die verschiedenen Auswirkungen definiert werden, um eine Einteilung in die entsprechende Kategorie zu ermöglichen, z.B. ab welcher Strahlungsmenge ein Lebensdauer verkürzender Effekt auf Kunststoffbauteile zu beobachten ist. Eine Kategorisierung der externen Einflüsse kann beispielsweise anhand von Karten mit Zoneneinteilung (Klima, Niederschlag, Luftschadstoffe, Feuchtigkeitsbedingungen, etc) oder nach bereits festgelegten Grenzwerten, wie sie zum Beispiel in der nachfolgenden Tabelle von der European Organisation for Technical Approvals (EOTA) für Klimazonen angegeben werden.

Tabelle 7: European Temperature Subdivision [EOTA99]

Zone	Winter Conditions DEC, JAN, FEB	Summer Conditions JUN, JUL, AUG
A	Cold winters. Several months temperature rarely above 0°C. Average daily temperature below 0°C. Min temperatures may be below -30°C.	Max temperature rarely above 30°C.
B	Moderate winters. Frequent frosts. Average daily temperature 0 to 5°C. Min temperatures may be below -20°C	Max temperature occasionally above 30°C.
C	Warm winters. Infrequent frosts. Average daily temperature above 5°C.	Max temperature frequently above 30°C. Occasionally above 40°C.
Mountainous regions above 1000 m	Zone A conditions	Zone C or B conditions

In Tabelle 8 werden beispielhaft mögliche Bewertungskriterien für den Einflussfaktor „externe bauphysikalische Einflüsse“ vorgestellt. Ebenso wie bei den internen Einflussfaktoren sind diese im Rahmen einer detaillierteren Modellentwicklung für die unterschiedlichen Bauteile jeweils materialspezifisch zu ermitteln.

Tabelle 8: Beispiele für Kriterien der Bewertung externer Bedingungen

E Externe bauphysikalische Einflüsse				
1.Ebene		schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
2.Ebene	Luftzusammensetzung	Ballungsgebiete der Industrie (hoher SO ₂ -, H ₂ S-, No _x - Gehalt etc.), Küstennähe (hohe Chloridbelastung), Bereiche, die in der Hauptwindrichtung solcher Gebiete liegen	dicht besiedelte Gebiete ohne größere Industrieanstaltungen	ländliche oder kleinstädtische Gegend
	Windbelastung	Windzone 4 (DIN 1055-4)	Windzonen 2 und 3	Windzone1
	Regenanfall	Beanspruchungsgruppe III (gilt für Jahresniederschlagsmenge: > 800 mm, bei geringeren Niederschlagsmengen in windreichen Gebieten, für Hochhäuser sowie für Häuser in exponierter Lage, die ansonsten in Gruppe II eingeordnet würden)	Beanspruchungsgruppe II (gilt für Jahresniederschlagsmenge: 600 - 800 mm, für größere Niederschlagsmengen bei besonders windgeschützter Lage, für Hochhäuser sowie für Häuser in exponierter Lage, die ansonsten in Gruppe I eingeordnet würden)	Beanspruchungsgruppe I (gilt für Jahresniederschlagsmenge: < 600 mm bzw. für größere Niederschlagsmengen bei besonders windgeschützter Lage)
	Anzahl Frosttage	mehr als 110 Tage	90 - 110 Tage	< 90 Tage
	Sonnenscheindauer	> 1800 h/ Jahr	1500 - 1800 h/Jahr	< 1500 h/Jahr
	UV-Strahlung	> 1120 kWh/m ²	1000 - 1120 kWh/m ²	> 1000 kWh/m ²
	Ozon-Belastung	< 75 µg/m ³	25 - 75 µg/m ³	> 25 µg/m ³
	Entfernung von Erschütterungsquellen	in unmittelbarer Nähe	Erschütterungen nur selten und in geringem Maß	keine Beeinträchtigung durch Erschütterungen

Es wird explizit darauf hingewiesen, dass diese Einteilungen frei definiert wurden und nicht auf Untersuchungsergebnissen beruhen. Sie dienen daher nur als Beispiele und als Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung der Beurteilungskriterien im Rahmen der Entwicklung eines Modells mit den entsprechenden bauteilbezogenen Rahmenbedingungen.

Nutzungsart

Es gibt viele Möglichkeiten Klassifizierungen bezüglich der Nutzung zu bilden. Zum einen kann das gesamte Gebäude hinsichtlich Nutzungsart, Nutzungsdauer, etc. beurteilt werden. Es muss überlegt werden, wie weit die Klassifizierung gehen soll. Bei Betrachtung der Nutzungsart, kann die Angabe „Bürogebäude“ beispielsweise zu ungenau sein. Zum Beispiel sollte unterschieden werden, ob es sich um Bürogebäude ohne oder mit hohem Publikumsverkehr handelt. Es muss also für jedes Gebäude bzw. Immobilienportfolio passende Klassifizierungen gewählt werden, die eine Aussage über das Lebensdauerverhalten der Bauteile

bzw. -elemente ermöglichen. Bei Wohnimmobilien könnte beispielsweise die Betrachtung der Mieterwechselrate Auskunft über den potenziellen Alterungsverlauf geben.

In nachfolgender Tabelle sind Beispiele für Bewertungskriterien des Einflussfaktors Nutzungsart angeführt.

Tabelle 9: Beispiele für Kriterien der Bewertung des Faktors Nutzungsart

F 1 Nutzungsart				
	1.Ebene	hohe Beanspruchung	mittlere Beanspruchung	niedrige Beanspruchung
	Art der Nutzung	Gebäude besondere Art oder Nutzung wie z.B. Gaststätten, Krankenhäuser, Heime, Schulen, Kindergärten, Industrie, Sonderimmobilien, Chemie, etc.	Gebäude normaler Art und Nutzung wie z.B. Mehrfamilienhäuser, Bürogebäude, Gewerbeimmobilien	Einfamilienhäuser und andere weniger intensiv genutzte Gebäude
2.Ebene	Bürogebäude	Bürogebäude mit hohem Besucheraufkommen	Bürogebäude mit mittlerem Besucheraufkommen	Bürogebäude mit niedrigem Besucheraufkommen
	Wohnimmobilien	Wohnungskomplexe	Mehrfamilienhäuser	Ein- und Zweifamilienhäuser
	Nutzungsdauereinfluss (bezügl. mechanischer Beanspruchung)	Vollnutzung	Teilnutzung	Leerstand
	Nutzer	wechselnder Benutzerkreis unbekannter Herkunft	vorwiegend eigene Beschäftigte/Hausbewohner eigene und fremde Beschäftigte	eingeschränkter Benutzerkreis
	Flächen	hoch frequentierte Flächen (Eingangshalle, Erschließungsflure, Aufzugsvorräume, Verkaufsfläche, etc.)	durchschnittlich stark frequentierte Flächen (Bürräume, Konferenzräume, etc.)	kaum frequentierte Flächen (z.B. Archivflächen)
	Aufzug: Frequentierung	hoch (mehr als 50 Fahrten am Tag)	mittel (zwischen 10 und 50 Fahrten am Tag)	niedrig (bis 10 Fahrten am Tag)
	Mieterwechselrate	häufiger Mieterwechsel (bis durchschnittlich alle drei Jahre)	Mieterwechsel alle 3 bis 10 Jahre	langjährige Mieter (über 10 Jahre)

Es sei noch mal erwähnt, dass diese Einteilungen frei definiert wurden und nicht auf Untersuchungsergebnissen beruhen. Sie dienen nur als Beispiele und als Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung der Beurteilungskriterien.

In diesem Kapitel wird deutlich, wie vielfältig die Einflussfaktoren und deren Auswirkungen auf die unterschiedlichen Bauteile und Materialien sein können und wie enorm der Aufwand für die Definitionen der Beurteilungskriterien ist. Teilweise wird dies durch bereits feststehende Normen oder anerkannte Regeln der Technik erleichtert, auf denen die Kriterien für das Berechnungsmodell aufbauen können.

6.5 Bauteile

6.5.1 Ausschluss bestimmter Bauelemente

Ein Gebäude besteht aus einer sehr großen Anzahl unterschiedlicher Bauteile. Aufgrund des enormen Aufwandes, ist es nicht zielführend alle Bauteile in das Modell zur Lebensdauerbetrachtung einzubinden. Es stellt sich daher die Frage welche Bauteile von großer Bedeutung und somit in die Lebensdauerbetrachtung einzubeziehen sind, und welche Bauteile außen vor gelassen werden können.

Einige Bauteile weisen, bei anforderungsgerechter Materialqualität und fach- und normgerechter Bauausführung, Lebensdauern auf, die der geplanten Nutzungsdauer eines Gebäudes entsprechen, oder diese überschreiten. Da diese Bauteile den Referenzzeitraum von beispielsweise 50 Jahre übersteigen, ist eine Berechnung der Lebensdauer für diese Bauteile nicht von großem Interesse.

Zudem gibt es Bauteile, die aufgrund ihrer Einbausituation nicht oder nur unter hohem, wirtschaftlich nicht zu vertretendem Aufwand, instandgehalten werden können. Nach [ArPf04] gelten etwa 35% - 40% der Substanz (nach Kostenbestandteilen) als sehr langlebig und bedürfen innerhalb der gewählten Referenzzeit keiner Instandhaltung und Instandsetzung. Zu diesen Bauteilen zählen vor allen Elemente der Tragkonstruktion.

Es erscheint daher sinnvoll, im Rahmen des Modells nur Bauteile zu betrachten, die aufgrund ihrer kürzeren Lebensdauer innerhalb eines Referenzzeitraums, von zum Beispiel 50 Jahren, mindestens einmal ersetzt werden müssen.

Darüber hinaus sind diejenigen Bauteile von großer Bedeutung, die hinsichtlich der Instandhaltung besonders zeit- und kostenintensiv sind. Dies gilt insbesondere für die Berechnung von Bauteillebensdauern für LCC-Betrachtungen.

Auch für Bauteile, die bei Defekt an anderen Bauteilen hohe Schadensfolgekosten verursachen können, ist zur Planung von Instandhaltungsmaßnahmen eine genaue Bestimmung der Lebensdauer sinnvoll. Dies sind u.a. die Dachhaut, die Fassade, das Fenster oder auch die Heizung eines Gebäudes.

6.5.2 Gruppierung nach Belastungsschwerpunkten

Vor dem Hintergrund der wirkenden Einflussfaktoren, lassen sich die Bauelemente in vier verschiedene Beanspruchungsgruppen gliedern. Die Einflussfaktoren Bauteilqualität, Ergebnis der Bauausführung und Instandhaltungsqualität spielen für alle vier Gruppen eine wichtige Rolle, die weiteren Einflussfaktoren verteilen sich in der Regel folgendermaßen:

1. Bauteile angrenzend an Außenraum: äußere Einflüsse, evtl. konstruktiver Schutz
2. Bauteile angrenzend an Außen- und Innenraum: äußere und interne Einflüsse und Nutzung, konstruktiver Schutz
3. Bauteile angrenzend an Innenraum: Nutzung und interne bauphysikalische Einflüsse
4. TGA innen: interne bauphysikalische Einflüsse, (z.T.) Nutzung
5. TGA außen: äußere Einflüsse, evtl. konstruktiver Schutz

Nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht darüber, welche Bauteile, welcher Beanspruchungsgruppe zuzuordnen sind und welche Faktoren die Lebensdauer dieser Bauteile grundsätzlich beeinflussen können.

Tabelle 10: Einteilung der Beanspruchungsgruppen

Beanspruchungsgruppe	Bauteile	Einflussfaktoren
Bauteile angrenzend an Außenraum	Außenwandbekleidung Außentreppen geneigte Dächer (Dacheindeckung, Entwässerung, Dämmung) Flache Dächer (Abdichtung, Entwässerung) Lichtkuppeln Balkone Außenstützen, etc.	A Bauteilqualität B konstruktiver Schutz (z.T.) C Ergebnis der Bauausführung E Externe bauphysikalische Einflüsse G Instandhaltungsqualität
Bauteile angrenzend an Außen- und Innenraum	Fenster (Rahmen, Flügel, Verglasung, Abdichtung, Beschläge) Sonnenschutz, Rollläden, Jalousien Fensterbänke Türen, Tore, außen Geländer und Brüstungen, außen etc.	A Bauteilqualität B konstruktiver Schutz C Ergebnis der Bauausführung D Interne bauphysikalische Einflüsse E Externe bauphysikalische Einflüsse F Nutzung G Instandhaltungsqualität
Bauteile angrenzend an Innenraum:	Innenwände, Innenstützen Decken, Bekleidungen, Konstruktionen Treppen, Treppenstufen Boden, Bodenaufbauten und Bodenbeläge Türen, Tore, innen Geländer u. Brüstungen, Gitter, Leitern, Roste, innen Abgasanlagen und Schächte Innenanstrich Fensterbänke innen, etc.	A Bauteilqualität C Ergebnis der Bauausführung D Interne bauphysikalische Einflüsse F Nutzung G Instandhaltungsqualität
TGA innen	Heiztechnische Geräte und Anlagen Kältetechnische Geräte und Anlagen Brandschutztechnische Geräte und Anlagen Sanitärtechnische Geräte und Anlagen Elektrotechnische Geräte und Anlagen allgemeine Anlagenbestandteile Telekommunikation und Sicherheitsanlagen Aufzüge	A Bauteilqualität C Ergebnis der Bauausführung D Interne bauphysikalische Einflüsse F Nutzung (z.T.) G Instandhaltungsqualität
TGA außen	Photovoltaik Anlage auf Dach Erdwärme Regenwassernutzungsanlage Etc.	A Bauteilqualität B konstruktiver Schutz (z.T.) C Ergebnis der Bauausführung E Externe bauphysikalische Einflüsse G Instandhaltungsqualität

6.6 Bestandsbauten

Im Gegensatz zum Neubau, ist bei den bestehenden Gebäuden nicht nur die zu erwartende Gesamtlebensdauer eines Bauteils von Interesse, sondern vielmehr die Restlebensdauer des bereits eingebauten Bauteils. Diese kann aus der Differenz der berechneten Gesamtnutzungsdauer und dem Bauteilalter bestimmt werden.

Es wird deutlich, dass für Bestandsbauten im Vergleich zu Neubauten zusätzliche Informationen erforderlich sind. Zur Bestimmung der Restlebensdauer, muss somit das Alter des jeweiligen Bauteils bekannt sein. In der Praxis wird die Dokumentation über durchgeführte Instandhaltungs- und Ersatzmaßnahmen jedoch immer noch sehr vernachlässigt, sodass über das tatsächliche Bauteilalter oft keine genauen Kenntnisse vorliegen. Die Schätzung des Bauteilalters kann in solchen Fällen beispielsweise von einem Gutachter vorgenommen werden, wobei dieser insbesondere den Zustand eines Bauteils inspiziert. Es existieren zahlreiche zerstörungsfreie oder –arme Prüfmöglichkeiten, die Rückschlüsse auf den Bauteilzustand gestatten. In der Literatur lassen sich darüber hinaus einige Methoden finden, die den Zustand eines Bauteils mit Hilfe von sogenannten Abnutzungsstufen wie z.B. a (guter Zustand) bis d (Ende der Lebensdauer) mit Hilfe von Beurteilungsmaßstäben beschreiben. Die Herausforderung besteht hierbei in der objektiven Beurteilung der jeweiligen Bauteilzustände. Hierzu sind standardisierte Beurteilungsmaßstäbe erforderlich, die u.a. in den nachfolgend aufgeführten Methoden zur Zustandsbeschreibung für verschiedene Bauteile erarbeitet wurden.

- Methodik für die Inspektion von Wohngebäuden nach Krug
- MER – méthode d'évaluation rapide
- Impulsprogramm Bau (IPBau)-Grobdiagnose
- DUEGA – Diagnosemethode für die Unterhaltungs- und Erneuerungsplanung verschiedener Gebäudearten
- STRATUS Gebäude
- Epiqr (energy performance – indoor environmental quality – retrofit/refurbishment)
- INVESTIMMO
- EPIQR+

Krug [Krug85] schlägt in seiner Dissertation zur Zustandsbeurteilung von Wohngebäuden vier allgemeine Abnutzungsstufen vor (I = allgemeine oder unbedeutende Schäden; II = ge-

ringe Schäden, III = schwere Schäden, IV = Schadensgrenze ist erreicht). Die Erarbeitung charakteristischer Merkmale für die einzelnen Gebäudeelemente ist nicht Teil seiner Arbeit, so dass keine Übertragung dieser Abnutzungsstufen auf bestimmte Bauteile erfolgte. Diese Aufgabe wurde von den nachfolgend erläuterten Methoden erfüllt.

6.6.1 MER – méthode d'évaluation rapide

In der Schweiz wurde die Methode MER [MeVi84] entwickelt und 1984 als Handbuch veröffentlicht. Ihr Ziel ist es den Instandsetzungsbedarf und die Finanzierung von Wohngebäuden zu ermitteln. Die Bauteile werden mit Noten zwischen eins und vier bewertet. Für die Einordnung wurde ein Leitfaden mit entsprechenden Bildern entwickelt. Die Note wird für jedes Bauteil mit einer Punktzahl belegt.

Aus der Anzahl der Gesamtpunkte lassen sich mit Hilfe eines Erneuerungskostenindex letztlich die Instandhaltungskosten berechnen. Die Methode ist jedoch nur eingeschränkt tauglich. Sie eignet sich nur für Wohngebäude, die vor 1947 und nicht in Leicht- oder Fertigbauweise erstellt wurden. Bei der Methode ist der Instandsetzungsstandard festgelegt und nicht änderbar. Er entspricht dem klassischen Standard zum Entwicklungszeitpunkt der Methode. Entsprechen Konstruktionen nicht dem gewünschten Standard, werden diese auch bei gutem Zustand als mangelhaft eingestuft. Bei den Maßnahmen der Instandsetzung wird zwischen drei verschiedenen Eingriffstiefen differenziert. Diese entsprechen den unterschiedlichen Strategien der Instandhaltung: „Low Level“, „Werterhaltung“ und „Wertsteigerung“.

6.6.2 Impulsprogramm Bau (IPBau)

Ein weiteres Bewertungssystem wurde in den 90er Jahren in der Schweiz entwickelt. Im Rahmen des Impulsprogramms Bau (IPBau) wurde zur Beurteilung von Bestandsgebäuden die sogenannte Grob- und Feindiagnose entwickelt [IPBau95], [IPBau93]. Erstere dient einer ersten groben Abschätzung der Bau- und Erneuerungsplanung. Das Verfahren baut hierbei auf die Methode MER [MeVi84] auf und ergänzt diese um weitere Gebäudetypen und Altersklassen. Über die reinen Zustandsbeschreibungen hinaus nennt das Verfahren auch die entsprechenden Instandsetzungsarbeiten. Mit Hilfe der Feindiagnose kann die Analyse an bestimmten Stellen erweitert werden. Analog zur Methode MER werden hinsichtlich des Zustandes, Bewertungen von a (gut) bis d (Ende der Lebensdauer) vergeben. Diese sind abhängig vom Bauteil mit Punkten belegt, wobei aus der gesamten Punktzahl die Instandhal-

tungskosten abgeleitet werden. Die Grobdiagnose ist prinzipiell für unterschiedliche Gebäudetypen einsetzbar, jedoch umfassen die bisherigen Datenblätter lediglich Wohn- und Gewerbebauten. Wie bei MER liegt der Schwerpunkt der Grobdiagnose auf massiven Gebäuden mit Mauerwerk oder Beton als Tragkonstruktion. Kennzeichnend für das Verfahren ist die Verknüpfung der jeweiligen Bauteile durch sogenannte Folgecodes. Diese führen die durch Instandhaltungsarbeiten ausgelösten Folgearbeiten an anderen Bauelementen auf.

6.6.3 DUEGA

Die Beschränkung auf eine Gebäudeart wurde bei der „Diagnosemethode für Unterhalts- und Erneuerungsplanung verschiedener Gebäudearten“ (DUEGA) [GrRW97][GrRW97] aufgehoben, womit die bestehenden Diagnosemethoden ausgebaut werden. Diese Erweiterung erfordert die Hinzunahme von weiteren Bauelementen, wobei die Elementkostengliederung die Basis bildet. Für 20 sogenannte Makroelemente wie zum Beispiel das Dach, die Fenster oder die Außenwände einer Immobilie, werden die entsprechenden Zustandswerte erhoben. Lediglich für die maßgeblichen Makroelemente werden weitere, detailliertere Zustandserfassungen für die dazugehörigen Feinelemente durchgeführt. Auf dieser Grundlage können sowohl Erneuerungsszenarien als auch Berechnungen hinsichtlich Energie- und Stoffströme durchgeführt werden.

6.6.4 STRATUS

Bereits Ende der 80er Jahre beschäftigte sich Jules Schröder [Schr89] mit der Abnutzung von Bauteilen. Er suchte nach einem gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Alter und Zustand. Hierfür entwickelte er ein Alterungsmodell, welches die Grundlage der derzeitigen Software mit dem Namen „STRATUS Gebäude“ [STRA02] bildet. STRATUS ist eine Methode zur strategischen Planung des Gebäudeunterhalts. Grundlage bilden hierbei 13 Bauteile, für welche der jeweilige Zustand bestimmt wird, wobei zwischen sieben sogenannten Zustandscodes differenziert wird. Die Software berechnet für jedes der Bauteile das relative Alter. Die später notwendigen Instandhaltungsmaßnahmen werden von den durchschnittlichen Lebenserwartungen dieser Bauteile abgeleitet. Das tatsächliche Alter einzelner Bauteile kann jedoch stark von solchen durchschnittlichen Lebenserwartungen abweichen, wodurch das Verfahren kritisch zu betrachten ist. Aufgrund von Erfahrungswerten können Fachleute wahlweise eigene Lebensdauern in das Programm eingeben, wodurch die Prognose verbessert werden kann [STRA02].

6.6.5 INVESTIMMO

Darüber hinaus gab es auch auf europäischer Ebene Bestrebungen den Instandhaltungsbedarf von Immobilien durch Zustandsbewertungen zu bestimmen. Im Jahr 2001 wurde das von der EU über drei Jahre finanzierte Forschungsprojekt INVESTIMMO [Cacc04] ins Leben gerufen. Das Projekt baut auf der Grobdiagnose auf. Unter Zusammenarbeit von sieben europäischen Forschungseinrichtungen wurde versucht eine mittel- bis langfristige Instandsetzungsplanung anhand der Ermittlung des Gebäudezustandes zu entwerfen. Die Methode beschränkt sich auf Wohnimmobilien. Der Zustand der Immobilie wird mit Hilfe der 50 kostenintensivsten Bauteile und den Zustandsstufen a „guter Zustand“ bis d „Ende der Lebensdauer erreicht“ erfasst. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Projektes Wahrscheinlichkeiten bezüglich des Zustandsverlaufes eines Bauteiles bestimmt. Hier wird bestimmt, wann mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Bauteil den nächst schlechteren Zustand oder das Ende der Lebensdauer erreicht.

6.6.6 EPIQR

Das Forschungsprojekt INVESTIMMO ist Grundlage des Softwareprogramms EPIQR (Energy Performance and Indoor Environmental Quality Retrofit) [epiqrXX]. Das Programm hat sich im Bereich der Wohnimmobilien bewährt. Es wurde im Rahmen des Programms E-PIQR+ für öffentliche Verwaltungsgebäude und Schulen ausgebaut und angepasst. Diese Erweiterung erfordert eine Hinzunahme von weiteren Gebäudeelementen.

Grundsätzlich ist zu sagen, dass die nachträgliche Bestimmung des Bauteilalters meist mit einem hohen Zeit- bzw. Kostenaufwand verbunden ist, der nicht unbedingt im Verhältnis zum erreichten Nutzen steht. Darüber hinaus ist die nachträgliche Ermittlung des Alters von Bauteilen auch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet.

Schwierigkeiten im Bereich des Gebäudebestands sind häufig auf die mangelhaften Bestandsdaten zurückzuführen. Dies gilt u.a. auch für die Bestimmung von Bauteillebensdauern. Aufgrund der hohen Relevanz von Bestandsdaten ist es in Zukunft dringend erforderlich, das derzeitige Informationsdefizit durch systematische Datensammlung und -dokumentation abzubauen. Nur mit Hilfe einer soliden Datenbasis kann auch für den Gebäudebestand eine fundierte Berechnung der Restlebensdauer durchgeführt werden.

6.7 Innovative Bauprodukte

Auch bei Neubau- und bei Umbau- oder Instandsetzungsprojekten bereiten fehlende Informationen zum Teil Schwierigkeiten hinsichtlich der Berechnung von Bauteillebensdauern. Im Gegensatz zum Bestandsbau besteht die Herausforderung hierbei nicht in der mangelnden Dokumentation von Bestandsdaten, sondern vielmehr in der fehlenden Erfahrung mit neuen bzw. innovativen Bauteilen und Materialien. Aufgrund der schnellen Weiterentwicklung und Verbesserung von Baustoffen und –elementen liegen für diese häufig noch keine Erfahrungswerte hinsichtlich des Alterungsverhaltens und der zu erwartenden Lebensdauer vor.

Häufig kann daher nur durch einen Vergleich mit ähnlichen Bauteilen bzw. Materialien auf die potenzielle Lebensdauer geschlossen werden. Darüber hinaus können auch Herstellerangaben einen Anhaltswert geben. Jedoch sind auch diese aufgrund der meist fehlenden Langzeitstudien mit Vorsicht zu genießen. Grundsätzlich ist eine pauschale Übertragung von Kennwerten älterer Gebäude auf derzeitige oder zukünftige Gebäude nicht möglich, da sich die verwendeten Baustoffe und ihre Verarbeitung zum Teil erheblich unterscheiden. Dies gilt insbesondere für technische Anlagen.

Um dem Stand der Technik gerecht zu werden, sollten Angaben mit Referenzlebensdauern kontinuierlich aktualisiert und um neue innovative Bauprodukte ergänzt werden.

6.8 Zusammenfassung Modellablauf

In Abbildung 16 ist die grundsätzliche Vorgehensweise des Modells in grafischer Form dargestellt.

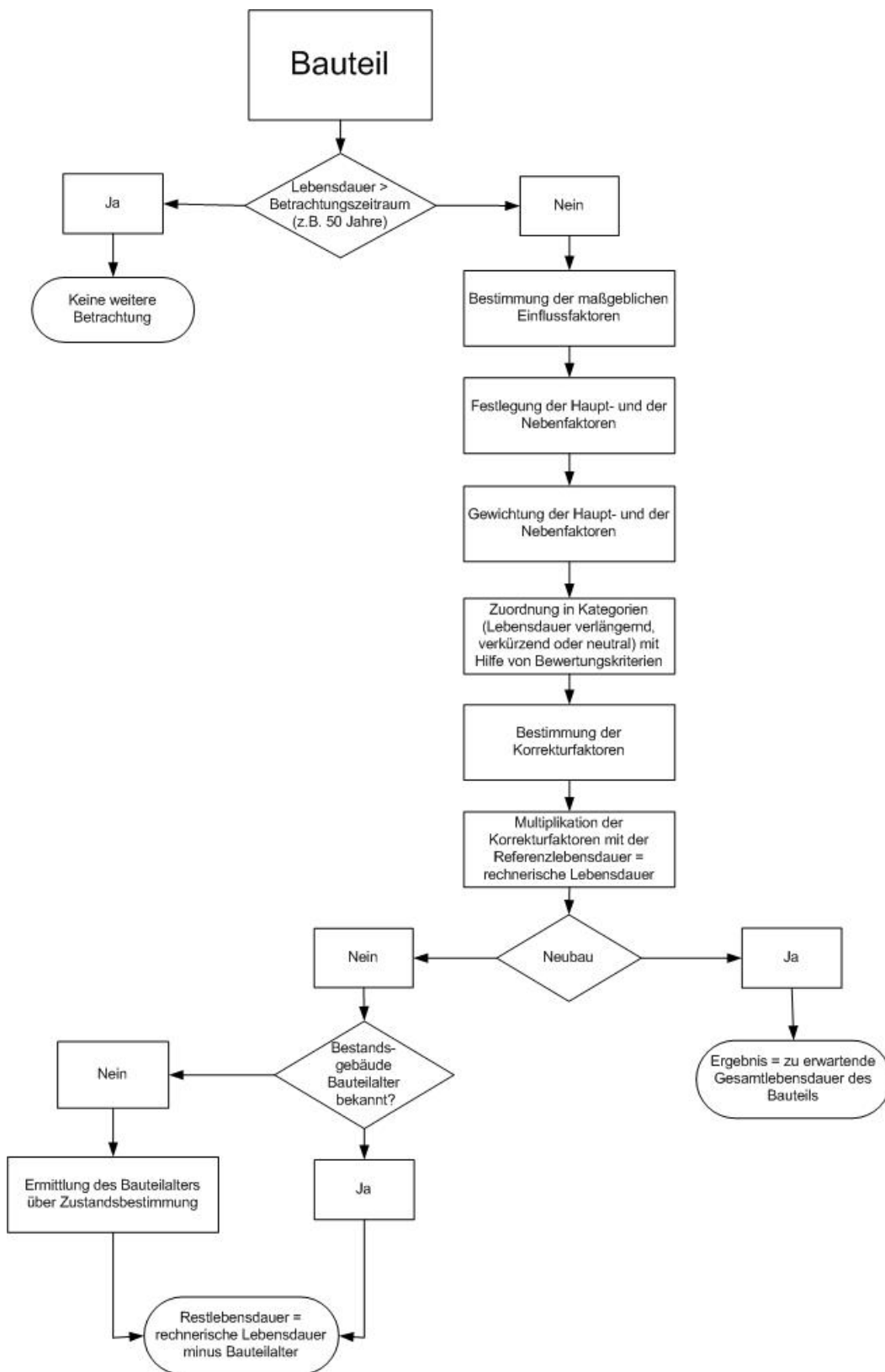


Abbildung 16: Flussdiagramm zur Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen

Die wichtigsten Schritte des Modellablaufs sind im Folgenden noch einmal schrittweise in allgemeiner Form zusammengefasst dargestellt.

Schritt 1: Ermittlung der maßgeblichen Einflussfaktoren

Dies geschieht mit Hilfe der Tabelle über die Nutzungsdauern von Bauteilen, die durch die Festlegung der zu bewertenden Einflussfaktoren erweitert wurde. Dieser Tabelle kann sowohl die Referenzlebensdauer als auch die zu bewertenden Einflussfaktoren abgelesen werden. Dabei steht H für Hauptfaktor und N für Nebenfaktor.

Ifd. Nr	Ebene I - Hauptgruppe	Ebene II - Untergruppe	Ebene III - Bereich	Ebene IV - Objekt / Material	Lebensdauer			A 1 Bauteilqualität	A 2 Materialkombinationen	B konstruktiver Schutz	C Ergebnis der Bauausführung	D interne Einflüsse	E externe Einflüsse	F 1 Nutzungsart	F 2 Nutzung nach Bestimmung	G Instandhaltungsqualität
					min	max	mittel									
1350	TGA	heiztechnische Anlagen	Wärmeerzeuger	Heizkessel	15	30	20	H	H	N	H	-	-	-	N	H
1351	TGA	heiztechnische Anlagen	Wärmeerzeuger	Solarkollektoren	10	20	15	X	X	X	X	-	X	-	-	X
1352	TGA	heiztechnische Anlagen	Wärmeerzeuger	Wärmepumpen	10	20	15	X	X	X	X	-	-	-	-	X

zu untersuchendes Bauteil Referenzlebensdauer

zu bewertende Einflussfaktoren

Abbildung 17: Aufbau Tabelle

Schritt 2: Zuordnung in Kategorien (Lebensdauer verlängernd, verkürzend oder neutral)

Im Anschluss werden die Faktoren bewertet, indem sie in die jeweils zutreffende Kategorie zugeordnet werden. Die drei Kategorien – Lebensdauer verkürzend, durchschnittlich, Lebensdauer verlängernd - werden durch vorgegebene Kriterien beschrieben. Anhand dieser Kategorien, werden die Gewichtungen vorgenommen. Hierbei kommt die Unterscheidung in Haupt- und Nebenfaktoren zum Tragen, da sie unterschiedlich hoch gewichtet werden. Hauptfaktoren, die der Lebensdauer verkürzenden Kategorie zugeordnet werden, erhalten den Gewichtungsfaktor 0,8 bzw. 0,9, die der durchschnittlichen Kategorie den Gewichtungsfaktor 1,0 und die der Lebensdauer verlängernden Kategorie den Gewichtungsfaktor 1,1.

Nebenfaktoren, werden entsprechend mit den Faktoren 0,9 bzw. 0,95 für die Lebensdauer verkürzende bzw. 1,05 für die Lebensdauer verlängernde Kategorie gewichtet.

Tabelle 11: Gewichtung der Haupt- und Nebenfaktoren

	LD verkürzend -	durchschnittlich Ø	LD verlängernd +
Hauptfaktor	0,8 / 0,9	1,0	1,1
Nebenfaktor	0,9 / 0,95	1,0	1,05

Durch die unterschiedliche Höhe der Gewichtung, wird den Hauptfaktoren mehr Bedeutung beigemessen als den Nebenfaktoren.

Schritt 3: Bestimmung des Korrekturfaktors

Wird ein Einflussfaktor durch mehrere Kriterien beschrieben, so ist die Höhe des Korrekturfaktors durch die Berechnung des Mittelwertes der Gewichtungen zu bestimmen.

Wird ein Einflussfaktor nur durch ein maßgebliches Kriterium beschrieben, so entspricht dessen Gewichtung dem Korrekturfaktor.

Schritt 4: Berechnung der zu erwartenden Lebensdauer

Zur Bestimmung der zu erwartenden Lebensdauer, wird die Referenzlebensdauer des Bauteils mit den zuvor ermittelten Korrekturfaktoren, der jeweils relevanten Einflussfaktoren multipliziert. Das Ergebnis stellt somit die Lebensdauer des Bauteils, unter Berücksichtigung aller einwirkenden Einflussfaktoren und gegebenen Randbedingungen dar.

Schritt 5: Überprüfung der Maximal- und Minimalwerte

Abschließend sollte eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden, in dem kontrolliert wird, ob die errechneten Lebensdauern die minimalen oder maximalen Angaben der Nutzungsdauerangaben über- bzw. unterschreiten. Ist dies der Fall, so sollten die Minimal- bzw. Maximalwerte verwendet werden.

Schritt 6: Berechnung der Restlebensdauer (nur für Bestandsbauten)

Zur Ermittlung der Restnutzungsdauer eines bereits eingebauten Bauteils ist von der errechneten Gesamtnutzungsdauer das reale (falls bekannt) oder fiktive Bauteilalter abzuziehen.

7 Modellanwendung an ausgewählten Bauteilen

Um die Anwendung des Berechnungsmodells zur Ermittlung der zu erwartende Lebensdauer beispielhaft demonstrieren zu können, wird aus den in Kapitel 6.5.2 aufgezeigten Beanspruchungsgruppen jeweils ein Bauteil ausgewählt. Hierdurch ist es möglich, eine große Bandbreite an Einflussfaktoren und deren Kriterien zu thematisieren.

Stellvertretend für den Zwischenbereich wurde das Bauteil Fensterflügel, Aluminium-Holzkomposit gewählt. Der technische Bereich wird durch die Betrachtung eines Heizkessels aus dem Bereich der heiztechnischen Geräte und Anlagen repräsentiert. Der interne Bereich wird anhand des Bauteils Teppichboden aus Synthetikfaser beschrieben und der externe Bereich durch die Dachdeckung aus Ziegel.

Für jedes der Bauteile wird zur Bestimmung der Lebensdauer analog vorgegangen. In einem ersten Schritt werden jeweils die relevanten Einflussfaktoren ermittelt und diskutiert. Das Ergebnis, also die Auswahl der zu bewertenden Faktoren, wird in Form einer Tabelle dargestellt. Danach werden diese nach ihrer Wichtigkeit in Haupt- und Nebenfaktoren unterteilt. Anschließend werden aussagekräftige Kriterien für die jeweiligen Einflussfaktoren definiert. Die gegebenen Faktoren werden dann, je nach Einordnung in die Kategorie „-“ (Lebensdauer verkürzend), „Ø“ (durchschnittlicher Einfluss) oder „+“ (Lebensdauer verlängernder Einfluss), mit Werten von 0,8 bis 1,1 gewichtet. Die Multiplikation der mittleren Lebensdauer mit den Faktoren, ergibt letztendlich die zu erwartende Lebensdauer des entsprechenden Bauteils.

Um das Modell demonstrieren zu können, werden für die ausgewählten vier Bauelemente beispielhafte Klassifizierungen, Kategorien und Werte ausgewählt. Diese sollen nicht als endgültige Angaben verstanden werden. Endgültige material- und bauteilspezifische Vorgaben und Grenzwerte müssen in Zukunft noch mit Hilfe des Expertenwissens aus den unterschiedlichen Fachbereichen erarbeitet werden.

7.1 Beispiel Fenster

Als erstes Bauteil, dessen Lebensdauer berechnet werden soll, wurde ein Fensterflügel aus Aluminium-Holzkomposit gewählt.



Abbildung 18: Fensterflügel, Aluminium-Holzkomposit [www 4]

Um festzustellen, welche Einflussfaktoren für die Lebensdauerberechnung des Fensterflügels relevant sind und somit zu bewerten sind, werden zunächst die entsprechenden Faktoren (A-G) diskutiert und festgelegt, welches die Haupt- bzw. Nebenfaktoren sind.

A 1 Bauteilqualität:

Die Bauteilqualität ist für das Alterungsverhalten des Fensterflügels von großer Bedeutung. Für die Bewertung wird dieser Einfluss als Hauptfaktor ausgewählt.

A 2 Materialkombinationen:

Aus der Materialkombination von Aluminium und Holz sind keine Lebensdauer beeinflussenden Auswirkungen zu erwarten, sodass dieser Faktor nicht in die Bewertung einbezogen wird.

B Konstruktiver Schutz:

Da auf der Wetterseite witterungsbeständiges Aluminium verwendet wird, hat ein konstruktiver Schutz keinen Lebensdauer verlängernden Einfluss auf den Fensterflügel. Er wird daher bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Anders würde es sich bei einem reinen Holzfenster-

flügel verhalten, da sich hier ein Schutz vor Witterungseinflüssen positiv auf die Lebensdauer auswirken würde.

C Ergebnis der Bauausführung:

Der fachgerechte Einbau ist bezüglich der Lebensdauer äußerst wichtig, er wird daher als Haupteinflussfaktor im Bewertungsmodell eingesetzt.

D Interne bauphysikalische Einflüsse:

Interne bauphysikalische Einflüsse können die Alterung eines Bauteils beeinflussen. Daher müssen sie mit in die Lebensdauerbetrachtung einbezogen werden. Die Festlegung, ob es sich hier um einen Haupt- oder Nebeneinfluss handelt, ist abhängig von der Art und Menge der vorhandenen internen Einflüsse und deren Wirkungsgrad.

E Externe bauphysikalische Einflüsse:

Aluminium ist ein sehr witterungsbeständiger Werkstoff, daher müssen externe bauphysikalische Einflüsse hier nicht berücksichtigt werden.

F 1 Nutzungsart:

Da Fensterflügel mechanischen Beanspruchungen durch Nutzung ausgesetzt sind, ist die Nutzungsart und damit die Nutzungsintensität, hinsichtlich der Auswirkung auf die Lebensdauer, zu bewerten. Allerdings sind die Einflüsse durch mechanische Beanspruchung auf den Fensterflügel nicht so bedeutend, wie beispielsweise bei den Beschlägen. Daher wird hier die Nutzungsart als Nebeneinfluss angeführt.

F 2 Nutzung nach Bestimmung:

Dieser Faktor wird als Nebenfaktor eingestuft und auch nur in der ersten Bewertungsebene beurteilt.

G Instandhaltungsqualität:

Die Instandhaltungsqualität spielt hauptsächlich für die Holzseite des Flügels eine Rolle und ist abhängig von den Eigenschaften der gewählten Holzart. Der Faktor Instandhaltungsqualität fällt bei diesem Bauteil, aufgrund des geringen Instandhaltungsbedarfs, nicht sehr ins Gewicht und fließt daher nur als Nebenfaktor in die Berechnung mit ein.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Ergebnis der Bewertung der Einflussfaktoren tabellarisch in einer Übersicht zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 12: Bewertung der Einflussfaktoren für Fensterflügel, Aluminium-Holzkomp.

Ifd. Nr	Ebene I – Hauptgruppe	Ebene II - Untergruppe	Ebene III - Bereich	Ebene IV - Objekt / Material	Lebensdauer			Bauteilqualität	Materialkombinationen	konstruktiver Schutz	Ergebnis der Bauausführung	interne Einflüsse	externe Einflüsse	Nutzungsart	Nutzung nach Bestimmung	Instandhaltungsqualität
					min	max	mittel									
494	Rohbau	Fenster	Flügel	Aluminium-Holz-Komposit	40	60	50	H	---	---	H	H/N	---	N	N	N

Nachfolgend werden beispielhaft Kriterien für die Bewertung der ermittelten einflussnehmenden Faktoren angeführt, nach denen die Faktoren in die Kategorien zugeordnet werden und anschließend je nach Auswirkung auf die Lebensdauer gewichtet werden können. Für Haupteinflussfaktoren werden hierbei die Werte 0,8 (Lebensdauer verkürzend), 1,0 (weder verkürzend noch verlängernd) bzw. 1,1 (Lebensdauer verlängernd) verwendet. Für Nebeneinflussfaktoren entsprechend die Werte 0,9 bzw. 1,0 und 1,05. Für die beispielhafte Anwendung des Modells wurde die jeweils zutreffende Kategorie rot eingerahmt.

A 1 Bauteilqualität		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Bauteilqualität	nicht fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	besonders gute, hochwertige Bauteileigenschaften
2. Ebene		eine oder mehrere unter Ø genannten Normen werden nicht erfüllt	<div style="border: 2px solid red; padding: 5px;"> Beispielhafte Normen - Dimensionierung und Profilausbildung nach DIN 68121 - Verleimung nach DIN EN 204 - Holzschutz u. Grundierung nach DIN 68 800 Teil 3 - Prüfung nach DIN EN 113 u. EN 153 wird bestanden - DIN 52452-4 Prüfung von Dichtstoffen für das Bauwesen; Verträglichkeit der Dichtstoffe – Teil 4: Verträglichkeit mit Beschichtungssystemen - DIN 68121-1 Holzprofile für Fenster u. Fenstertüren – Teil 1: Maße, Qualitätsanforderungen, - DIN 68121-2 – Teil 2: Allgemeine Grundsätze Relevante Normen und Kriterien müssen von Experten bestimmt werden </div>	die Bauteilqualität ist besser als von den unter Ø aufgeführten gefordert
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

C Ergebnis der Bauausführung		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Ergebnis der Bauausführung	nicht fach- und normgerecht	fach- und normgerecht	besser als vorgegeben
2. Ebene		Einbauergebnis weist Mängel auf, wurde nicht nach dem Leitfaden zur Montage der RAL-Gütegemeinschaft „Fenster und Haustüren“ ausgeführt	Einbau erfolgte nach dem Leitfaden zur Montage der RAL-Gütegemeinschaft „Fenster und Haustüren“	zusätzliche, besonders materialschonende/ schützende Techniken wurden angewandt, sorgfältige Qualitätskontrolle, Auswahl besonders hochwertiger Nebenbaustoffe (Befestigungsmittel, Dichtstoffe, etc.), u.ä.
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 0,8				

D Interne Einflüsse		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	interne Einflüsse	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

F 1 Nutzungsart		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Nutzungsart	hohe Beanspruchung	mittlere Beanspruchung	niedrige Beanspruchung
2. Ebene	Lüftungsbedarf	Räume mit sehr hohem Lüftungsbedarf, wie z.B. Klassenzimmer in Schulen	Räume mit normalem Lüftungsbedarf, beispielsweise in Wohngebäuden	Räume mit geringem Lüftungsbedarf, z.B. bei klimatisierten Räumen
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

F 2 Nutzung nach Bestimmung		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Nutzung nach Bestimmung	höhere Belastung als geplant	Belastung wie vorgesehen	Belastung geringer als geplant
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

G Instandhaltungsqualität		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Instandhaltungsqualität	nicht fachgerecht	fachgerecht	besonders sorgfältig und werterhaltend
2. Ebene		die Herstellerempfehlungen werden nicht eingehalten	die Instandhaltung erfolgt nach Herstellerempfehlung	Es werden hochwertigere Instandhaltungsmaßnahmen vorgenommen als vom Hersteller empfohlen
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 0,9				

Nachfolgend ist das Bewertungsergebnis noch einmal als Übersicht zusammengefasst:

- A1: 1,0
- C: 0,8
- D: 1,0
- F 1: 1,0
- F 2: 1,0
- G: 0,9

In einem nächsten Schritt lässt sich für den untersuchten Fensterflügel durch Multiplikation dieser Gewichtungsfaktoren, der Korrekturfaktor berechnen.

$$\text{Korrekturfaktor} = 1,0 * 0,9 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 0,9 = 0,72$$

Die Multiplikation von Korrekturfaktor und mittlerer Lebensdauer, ergibt dann die rechnerische Lebensdauer des Fensterflügels (Aluminium-Holzkomposit).

Die Angaben zu den minimalen, maximalen und mittleren Lebensdauern, finden sich in den Nutzungsdauerangaben für den überarbeiteten Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ unter der laufenden Nummer 494 (Stand: Nov. 2008) wie folgt:

- Mittlere Lebensdauer: 50 Jahre
- Minimale Lebensdauer: 40 Jahre
- Maximale Lebensdauer: 60 Jahre

Hieraus lässt sich die zu erwartende Lebensdauer wie folgt berechnen:

$$\text{rechnerische Lebensdauer} = 50 \text{ Jahre} * 0,72 = 36 \text{ Jahre}$$

Die zu erwartende Lebensdauer des hier betrachteten, fiktiven Fensterflügels aus Aluminium-Holz-Komposit. beträgt 36 Jahre.

7.2 Beispiel heiztechnische Geräte und Anlagen

Aus dem Bereich der technischen Gebäudeausrüstung wurde von den Wärmeerzeugern das Bauteil Heizkessel (Ifd.Nr.1350) untersucht.

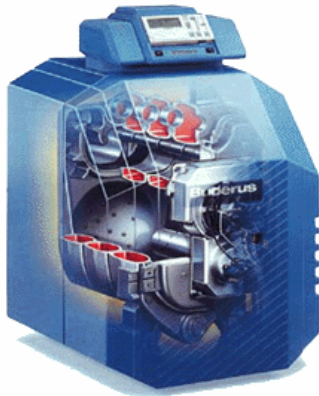


Abbildung 19: Heizkessel [www 5]

Zuerst wird auch hier geprüft, welche der Einflussfaktoren A-G auf einen Heizkessel einwirken und festgelegt, welches die Haupt- bzw. Nebenfaktoren sind, aus denen sich dann später die Höhe der Gewichtung ableitet.

A 1 Bauteilqualität:

Auch hier ist die Bauteilqualität von großer Bedeutung für das Alterungsverhalten. Daher fließt dieser Faktor in die Bewertung als Hauptfaktor ein.

A 2 Materialkombinationen:

Bei Heizkesseln kann, beispielsweise der Einsatz nicht diffusionsdichter Kunststoffrohre zu einer Sauerstoffkorrosion der un- oder niedriglegierten Eisenwerkstoffe oder auch zu einer Bildung von Rostschlamm führen. Derartige Auswirkungen führen zu einer Verkürzung der Lebensdauer des Heizkessels. Der Faktor „Materialkombinationen“ spielt bei einem Heizkessel eine wichtige Rolle und wird daher als Haupteinflussfaktor in das Modell eingesetzt.

B Konstruktiver Schutz:

Konstruktive Maßnahmen können eine Schädigung der Wandungen von Feuerraum und Nachschaltheizflächen durch Kondensat verhindern. Der Faktor „konstruktiver Schutz“ wird in der Beispielberechnung als Nebenfaktor aufgenommen.

C Ergebnis der Bauausführung:

Der fachgerechte Einbau ist bezüglich der Lebensdauer eines Heizkessels äußerst wichtig, er wird daher als Haupteinflussfaktor im Bewertungsmodell eingesetzt.

D Interne bauphysikalische Einflüsse:

Interne schädigende Einflüsse auf einen Heizkessel sind im Allgemeinen nicht zu erwarten, und werden daher hier nicht berücksichtigt.

E Externe bauphysikalische Einflüsse:

Der Heizkessel ist externen Einflüssen nicht ausgesetzt. Indirekt könnte er durch Frost geschädigt werden, wenn z.B. Leitungen einfrieren, jedoch werden derartige Abhängigkeiten hier nicht weiter verfolgt, sodass auch die externen Einflüsse nicht weiter berücksichtigt werden.

F 1 Nutzungsart:

Heizkessel werden nach bestimmten Vorgaben dimensioniert, die sich u.a. aus der Nutzungsart eines Gebäudes ergeben. Die Kesselleistung ist somit auf die Art der Nutzung abgestimmt, sodass dieser Faktor nicht als Lebensdauer beeinflussend zu berücksichtigen ist.

F 2 Nutzung nach Bestimmung:

Es wirkt sich positiv auf die Lebensdauer eines Heizkessels aus, wenn der Heizkessel im optimalen Arbeitspunkt gefahren wird. Dieser Faktor fließt als Nebenfaktor in die Lebensdauerbestimmung ein.

G Instandhaltungsqualität:

Bei Elementen der technischen Gebäudeausrüstung spielt die Instandhaltungsqualität eine große Rolle. Regelmäßige Wartung und Pflege erhöhen die Funktionssicherheit und die Lebensdauer eines Heizkessels erheblich. Die Instandhaltungsqualität ist somit in der Berechnung als Hauptfaktor anzusetzen.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Ergebnis der Bewertung der Einflussfaktoren tabellarisch in einer Übersicht zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 13: Bewertung der Einflussfaktoren für den Heizkessel

Ifd. Nr	Ebene I - Hauptgruppe	Ebene II - Untergruppe	Ebene III - Bereich	Ebene IV - Objekt / Material	Lebensdauer			Bauteilqualität	Materialkombinationen	konstruktiver Schutz	Ergebnis der Bauausführung	interne Einflüsse	externe Einflüsse	Nutzungsart	Nutzung nach Bestimmung	Instandhaltungsqualität
					min	max	mittel									
		Heizt. Geräte	Wärmeerz.	Heizkessel	15	30	20	H	H	N	H	---	---	---	N	H

Nachfolgend werden beispielhaft Kriterien für die Bewertung der ermittelten einflussnehmenden Faktoren angeführt, nach denen die Faktoren in die Kategorien zugeordnet werden und anschließend je nach Auswirkung auf die Lebensdauer gewichtet werden können.

Die rot umrandeten Kategorien kennzeichnen die hier gewählten Randbedingungen, die in die Berechnung durch ihre jeweilige Gewichtung einfließen.

A 1 Bauteilqualität		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Bauteilqualität	nicht fach- und anforderungs-gerechte Bauteileigenschaften	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	besonders gute, hochwertige Bauteileigenschaften
		DIN 4702-1 Heizkessel; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung wird nicht eingehalten	DIN 4702-1 Heizkessel; Begriffe, Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung wird eingehalten	bessere Eigenschaften als die Anforderungen der DIN 4702-1 vorgeben
2. Ebene		besitzt kein CE-Zeichen	besitzt CE-Zeichen, EG-Konformitätserklärung in deutscher Sprache beigefügt BauPGHeizkesselV §4(1) TÜV-geprüft nach DIN EN 303-5	---
		Der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen und der Nachweis der Eignung erfolgen im Bauartzulassungsverfahren nach TRD 509 im Rahmen der Abschnitte 4 und 5 wurde nicht erbracht.	Der Nachweis der Erfüllung der Anforderungen und der Nachweis der Eignung erfolgen im Bauartzulassungsverfahren nach TRD 509 im Rahmen der Abschnitte 4 und 5.	besonders gute Eignung nachgewiesen
		Bauweise begünstigt Korrosionserscheinungen	Heizkessel durch Bauweise weitgehend vor Korrosion geschützt (Dampf)	Heizkessel durch optimale Bauweise vor Korrosion geschützt
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

A 2 Materialkombination		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Materialkombination	auf geeignete Materialkombination wurde nicht geachtet	geeignete Materialkombination gewählt	optimale Materialkombinationen gewählt
2. Ebene	Kunststoffrohre	Einsatz nicht diffusionsdichter Kunststoffrohre in Warmwasserheizanlagen (Gefahr der Sauerstoffkorrosion der un- oder niedriglegierten Eisenwerkstoffe, Bildung von Rostschlamm)	Verwendung von gasundurchlässigen Werkstoffen (auch sauerstoffdichte Kunststoffrohre nach DIN 4726)	Einsatz besonders hochwertiger, diffusionsdichter Kunststoffrohre
	Füllwasser	Befüllen von Heizungsanlagen mit besonders kalkhaltigem Trinkwasser > 20,0 ° deutsche Härte (°dH)	Gesamthärte des Füllwassers von unter 20,0 °dH	Gesamthärte unter 16°dH, Einsatz von Schmutzfiltern, Abscheidevorrichtungen
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: ____ 0,95				

B konstruktiver Schutz		- (0,95)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Konstruktiver Schutz	Bauteil schutzlos schädigenden Einflüssen ausgesetzt	Bauteil durch konstruktive Maßnahmen geschützt	durch Lage im Bauwerk keinen schädigenden Einflüssen ausgesetzt
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: ____ 1,0				

C Ergebnis der Bauausführung		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Ergebnis der Bauausführung	nicht fach- und normgerecht	fach- und normgerecht	besser als vorgegeben
2. Ebene		Planung und Ausführung erfolgen nicht nach DIN EN 12828: Heizungssysteme in Gebäuden	Planung und Ausführung erfolgen nach DIN EN 12828: Heizungssysteme in Gebäuden	Planung und Ausführung übertreffen die Vorgaben aus DIN EN 12828: Heizungssysteme in Gebäuden
		die in den einzelnen Bundesländern geltenden baurechtlichen Vorschriften zu Heizkesseln werden nicht eingehalten	die in den einzelnen Bundesländern geltenden baurechtlichen Vorschriften zu Heizkesseln werden beachtet	die Vorgaben aus den baurechtlichen Vorschriften der einzelnen Bundesländer werden besser ausgeführt als vorgeschrieben
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: ____ 1,0				

F 2 Nutzung nach Bestimmung		- (0,95)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Nutzung nach Bestimmung	höhere Belastung als geplant	Belastung wie geplant	Belastung geringer als geplant
2. Ebene		Heizkessel wird nicht im optimalen Arbeitspunkt gefahren.	Heizkessel wird im optimalen Arbeitspunkt gefahren. Dimensionierung nach DIN EN 13384, DIN EN 12831 Heizlastberechnung von Gebäuden	----
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: 0,95				

G Instandhaltungsqualität		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Instandhaltungsqualität	nicht fachgerecht	fachgerecht	besonders sorgfältig und werterhaltend
2. Ebene		nicht fachgerecht nach DIN EN 15378 und Kesselwartung erfolgt nicht nach TRD 601, Blatt 1	wird fachgerecht nach DIN EN 15378 2008-07: Heizungssysteme in Gebäuden - Inspektion von Kesseln und Heizungssystemen durchgeführt oder Kesselwartung nach TRD 601, Blatt 1, durch Fachfirma	wird besser ausgeführt als in DIN EN 15378 vorgegeben oder wird besser ausgeführt als in TRD 601, Blatt 1 vorgegeben
		erfüllt die 1 .BimSchV Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen nicht	erfüllt die 1 .BimSchV Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen	Anforderungen der 1. BimSchV Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen übererfüllt
		VDI-Richtlinie 2035 wird nicht befolgt	VDI-Richtlinie 2035 Richtlinie zur Verhütung von Schäden durch Korrosion und Steinbildung in Warmwasserheizungsanlagen.	VDI-Richtlinie 2035
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: 1,1				

TRD - Technische Regeln für Dampfkessel

Nachfolgend ist das Bewertungsergebnis noch einmal als Übersicht zusammengefasst:

- A1: 1,0
- A2: 0,95
- B: 1,0
- C: 1,0
- F 2: 0,95
- G: 1,1

In einem nächsten Schritt lässt sich für den untersuchten Heizkessel durch Multiplikation dieser Gewichtungsfaktoren der Korrekturfaktor berechnen.

$$\text{Korrekturfaktor} = 1,0 * 0,95 * 1,0 * 1,0 * 0,95 * 1,1 = 1,0$$

Die Multiplikation von Korrekturfaktor und mittlerer Lebensdauer, ergibt dann die rechnerische Lebensdauer des Heizkessels.

Die Angaben zu den minimalen, maximalen und mittleren Lebensdauern finden sich in den Nutzungsdauerangaben für den überarbeiteten Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ unter der laufenden Nummer 1350 (Stand: Nov. 2008) wie folgt:

Mittlere Lebensdauer: 20 Jahre

Minimale Lebensdauer: 15 Jahre

Maximale Lebensdauer: 30 Jahre

Hieraus lässt sich die zu erwartende Lebensdauer des Heizkessels wie folgt berechnen:

$$\text{rechnerische Lebensdauer} = 20 \text{ Jahre} * 1,0 = 20 \text{ Jahre}$$

Die zu erwartende Lebensdauer des hier betrachteten, fiktiven Heizkessels beträgt 20 Jahre und weicht somit nicht von den der angegebenen mittleren Lebensdauer des Bauteils ab.

Hierbei ist allerdings anzumerken, dass die verschiedenen Heizkesselarten (z.B. Unterscheidungen nach Art des Brennstoffes) unterschiedliche Lebensdauern aufweisen. Eine weitere Differenzierung der Heizkessel findet in den Nutzungsdauerangaben aus der Überarbeitung der Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen des Hochbaus für den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ (Stand: Nov. 2008) aber nicht statt.

7.3 Beispiel: Bodenbelag

Als Beispiel zur Modellanwendung für den internen Bereich wurde die Bauteilgruppe „Bodenbeläge“ ausgewählt. Aus den verschiedenen Bodenbelagsvarianten wurde ein Teppichboden aus Synthetikfaser (Ifd.Nr.716) gewählt.



Abbildung 20: Teppichboden aus Synthetikfaser [www 6

Nachfolgend wird untersucht, welche Einflussfaktoren für die Lebensdauerberechnung relevant sind und ob diese als Haupt- oder Nebenfaktor zu berücksichtigen sind.

A 1 Bauteilqualität:

Besteht der Teppich aus hochwertigen Fasern, kann von einer höheren Lebensdauer ausgegangen werden, als bei einem Teppich mit Fasern minderwertiger Qualität. Die Qualität bestimmt maßgeblich das Alterungsverhalten eines Teppichbodens und fließt daher als Hauptfaktor in die Berechnung der potenziellen Lebensdauer ein.

A 2 Materialkombinationen:

Teppich lässt sich gut mit anderen Materialien kombinieren, ohne dass eine beschleunigte Alterung zu befürchten ist. Daher wird er im Modell nicht zur Lebensdauerermittlung hinzugezogen. Eine Ausnahme bildet hier die Eignung des Teppichs für den Einsatz in Kombination mit einer Fußbodenheizung. In diesem Fall ist der Faktor Materialkombination als Hauptfaktor zu berücksichtigen.

B Konstruktiver Schutz:

Für Bodenbeläge gibt es keinen konstruktiven Schutz. Es gibt Bereiche des Teppichs, die weniger schnell abgenutzt werden, beispielsweise in Ecken, aber die Nutzungsdauer richtet sich nach den am schnellsten alternden Bereichen („Laufstraßen“), da bei einem Austausch der Teppich als Ganzes ausgetauscht wird. Dieser Parameter braucht daher in der Berechnung nicht angeführt werden.

C Ergebnis der Bauausführung:

Bei einem nicht ordnungsgemäß verlegten Teppich besteht die Gefahr einer vorzeitigen Alterung. Wellen, Knicke, schlechter Verbund, schlechte Untergrundbedingungen etc. können sich Lebensdauer verkürzend auswirken. In der Ermittlung der Lebensdauer kommt der Faktor „Ergebnis der Bauausführung“ als Nebenfaktor zur Anwendung.

D Interne bauphysikalische Einflüsse:

Interne bauphysikalische Einflüsse können die Alterung eines Bauteils beeinflussen. Daher müssen sie, sofern vorhanden, mit in die Lebensdauerbetrachtung einbezogen werden. Die Festlegung, ob es sich hier um einen Haupt- oder Nebeneinfluss handelt oder ob er überhaupt berücksichtigt werden muss, ist abhängig von der Art und Menge der vorhandenen internen Einflüsse und deren Wirkungsgrad. Geht man von einer Wohn- oder Büroimmobilie aus, können hier die internen Einflüsse als Nebenfaktor in die Ermittlung einbezogen werden.

E Externe bauphysikalische Einflüsse:

Bodenbeläge sind externen Bedingungen in der Regel nicht ausgesetzt. In Fensternähe können Teppichböden Sonneneinwirkungen ausgesetzt sein (Temperaturerhöhung, UV-Strahlung), die sich auf die optischen Eigenschaften auswirken können (z.B. Farbe bleicht aus). Da sich dies aber nicht auf die Lebensdauer auswirkt (Funktionalität bleibt trotz Ausbleichen aufrecht erhalten) kann aus ästhetischen, also immatriellen Gründen ein Austausch und damit eine Verkürzung der Lebensdauer in Frage kommen. Die externen Einflüsse werden für Bodenbeläge nicht berücksichtigt.

F 1 Nutzungsart:

Die Nutzungsart beeinflusst maßgeblich die Art und Höhe der Beanspruchung, welcher der Teppichboden ausgesetzt ist und damit auch dessen Alterungsverlauf. Daher wird der Einflussfaktor „Nutzungsart“ als Nebenfaktor in die Lebensdauerberechnung einbezogen.

F 2 Nutzung nach Bestimmung:

Wird ein Teppich stärker beansprucht als die Beanspruchungsgruppe, der er angehört, vorzieht, wirkt sich dies Lebensdauer verkürzend aus. Wird ein Teppich dagegen weniger stark beansprucht, kann von einer längeren Lebensdauer ausgegangen werden. Daher wird der Faktor „Nutzung nach Bestimmung“ als Haupteinfluss gewertet.

G Instandhaltungsqualität:

Eine materialgerechte Pflege des Teppichs wirkt sich positiv auf die Nutzungsdauer aus. Dagegen können falsche Reinigungsmittel und ungeeignete Reinigungsgeräte die Lebensdauer erheblich verkürzen. Die Instandhaltungsqualität ist somit ein Hauptfaktor bei der Ermittlung der potenziellen Lebensdauer des Teppichbodens.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Ergebnis der Bewertung der Einflussfaktoren tabellarisch in einer Übersicht zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 14: Bewertung der Einflussfaktoren für Teppichboden aus Synthetikfaser

Ifd. Nr.	Ebene I -	Ebene II -	Ebene III -	Bereich	Ebene IV - Objekt / Material	Lebensdauer			Bauteilqualität	Materialkombinationen	konstruktiver Schutz	Ergebnis der Bauausführung	interne Einflüsse	externe Einflüsse	Nutzungsart	Nutzung nach Bestimmung	Instandhaltungsqualität
						min	max	mittel									
				Teppichboden	Synthetikfaser	5	15	10	H	-- /H	---	N	N	---	N	H	H

Nachfolgend werden beispielhaft Kriterien für die Bewertung der Lebensdauer eines Teppichbodens aus Synthetikfasern angeführt. Die rot umrandeten Kategorien kennzeichnen die hier exemplarisch gewählten Randbedingungen.

A 1 Bauteilqualität		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Bauteilqualität	nicht fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	besonders gute, hochwertige Bauteileigenschaften
2. Ebene		entspricht nicht den Vorgaben der DIN 66095	entspricht den Angaben der DIN 66095	höherwertig als in DIN 66095 angegen
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,1				

C Ergebnis der Bauausführung		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Ergebnis der Bauausführung	nicht fach- und normgerecht	fach- und normgerecht	besser als vorgegeben
2. Ebene		die Vorgaben der DIN CEN/TS 14472-1 und -2 werden nicht eingehalten	DIN CEN/TS 14472-1 Vornorm, 2003-10 Elastische, textile und Laminatbodenbeläge - Planung, Vorbereitung und Verlegung - Teil 1: Allgemeines; Deutsche Fassung CEN/TS 14472-1:2003 DIN CEN/TS 14472-2 Vornorm, 2003-10 Elastische, textile und Laminatbodenbeläge - Planung, Vorbereitung und Verlegung - Teil 2: Textile Bodenbeläge; Deutsche Fassung CEN/TS 14472-2:2003	die Ausführung erfolgt besser als von den Vorgaben der DIN CEN/TS 14472-1 und -2 verlangt
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

D Interne Einflüsse		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	interne Einflüsse	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

F 1 Nutzungsart		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	Nutzungsart	hohe Beanspruchung	mittlere Beanspruchung	niedrige Beanspruchung
2. Ebene		Verkehrsflächen wie z.B. Flure, Eingangsbereich, Bereiche vor Aufzügen	Bürräume mit Publikumsverkehr	Bürräume ohne Publikumsverkehr
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

F 2 Nutzung nach Bestimmung		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Nutzung nach Bestimmung	höhere Belastung als geplant	Belastung wie geplant	Belastung geringer als geplant
2. Ebene		ETG*-Strapazierwert* wird überschritten	ETG*-Strapazierwert wird eingehalten	ETG*-Strapazierwert wird unterschritten
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,1				

* Textile Bodenbeläge können gemäß DIN 66095 geprüft werden. Dabei werden der Strapazier- u. der Komfortwert mit dem Teppich-Siegel der europäischen Teppichgemeinschaft (ETG) beschrieben. Die Anwendungsbereiche werden durch den Strapazierwert vorgegeben. Zu jedem Strapazierwert sind Raumbeispiele angegeben (z.B. Strapazierwert stark: Wartezimmer, Büroräume, Hotelhallen, Theater, Kino, Kindergärten, Schulen). Erfüllt ein Produkt die Anforderungen für einen Strapazierwert, so darf es entsprechend gekennzeichnet werden. [www30]]

G Instandhaltungsqualität		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Instandhaltungsqualität	nicht fachgerecht	fachgerecht	besonders sorgfältig und werterhaltend

2. Ebene	wird nicht entsprechend DIN EN ISO 21868 ausgeführt	DIN EN ISO 21868 Norm-Entwurf, 2002-05 Textile Bodenbeläge - Richtlinien für die Pflege und Reinigung (ISO/DIS 21868: 2002); Deutsche Fassung prEN ISO 21868: 2002 wird eingehalten	wird besser als DIN EN ISO 21868 ausgeführt
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0			

Nachfolgend ist das Bewertungsergebnis noch einmal als Übersicht zusammengefasst:

A1: 1,1
 C: 1,0
 D: 1,0
 F 1: 1,0
 F 2: 1,1
 G: 1,0

In einem nächsten Schritt lässt sich für den untersuchten Bodenbelag, durch Multiplikation dieser Gewichtungsfaktoren der Korrekturfaktor wie folgt berechnen.

$$\text{Korrekturfaktor} = 1,1 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,1 * 1,0 = 1,2$$

Die Multiplikation von Korrekturfaktor und mittlerer Lebensdauer, ergibt dann die rechnerische Lebensdauer des Bodenbelags.

Die Angaben zu den minimalen, maximalen und mittleren Lebensdauern, finden sich in den Nutzungsdauerangaben für den überarbeiteten Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ unter der laufenden Nummer 716 (Stand: Nov. 2008) wie folgt:

Mittlere Lebensdauer: 10 Jahre

Minimale Lebensdauer: 5 Jahre

Maximale Lebensdauer: 15 Jahre

Hieraus lässt sich die zu erwartende Lebensdauer des Bodenbelags wie folgt berechnen:

$$\text{rechnerische Lebensdauer} = 10 \text{ Jahre} * 1,2 = 12 \text{ Jahre}$$

Die zu erwartende Lebensdauer des hier betrachteten, fiktiven Bodenbelags beträgt 12 Jahre und liegt somit über der mittleren Lebensdauer, jedoch unterhalb der maximalen Lebensdauer.

7.4 Beispiel Dach - Deckschicht außen

Als Beispiel zur Modellanwendung für den externen Bereich wurde die Bauteilgruppe „Dach-Deckschicht außen“ ausgewählt. Aus den verschiedenen Ausführungsvarianten wurden ebene oder verformte Schuppen aus Ziegel (Ifd.Nr.248)“ gewählt.



Abbildung 21: Ziegeleindeckung [www 7]

Auch hier werden zuerst die Einflussfaktoren A – G diskutiert, um zu ermitteln, welche bei der Lebensdauerermittlung zum Tragen kommen und wie sie zu gewichten sind

A 1 Bauteilqualität:

Wie bei allen Bauteilen ist auch hier die Bauteilqualität von großer Bedeutung für das Alterungsverhalten. Daher muss dieser Faktor in die Bewertung als Hauptfaktor mit einfließen.

A 2 Materialkombinationen:

Ziegel verhalten sich anderen Baumaterialien gegenüber unproblematisch. Daher wird dieser Faktor nicht in die Lebensdauerberechnung einbezogen.

B Konstruktiver Schutz:

Dieser Faktor fließt nicht in die Berechnung ein, da Ziegel eine Schutzfunktion erfüllen und selber nicht geschützt werden müssen.

C Ergebnis der Bauausführung:

Der fachgerechte Einbau ist bezüglich der Lebensdauer äußerst wichtig, er wird daher als Haupteinflussfaktor im Bewertungsmodell eingesetzt.

D Interne bauphysikalische Einflüsse:

Dachziegel kommen mit internen Einflussfaktoren nicht in Kontakt, die daher auch nicht berücksichtigt werden müssen.

E externe bauphysikalische Einflüsse:

Ziegel sind zahlreichen Faktoren ausgesetzt, die aber, aufgrund guter Materialeigenschaften, nicht alle einen schädigenden Einfluss haben (gegen UV-Strahlen und Säuren resistent, regensicher, frostsicher). Betrachtet werden müssen beispielsweise Einflüsse wie Windangriff, Erschütterungen, Bewegungen des Baukörpers (können zu Lockerungen in der Befestigung führen), die Gefahr, durch hohe oder kranke Bäume beschädigt werden zu können. Die externen Einflüsse fließen als Nebenfaktor in die Lebensdauerermittlung ein.

F 1 Nutzungsart:

Die Nutzungsart hat auf die Lebensdauer von Ziegeln keinen Einfluss, da sie weder mit internen Einflüssen, noch mit den Nutzern in Kontakt kommen.

F 2 Nutzung nach Bestimmung:

Auch die Nutzung nach Bestimmung ist für die Lebensdauerbetrachtung von Ziegeln nicht relevant.

G Instandhaltungsqualität:

Die Instandhaltungsqualität ist wichtig für das Alterungsverhalten der Dachdeckung. Regelmäßige Inspektionen und der Austausch beschädigter Ziegel, wirken sich positiv aus. Auch die Pflege des Daches in Form von Beseitigung von Schmutzablagerungen schützt die Ziegel vor chemischen und biologischen Umwelteinflüssen, die begünstigt durch Staub und Schmutzablagerungen, Pflanzenbewuchs, Moosbildung und sonstige schädliche Mikroorganismen nach sich ziehen können. Die Instandhaltungsqualität zählt daher zu den Haupteinflussfaktoren.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Ergebnis der Bewertung der Einflussfaktoren tabellarisch in einer Übersicht zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 15: Bewertung der Einflussfaktoren für Deckungen, Ziegel

Ifd. Nr.	Ebene I -	Ebene II -	Ebene III - Bereich	Ebene IV - Objekt/ Material	Lebensdauer			Bauteilqualität	Materialkombinationen	konstruktiver Schutz	Ergebnis der Bauausführung	interne Einflüsse	externe Einflüsse	Nutzungsart	Nutzung nach Bestimmung	Instandhaltungsqualität
					min	max	mittel									
			Deckungen	Ziegel	40	80	60	H	--	--	H	---	N	---	---	H

Nachfolgend werden beispielhaft Kriterien für die Bewertung der Lebensdauer einer Dachdeckung aus Ziegel angeführt.

A 1 Bauteilqualität		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Bauteilqualität	nicht fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	besonders gute, hochwertige Bauteileigenschaften
2. Ebene		entsprechen nicht der DIN EN 1304	Ziegel entsprechen DIN EN 1304 "Dachziegel für überlappende Verlegung", erreichte Anforderungsstufe 1 der Wasserundurchlässigkeit nach DIN EN 539-1 und die bestandene Prüfung der Frostwiderstandsfähigkeit nach Verfahren B DIN EN 539-2	höherwertiger als in DIN EN 1304 vorgegeben
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: 0,8				

C Ergebnis der Bauausführung		- (0,8)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Ergebnis der Ausführung	nicht fach- und normgerecht	fach- und normgerecht	besser als vorgegeben
2. Ebene		Die „Regeln des Deutschen Dachdeckerhandwerks“ – Regelwerks wurden nicht eingehalten.	Es wurden die „Regeln des Deutschen Dachdeckerhandwerks“ – Regelwerks eingehalten.	Ausführung besser als die Vorgaben aus den „Regeln des Deutschen Dachdeckerhandwerks“ – Regelwerk
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: 1,0				

E Externe Einflüsse		- (0,95)	Ø (1,0)	+ (1,05)
1. Ebene	externe Einflüsse	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
2. Ebene	Gefahr durch Bäume	Hohe, schiefe oder kranke Bäume in unmittelbarer Gebäudenähe	es sind keine hohen, schiefen oder kranken Bäume in unmittelbarer Gebäudenähe	-----
	Windbelastung	Windzone 3 + 4; Windgeschw. über 25,0 m/s Geschw.druck über 0,39 kN/m ²	Windzone 2; Windgeschw. bis 25,0 m/s Geschw.druck bis 0,39 kN/m ²	Windzone 1; Windgeschw. bis 22,5 m/s Geschw.druck bis 0,32 kN/m ²
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: 0,97				

G Instandhaltungsqualität		- (0,9)	Ø (1,0)	+ (1,1)
1. Ebene	Instandhaltungsqualität	nicht fachgerecht	fachgerecht	besonders sorgfältig und werterhaltend
2. Ebene		es wird keine fachmännische Zustandsbeurteilung durchgeführt, es bestehen keine Inspektions- oder Wartungsverträge	fachmännische Beurteilung des Zustandes, Inspektions- oder Wartungsvertrag mit einer Dachdeckerfirma	Auswahl besonders qualifizierter Fachfirmen, besonders werterhaltende Maßnahmen werden durchgeführt
		die Fachregeln des Dachdeckerverbandes werden nicht eingehalten	die fachtechnische Details für die sachgerechte, objektbezogene Ausführung der Wartungs- und Pflegearbeiten, die im Sammelwerk der Fachregeln des Dachdeckerhandwerks enthalten sind, werden eingehalten	Ausführung der Wartungs- und Pflegearbeiten ist besser als von den Fachregeln des Dachdeckerverbandes empfohlen
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____ 1,0				

Nachfolgend ist das Bewertungsergebnis noch einmal als Übersicht zusammengefasst:

A1: 0,8
 C: 1,0
 E: 0,97
 G: 1,0

In einem nächsten Schritt lässt sich für die beispielhafte Dachdeckung durch Multiplikation dieser Gewichtungsfaktoren, der Korrekturfaktor wie folgt berechnen.

$$\text{Korrekturfaktor} = 0,8 * 1,0 * 0,97 * 1,0 = 0,78$$

Die Multiplikation von Korrekturfaktor und mittlerer Lebensdauer ergibt dann die rechnerische Lebensdauer der Dachdeckung.

Die Angaben zu den minimalen, maximalen und mittleren Lebensdauern finden sich in den Nutzungsdauerangaben für den überarbeiteten Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“ unter der laufenden Nummer 248 (Stand: Nov. 2008) wie folgt:

- Mittlere Lebensdauer: 60 Jahre
- Minimale Lebensdauer: 40 Jahre
- Maximale Lebensdauer: 80 Jahre

Hieraus lässt sich die zu erwartende Lebensdauer des Bodenbelags wie folgt berechnen:

$$\text{rechnerische Lebensdauer} = 60 \text{ Jahre} * 0,78 = 46,6 \text{ Jahre}$$

Die zu erwartende Lebensdauer, der hier betrachteten, fiktiven Dachdeckung aus Ziegeln beträgt somit 46,6 Jahre.

7.5 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Einflussfaktoren stellen bei der Berechnung der Lebensdauer von Bauteilen mit dem gewählten Faktorenansatz neben der Referenzlebensdauer die zweitwichtigste Eingangsgröße dar, sodass das Ergebnis durch die Wahl der Faktoren und deren Gewichtung sehr stark beeinflusst wird.

Die exemplarische Anwendung des Modells anhand von vier Beispiel-Bauteilen verdeutlicht, dass die Bestimmung der jeweils maßgeblichen Faktoren und deren Einflussgewichtung ein enormes Fachwissen voraussetzt. Spezialisierte Kenntnisse auf Bauteil bzw. Materialebene liegen beim Anwender des Verfahrens in der Regel jedoch nicht vor. Da die berechnete Lebensdauer sehr stark von der Wahl und der Gewichtung der Einflussfaktoren abhängt, muss bei der Anwendung des Verfahrens eine verfälschende Wahl der Faktoren ausgeschlossen werden. Vor diesem Hintergrund ist es erforderlich in Zukunft Arbeitshilfen zu erarbeiten und diese dem Anwender des Verfahrens zur verbindlichen Nutzung bei der Berechnung von Bauteillebensdauern bereitzustellen.

Um die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen, ist der Entscheidungsspielraum des Anwenders hierbei möglichst stark einzugrenzen. Vor diesem Hintergrund sollten die Arbeitshilfen nach Möglichkeit eindeutige und konkrete Vorgaben hinsichtlich der zu verwendenden Kriterien und deren Grenzwerte sowie zu den Einflussfaktoren und deren Gewichtung geben. Die Aufgabe des Anwenders sollte sich hiermit auf die Einordnung in vordefinierte Kategorien und auf die Berechnung des hieraus resultierenden Korrekturfaktors begrenzen. Hierdurch kann im Gegensatz zur ISO 15686 der Einfluss von subjektiven und persönlichen Erfahrungen des Anwenders weitestgehend ausgeschlossen werden.

Für eine transparente und nachvollziehbare Berechnung von Bauteillebensdauern durch unterschiedliche Akteure der Baupraxis ohne bauteil- bzw. materialspezifische Kenntnisse, ist es somit wichtig, das hierfür notwendige Fachwissen mit konkreten und klaren Vorgaben, aufzubereiten und den Anwendern zur Verfügung zu stellen. Dies könnte zum Beispiel mit

Hilfe von sogenannten Expertendatenblättern erfolgen, die dann für alle relevanten Bauteile jeweils materialabhängig die zur Berechnung notwendigen Informationen bereitstellen.

Die Erarbeitung dieser Datenblätter sollte unbedingt in enger Zusammenarbeit mit Fachexperten der jeweiligen Branche erfolgen. In den Unterlagen sollte eindeutig festgelegt werden, welche Einflussfaktoren bei dem entsprechenden Bauteil zu berücksichtigen sind, und welche vernachlässigt werden können. Die zu berücksichtigenden Faktoren sollten von den Experten in Haupt- und in Nebenfaktoren eingeteilt werden, wobei jeweils die entsprechende Gewichtung der Faktoren festgelegt werden sollte. Darüber hinaus sollten von den Fachexperten sowohl für die Haupt- als auch für die Nebenfaktoren eindeutige Bewertungskriterien festgelegt werden. Diese sollten sich an gängigen Standards der jeweiligen Branche orientieren. Aus Gründen der Praxistauglichkeit sollten diese für alle drei Kategorien, also Lebensdauer verkürzend, durchschnittlich oder Lebensdauer verlängernd, möglichst eindeutig und selbsterklärend beschrieben werden. Nach Möglichkeit sollten hierfür Grenzwerte in Form von „harten“ Messkriterien verwendet werden, die von allen potenziellen Anwendern gleichermaßen verstanden werden. Letztendlich sollte auf den Datenblättern auch die minimale, maximale und die mittlere Lebensdauer des entsprechenden Bauteils sowie weiterführende Informationen z.B. über DIN-Normen, Richtlinien usw. oder aber auch Checklisten z.B. für Instandhaltungsmaßnahmen angegeben werden.

Zur Verdeutlichung wurde im Rahmen des Projekts in Zusammenarbeit mit dem Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e. V. und Vertretern aus der Praxis dieser Branche ein Expertendatenblatt für das Bauteil Fenster erarbeitet. Dieses ist auf den nachfolgenden Seiten dargestellt.

Ein Vergleich der Einflussfaktoren und der Bewertungskriterien mit den beispielhaften Angaben in Kapitel 7.1 zeigt, dass diese von den Fachexperten zum Teil anders eingeschätzt bzw. beschrieben werden als von den Autoren, des vorliegenden Berichts. Bei der Berechnung der Lebensdauer würde dies folglich zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Eine aussagekräftige Berechnung der Lebensdauer in der Praxis ist somit nur mit Hilfe einer eindeutigen Vorgabe der relevanten Einflussfaktoren, deren Gewichtung und der entsprechenden Bewertungskriterien möglich.

Expertendatenblatt	KG 330	Außenwände	Nr.: 1	Seite 1 / 4
<i>Bauteil</i>	334 Außentüren und Fenster			
<i>Bereich</i>	Rahmen und Flügel			
<i>Material</i>	Aluminium-Holz-Komposition			

<i>Referenzlebensdauer (RLD) [Jahre]</i>		<i>Min:</i>	40	<i>Max:</i>	60	<i>Mittel:</i>	50
<i>Gewichtung</i>	<i>Hauptfaktoren (H)</i>	<i>negativ</i>	0,8	<i>mittel</i>	1,0	<i>positiv</i>	1,1
	<i>Nebenfaktoren (N)</i>	<i>negativ</i>	0,9	<i>mittel</i>	1,0	<i>positiv</i>	1,05
<i>Einflussfaktoren</i>	<i>A1 Bauteilqualität</i>	H					
	<i>A2 Materialkombination</i>	--					
	<i>B konstruktiver Schutz</i>	H					
	<i>C Ergebnis der Bauausführung</i>	H					
	<i>D interne bauphysikalische Einflüsse</i>	--					
	<i>E externe bauphysikalische Einflüsse</i>	N	Nur wenn A, B, und G auf externe Einflüsse abgestimmt				
	<i>F1 Nutzungsart</i>	N					
	<i>F2 Nutzung nach Bestimmung</i>	N					
	<i>G Instandhaltungsqualität</i>	H					
<i>Berechnungsformel</i>	<i>Korrekturfaktor (KF)</i>	KF = Faktor A1 * B * C * D * E * F1 * F2 * G					
	<i>Rechnerische Lebensdauer</i>	LD = Referenzlebensdauer * KF					

<i>Bewertungskriterien</i>					
<i>A1 Bauteilqualität</i>		<i>Negativ – (GW=0,8)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,1)</i>	<i>GW</i>
	<i>Ebene 1</i>	nicht fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften <input type="checkbox"/>	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften <input type="checkbox"/>	besonders gute, hochwertige Bauteileigenschaften <input type="checkbox"/>	
	<i>Ebene 2</i>	Technische Anforderungen nach RAL-GZ 695 werden nicht eingehalten oder nicht überprüft <input type="checkbox"/>	Technische Anforderungen nach RAL-GZ 695 werden eingehalten <input type="checkbox"/>	Nachweis der Einhaltung der technischen Anforderungen nach RAL-GZ 695 durch Fremdertifizierung <input type="checkbox"/>	
<i>Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren A1 Bauteilqualität</i>					
<i>B konstruktiver Schutz</i>		<i>Negativ – (GW=0,8)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,1)</i>	<i>GW</i>
	<i>Ebene 1</i>	Bauteil schutzlos schädigenden Einflüssen ausgesetzt <input type="checkbox"/>	Bauteil durch konstruktive Maßnahmen geschützt <input type="checkbox"/>	durch Lage im Bauwerk keinen schädigenden Einflüssen ausgesetzt <input type="checkbox"/>	
	<i>Ebene 2</i>	Extreme direkte Bewitterung <input type="checkbox"/>	Normale direkte Bewitterung <input type="checkbox"/>	Indirekte Bewitterung <input type="checkbox"/>	
<i>Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren B konstruktiver Schutz</i>					
<i>C Ergebnis der Bauausführung</i>		<i>Negativ – (GW=0,8)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,1)</i>	<i>GW</i>
	<i>Ebene 1</i>	nicht fach- und normgerecht <input type="checkbox"/>	Fach- und normgerecht <input type="checkbox"/>	Besser als vorgegeben <input type="checkbox"/>	
<i>Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren C Ergebnis der Bauausführung</i>					

Expertendatenblatt	KG 330	Außenwände	Nr.: 1	Seite 2 / 4
<i>Bauteil</i>	334 Außentüren und Fenster			
<i>Bereich</i>	Rahmen und Flügel			
<i>Material</i>	Aluminium-Holz-Komposition			

<i>D interne bauphysikalische Einflüsse</i>		<i>Negativ – (GW=0,8)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,1)</i>	<i>GW</i>
	Ebene 1	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden <input type="checkbox"/>	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden <input type="checkbox"/>	keine schädigenden Einflüsse vorhanden <input type="checkbox"/>	
	Ebene 2	Luftfeuchtigkeit > 70% (feucht) <input type="checkbox"/>	Luftfeuchtigkeit 50-70% (normal) <input type="checkbox"/>	Luftfeuchtigkeit < 50% (trocken) <input type="checkbox"/>	
	Ebene 2	Hohe chemische Belastung z.B. in Labore, Krankenhäuser, Industrie <input type="checkbox"/>	Normale chemische Belastung z.B. Commercial, Einsatz und normaler Haushaltschemikalien <input type="checkbox"/>	Keine chemische Belastung vorhanden <input type="checkbox"/>	
	Ebene 2	besondere Temperaturbedingungen wie z.B. in Kühlhäusern, Industrie, etc. <input type="checkbox"/>	Normale Temperaturbedingungen wie z.B. in Wohn- und Arbeitsklimaverhältnisse <input type="checkbox"/>	Optimale und konstante Temperaturbedingungen <input type="checkbox"/>	
	Ebene 2	häufige Temperaturschwankungen, große Temperaturdifferenzen <input type="checkbox"/>	Seltene Temperaturschwankungen, eher kleine Temperaturdifferenzen <input type="checkbox"/>	keine Temperaturschwankungen <input type="checkbox"/>	

Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren D Interne bauphysikalische Einflüsse

<i>E externe bauphysikalische Einflüsse</i>		<i>Negativ – (GW=0,9)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,05)</i>	<i>GW</i>
	Ebene 1	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden <input type="checkbox"/>	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden <input type="checkbox"/>	keine schädigenden Einflüsse vorhanden <input type="checkbox"/>	
	Ebene 2	Schlechte Luftqualität, z.B. in Ballungsgebiete d. Industrie (hoher SO ₂ -, H ₂ S-, NO _x - Gehalt,...), Küstennähe (hohe Chloridbelastung), Bereiche, die in Hauptwindrichtung solcher Gebiete liegen <input type="checkbox"/>	Mittlere Luftqualität, z.B. dicht besiedelte Gebiete ohne größere Industrieansammlungen <input type="checkbox"/>	Sehr gute Luftqualität z.B. ländliche oder kleinstädtische Gegend <input type="checkbox"/>	
	Ebene 2	Hohes Hagelschlagrisiko <input type="checkbox"/>	Normales Hagelschlagrisiko <input type="checkbox"/>	Geringes Hagelschlagrisiko <input type="checkbox"/>	

Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren E Externe bauphysikalische Einflüsse

<i>F1 Nutzungsart</i>		<i>Negativ – (GW=0,9)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,05)</i>	<i>GW</i>
	Ebene 1	hohe Beanspruchung <input type="checkbox"/>	mittlere Beanspruchung <input type="checkbox"/>	niedrige Beanspruchung <input type="checkbox"/>	

Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren F1 Nutzungsart

Expertendatenblatt	KG 330	Außenwände	Nr.: 1	Seite 3 / 4
<i>Bauteil</i>	334 Außentüren und Fenster			
<i>Bereich</i>	Rahmen und Flügel			
<i>Material</i>	Aluminium-Holz-Komposition			

<i>F2 Nutzung nach Bestimmung</i>		<i>Negativ – (GW=0,9)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,05)</i>	<i>GW</i>
	<i>Ebene 1</i>	Höhere Belastung als geplant <input type="checkbox"/>	Belastung wie geplant <input type="checkbox"/>	Niedrigere Belastung als geplant <input type="checkbox"/>	
<i>Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren F2 Nutzung nach Bestimmung</i>					

<i>G Instandhaltungsqualität</i>		<i>Negativ – (GW=0,8)</i>	<i>Mittel Ø (GW=1,0)</i>	<i>Positiv + (GW=1,1)</i>	<i>GW</i>
	<i>Ebene 1</i>	nicht fachgerecht <input type="checkbox"/>	Fachgerecht <input type="checkbox"/>	besonders sorgfältig und werterhaltend <input type="checkbox"/>	
	<i>Ebene 2</i>	Überschreitung der vorgeschriebenen bzw. empfohlenen Instandhaltungszyklen <input type="checkbox"/>	Einhaltung der vorgeschriebenen bzw. empfohlenen Instandhaltungszyklen <input type="checkbox"/>	Übererfüllung der vorgeschriebenen bzw. empfohlenen Instandhaltungszyklen <input type="checkbox"/>	
	<i>Ebene 2</i>	Kein Wartungsvertrag vorhanden <input type="checkbox"/>	Wartungsvertrag vorhanden <input type="checkbox"/>	Wartungsvertrag vorhanden und Nachweis der Einhaltung <input type="checkbox"/>	
	<i>Ebene 2</i>	Wartungsarbeiten werden von unqualifiziertem Personal ausgeführt <input type="checkbox"/>	Wartungsarbeiten werden von geschultem Personal ausgeführt <input type="checkbox"/>	Wartungsarbeiten werden von besonders qualifiziertem Personal ausgeführt <input type="checkbox"/>	
<i>Durchschnittswert Gewichtungsfaktoren E Externe bauphysikalische Einflüsse</i>					

<i>Durchschnittswerte der Gewichtungen</i>	<i>A1 Bauteilqualität</i>	
	<i>A2 Materialkombination</i>	---
	<i>B konstruktiver Schutz</i>	
	<i>C Ergebnis der Bauausführung</i>	
	<i>D interne bauphysikalische Einflüsse</i>	
	<i>E externe bauphysikalische Einflüsse</i>	
	<i>F1 Nutzungsart</i>	
	<i>F2 Nutzung nach Bestimmung</i>	
	<i>G Instandhaltungsqualität</i>	

<i>Korrekturfaktor (KF)</i>	$KF = A1 * B * C * D * E * F1 * F2 * G$	<i>KF =</i>	
-----------------------------	---	-------------	--

<i>Rechnerische Lebensdauer [Jahre]</i>	$LD = \text{Referenzlebensdauer} * KF$	<i>LD =</i>	
---	--	-------------	--

<i>Bestandsbau</i>	$\text{Restlebensdauer} = \text{Rechnerische Lebensdauer} - \text{bisherige Lebensdauer}$	
--------------------	---	--

<i>Empfehlungen, Normen, Richtlinien</i>	RAL-GZ 695		
--	------------	--	--

Abbildung 22 verdeutlicht die Einschränkung des Entscheidungsspielraums der Anwender mit Hilfe des Modellablaufs. Die grün markierten Schritte werden hiernach von den Fachexperten im Rahmen der Expertendatenblätter vorgegeben, sodass sich die Freiheit des Modellanwenders auf die Zuordnung zu den drei Kategorien der entsprechenden Bewertungskriterien und die Ermittlung des daraus resultierenden Korrekturfaktors begrenzt.

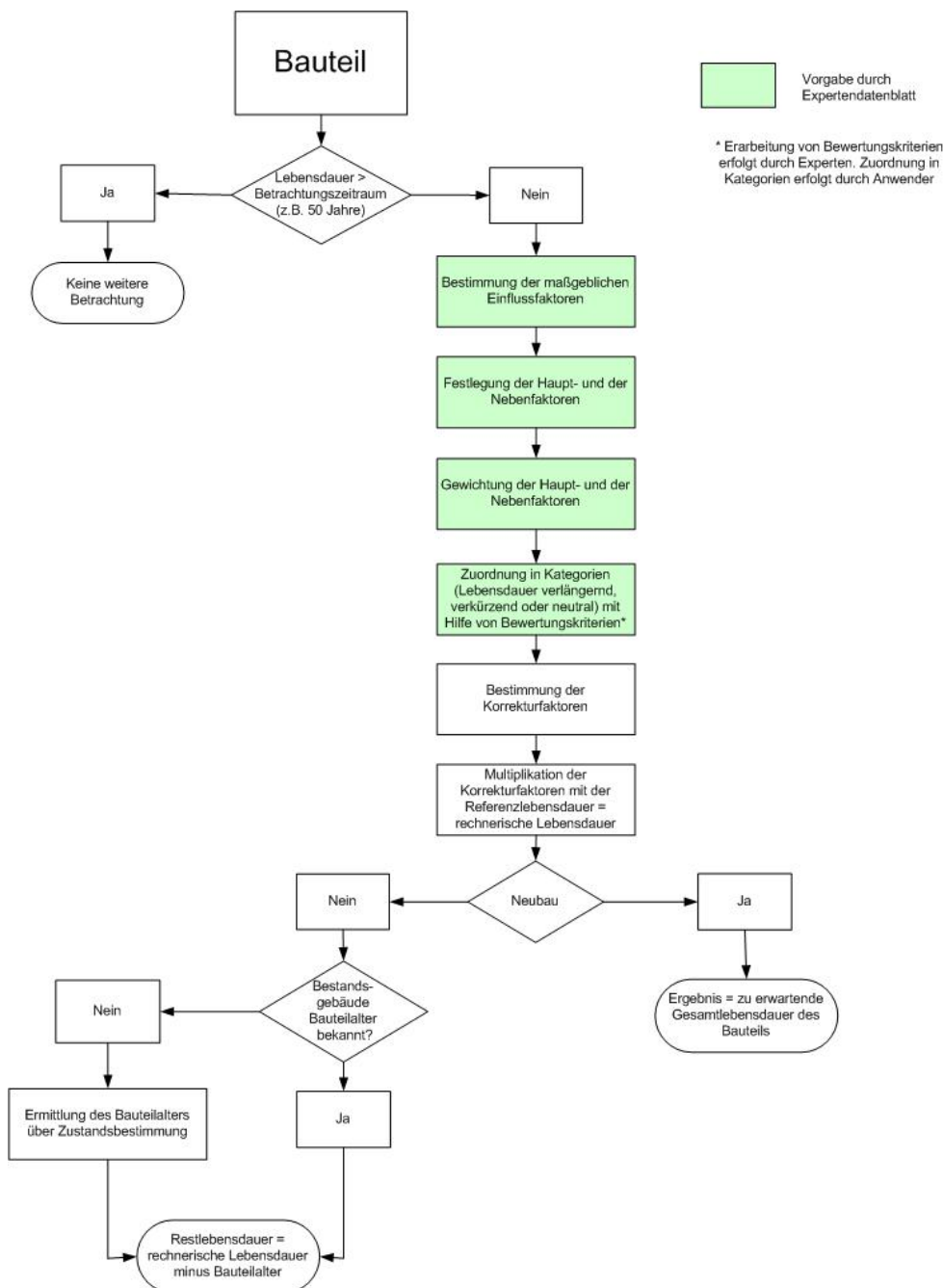


Abbildung 22: Einschränkung des Entscheidungsspielraums der Anwender

8 Relevanz für das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen

Die realitätsnahe Berechnung der Lebensdauer eines Bauteils, hat für das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen eine maßgebliche Bedeutung. Die Bauteillebensdauer bestimmt die Anzahl der Austauschzyklen über die gesamte Nutzungsdauer eines Gebäudes und stellt somit eine zentrale Eingangsgröße für die Berechnung der Lebenszykluskosten und für die Ökobilanzierung dar. Aussagefähige LCC- und LCA - Betrachtungen sind nur auf Grundlage realitätsnaher Lebensdauern möglich, da diese das Rechenergebnis direkt beeinflussen.

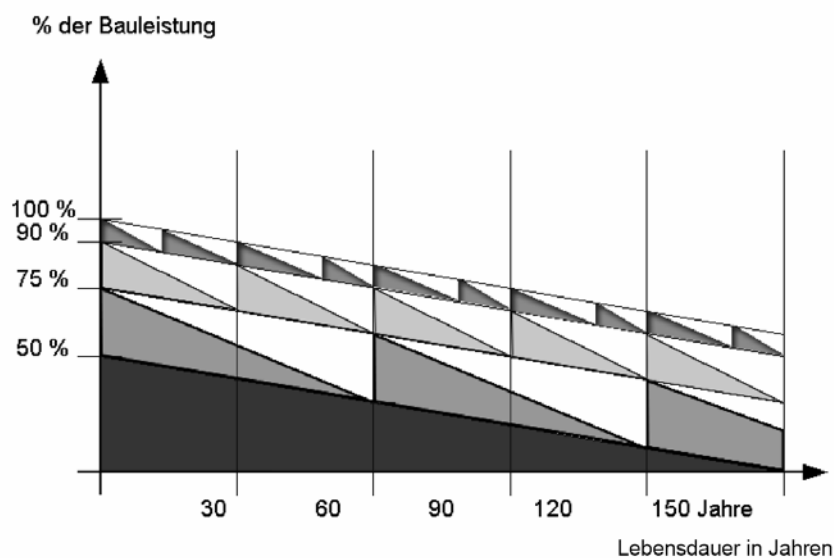


Abbildung 23: Erneuerungszyklen von Bauteilen mit unterschiedlichen Lebensdauern
[ArPf04]

Durch die praxisgerechte Berücksichtigung der vorliegenden Umweltbedingungen, ermöglicht das entwickelte Modell eine wesentlich genauere Berechnung der tatsächlichen Lebensdauer eines Bauteils als bisher. Abbildung 24 verdeutlicht, dass sich mit Hilfe des Modells im Vergleich zu bisherigen, pauschalen und sehr subjektiven Schätzungen, zum einen die Genauigkeit und zum anderen die Transparenz und die Überprüfbarkeit der verwendeten Lebensdauern erhöht, wodurch die Anzahl der erforderlichen Austauschzyklen wesentlich genauer bestimmt werden kann. In Zukunft gilt es, das entwickelte Modell mit „Leben“ zu

füllen. Also für alle relevanten Bauteile die Haupt- und die Nebenfaktoren zu bestimmen und die jeweiligen Gewichtungen festzulegen. Aufgrund der enormen Anzahl von Bauteilen eines Gebäudes und dem damit verbundenen Arbeitsaufwand ist eine Umsetzung des Modells in die Praxis in zwei Schritten zielführend. In einem ersten Schritt werden zunächst die wichtigsten Bauteile und die wichtigsten Einflussfaktoren bearbeitet. Bauteile und Faktoren über die keine genaueren Kenntnisse vorliegen, könnten zunächst mit dem Faktor „eins“ bewertet werden. In einem zweiten Schritt sollte dann sukzessiv für alle relevanten Bauteile, alle Einflussfaktoren bestimmt und gewichtet werden. Ein Vorschlag hinsichtlich der relevanten Bauteile wird in Kapitel 9.2 gemacht. Mit Hilfe der vorgeschlagenen Eingrenzung der Bauteile, ist es möglich das Modell zeitnah in der Praxis anzuwenden.

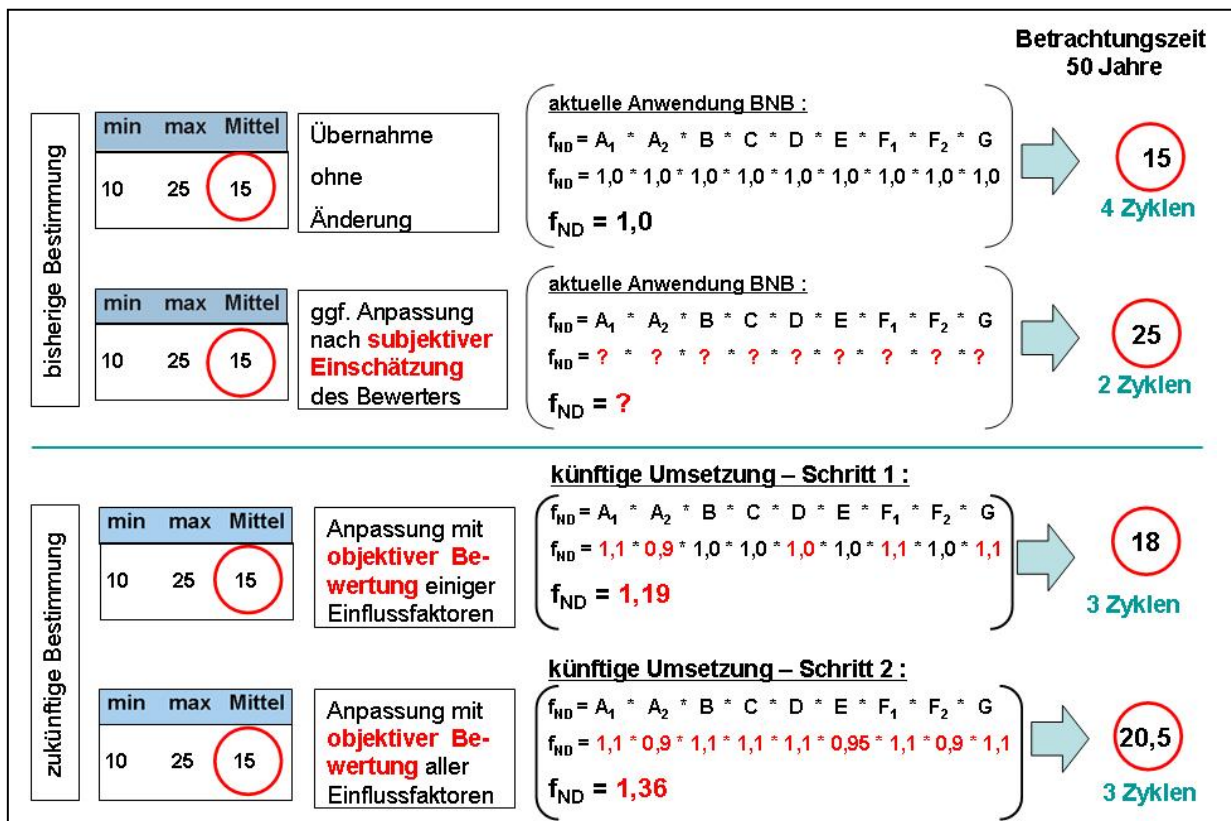


Abbildung 24: aktuelle und zukünftige Bestimmung von Bauteillebensdauern

Durch die genauere Berechnung der tatsächlichen Lebensdauer, leistet das Modell einen entscheidenden Beitrag zur Weiterentwicklung und Präzisierung der bisherigen Lebenszyklusbetrachtungen im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung. Die Anzahl der Austauschzyk-

len kann dadurch realitätsnah ermittelt werden, wodurch die Aussagekraft und die Transparenz bzw. die Vergleichbarkeit der LCC- und LCA - Bewertungen maßgeblich verbessert wird.

Darüber hinaus stellt die vorliegende Forschungsarbeit im Rahmen des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen eine wichtige Grundlage für den noch zu entwickelnden Kriteriensteckbrief „Dauerhaftigkeit“ dar. Das Kriterium der Dauerhaftigkeit soll bei der nachhaltigen Auswahl von Bauelementen, während der Planungsphase von Neubau- aber auch Umbau- oder Instandsetzungsprojekten unterstützen. Um Kosten und Ressourcen zu sparen, sollte die Lebensdauer der entsprechenden Bauteile folglich auf die angesetzte Nutzungsdauer des gesamten Gebäudes abgestimmt und die Anzahl der Austauschzyklen möglichst minimiert werden. Hierfür sind sowohl bauteil- und materialspezifische Kenntnisse als auch Wissen über Lebensdauer verlängernde bzw. verkürzende Einflussfaktoren notwendig. In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden sämtliche Lebensdauer beeinflussenden Faktoren vorgestellt und diskutiert. Für die Entwicklung des Modells wurden bereits die neun wichtigsten Einflussfaktoren herausgearbeitet und sinnvoll strukturiert. Die Bewertungskriterien, die im Rahmen der Expertendatenblätter noch erarbeitet werden sollten, könnten gezielt Auskunft darüber geben, wie die Lebensdauer eines Bauteils entsprechend der Gebäudenutzungsdauer verlängert werden könnte, um dadurch einen zusätzlichen Austauschzyklus zu vermeiden. Durch die transparente und nachvollziehbare Berechnung der Lebensdauer, könnte das Modell einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung des Kriteriensteckbriefes „Dauerhaftigkeit“ im Rahmen der Nachhaltigkeitsbewertung leisten.

Umgekehrt könnten die im Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen bereits erarbeiteten Kriteriensteckbriefe für die Nachweisführung der jeweiligen Einflussfaktoren, im Rahmen der Lebensdauerberechnung herangezogen werden. Die nachfolgende Tabelle gibt einen ersten Überblick darüber, welche Kriteriensteckbriefe für die Bewertung der jeweiligen Einflussfaktoren in Frage kommen könnten, wobei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird.

Tabelle 16: Kriteriensteckbriefe zur Nachweisführung der jeweiligen Einflussfaktoren

Einflussfaktoren	Kriteriensteckbriefe	Nachweise
Ergebnis der Bauausführung	Prozessqualität Qualität der ausführenden Firmen / Präqualifikation Qualitätssicherung der Bauausführung	Präqualifikation von Unternehmen, Qualitätskontrolle
Externe bauphysikalische Einflüsse	Risiken am Mikrostandort Verhältnisse am Mikrostandort	Erdbeben-, Sturm-, Lawinen- und Hochwasser-Risiken; Außenluftqualität
Interne bauphysikalische Einflüsse	Thermischer Komfort im Winter Thermischer Komfort im Sommer Innenraumhygiene Innenraumluftqualität Wärme- und Feuchteschutztechnische Qualität der Gebäudehülle“	Operative Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Mikrobiologische Situation (Schimmelbefall), Tauwasser
Instandhaltungsqualität	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers Prozessqualität	Zugänglichkeit

9 Umsetzung in die Praxis

Die Entwicklung des Modells ist ein erster Schritt in Richtung einer transparenten und belastbaren Berechnung von Bauteillebensdauern. Um das Modell tatsächlich in der Praxis anwenden zu können, ist eine Verbesserung der notwendigen Informationsgrundlage und eine Aufbereitung von material- und bauteilspezifischem Fachwissen dringend erforderlich. In Abbildung 25 sind die notwendigen Schritte zur Systematisierung der Lebensdauerberechnung in einer Übersicht grafisch dargestellt.

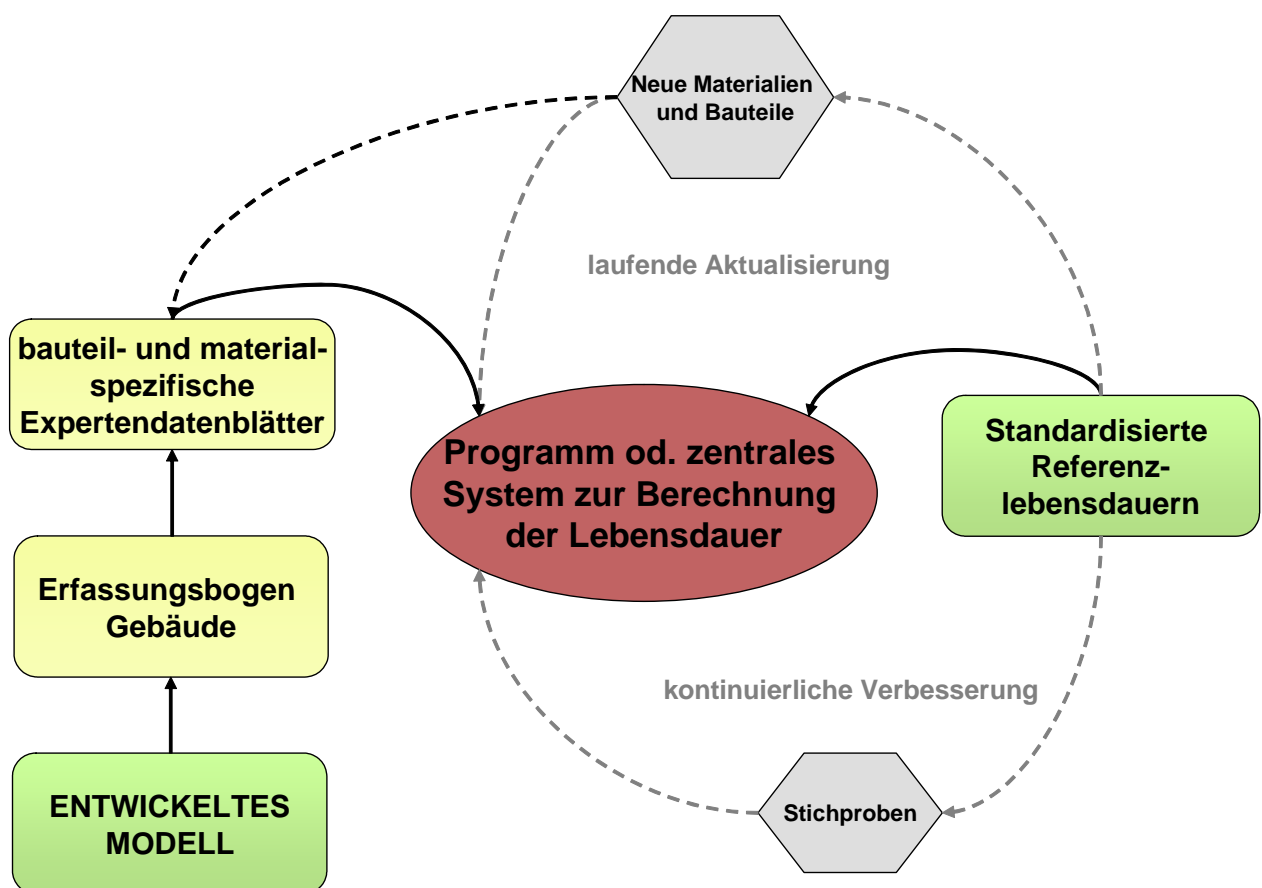


Abbildung 25: notwendige Schritte zur Berechnung von Lebensdauern in der Praxis

Zur Berechnung der Lebensdauer mit Hilfe des gewählten Faktorenansatzes sind zwei wesentliche Eingangsgrößen erforderlich. Dies sind zum einen die Referenzlebensdauer von Bauteilen und zum anderen die Einflussfaktoren und deren Gewichtung, die bauteil- und ma-

terialspezifisch in Zusammenarbeit mit Fachexperten in Form von sogenannten Expertendatenblättern erarbeitet werden sollten.

Die in Abbildung 25 dargestellten Punkte werden in nachfolgenden Kapiteln jeweils kurz erläutert.

9.1 Referenzlebensdauern

In Kapitel 6.1 wurden die Herausforderungen hinsichtlich der Referenzlebensdauern bereits ausführlich erläutert. Eine sehr umfassende Liste mit der Angabe von Referenzlebensdauern von Bauteilen wird derzeit im Zuge der Überarbeitung des Leitfadens „Nachhaltiges Bauen“ erstellt. Aufgrund der starken Abhängigkeit der Lebensdauer eines Bauteils von dessen Material und der Konstruktionsart, sind die Angaben diesbezüglich sehr stark differenziert. Aussagen über sonstige Randbedingungen werden derzeit jedoch nicht gemacht. Um die Aussagekraft und die Vergleichbarkeit der Lebensdauerangaben zu steigern, ist es in Zukunft erforderlich die Randbedingungen, unter denen die Werte zu erheben sind, zu standardisieren.

Um zu gewährleisten, dass die Angaben zu den Lebensdauern von Bauteilen auch den tatsächlichen Werten in der Praxis entsprechen, sollten die Werte durch regelmäßige Stichproben überprüft und kontinuierlich angepasst bzw. verbessert werden.

Aufgrund der rasanten Weiterentwicklung sowohl im Bereich der Baustoffe als auch im Bereich der Bauteile, insbesondere auch bei den technischen Anlagen, ist es darüber hinaus erforderlich die Lebensdauerangaben laufend um neue Materialien und Bauelemente zu ergänzen und zu aktualisieren. Hierbei kann zunächst auf die Herstellerangaben zurückgegriffen werden. Sobald jedoch erste Erfahrungswerte vorliegen, sollten die Werte überprüft und angepasst werden.

9.2 Erarbeitung von Expertendatenblätter

Die Diskussion in Kapitel 7.5 verdeutlicht, dass eine aussagekräftige und transparente Berechnung von Bauteillebensdauern nur möglich ist, wenn der individuelle Entscheidungsspielraum der potenziellen Anwender des Verfahrens entsprechend begrenzt wird. Zur Umsetzung des Verfahrens in die Praxis müssen somit klare Vorgaben hinsichtlich der wirkenden Einflussfaktoren und deren Gewichtung sowie zu den Bewertungskriterien ausgearbeitet

und dann den Anwendern zur Verfügung gestellt werden. Hierfür stellt das in Kapitel 7.5 vorgestellte Expertendatenblatt ein sinnvolles Hilfsmittel dar.

Ein nächster wichtiger Schritt in Richtung „Praxisreife“ ist somit die sukzessive Erarbeitung von Expertendatenblättern. Um den Aufwand hierfür auf ein umsetzbares Maß zu beschränken, sollten aus der Vielzahl der Bauteile zunächst die relevanten Bauteile herausgefiltert werden. Zur Identifikation von so genannten Referenzbauteilen wurden die in Kapitel 6.6 erläuterten Managementinstrumente zur Zustandsbewertung und für die mittel- und langfristige Instandhaltungskostenplanung sowie zur Bewertung der Energieeffizienz herangezogen und mit der in nachfolgender Abbildung dargestellten Realdatenanalyse aus dem Forschungsprojekt BEWIS hinsichtlich der instandhaltungskostenintensivsten Bauteile abgeglichen.

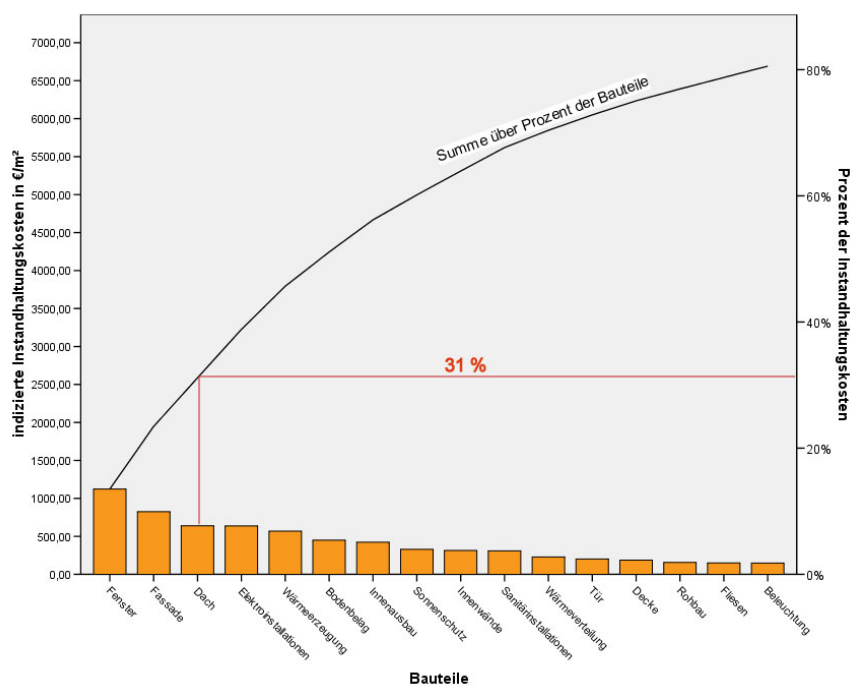


Abbildung 26: Instandhaltungskostenintensivste Bauteile [Bahr08]

Die durchgeführten Recherchen haben ergeben, dass die in Tabelle 17 dargestellten Bauteile eine wichtige Größe in Lebenszykluskosten- und Nachhaltigkeitsbetrachtungen darstellen. Vor diesem Hintergrund ist es zielführend, dass sich alle weiteren Schritte zur Umsetzung des Modells in die Praxis, zunächst auf diese Bauteile konzentrieren. Die Systematik richtet sich nach den Kostengruppen der DIN 276.

Tabelle 17: Relevante Bauteile, Gliederung nach DIN 276

Kostengruppen Ebene 2		Kostengruppen Ebene 3	
330	Außenwände	334	Außentüren und -fenster
		335	Außenwandbekleidungen
		338	Sonnenschutz
340	Innenwände	344	Innentüren und -fenster
		345	Innenwandbekleidungen
350	Decken	352	Deckenbeläge
360	Dächer	363	Dachbeläge
410	Abwasser, Wasser, Gas		
420	Wärmeversorgungsanlagen		
430	Lufttechnische Anlagen		
440	Starkstromanlagen		
450	Fernmeldeanlagen		
460	Förderanlagen		

Die ausgewählten Bauteile decken alle Beanspruchungsgruppen eines Gebäudes ab (vgl. Kapitel 6.5.2), so dass alle Einflussfaktoren zum Tragen kommen. Zur beispielhaften Anwendung des entwickelten Modells auf übergeordneter Gebäudeebene, sind in der Anlage die wirkenden Faktoren für die ausgewählten Bauteile jeweils gewichtet dargestellt (s. Anhang B). So weit möglich, ist angegeben, ob der jeweilige Faktor grundsätzlich einen Einfluss auf die Lebensdauer eines Bauteils ausübt oder nicht, wobei im ersten Fall zwischen Haupt- und Nebenfaktor differenziert wird. Falls keine grundsätzliche Annahme getroffen werden kann, sind die Faktoren mit einer 1,0 bewertet, wobei sämtlich Angaben als Diskussionsgrundlage zu verstehen sind.

Gemäß der Zusammenstellung der Lebensdauerangaben von Bauteilen, die derzeit vom Bund im Zuge der Überarbeitung des Leitfadens „Nachhaltiges Bauen“ überarbeitet wird, setzen sich die ausgewählten Referenzbauteile aus unterschiedlichen Bauelementen zusammen, die sich wiederum in Art und Material unterscheiden. So setzt sich das Bauteil Fenster zum Beispiel aus folgenden Elementen zusammen: Beschläge, Dichtungen, Verglasung, Rahmen und Flügel sowie Sonnenschutz, wobei diese jeweils in unterschiedliche Materialien weiter differenziert sind. Aufgrund des enormen Aufwandes, ist es im Rahmen der Modellanwendung jedoch nicht zielführend alle untergeordneten Bauelemente zu betrachten. Um die Anzahl der Bauelemente insgesamt möglichst gering zu halten, sollten für die aus-

gewählten Referenzbauteile weitere Ausschlusskriterien herangezogen werden. Ein solches Kriterium könnte zum Beispiel die durchschnittliche Lebensdauer der Elemente darstellen. Aufgrund des festgelegten Betrachtungszeitraumes von 50 Jahren, kann die Anzahl der Bauteile in einem ersten Schritt um alle Bauteile mit einer Lebensdauer von über 50 Jahren reduziert werden. Darüber hinaus könnten gegenseitige Abhängigkeiten von Bauteilen untereinander, zu einem weiteren Ausschluss von Bauteilen führen, indem jeweils nur das übergeordnete Bauteil bzw. das kurzlebigste oder instandhaltungsintensivste Bauteil betrachtet wird. Hat die Verglasung eines Fensters, zum Beispiel eine längere Lebensdauer als der Fensterrahmen, so wird die Scheibe beim Austausch des Rahmens trotzdem mit ausgetauscht, da sie fest mit dem Rahmen verbunden ist. In diesem Fall ist die Scheibe Bestandteil des übergeordneten Bauteils „Rahmen und Flügel“ und kann somit vernachlässigt werden. Darüber hinaus können Bauteile vernachlässigt werden, die im Rahmen der Instandhaltung nur sehr geringe Material- und Aufwandskosten zur Folge haben. Am Beispiel des Fensters sind dies zum Beispiel die Beschläge und Dichtungen. Es handelt sich hierbei um „Verschleißmaterial“, das im Bedarfsfall durch eigenes Personal (z.B. Hausmeister) oder im Rahmen einer Wartung ausgetauscht wird. Diese „Kleinteile“ verursachen vernachlässigbare Material- und Aufwandskosten und erfordern keine aufwendigen Vorplanungen zur Instandhaltung, so dass sie im bei der Berechnung von Bauteillebensdauern vernachlässigt werden können.

Ausschlusskriterien zur Reduktion von Bauteilen, könnten wie folgt lauten:

- Die mittlere Lebensdauer eines Bauteils ist größer als der Betrachtungszeitraum (50 Jahre).
- Das Bauteil ist Bestandteil eines übergeordneten Bauteils.
- Die Instandhaltung des Bauteils verursacht vernachlässigbare Material- und Aufwandskosten.

Es ist zu bemerken, dass es sich hierbei um einen ersten Vorschlag zur Reduktion der Anzahl von Bauteilen handelt, der jederzeit ergänzt werden kann.

Mit Hilfe der Vorauswahl von Referenzbauteilen in Tabelle 17 und der oben beschriebenen Ausschlusskriterien von Bauelementen kann die Anzahl der zu betrachtenden Bauteile zunächst deutlich reduziert werden. Hierdurch konzentriert sich die Erarbeitung von Experten-datenblättern zunächst auf die wichtigsten Bauteile, so dass die Anwendung des Modells in einer Pilotphase anhand der wichtigsten Bauteile zunächst getestet werden kann.

Grundsätzlich sollte ein solches Expertendatenblatt nachfolgende Informationen enthalten:

- Allgemeine Angaben, wie Bezeichnung, Material und laufende Nummer
- Angaben zu den Lebensdauern (minimale, maximale und mittlere Lebensdauer)
- Angaben zu den relevanten Einflussfaktoren
- Einteilung in Haupt- und Nebenfaktoren
- Gewichtung der Haupt- bzw. Nebenfaktoren
- standardisierte und eindeutig festgelegte Bewertungskriterien für die jeweiligen Einflussfaktoren

Darüber hinaus könnten dem Datenblatt verschiedene Informationen angehängt werden. Dies könnten zum Beispiel sein:

- DIN-Normen, Richtlinien, Herstellerempfehlungen, die als Bewertungsgrundlage herangezogen wurden
- Checklisten für Instandhaltungsmaßnahmen
- Terminpläne für Instandhaltungsmaßnahmen
- Dokumentation bisheriger Maßnahmen, Besonderheiten etc.

Die Idee einer solchen Datenblattsammlung ist in nachfolgender Abbildung grafisch dargestellt.

Bauteilmaterial

Lfd.Nr. 514 Weichholz, behandelt

Lfd.Nr. 515 Stahl, verzinkt und beschichtet

Lfd.Nr. 516 Kunststoff

Lfd.Nr. 517 Aluminium-Holzkomposit

Lebensdauer: min/max/mittel: 40/ 60/ 50 Jahre

Einflussfaktoren:

Einbaufahrer	Malkochturm	Ionenkathode	Ergänzungsbauung	Kerndicke	elast. ifbae	Nagelst	Nagelstpaarung	Inhaltsstoffe	Inhaltsstoffrück
x	x	-	x	x	-	x	x	x	x

Haupteinflussfaktoren: A1, C (Gewichtung 0,9; 1,0; 1,1)
 Nebeneinflussfaktoren: D, G, F1, F2 (Gewichtung: 0,95; 1,0; 1,05)
 Bewertungskriterien:

A Bauteil	-(0,8)	Ø (1,0)	+(1,2)
A 1 Bauteilqualität	nicht fach- u. anforderungsgerechte Eigensch.	fach- und anforderungsgerechte Bauteileigenschaften	besonders gute hochwertige Bauteileigensch.
	eine oder mehrere unter Ø genannte Normen werden nicht erfüllt	Holzschutz und Grundierung nach DIN 68 800 Teil 3 - Prüfung nach DIN EN 113 u. EN 153 wird bestanden - DIN 52452-4 Prüfung von Dichtstoffen für das Baueisen: Verträglichkeit der Dichtstoffe – Teil 4: Verträglichkeit mit Beschichtungssystemen - DIN 68121-1 Holzprofile für Fenster u. Fenestüren – Teil 1: Maße, Qualitätsanforderungen, DIN 68121-2 – Teil 2: Allgemeine Grundsätze	die Bauteilqualität ist besser als von den unter Ø aufgeführten gefordert
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____			
C Bauausführung	-(0,8)	Ø (1,0)	+(1,2)
Ergebnis der Ausführung	nicht fach- und normgerecht	fach- und normgerecht	besser als vorgegeben
	Einbauergebnis weist Mängel auf, wurde nicht nach dem Leitfaden zur Montage der RAL-Gütegemeinschaft „Fenster und Haustüren“ ausgeführt	Einbau erfolgte nach dem Leitfaden zur Montage der RAL-Gütegemeinschaft „Fenster und Haustüren“	zusätzliche, besonders materialschonende/ schützende Techniken wurden angewandt, sorgfältige Qualitätskontrolle, Auswahl besonders hochwertiger Nebenbaustoffe (Befestigungsmittel, Dichtstoffe, etc.), u.ä.
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _ _ _ _			
D Interne Bedingungen	-(0,9)	Ø (1,0)	+(1,1)
interne Einflüsse	schädigende Einflüsse in hohem Maß vorhanden	schädigende Einflüsse nur in geringem Maß vorhanden	keine schädigenden Einflüsse vorhanden
Durchschnittswert der Gewichtungsfaktoren: _____			

Anhang:
 DIN XY
 Leitfaden XY
 ...

Lebensdauerangaben

zu bewertende Faktoren

Haupt- und Nebenfaktoren

Bewertungskriterien

Anlagen zu den Kriterien

Gewichtung

Abbildung 27: Sammlung von Expertendatenblättern

Durch die Festlegung von Bewertungskriterien sowie durch die Vorgabe der relevanten Einflussfaktoren und deren Gewichtung und die Angabe der zu verwendenden Referenzlebensdauer in den Expertendatenblättern ist eine schnelle, transparente und objektive Ermittlung der zu erwartenden Lebensdauer eines Bauteils möglich, die darüber hinaus auch eine Vergleichbarkeit der Berechnungen ermöglicht.

Jedoch ist offensichtlich, dass zur Erstellung eines solchen Expertendatenblattes sowohl auf Material- als auch auf Bauteilebene enormes Fachwissen erforderlich ist. Vor diesem Hintergrund ist es dringend erforderlich bei der Erarbeitung der Datenblätter die Experten der jeweiligen Branche hinzuzuziehen.

Denkbar ist es, in diesem Zusammenhang sogenannte Experten-Workshops oder Arbeitstreffen zu veranstalten und in diesem Rahmen die Einflussfaktoren und deren Gewichtung, sowie die entsprechenden Bewertungskriterien gemeinsam zu erarbeiten bzw. abzustimmen. Möglich wäre es auch, Experteninterviews oder Umfragen durchzuführen und aus den Ergebnissen hieraus das Expertendatenblatt zu erstellen.

Zur Vorbereitung und Unterstützung der aufgeführten Aktivitäten, könnten bereits existierende Bewertungssysteme, wie zum Beispiel das „Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen“ ein wichtiges Hilfsmittel darstellen. In Kapitel 8 wurde bereits aufgezeigt, inwiefern dort behandelte Kriterien als Orientierungshilfe oder als Bewertungsgrundlage für die Ausarbeitung der Bewertungskriterien der jeweiligen Einflussfaktoren herangezogen werden können.

9.3 Erstellung eines Gebäudeerfassungsbogen

Zur Dokumentation der vorliegenden Gebäudebedingungen ist es aufgrund des großen Informationsdefizits insbesondere bei Bestandsgebäuden wichtig, initial eine Vor-Ort-Begehung durchzuführen. Zur Unterstützung der Gebäudebegehung sollte dem Anwender ein Hilfsmittel bereitgestellt werden, das es ermöglicht, die wichtigen Informationen effizient und zuverlässig zu dokumentieren. Vor diesem Hintergrund sollte zur Anwendung des Verfahrens in der Praxis in einem nächsten Schritt ein Gebäudeerfassungsbogen erarbeitet werden.

Ein Gebäudebegehungsbogen, der es ermöglicht die vorliegende Situation durch einfaches Ankreuzen potenzieller Möglichkeiten zu erfassen, könnte ein solches Hilfsmittel sein. Mit einem solchen Erfassungsbogen sollten Fragen hinsichtlich des Gebäudes im Allgemeinen sowie insbesondere zu den jeweiligen Bauteilen und den vorliegenden Einflussfaktoren ge-

klärt werden. Mit Hilfe der gesammelten Informationen, sollten nach der Gebäudebegehung alle relevanten Fragen hinsichtlich der Berechnung von Bauteillebensdauern, beispielsweise ob das Bauteil konstruktiv geschützt ist, oder aus welchem Material es besteht, geklärt sein.

Zur Verdeutlichung ist in Abbildung 28 die grundsätzliche Idee des Gebäudeerfassungsbogens beispielhaft dargestellt.

Gebäudeerfassungsbogen

Liegenschaft		Baujahr:	Datum:
Adresse:			
Ansprechpartner:			
Kontaktdaten:			
Nutzungsart			
Wohngebäude	<input type="checkbox"/>	Hotelgebäude	<input type="checkbox"/>
Büro- und Verwaltungsgebäude	<input type="checkbox"/>	Gewerbegebäude	<input type="checkbox"/>
Schulgebäude	<input type="checkbox"/>	Sonstige	<input type="checkbox"/>
Grundriß			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>			
Himmelsrichtung			
In welche Richtung zeigt Gebäudeseite A?			
<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SO	
<input type="checkbox"/> S	<input type="checkbox"/> SW	<input type="checkbox"/> NW	
Bauteil Fenster			
Bereich	Material	Prozentualer Anteil	
Rahmen	Aluminium	<input type="checkbox"/>	
	Kunststoff	<input type="checkbox"/>	
	Hartholz behandelt	<input type="checkbox"/>	
	Weichholz behandelt	<input type="checkbox"/>	
	Aluminium-Holz-Komp	<input type="checkbox"/>	
	Sonstige	<input type="checkbox"/>	

Abbildung 28: Beispiel Gebäudeerfassungsbogen

10 Quellen

- [Aach09] Aachener Bausachverständigentage 2008: Bauteilalterung - Bauteilschädigung - Typische Schädigungsprozesse und Schutzmaßnahmen; Oswald, Rainer; AlBau; Wiesbaden: Vieweg + Teubner, 2009
- [Alca00] Alcalde Rasch, Alejandro: *Erfolgspotential Instandhaltung: Theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements*. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 2000.
- [ArPf04] Arlt, Joachim; Pfeiffer, Martin; Lebensdauer der Baustoffe und Bauteile zur Harmonisierung der wirtschaftlichen Nutzungsdauer im Wohnungsbau F2464, Forschungsbericht F815 Juni 2004, Institut für Bauforschung e. V. Hannover; Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2004
- [Bahr08] Bahr, Carolin; „*Realdatenanalyse zum Instandhaltungsaufwand öffentlicher Hochbauten – Ein Beitrag zur Budgetierung*“, Doktorarbeit an der Fakultät für Bauingenieure-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe (TH). Veröffentlicht in der Karlsruher Reihe Bauwirtschaft, Immobilien und Facility Management, Karlsruhe, 2008
ISBN 978-3-86644-303-7
- [BAKA06] Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung e.V.: Bauen im Bestand: Schäden, Maßnahmen und Bauteile - Katalog für die Altbauerneuerung; Köln: Bundesarbeitskreis Altbauerneuerung e.V., Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2006
- [Beck00] Beckert, Frauke: Werkstoffe im Bauwesen: Kunststoffe; Vorlesungsunterlagen; Universität Stuttgart, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, 2000
- [Blai99] Blaiich, Jürgen: Bauschäden: Analyse und Vermeidung
- [BMBa88] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau: Zweiter Bericht über Schäden an Gebäuden: Zwischenzeitliche Veränderungen und Erfolge bei Schadensverbeugung; 1988
- [BMVBS09] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Nutzungsdauern von Bauteilen; Zwischenauswertung vom 01.09.2008 zur Überarbeitung der Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen des Hochbaus für den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“. Internetpräsentation: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/nutzungsdauern-von-bauteilen.html>
- [Buer04] Buerger-Goodwin, Ebba: Vergleichende Studie zur Erneuerung, Unterhalt und Betrieb von Bestandsgebäuden auf Bauteilebene, Diplomarbeit an der Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Architektur, Institut für Industrielle Bauproduktion, 2004
- [Cacc04] Caccavelli Dominique: INVESTIMMO – A decision-making tool for long-term efficient investment strategies in housing maintenance and refurbishment; Final Technical Report, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), Département Développement Durable, 2004
- [ChMe99] Christen, Kurt; Meyer-Meierling, Paul: Optimierung von Instandsetzungszyklen und deren Finanzierung bei Wohnbauten: Forschungsbericht. Zürich: vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1999

-
- [DIN03] DIN 31051: *Grundlagen der Instandhaltung*, Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, 2003, Berlin
- [EOTA99] European Organisation for Technical Approvals: Assessment of working life of products; Guidance Document 003; Edition December 1999
- [epiqrXX] Fraunhofer Institut für Bauphysik; Handbuch epiqr; Fraunhofer Institut für Bauphysik
- [ExFHH08] Externbrink, Dietrich; Felske, Karsten; Harten, Thomas; Hartwig, Joost; Jung, Herbert; Jung-König, Ralf; Kortmann, Konstantin; Kühn, Katrin; Lindner, Maik; Maczieck, Thomas; Mrotzek, Peter; Speier, Norbert; Stark, Thomas: *elive: Lebenszyklusbetrachtung und Optimierung von Instandsetzungsprozessen im Wohnungsbau* /Manfred Hegger, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008
- [GäGS05] Gänßmantel, Jürgen; Geburtig, Gerd; Schau, Astrid: *Sanierung und Facility Management: Nachhaltiges Bauinstandhalten und Bauinstandsetzen*; Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag, 2005
- [GEFÖB05] Gesellschaft für ökologische Bautechnik Berlin mbH: *Instrumente zur qualitätsabhängigen Abschätzung der Dauerhaftigkeit von Materialien und Konstruktionen: Teil 1: Aufgabenstellung und Methode in Weiterentwicklung von Instrumenten für eine Nachhaltige Baupolitik*; Forschungsprojekt Nr. 10.06.03 - 03.125; Berlin, 2005
- [GrRW97] Gredig, Jürg; Rüst, Bernhard; Wright, Martin: *Diagnosemethode für die Unterhalts- und Erneuerungsplanung verschiedener Gebäudearten, Schlussbericht Forschungsprojekt*; Zentralschweizerisches Technikum Luzern, Ingenieurschule HTL; Pfäffikon, 1997
- [GrHü03] Graubner, Carl-Alexander; Hüske, Katja: *Nachhaltigkeit im Bauwesen: Grundlagen - Instrumente - Beispiele*; Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2003
- [Grun80] Grunau, Edvard: *Lebenserwartung von Baustoffen - Funktionsdauer von Baustoffen und Bauteilen; Wirtschaftlichkeit durch langlebige Baustoffe*; Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1980
- [Hamp86] Hampe, Karl-Heinz: *Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Konstruktionen, Baustoffe und Ausstattung bei sonst gleichen Gebäuden auf die Herstellungs- und Nutzungskosten, im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, bearbeitet im Institut für Bauforschung e.V., Stuttgart: IRB-Verlag, 1986*
- [HeFOS89] Hermann, Heidemarie; Fangohr, Hanna; Oehler, Wolfgang; Scholland, Reinhard: *Optimierung von Investitions- und Instandhaltungskosten: Endbericht; Forschungsarbeit; Bauforschungsberichte des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau Hamburg, IRB Verlag; 1989*
- [HeKI04] Henning, Peter; Klaproth, Thomas: *Optimierung von Prozessabläufen - Integration der Wartung und Instandhaltung von Gebäuden in der Planungsphase. In: Facility-Management; 05.2004*
- [Hell06] Hellerforth, Michaela: *Handbuch Facility Management für Immobilienunternehmen*, Berlin: Springer-Verlag, 2006
- [HePZD07] Helmbrecht, Horst; Pfeiffer, Martin; Zedler, Julia; Damm, Hans-Thomas: *Grundlagen und Randbedingungen der Nutzungskostenplanung im Wohnungsbau. Abschlussbericht; Institut für Bauforschung e.V., Stuttgart: IRB-Verlag, 2007*
- [Herz05] Herzog, Kati: *Lebenszykluskosten von Baukonstruktionen: Entwicklung eines Modells und einer Softwarekomponente zur ökonomischen Analyse*
-

- und Nachhaltigkeitsbeurteilung von Gebäuden; Dissertation, TU Darmstadt, Eigenverlag, Darmstadt, 2005
- [Hom99] Homann, Klaus: „Instandhaltungsmanagement von Gebäuden“ in Handbuch Corporate Real Estate Management; herausgegeben von Schulte, Karl-Werner und Schäfers, Wolfgang; Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 1998
- [vHau99] von Hauff, Michael: Das große Verwalterhandbuch: Wohnungseigentum sicher managen, Freiburg: Haufe Verlagsgruppe, 1999
- [IBMB] Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz: Werkstoffverhalten; Umdruck zur Vorlesung; TU Braunschweig; Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz; Fachgebiet Baustoffe und Stahlbeton
- [IEMB08] Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.: Nutzungsdauerangaben von ausgewählten Bauteilen und Bauteilschichten des Hochbaus für den Leitfaden „Nachhaltiges Bauen“, TU Berlin, 2008
- [IPBau] Impulsprogramm IP Bau: Leitfaden Hochbau: Die Erhaltung von öffentlichen Gebäuden; Hinweise für die Gemeindebehörden; IP BAU; Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen
- [IPBau91] Impulsprogramm IP Bau: Bauerneuerung – Was tun?; IP BAU; Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen, 1991
- [IPBau92] Impulsprogramm IP Bau: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken: Leitfaden für Bauingenieure; IP BAU; Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen, 1992
- [IPBau93] Impulsprogramm Bau- Erhaltung und Erneuerung: Feindiagnose im Hochbau, Bundesamt für Konjunkturfragen; Bern 1993
- [IPBau94a] Impulsprogramm IP Bau: Kostenplanung bei der Bauwerkserhaltung im Hochbau: 1. Teil: Theorie und Beispiel einer Auswertung; IP BAU; Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994
- [IPBau94] Impulsprogramm IP Bau: Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten: Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten; Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen, 1994.
- [IPBau95] Impulsprogramm IP Bau: Grobdiagnose: Zustandserfassung und Kostenschätzung von Gebäuden - Methode; Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen, 1995.
- [ISO01] ISO 15686-1: Buildings and Constructed Assets – Service Life Planning – Part 1: General Principles. ISO Copy Right Office, Geneva (CH), 2000
- [Jehl89] Jehle, Peter: Ein Instandhaltungsmodell für Hochbauten; Doktorarbeit; Universität - Gesamthochschule Essen; Essen, 1989
- [Jung96] Jungwirth, Dieter; unter Mitwirkung der Deutschen Gesellschaft für Qualität e.V.: Qualitätsmanagement im Bauwesen; Düsseldorf, Jungwirth, VDI-Verlag, 1996
- [Kalu04] Kalusche, Wolfdietrich: Technische Lebensdauer von Bauteilen und wirtschaftliche Nutzungsdauer eines Gebäudes; in: Held, Hans; Marti, Peter (Hrsg.): Bauen, Bewirtschaften, Erneuern – Gedanken zur Gestaltung der Infrastruktur : Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr. Hans-Rudolf Schalcher. Zürich : vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, 2004
- [KaSS03] Kalusche, Wolfdietrich; Schalcher, Hans-Rudolf; Staub, Peter: Betrieb und Unterhalt von Anlagen; Vorlesungsunterlagen, Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich; Zürich, 2003
- [KLBG] Kotter, Ines; Langer, Beate; Bierögel; Christian; Grellmann, Wolfgang: Technische kunststoffdiagnostik- Schadensanalyse an Kunststoffbautei-

- len;
- [KISW98] Kleiber; Simon; Weyers: Verkehrswertermittlung von Grundstücken: Kommentar und Handbuch zur Ermittlung von Verkehrs-, Beleihungs-, Versicherungs- und Unternehmenswerten unter Berücksichtigung von WertV und BauGB; Köln: Bundesanzeiger Verlag, 1998
- [Klin07] Klingenberger, Jörg; Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden; Doktorarbeit im Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie der technischen Universität Darmstadt, Darmstadt, 2007
- [Klock88] Klocke, Wilhelm: Mein Haus wird älter - was tun?: Ratgeber mit Checklisten zur Vermeidung von Bauschäden durch preiswerte Pflege und Unterhaltung; Wiesbaden; Berlin; Bauverlag GmbH, 1988
- [Krug85] Krug, Klaus-Eberhard: Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung, Dissertation, Techn. Universität Braunschweig, 1985
- [Linh08] Linhardt, Achim: Handbuch Umbau und Modernisierung: Planen- Kalkulieren- Ausführen; Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, 2008
- [MeVi84] Merminod, Pierre; Vicari, Jaques: Handbuch MER: Methode zu Ermittlung der Kosten der Wohnungserneuerung; Bundesamt für Wohnungswesen, Bern; 1984
- [Müll05] Müller, Harald: Baustoffkunde und Konstruktionsbaustoffe; Skriptum zu den Vorlesungen; TU Karlsruhe, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie; 2005
- [Sarj02] Sarja, Asko: Neue Anforderungen an die Dauerhaftigkeit von Konstruktionen in Der Prüflingenieur, Zeitschrift der Bundesvereinigung der Prüflingenieure für Bautechnik, April 2002, Ausgabe 20, S.46 ff; Hamburg, 2002
- [Schr89] Schröder, Jules: Zustandsbewertung großer Gebäudebestände, In: Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 17, 1989, Verlags AG der Akademisch-Technischen Vereine, Zürich, 1989
- [Schr92] Schröder, Jules: Zustandsbewertung großer Gebäudebestände, Systembeschreibung und Rechenmodell; 1992
- [Schw02] Schwaiger, Bärbel: Strukturelle und dynamische Modellierung von Gebäudebeständen; Dissertation; Fakultät für Architektur der Universität Karlsruhe (TH); 2002
- [SiHS87] Simons, K.; Hirschberger, H.; Stölting, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen, Forschungsbericht im Auftrag des BMBau, 1987
Simons, Klaus; Hirschberger, H.; Stölting, D.: Lebensdauer von Bauteilen und Baustoffen: Abschlussbericht einer Forschungsarbeit im Auftrage des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Braunschweig, IRB Verlag, 1987
- [SIN01] Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Projektträger "Umwelttechnik": SINUS - Instandhaltungsmanagement und Ökologie – Instandhaltung von Gebäuden; Förderkennzeichen: 01 RV 9632/0; Iserlohn, 2001
- [SiSa80] Simons, Klaus; Sager, Rainer: Berechnungsmethoden für Baunutzungskosten; Schriftenreihe Bau- und Wohnforschung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; Bonn, 1980
- [ScSt85] Schub, A.; Stark, K.: Life Cycle Cost von Bauobjekten, Methoden zur Planung von Folgekosten; Schriftreihe der Gesellschaft für Projektmanagement, Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1985
- [SpOs00] Spilker, Ralf; Oswald, Rainer: Konzepte für die praxisorientierte Instandhaltungsplanung im Wohnungsbau. Bauforschung für die Praxis Band 55,

-
- [Stah09] Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2000
Stahr, Michael: Bausanierung: Erkennen und Beheben von Bauschäden; Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2009
- [Steig04] Steinbrecher, D.: Holzschutz; Vorlesungsunterlagen; BTU Cottbus, Fakultät 2, Fachgebiet Holzbau, 2004
- [Steig02] Steiger, René: Zustanderfassung und Zustandsbeurteilung; EMPA/HSR-Tagung 2002; Dübendorf 2002
- [STRA02] Benutzerdokumentation, STRATUS Gebäude 3.00 CH; Basler und Hofmann Ingenieure und Planer AG; Zürich, 2002
- [TiGr] Tichelmann, Karsten; Grimminger; Ulrich: Altbausanierung und Modernisierung: Methodische Instandsetzung von Bauwerken: Instandsetzungsmethodik I - Einführung; Manuskript zur Vorlesung; TU Darmstadt; Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau
- [Thie07] Thienel, K.-Ch.: Bauschäden: Beton, Stahlbeton und Spannbeton; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2007
- [Thie07b] Thienel, K.-Ch.: Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens: Chemie organischer Baustoffe - Kunststoffe; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2007
- [Thie08] Thienel, K.-Ch.: Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens: Mauersteine und Mörtel; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2008
- [Thie08b] Thienel, K.-Ch.: Werkstoffe des Bauwesens: Mauersteine und Mörtel; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2008
- [Thie08c] Thienel, K.-Ch.: Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens: Chemie und Eigenschaften mineralischer Baustoffe und Bindemittel; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2008
- [Thie08d] Thienel, K.-Ch.: Werkstoffe I: Chemie und Eigenschaften metallischer Werkstoffe - Stahl und NE-Metalle; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2008
- [Thie08e] Thienel, K.-Ch.: Werkstoffe I: Allgemeine Grundlagen - Stoffkennwerte; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2008
- [Thie09] Thienel, K.-Ch.: Bauschäden; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2009
- [Thie09b] Thienel, K.-Ch.: Bauchemie und Werkstoffe des Bauwesens: Holz; Vorlesungsunterlagen; Institut für Werkstoffe des Bauwesens; Universität der Bundeswehr München, 2009
- [ToRF95] Tomm, Arwed; Rentmeister, Oswald; Finke, Heinz: Geplante Instandhaltung: Ein Verfahren zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden/Landesinstitut für Bauwesen und angewandte Bauschadensforschung, Aachen: LBB, 1995
- [VFF04] Verband der Fenster- und Fassadenhersteller e.V.: *Thermische Beanspruchung von Gläsern in Fenstern und Fassaden*; VFF Merkblatt V.02, März 2004
- [Voge96] Vogels, Manfred: Grundstücks- und Gebäudebewertung marktgerecht; Wiesbaden; Berlin: Bauverlag, 1996
- [Witt03] Witte, Matthias: Veränderung des Festigkeits- und Verformungsverhaltens bei bindigen Böden aufgrund von Porenwasserspannungen; Dissertation,
-

- [ZiEb09] TU Carolo Wilhelmina zu Braunschweig; Braunschweig, 2003
Zimmermann, Josef; Eber, Wolfgang: Nachhaltige Szenarien: Prognose
von Instandhaltungskosten in industrieBAU; 1/09; S.52 ff; 2009
- [www 1] <http://solarisch.de/images/karte08.pdf>
- [www 2] <http://www.ruhr-uni-bochum.de/bauko/downloads/Sripte%20bachelor/II-Feuchte%20-%20C- Erdberuehrte%20Bauteile-V-1-1.pdf>
- [www 3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Windlast>
- [www 4] <http://www.prothiwa.de/Fenster/Holz-Alufenster/konstruktion/konstruktion.html>
- [www 5] <http://www.zentralheizung.de/heiztechnik/heizkessel/heizkessel.php>
- [www 6] www.heimhaus.at/index.php?id=59
- [www 7] www.holzbau-rogge.de/html/dacheindeckung.html

Anhang A Charakteristische Materialien nach Baujahresgruppen

Typische Konstruktionen und Bauteile	Baujahresgruppen Wohnhäuser						Typische Konstruktionen und Bauteile	Baujahresgruppen Wohnhäuser						Typische Konstruktionen und Bauteile	Baujahresgruppen Wohnhäuser													
	1890 - 1920 -	1920 - 1930 -	1930 - 1950 -	1950 - 1960 -	1960 - 1970 -	1970 - 1990 -		1890 - 1920 -	1920 - 1930 -	1930 - 1950 -	1950 - 1960 -	1960 - 1970 -	1970 - 1990 -		1890 - 1920 -	1920 - 1930 -	1930 - 1950 -	1950 - 1960 -	1960 - 1970 -	1970 - 1990 -								
1. Außenwände							6. Geschossdecken							10. Heizung														
Keller 51 cm Ziegel	&	&	&				Holzbalkendecken	&	&	#	#								Einzelofenheizung	&	&	&	&					
Keller 38 cm Ziegel				&	&	&	Ziegelkappendecken		#	#									Kohle-Zentralheizung			#	#					
Keller 38 cm Stampfbeton			#	&			Stahlträger-Betondecken		#	#	#								Öl-Zentralheizung					#	&	&	#	
Keller 30 cm Stampfbeton					&	&	Stahlbetondecken			&	&	&	&						Gas-Einzelöfen						#			
Geschosse 38 cm Ziegel	&	&	&				Deckenputz												Gas-Zentralheizung						#	&	&	
Geschosse 30 cm Ziegel/			#	#	&	&	auf Holz-Spalierrplatten	&	&	#	#								Gas-Etagenheizung							#		
Geschosse 25 cm Bimsbetonstein				&			auf Holzfaserdämmplatten			#	#								Fernwärmeheizung						#	#	#	
Geschosse zweischalig					#	&	als Verbundputz		#	&	&	&	&						11. Geschossdecken									
2. Innenwände in Wohnungen							als Trockenputzplatten				#	&	&						geringe	&	&	&	&					
12 cm Ziegel mit Fachwerk	&	&	&	#			7. Fußböden							Leitungen auf Putz	&	&												
6-10 cm Bimsplatten		#	&	&	&	&	Holzdielen auf Traubalken	&	#	#	#								Leitungen unter Putz		#	&	&	&	&	&	&	
11,5 cm Ziegel/ Kalksandstein					&	&	Holzdielen auf Massivdecken	#	#	#	#								Auf-Putz-Dosen/ Schaller	&	&							
Wohnnostrrennwände							Verbundestrich			&	&	&							Unter-Putz-Dosen/			&	&	&	&	&	&	
25 cm Ziegel	#	#	#				Schwimmender Estrich			#	#	&	&						Drehsticherinnen zentral	&	&	&	&	#				
12 cm Ziegel	&	&	&	&			Fließenbeläge			#	&	&	&					Sicherungsautomaten					#	&	&	&		
18 - 25 cm Bimsbetonstein				#	&		Tenischbeläge			#	&	&	&						Wohnungsunterverteilung					#	&	&	&	
24 cm Ziegel/ Kalksandstein					&	&	Kunststoffbeläge			#	&	&	&						<i>Tabelle Halbes</i>									
3. Außenwandbekleidung							Linoleum		#	&	#	#																
Stuckfassaden	&	#					8. Geschosstreppen																					
Glatte Putzfassaden		&	&	&	&		Holztreppen		&	&	#	#																
Ziegelsichtmauerwerk	#	&	&	&	&		Stahlbetontreppen		#	&	&	&	&	&														
Vormauerungen mit/ ohne vorgehängte Platten mit/ o. Thermohaut				#	&	&	Kellertreppen aus Holz		&	&																		
4. Fenster							Kellertreppen aus Beton		#	#	#	#																
Holzfenster, Einfachglas	&	&	&	&	&		Kellertreppen gemauert		#	#	#	#																
Holz-Doppelfenster	#	#	#				Holzgeländer		&	&	#	#																
Holzfenster, Isolierglas				#	&	#	Metallgeländer			&	&	&	&															
Kunststofffenster, Isolierglas				#	&	&	9. Sanitärinstallationen																					
Aluminiumfenster, Isolierglas					&	#	WC auf Treppengodest		&																			
5. Dachkonstruktion, Eindeckung							WC in der Wohnung	#	&	&	&	&	&															
Holzdachstuhl	&	&	&	&	&	&	Waschtisch in der Wohnung	&	&	&	&	&	&															
Topfännendeckung	&	&	&	&	#	#	Badewanne in der Wohnung		#	&	&	&	&															
Betondachsteine				#	&	&	Kaltwasseranschluss		&	&	&																	
Folie/ Pappe unter Dachhaut				#	&	&	Kohleboiler für Warmwasser			#	&	#																
Bitumenpappeindeckung	#	#	&	&	&	#	Gasdurchlauferhitzer			#	&	&	&															
Kunststoffbahneindeckung				#	&	&	Elektrodurchlauferhitzer			#	&	&	&															
Wärmedämmschichten im Dach				#	&	&																						

Anhang B Referenzbauteile und Einflussfaktoren

Tabelle 18: Relevante Bauteile zur differenzierten Darstellung der Nutzungsdauer von Bauteilen im Rahmen der Faktorenmethode

				A1 Bauteilqualität	A2 Materialkombination	B Konstruktiver Schutz	C Bauausführung	D Interne bauphys. Einflüsse	E Externe bauphys. Einflüsse	F1 Nutzungsart	F2 Nutzung nach Bestimmung	G Instandhaltungsqual.
300	Bauwerk - Baukonstruktion											
330	Außenwände	334	Außentüren und -fenster	H	1	H	H	--	H	1	1	H
		335	Außenwandbekleidungen	H	1	N	H	--	H	N	1	H
		338	Sonnenschutz	H	1	1	H	--	H	N	H	H
340	Innenwände	344	Innentüren und -fenster	H	1	--	H	H	--	N	H	H
		345	Innenwandbekleidungen	N	--	--	H	H	--	H	1	N
350	Decken	352	Deckenbeläge	H	1	--	H	H	--	H	H	H
360	Dächer	363	Dachbeläge	H	1	--	H	--	H	--	--	H

Referenzbauteile und Einflussfaktoren

			A1 Bauteilqualität	A2 Materialkombination	B Konstruktiver Schutz	C Bauausführung	D Interne bauphys. Einflüsse	E Externe bauphys. Einflüsse	F1 Nutzungsart	F2 Nutzung nach Bestimmung	G Instandhaltungs- qualität
400 Bauwerk Technische Anlagen											
410	Abwasser, Wasser, Gas		H	H	--	H	H	--	--	H	N
420	Wärmeversorgungsanlagen			1	--	H	1	--	--	H	H
430	Lufttechnische Anlagen		H	1	--	H	1	--	1	H	H
440	Starkstromanlagen		H	--	1	H	1	1	--	1	H
450	Fernmeldeanlagen		H	--	1	H	1	1	---	1	H
460	Förderanlagen		H	1	1	H	1	1	N	H	H

H

- H: Haupteinflussfaktor → Gewichtung: Lebensdauer verkürzend: 0,8 / neutral: 1,0 / Lebensdauer verlängernd: 1,1
N: Nebeneinflussfaktor → Gewichtung: Lebensdauer verkürzend: 0,9 / neutral: 1,0 / Lebensdauer verlängernd: 1,05
1: Einflusswirkung muss noch weiter differenziert werden
--: Kein Einfluss vorhanden