

Markus Vill

Aspekte zum lebenszyklusorientierten Planen, Bauen und Erhalten von Ingenieurbauwerken

127 - Life-Cycle-Engineering im konstruktiven Ingenieurbau und
Hochbau

Abstract

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit grundlegenden Aspekten des „Life-Cycle-Engineering“ und zeigt Potentiale zur Gestaltung und Durchführung von Maßnahmen auf, die während der Nutzung von Ingenieurbauwerken notwendig sind. Für die planmäßige Lebensdauer sind Maßnahmen im Planungs-, Bau- und Erhaltungsprozess wesentlich und beeinflussen das Ergebnis hinsichtlich des Erhaltungszustandes im Lebenszyklus und der dafür erforderlichen Kosten in großem Maße. Von besonderer Bedeutung für erfolgreiches LCE ist eine direkte Verknüpfung der Prozesse und gegenseitige Interaktion. Das vorliegende Thema wird in besonderer Weise in den nächsten Jahren bei zunehmendem Bauwerksbestand unserer Infrastrukturnetze und sich verschlechternder Altersstruktur stark an Bedeutung gewinnen.

Keywords:

Lebenszyklus von Bausystemen, Life-Cycle-Management, Lebenszyklusberechnung, Erhaltungsplanung, Instandhaltung, Vorhersagemodelle, Datenbank

1. Einleitung

Eine der Kernaufgaben des Bauwesens, die in den nächsten Jahren immer stärkere Bedeutung erlangen wird, ist die lebenszyklusorientierte Betrachtungsweise jener Prozesse, die mit Bauwerken unterschiedlichster Art in Zusammenhang stehen. Diese Gesinnung umfasst alle Maßnahmen, die während der gesamten Lebensdauer – vom Entwurf bis zur Erneuerung – eines Bauwerks anfallen. Diese Denkweise findet derzeit in vielen Bereichen des Bauwesens Eingang und hat sich bereits hinsichtlich der Analyse und Prognose von Lebenszykluskosten gut etabliert. Die Betrachtung der gesamten Kosten eines Bauwerks, die während der Lebensdauer anfallen werden, stellt jedoch nur einen kleinen Bereich der Aufgabenstellung dar. Um dieser ganzheitlichen Denkart gerecht zu werden, ist es zielführend, Methoden und Konzepte zu entwickeln, die für den Entwurf, den Bau, die Erhaltung und Erneuerung der Bauwerke genutzt werden können, um die Anforderungen des „nachhaltigen Bauens“ zu erfüllen.

Ob ein Bauwerk nun hinsichtlich eines weitgehend optimalen Lebenszyklus funktioniert, hängt entscheidend von der gewählten Konstruktion und Bauweise ab, die beispielsweise beim Tragwerkskonzept beginnt und mit intelligenten, redundanten, austauschbaren Gebäudesteuersystemen endet. Um auch die Nutzungsphase zielgerichtet steuern zu können, ist es notwendig, bauwerksspezifische Überwachungsmaßnahmen zu entwickeln, die es ermöglichen, den jährlich budgetierten Erhaltungsaufwand sinnvoll planen zu können. Auch präventive Überlegungen hinsichtlich einer möglichst umwelt- und strukturschonenden Erneuerungsmöglichkeit von Komponenten oder gesamten Bauteilen sind in diesem Kontext zu berücksichtigen.

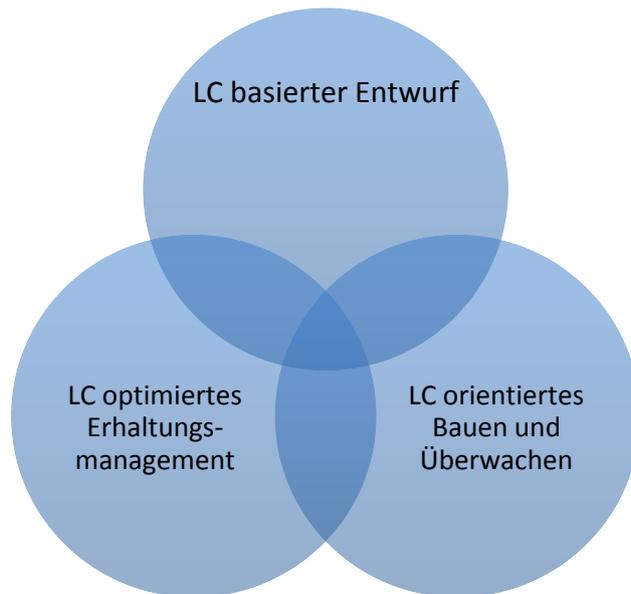


Abbildung 1: Grundsätzliche Prozesse des Lebenszyklus von Bauwerken

Die Aspekte des Themenbereichs „Life-Cycle-Engineering“ im konstruktiven Ingenieurbau und Hochbau definieren sich somit über folgende Arbeitsgebiete, die in anwendungsorientierter Forschung und Praxis dargestellt werden können:

- Konzepte für den Entwurf dauerhafter und energieeffizienter Bauweisen unter den Aspekten der Ressourcenschonung und Robustheit
- Weiterentwicklung von eingesetzten Baustoffen (z.B. Beton) hinsichtlich Treibhausemission und Nachhaltigkeit
- Entwicklung von interdisziplinären prädiktiven Modellen zur Beurteilung von Zuverlässigkeit und Lebensdauer für den Entwurf und die Nutzungsphase
- Entwicklung von strategischen Methoden zur zielgerichteten Erhaltung von Bauwerken im konstruktiven Ingenieurbau und Hochbau.

Der konstruktive Ingenieurbau mit dem Schwerpunkt der gesamtheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus der Bausysteme stellt für moderne und zuverlässige Bauwerke eine der wichtigsten Säulen dar, zumal die Tragsysteme eine hohe Lebensdauer erreichen sollen und mit

ressourcenschonenden Baustoffen zu konzipieren sind. Somit kristallisieren sich drei wesentliche Aufgabenstellungen für die Zukunft heraus, die voneinander abhängig sind und idealerweise transdisziplinär unter Betrachtung des Lebenszyklus zu bearbeiten sind.

Einerseits verfügen wir über einen sehr großen Bauwerksbestand im Hoch- oder Tiefbau, der mit zielorientierten Maßnahmen zu beurteilen und zu erhalten ist, wofür Zustands- und Vorhersagemodelle für das Bauwerk, die Ausrüstung und Tragstruktur zu entwickeln sind und miteinander interdisziplinär verknüpft werden müssen. Gerade die zuletzt erwähnte Thematik im Umgang mit Bestandstragwerken wird die Bauwirtschaft die nächsten Jahrzehnte unter dem Schwerpunkt „Lebenszyklusmanagement“ beschäftigen und einen Großteil der Investitionen beanspruchen.

Andererseits sind die Erfahrungen aus dem Erhaltungsmanagement Basis für die Weiterentwicklung von lebenszyklusorientierten Trag- und Bausystemen, die unter den Aspekten von Robustheit und Tragwerksredundanz ein hohes Maß an Nachhaltigkeit ermöglichen sollen. Die Erfahrungen aus den Bestandsuntersuchungen sollen also direkt in diese Konzepte integriert werden.

Aus diesen gewonnenen Erkenntnissen können zukunftsweisende Technologien abgeleitet werden, die sich im Besonderen darüber definieren, dass Bauwerke unter dem Aspekt des ressourcenorientierten Bauens mit ressourcenschonenden Baustoffen und einer hohen Lebensdauer errichtet werden können. Die interdisziplinäre Verknüpfung dieser Teilaspekte ist eine Kernaufgabe der nächsten Jahrzehnte.

2. Lebenszyklusorientiertes Planen von Bauwerken

Lebenszyklusorientierte Planungsprozesse definieren sich einerseits über die Betrachtung der mit dem Bauwerk in Verbindung stehenden Kosten, die sich in Errichtungskosten, Erhaltungskosten und Abbruchkosten einteilen lassen. Diese schon zu Beginn des Planungsprozesses durchzuführende Betrachtungsweise unterstützt die Entscheidungsfindung für die optimale Bauart und Bauweise bei vorliegenden Rahmenbedingungen. Eingangsparemeter sind hierbei die Errichtungskosten von Bauteilen auf Elementkostenbasis sowie deren jährliche Erhaltungskosten als Prozentsatz der Errichtungskosten. Ein weiterer entscheidender Faktor ist die hierfür anzusetzende jeweilige Lebensdauer der Bauteile, die in den Gesamtprozess integriert werden muss. Hierfür ist es von entscheidender Bedeutung, die einzelnen Bauteile eines Bauwerkes auch unabhängig voneinander austauschen zu können, damit die maximale Lebensdauer der anderen Bauteile erreicht werden kann.

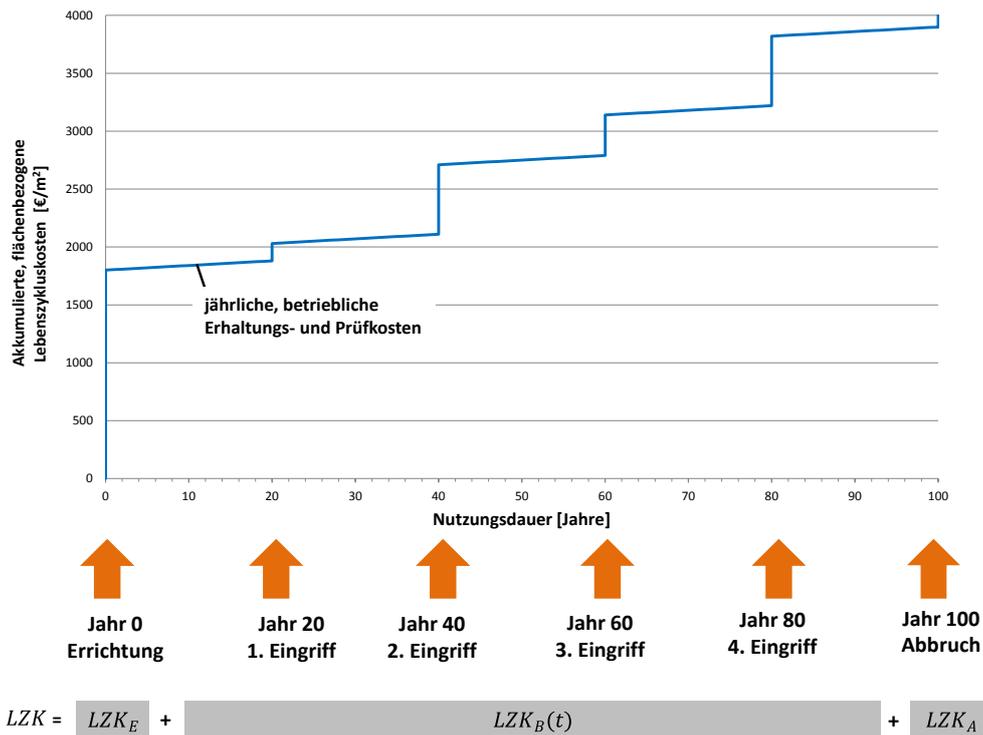


Abbildung 2: Beispiel Zeitdiagramm Lebenszykluskosten gem. RVS 13.05.11 bei Brücken

Abbildung 2 verdeutlicht die Abhängigkeit und die Notwendigkeit der Möglichkeit, einzelne Bauteile nach Ablauf der Lebensdauer in der Gesamtstruktur austauschen zu können. Für Investitionsrechnungen unterscheidet man noch weiter zwischen Barwert, valorisiertem Wert und dem Realwert der Kosten. Mit dieser Methode ist die Entscheidungsfindung zwischen einzelnen Bauweisen möglich; sie erlaubt eine entsprechende Planung der Finanzmittel und sollte vor jeder baulichen Maßnahme in Betracht gezogen werden.

Ergänzend zu von finanzmathematischen Berechnungen, deren Ergebnis von den zuvor genannten Eingangsparametern wesentlich beeinflusst wird, stellt sich die Frage, wie man die Bauwerke grundsätzlich dauerhafter und erhaltungsärmer errichten kann oder wie beispielsweise eine längere Lebensdauer erzielt werden kann. Dies bedarf einerseits der Verwendung von nachhaltigen bzw. bewährten Baustoffen oder der Neuentwicklung von langlebigen Materialien für die vorliegende Exposition in der Umwelt und die Nutzung. In weiterer Folge ist auch daran zu denken, die Materialien nicht komplexer als notwendig für die Verwendung zu konzipieren, da in der Implementierung neuer Baustoffe bei Bauwerken ein signifikantes Qualitätsgefälle zwischen Erstentwicklung unter Laborbedingungen, der Serienproduktion und der individuellen Verwendung bei Bauwerken unter Baustellenbedingungen existiert. Die einzusetzenden Baustoffe müssen somit als praxistauglich erprobt sein und die Komplexität bei der Verwendung auf der Baustelle gering halten.

Mit der Kombination von verschiedenen Baustoffen in bestimmten Bauteilen können Bauwerke nur dann als dauerhaft verstanden werden, wenn ein Teilrückbau möglich ist und die Beeinflussung

voneinander gering ist bzw. umgangen werden kann. Somit kann es von entscheidender Bedeutung sein, Baustoffe wie beispielsweise Beton für verschiedenste mechanische, physikalische und gestalterische Funktionen einzusetzen, wenn neben der statischen und wasserundurchlässigen Funktion eine gestalterische Funktion gegeben und keine zusätzliche Beschichtung notwendig ist. Wenn mit dieser Konstruktionsart gleichzeitig die Wirkung der Wärmespeicherung bzw. die Funktion als Heizflächen erzielt wird, kann von sehr effizienter, nachhaltiger und dauerhafter Bauweise gesprochen werden. Wichtig ist für die Kombination dieser Funktionen mit langer Lebensdauer auch die Notwendigkeit, die Konstruktionen so zu gestalten, dass eine ständige Inspektion manuell oder automatisiert erfolgen kann. In dem Zusammenhang entsteht auch zumeist die Möglichkeit, die einzelnen Baukomponenten auszutauschen, ohne die Grundstruktur zu zerstören. Die Grundlage für diese Aspekte liegt im ausgewogenen Konzept der Verwendung verschiedener Baustoffe und deren richtiger konstruktiver Durchbildung.

3. Lebenszyklusorientiertes Bauen von Bauwerken

„The service life of any structure is due to the genius of the engineer who designs it – and should not be at the expense of the engineer maintaining it“, Bergmeister, K. (2014). Mit dem einführenden Zitat soll belegt werden, dass der Lebenszyklus wesentlich vom Entwurf beeinflusst werden kann und weder eine intensive Erhaltung unserer Bauwerke noch die Verwendung von Baustoffen mit höchster Qualität Fehler im Entwurf und der konstruktiven Durchbildung wettmachen können. In dem Zusammenhang stellt sich auch die Frage der Überleitung der Entwurfsphase zur Ausführung. Ergänzend zum Zitat von K. Bergmeister muss die Bauphase intensiv in den Prozess des „Life-Cycle-Engineerings“ integriert werden. Diese Aspekte bedürfen weiterer Überlegungen im Entwurfsprozess, wobei zusätzlich auch die Phase der Herstellung und die Möglichkeiten der Herstellung unter Baustellenbedingungen konzipiert werden müssen. Die theoretisch angesetzte Lebensdauer kann somit nur soweit erreicht werden, als die vorgesehene Qualität unter Berücksichtigung allfälliger baustellengerechter Toleranzen auch eingehalten werden kann. Von besonderer Bedeutung ist hierbei eine zielorientierte Qualitätsüberwachung mit exakter Definition möglicher Toleranzen hinsichtlich Baustoffqualität und Baukonstruktion. In dem Zusammenhang sind folgende Aspekte von besonderer Bedeutung:

- Erstellung eines individuellen Prüfplans im Zuge der Qualitätssicherung
- Spezialschulung des Teams der Bauausführung und der Bauüberwachung vor Baubeginn
- Sensibilisierung und Vorbesprechung bei qualitativ hochwertigen Baustoffen (z.B. Betonbesprechungen, Korrosionsschutz)
- Werkabnahmen und Teilabnahmen bei wichtigen Arbeitsschritten
- Ergänzung der Überwachungsmaßnahmen mittels messtechnischer Erfassung (Herstellungsmonitoring)
- Rückkopplung von Erfahrungen in den Planungsprozess zur Optimierung von Konstruktionen im Planungsprozess.

In besonderem Maße wird in der Baupraxis das Potential des Aspektes zur Rückmeldung von Erfahrungen auf der Baustelle unterschätzt. Gerade bei neuen Bauabschnitten und der Konzeption von ähnlichen Konstruktionsweisen ergeben sich vielfach sehr gute Anregungen, Ideen und optimierte Detailausbildungen, die vielfach auf den theoretischen Konzepten aufbauen und ein Optimum durch die Inputs der Baustelle erzielen lassen. In der Automobilindustrie ist dies beispielsweise eine wesentliche Phase im Planungsprozess bei der Herstellung von Prototypen sowie im Zuge der automatisierten Herstellung.

4. Lebenszyklusorientiertes Erhalten von Bauwerken

Grundlage für jede Erhaltungsplanung bildet eine Kombination von Inspektion, Wartung, Reinigung, und eine möglichst objektive Bewertung des Bauwerkszustandes. Aus diesem Prozess lassen sich bei unplanmäßigen Abweichungen Instandsetzungsmaßnahmen zur Erreichung des Ursprungszustandes ableiten.

Um diese Aufgabenstellung hinsichtlich der Kriterien „Tragfähigkeit, Betriebssicherheit und Gebrauchstauglichkeit sowie Dauerhaftigkeit“ ausführen zu können, sind Prozesse für die Inspektion und die Zustandsbewertung zu definieren, um eine möglichst geringe Subjektivität des Bewertungsergebnisses durch den/die BauwerksprüferIn zu erhalten. Dazu zählen Bauwerksdatenbanken, die im Zuge der regelmäßig durchzuführenden Begehungen, Kontrollen und Prüfungen mit den Zustandsdaten ergänzt werden sollen. In diesem Zusammenhang ist es für die Erreichung der erforderlichen Lebensdauer von großer Bedeutung, die vorgefundenen Mängel hinsichtlich der Kriterien „Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit“ zu unterscheiden und zu dokumentieren, da hier eindeutig Maßnahmen und die Notwendigkeit der Durchführung sowie der Zeitraum abgeleitet werden können. Zielführend ist hier eine Verknüpfung mit Schadenskatalogen und Maßnahmenkatalogen, um die erforderlichen Instandsetzungstätigkeiten auch budgetär einheitlich erfassen zu können. Bei noch unkritischen Schäden lassen sich durch die Kombination mit Alterungsmodellen auch Prognosen über die nächsten Lebensjahre ableiten. Bei statisch besonders problematischen Fragestellungen, wobei die normgemäßen Nachweise nach den Einwirkungs- und Bemessungsnormen der Eurocodeserien auf Basis der semiprobabilistischen Sicherheitskonzepte nicht mehr erfüllt werden können, sind erweiterte Modellbildungen mit realistischen und aktualisierten Daten zur Verwendung für probabilistische Berechnungsverfahren zielführend.

5. Zusammenfassung

Der Begriff des „Life-Cycle-Engineerings“ umfasst Tätigkeiten, die über die Phase des Entwerfens und Konstruierens weit hinausgehen und ist geprägt von Überlegungen, die sich mit dem „Leben“ eines Bauwerks befassen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist dabei die direkte Verknüpfung der Phasen Planen – Bauen – Erhalten und die notwendige Interaktion dieser Phasen zueinander. Die Ingenieurleistungen sind also nicht mit dem Planungsprozess eines Bauwerks abgeschlossen, sondern erstrecken sich über die Bauphase auch auf die Nutzungsphase und können die Lebensdauer und die damit verbundenen Kosten in hohem Maße beeinflussen.

Literaturliste/Quellenverzeichnis:

Bergmeister, Konrad (2014): The service life of any structure is due to the genius of the engineer who designs it – and should not be at the expense of the engineer maintaining it. Editorial, Structural Concrete. 2014, No.2, Ernst und Sohn Verlag, Berlin.

RVS 13.05.11, Lebenszykluskostenermittlung bei Brücken, Forschungsgemeinschaft für Straße Schiene und Verkehr, Wien, (2015), in Veröffentlichung.

ONR 24008, ÖNORM Regel, Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Straßen- und Eisenbahnbrücken. Austrian Standards Institute, Wien, (2013).

Pukl, R., Cervenka, V., Novák, D., Teplý, B., Strauss, A., Bergmeister, K.: Life Cycle Reliability Assessment Based on Advanced Structural Modeling – Nonlinear FEM. Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Porto, 16 – 19 July 2006.

Ahrens, M. et al.: Lebensdauerorientierter Entwurf, Konstruktion, Nachrechnung, Betonkalender 2013, Teil 1, S.3-222, Ernst und Sohn Verlag, Berlin (2013)

Gehlen, C. et al.: Lebensdauer von Stahlbetonbrücken, Betonkalender 2013, Teil 1, S.223-340, Ernst und Sohn Verlag, Berlin (2013)