

# Integrative Lebenszyklusbewertung von Betonstrukturen

Text | Alfred Strauss, Konrad Bergmeister

Bild und Grafiken | © Alfred Strauss

**Die Lebensdauer einer Struktur z. B. aus Konstruktionsbeton wird durch die Planungs-Entwurfsqualität, die geeignete Wahl der Baustoffe, die Qualität der Herstellung bzw. Bauausführung, und unter anderem durch Bauerhaltungskonzepte wesentlich beeinflusst. Ferner ist bei einer Lebensdauerbewertung nach der Bedeutung der einzelnen Tragwerkskomponenten in der Gesamtstruktur und aus der Umgebung vorhandenen mechanischen, physikalischen und chemischen Einwirkungen zu unterscheiden.**

Im Allgemeinen werden die Mindestlebensdauer von Strukturen und die damit verbundenen Sicherheitsniveaus aus funktionalen, ästhetischen und wirtschaftlichen Ansprüchen der Gesellschaft oder des Bauherrn abgeleitet. In den Bemessungscodes sind zur Erfüllung dieser Ansprüche unterschiedliche Bemessungssituationen und Erhaltungsstrategien für Strukturgruppen (z. B. Strukturen aus Konstruktionsbeton) definiert. Ein optimaler Einsatz der natürlichen Ressourcen und des volkswirtschaftlichen Vermögens ist die Zielvorstellung einer neuen Bemessungsstrategie im Sinne einer erweiterten integrativen Betrachtung. Bei der integrativen Betrachtung werden (a) die standortspezifischen Ge-

gebenheiten der Materialeigenschaften und der Umwelteinflüsse, (b) die standortspezifische Ansprüche an das Sicherheitsniveau, (c) die Komplexität der Struktur und (d) die Erhaltungsstrategien berücksichtigt.

## Integrative Bewertungselemente

Die Einteilung der Strukturen in Sicherheitsklassen ist ein erster Schritt zur integrativen Betrachtung der Entwurfs- und Bemessungsaufgabe. Der in der EN 1990 (ÖNORM 1990) vorgenommene Ansatz unterscheidet in Schadensfolgeklassen und gliedert diese z. B. in (a) die Schadens-

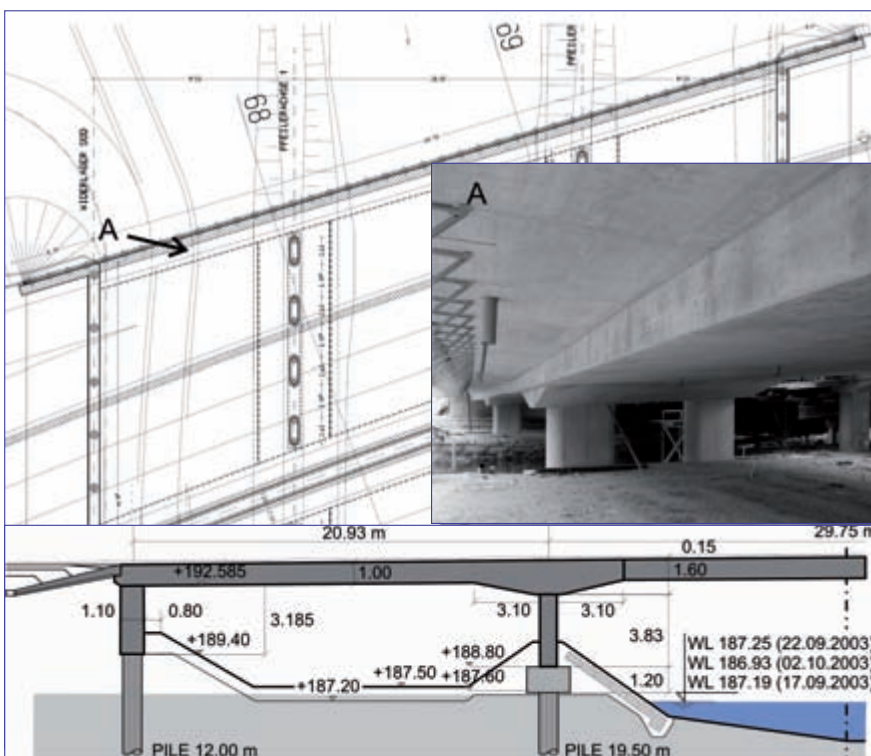


Bild 1: Marktwasser-Brücke S33.24, Grundriss, Unteransicht und Längsschnitt

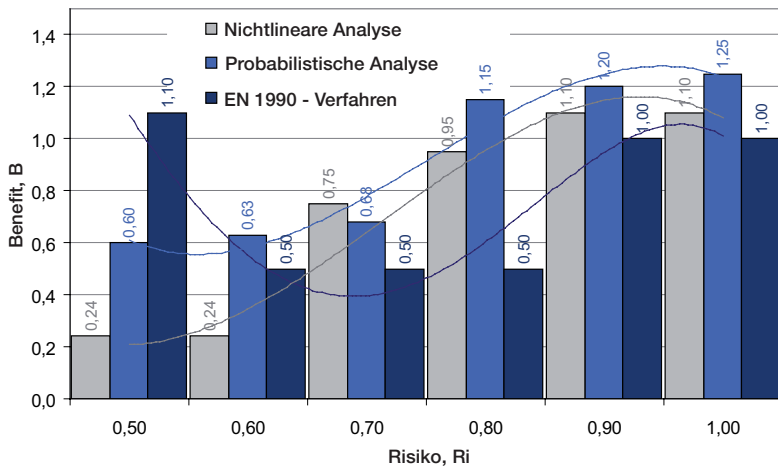


Bild 2: Benefit-Risiko-Grafen der Marktwasserbrücke S33.24 in Bezug auf die nichtlineare Analyse, die probabilistischen Analysen und auf das erweiterte  $K_{T1}$ -Verfahren nach EN 1990

folgeklasse CC3: hohe Folgen für Menschenleben oder sehr große wirtschaftliche, soziale oder die Umwelt beeinträchtigende Folgen, (b) die Schadensfolgeklasse CC2: mittlere Folgen für Menschenleben, beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder die Umwelt beeinträchtigende Folgen, und (c) die Schadensfolgeklasse CC1: niedrige Folgen für Menschenleben, vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder die Umwelt beeinträchtigende Folgen. Die Schadensfolgenklassen werden demnach lt. EN 1990 entsprechend den Versagensfolgen und der Häufigkeit der Nutzung unterschieden. Aufgrund dieser Klassen werden eine Reduktion der Teilsicherheitsfaktoren des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes und folglich die Anpassung der Nachweisverfahren an standortspezifische Gegebenheiten ermöglicht. Der Hauptanspruch und die integrative Modellierung einer Struktur aus Konstruktionsbeton ist die möglichst realitätsnahe Bestimmung der Sicherheitsniveaus während des Lebenszyklus.

Es bedarf zumindest der Unterscheidung in die mechanische und chemische Modellbildung (z. B. Stofftransport, Prozesse innerhalb der Betonstruktur) und der geeigneten Kombination der Modelle (Mehrphasenmodelle). Die mechanischen, physikalischen und chemischen Modellierungseingangsgrößen und Angaben zu den Umweltbedingungen sind aus den verfügbaren Informationen aus der Entwurfs-, Ausführungs- und Erhaltungs-

phase zu bestimmen und in ihrer Bedeutung zu gewichten. Im Allgemeinen sind für diese Betrachtungen nichtlineare strukturmekanische und chemische Modellbildungen erforderlich.

Die integrative Betrachtung in Form von den zuvor erwähnten Schadensfolgenklassen oder der auch in Form von nichtlinearen strukturspezifischen Modellbildungen (Reduktion der codespezifischen Sicherheitsmargen) ist zwangsläufig mit der Steigerung des Risikos (Strauss & Bergmeister, 2009) z. B. durch Fehleinschätzung der Modelleingangsgrößen verbunden. Die Bewertung des gesteigerten Risikos ist mittels probabilistischer Methodiken und Sensitivitätsanalysen möglich, welche in der Folge ebenfalls wesentliche Elemente der integrativen Bewertungsmethoden sind.

Eine weitere Fragestellung im Zuge der integrativen Bewertung ist die geeignete Wahl der oben erwähnten Methodiken. Dieser Fragestellung kann mit folgender Benefit-Analyse, in welcher das Risiko inkludiert wird, begegnet werden:

$$B = 1 - C^*/C^0 \quad (1)$$

$$C^* = C_D + C_P + C_M + C_{M0} + R_i \quad (2)$$

mit  $C^0$  = Lebenszykluskosten ohne integrative Bewertungselemente,  $C^*$  = Lebenszykluskosten mit integrativen Bewertungselementen, wobei  $C_D$  = Kosten aus dem Entwurf,  $C_P$  = Kosten aus der Produktion,  $C_D$  = Kosten aus der Erhaltung,  $C_D$  = Kosten aus der Überwachung/ dem Monitoring,  $R_i$  = risikobezogene Kosten z. B. infolge des Versagens einer Struktur.

### Anwendungsbeispiel

An der Marktwasser-Brücke S33.24 (Bild 1), eine Vorlandbrücke der Donaubrücke bei Krems, wurden unterschiedliche integrative Bewertungsmethoden, wie z. B. das erweiterte Verfahren der EN 1992, die nichtlineare Analysemethoden (Cervenka et al. 2001) und probabilistische Analysen durchgeführt. Details zu diesen Analysen sind in Strauss und Bergmeister (2009), Podrucek et al. (2010) enthalten. Neben diesen Analysen erfolgte weiters aufgrund der erhobenen Kostendaten (Hirute, 2009) die oben erwähnte Benefit-Analyse. Bild 2 zeigt die aus diesen Kosten ermittelten Benefit-Risiko-Grafen. Demnach würden die probabilistischen Analysemethoden mit erhöhtem akzeptierten Risiko den meisten Benefit ergeben und sich demnach als geeignetes Verfahren anbieten.

### Schlussfolgerung

Die neue Normengeneration erlaubt unterschiedliche Analysemethoden für den Entwurf, die Erhaltung usw. Diese Methoden können je nach ihrer integrativen Möglichkeiten die lokalen Gegebenheiten von Strukturen erfassen. Der in diesem Beitrag gezeigte Benefit-Ansatz bietet eine Basis für die geeignete Wahl bzw. Notwendigkeit dieser Elemente.

### Literatur

EN 1990: Eurocode - Basis of structural design EN 1990. Brüssel, Belgium (2002).  
 Strauss, A., Bergmeister, K.: "Integrative Reliability Assessment of Concrete Structures." 7th Probabilistic Workshop, 2009, Delft, Belgium.  
 Červenka, V., Červenka, J., Pukl, R.: "ATENA – an Advanced Tool for Engineering Analysis of Connections. Connections between Steel and Concrete", RILEM Publications Ens France 2001; 658-667.  
 Hirute, A.: "Cost model comparison for concrete structures." Master Thesis, Department für Bautechnik + Naturgefahren; Universität für Bodenkultur; (2009) (in progress).  
 Podroužek, J., Novák, D. Strauss, A.: "Jointless bridge: Reliability assessment." IABMASS 2010, (2010), Philadelphia, USA.

### Autoren:

DI Dr. habil. Alfred Strauss,  
 Prof. DI DDr. Konrad Bergmeister  
 Institut für Konstruktiven Ingenieurbau,  
 BOKU Wien  
 [www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)