

Entwicklung eines prädiktiven Lebensdauermanagement-systems für einen wirtschaftlich und nachhaltig optimierten Betrieb von Stahlbetonbauwerken

Wissenschaftlicher Kurzbericht Nr. 18 (2010)

Dipl.-Ing. M. Zintel, Dipl.-Ing. S. Keßler, Prof. Dr.-Ing. P. Schießl, Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen

Arbeitsgruppe 3, Stahl und Korrosion

Förderer: BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung 0330780D

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund immer älter werdender Bauwerksbestände stellt die nachhaltige und systematische Erhaltung von Infrastrukturbauwerken eine zentrale Aufgabe für den Bauwerksbetreiber dar. Aufgrund limitierter Haushaltsmittel spielen hierbei besonders Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen über die gesamte Nutzungsdauer des Bauwerks eine große Rolle. Dabei ist zu beachten, dass eine Baumaßnahme nicht zwingend dann ökonomisch ist, wenn Planungs- und Herstellungskosten gering sind. Vielmehr kann eine Investition aus ökonomischer Sicht erst dann erschöpfend beurteilt werden, wenn auch alle relevanten Folgekosten von anfallenden Erhaltungsmaßnahmen bis hin zum Abriss bzw. Neubau in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen mit einfließen. Um diese Folgekosten zuverlässig abschätzen zu können, ist eine realitätsgetreue Prognose der Zustandsentwicklung eines Bauwerks nötig.

Durch Anwendung vollprobabilistischer Schädigungsmodelle kann die Zustandsentwicklung von Bauteilen realitätsnah prognostiziert und durch visuelle sowie ergänzende, zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchungen verbessert werden. Mit einem prädiktiven Lebensdauermanagement-system (PLMS), welches vollprobabilistische Modelle impliziert, wird der Bauwerksbetreiber in die Lage versetzt, Einzelbauwerke oder Bauwerksbestände in allen Lebenszyklusphasen gemäß individuellen Anforderungen des Besitzers bzw. Nutzers optimal zu betreiben. [1]

2 Software-Prototyp

Das System soll durch das Speichern aller für die Zustandsbewertung relevanten Parameter und die Berechnung von Zustandsprognosen die Betreiber von Infrastrukturbauwerken bei der Planung von Inspektionen und Instandsetzungsmaßnahmen unterstützen.

Der Aufbau des Software-Systems ist modular konzipiert. Die Module entsprechen den über die Lebensdauer eines Bauwerks notwendigen Da-

tenenerfassungs- und -verarbeitungsvorgängen. Die Optimierung der Dauerhaftigkeit von der Entwurfs- und Planungsphase bis hin zur Abnahme sowie der ökonomisch optimierte Bauwerksbetrieb in der sich anschließenden Nutzungsphase sind implementiert. Im Mittelpunkt des PLMS steht eine Datenbank, in der alle Bauwerksdaten erfasst werden (Abbildung 1). Hierzu zählen allgemeine Informationen und Geometriedaten des Bauwerks sowie Angaben zu den charakteristischen Eigenschaften der verwendeten Baustoffe, Ergebnisse von Messungen und Instandsetzungen.

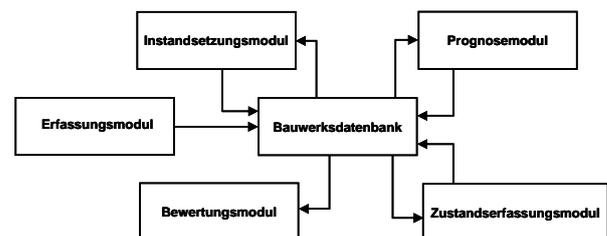


Abbildung 1: Modularer Aufbau der Software

Die Umsetzung beschränkt sich exemplarisch auf zwei Schädigungsmechanismen (Bewehrungskorrosion durch Eindringen von Chloriden sowie durch Carbonatisierung).

3 Modulbeschreibung

Bauwerkserfassungsmodul

Zentraler Bestandteil für die Datenhaltung und Datenerfassung innerhalb des PLMS ist das 3D-Bauwerksmodell. Die 3D-Geometrie des Gebäudes wird aus einem CAD-System exportiert und in der Datenbank gespeichert. Anschließend erfolgt eine hierarchische Unterteilung eines Bauwerks oder eines Bauteils in Ebenen, die hinsichtlich Einwirkung (Exposition) und Widerstand ein einheitliches Verhalten erwarten lassen. Neben der Geometrie der Bauteile werden auch alle Informationen über verwendete Baustoffe, Umwelteinwirkungen und Bauteilwiderstände den Bauteiloberflächen zugeordnet (Abbildung 2).

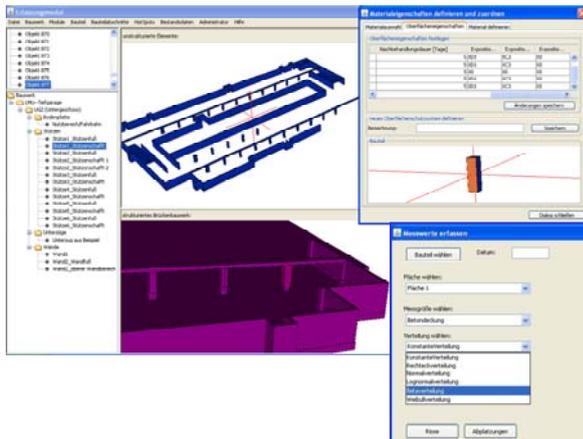


Abbildung 2: Benutzeroberfläche der Software

Zustandserfassungsmodul

Das Modul dient zum Einfügen von Messdaten aus kontinuierlichen (Monitoringsensoren) und diskontinuierlichen (Inspektionen) Zustandserfassungen in die Datenbank. Um trotz des zusätzlichen Untersuchungsaufwands die Zustandserfassung von Neu- und Bestandsbauwerken wirtschaftlich zu gestalten, wurde ein Konzept für mehrstufige Untersuchungsstrategien in Abhängigkeit des vorliegenden Bauwerkszustandes entwickelt (Wartungsplan). Alle aufgenommenen Messwerte (Einzelwerte oder Verteilungen) werden oberflächenbezogen an das 3D-Modell des Bauwerks geheftet.

Prognosemodul

Durch die Kenntnis des Bauteilwiderstands (z.B. verwendeter Beton und Betondeckung) und der Einwirkung (z.B. vorherrschende Chloride infolge Exposition) kann im Prognosemodul die zu erwartende Zustandsentwicklung auf Bauteilebene berechnet werden. Soweit entsprechende Schädigungsmodelle bekannt sind, erfolgt die Berechnung vollprobabilistisch. Als Ergebnis erhält man Versagenswahrscheinlichkeiten p_f oder Zuverlässigkeiten β unter Vorgabe maßgebender Grenzzustände. [2]

Bewertungsmodul

Zur definierten Formulierung von Bauteilzuständen sowie zum besseren Vergleich der Zustände mehrerer Bauteile untereinander werden Zustandsnoten eingeführt. In Abhängigkeit zuvor berechneter Versagenswahrscheinlichkeiten p_f oder Zuverlässigkeiten β werden Zustandsnoten von 0 (keine Beeinträchtigung) bis 6 (Tragfähigkeitsverlust) vergeben. [1]

Im Bewertungsmodul des Software-Prototyps kann der Zustand eines Bauwerks oder einzelner Bauteile direkt im 3D-Modell über eine farbige Kennzeichnung zu einem bestimmten Zeitpunkt farblich visualisiert werden (Abbildung 3).

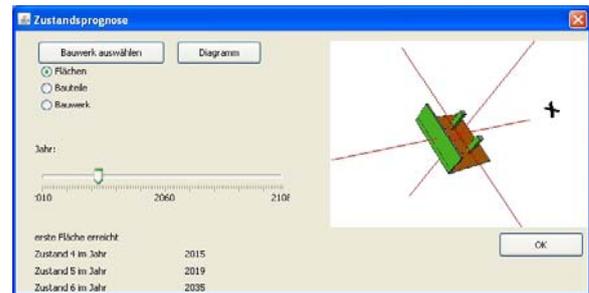


Abbildung 3: Zustandsprognose

Instandsetzungsmodul

Im Instandsetzungsmodul wird dem Fachingenieur ein erweiterbarer Katalog von Instandsetzungsmaßnahmen zur Verfügung gestellt. Hierbei werden auftretenden Schadensursachen sinnvolle Instandsetzungsverfahren zugeordnet.

4 Zusammenfassung

Innerhalb des Projekts wurde ein prädiktives Lebensdauermanagementsystem (PLMS) entwickelt und in Form eines Software-Prototypen umgesetzt. Das Grundkonzept des Lebensdauermanagementsystems beruht auf der Kombination probabilistischer Schädigungsmodelle zur Zustandsprognose und zerstörungsfreier Untersuchungsmethoden auf Basis eines dreidimensionalen, hierarchisch organisierten Bauwerksmodells. Auf diese Weise lassen sich Messergebnisse direkt am virtuellen Modell verankern und später dort ablesen. Außerdem ist das Ergebnis von Zustandsprognosen bauteilbezogen visualisierbar, wodurch Schwachstellen leichter erkannt werden.

Aufgrund der geplanten Flexibilität kann der entwickelte Prototyp auf unterschiedlichen Systemebenen (Bauteil bzw. Bauwerksebene) sowie für Bauwerke unterschiedlicher Komplexität angewandt werden und unterstützt somit Bauwerksbetreiber bei einem wirtschaftlich und nachhaltig optimierten Bauwerksbetrieb gemäß der Nutzeranforderungen.

5 Literatur

- [1] Schießl P.; Mayer T.F.: „Schlussberichte zur ersten Phase des DAfStb / BMBF – Verbundforschungsvorhabens "Nachhaltig Bauen mit Beton". DAfStb Heft 572“, Beuth Verlag, Berlin, 2007.
- [2] Lukas, K.; Borrmann, A.; Zintel, M.; Mayer, T.; Rank, E.: Developing a Life-Cycle Management System for Reinforced Concrete Buildings based on Fully-Probabilistic Deterioration Models. Proc. of the 12th CC2009, Madeira, Portugal, 2009.