

Computergestützte probabilistische Bauwerksbewertung und Planung von Monitoringmaßnahmen

Computer-aided probabilistic assessment of structures and planning of structural health monitoring measures

Hosser, Dietmar; Klinzmann, Christoph

Abstract

A methodology for the probabilistic assessment of structures based on measured data from structural health monitoring has been developed. The results from the probabilistic assessment are used to deduce information for the necessary amount of structural health monitoring. In addition to the assessment of the actual state of the structure, the development of the reliability of the structure in the future is predicted on the base of the measured data, too. These results are included in the decisions regarding the monitoring measures as well. The methodology has been integrated into a computer-software to simplify its usage.

1. Einführung

Die meisten Bauwerke zeigen im Zuge der Lebensdauer mehr oder weniger schwerwiegende Schäden, die durch die Abnutzung und Alterung ausgelöst werden oder auf andere schädigende Einflüsse zurückzuführen sind. Fehlende finanzielle Mittel der öffentlichen Hand führen dazu, dass nicht mehr alle notwendigen Unterhaltungs- und Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden können. Das Resultat ist, dass der schlechter werdende Zustand der 37.000 Straßenbrücken in Deutschland auf Grund von auftretenden Schäden und Beeinträchtigungen des täglichen Lebens gelegentlich öffentlichkeitswirksam Schlagzeilen macht. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass die beschränkten finanziellen Mittel möglichst sinnvoll eingesetzt werden, beispielsweise indem Schäden sofort nach ihrer Erkennung instand gesetzt und damit Mehrkosten vermieden werden. Dies wird durch den Einsatz von Bauwerksmonitoring ermöglicht, das eine Erweiterung der klassischen Bauwerksinspektion im Rahmen des Bauwerksüberwachungsprozesses darstellt. Dabei wird der Zustand des Bauwerks mit Hilfe von in der Regel dauerhaft applizierten Sensoren automatisch überwacht. Wenn die Messdaten vorher definierte Grenz- oder Schwellenwerte über- oder unterschreiten, können sofort die notwendigen Maßnahmen ergriffen werden, z. B. die Instandsetzung oder notfalls die Sperrung des Bauwerks. In Deutschland wird Monitoring derzeit hauptsächlich bei der Weiternutzung von vorgeschädigten Bauwerken eingesetzt, um diese erst

dann stillzulegen, wenn das Gefährdungspotential zu groß wird. Eine lebensdauerbegleitende Überwachung zwecks frühestmöglicher Erkennung und ggf. Beseitigung von Schäden ist in Deutschland bei Bauwerken nicht üblich.

2. Probabilistische Bauwerksbewertung

Im Rahmen des Teilprojekts A1 des Sonderforschungsbereichs 477 (SFB 477) wurde eine Methodik entwickelt, die zur Lösung der angesprochenen Problematik beitragen kann, indem Monitoring präventiv eingesetzt und umfassend ausgewertet wird. Den prinzipiellen Ablauf der Methodik zeigt Bild 1 /1/.

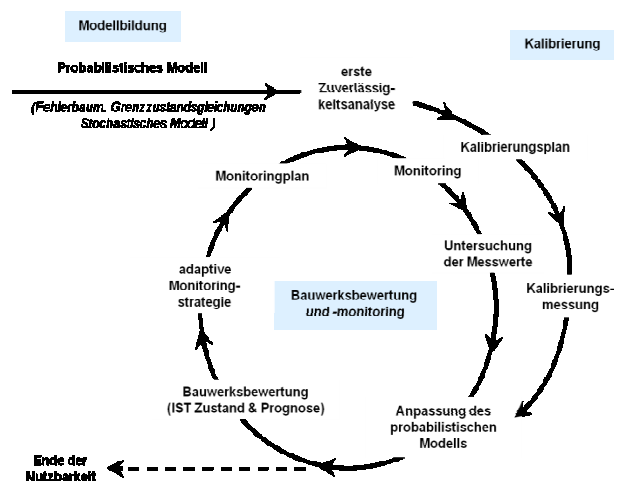


Bild 1 Ablaufschema (Bauwerksbewertungskreislauf) der entwickelten Methodik

In der *Modellbildung* wird zunächst ein probabilistisches Modell des zu untersuchenden Bauwerks erstellt, das dann in einer *Kalibrierungsphase* auf Grundlage von Einzelmessungen, beispielsweise aus der Qualitätskontrolle, an die Realität angepasst wird. Der Vorteil der Nutzung probabilistischer Methoden liegt darin, dass auch die Unsicherheit und die Variabilität der Einflussgrößen des Bauwerks berücksichtigt werden können.

Mit dem kalibrierten Modell des Bauwerks kann die eigentliche Phase der *probabilistischen Bauwerksbewertung* und des *Monitorings* beginnen.

Zunächst erfolgt die eigentliche *Bauwerksbewertung*. Dabei wird das vorab aufgestellte und kalibrierte probabilistische Modell mit den Methoden der Zuverlässigkeitstheorie 1. Ordnung ausgewertet. Diese Analyse liefert mit dem sogenannten Zuverlässigkeitsindex β ein Maß für die aktuelle Sicherheit des Bauwerks und seiner modellierten Bestandteile. Anhand weiterer Ergebnisse lässt sich aber auch der Einfluss einzelner Parameter im Modell erkennen. Beide Informationen werden im nächsten Schritt zur Ableitung der *Monitoringstrategie* genutzt. Aufgabe dieser Strategie ist es, den notwendigen Umfang der Überwachung relevanter Bereiche in Form einer abstrakten Größe, der *Monitoringintensität* anzugeben. Eine konkrete Festlegung des Monitorings ist aufgrund der Vielzahl von Einflussgrößen und Randbedingungen nicht allein mit den Berechnungsergebnissen möglich. Die Hilfsgröße der *Monitoringintensität* liefert aber dem entsprechend erfahrenem Personal Anhaltspunkte für die Festlegung des eigentlichen *Monitoringplans* zur Durchführung der Maßnahme.

Ein wesentliches Ziel der Methodik ist eine lebensdauerbegleitende Bewertung des Bauwerks. Generell endet die Nutzbarkeit des Bauwerks per Definition, wenn eine vorab festgelegte Zielzuverlässigkeit unterschritten wird. Um Herauszufinden, ob dies bereits der Fall ist, werden in festgelegten Intervallen die Messdaten stochastisch ausgewertet und fließen in eine erneute Bauwerksbewertung ein. Damit ist es möglich, Zustandsverschlechterungen des Bauwerks zu quantifizieren und den Umfang der Monitoringmaßnahmen adaptiv an den Bauwerkszustand anzupassen, was eine zweite wesentliche Aufgabe der Methodik ist.

Ein weiterer Schritt besteht darin, die aus den Messdaten ermittelten stochastischen Kennwerte auch zur *Prognose* einzusetzen, um frühzeitig Veränderungen des Bauwerks vorhersagen zu können. Daher wird mit einfachen Methoden versucht, Trends in den Daten zu erkennen, diese in die Zukunft fortzuschreiben und damit weitere orientierende Zuverlässigkeitsanalysen durchzuführen. Auf diese Weise kann man den Zeitpunkt des wahrscheinlichen Erreichens eines kritischen Zustands vorab bestimmen und notwendige Maßnahmen noch früher einleiten.

3. Das Programmsystem PROBILAS

Die Anwendung des Verfahrens soll durch die Integration der Methodik in das Programmsystem „PROBILAS“ (Probabilistic Lifetime Assessment) erleichtert werden. Ein wesentliches Ziel bei der Entwicklung des Programmsystems war die einfache Anwendung. Dazu wurden komplexe Zusammenhänge bei der probabilistischen Modellierung von Bauwerken dort vereinfacht, wo

es im Rahmen der für den Anwendungsbereich geforderten Genauigkeit möglich war. Der das Monitoring planende Ingenieur sowie der ausführende Messtechniker werden bei ihren Aufgaben vom Programmsystem durch verschiedene Entscheidungshilfen unterstützt. Sie decken die Aufgabenbereiche der Modellbildung, der Bauwerksbewertung sowie der Planung und Auswertung der Monitoringmaßnahmen ab.

Das Programmsystem wurde in zwei eigenständigen Programmteilen realisiert, die über eine relationale Datenbank miteinander kommunizieren. Der Teil *PROBILAS Server* übernimmt die Aufgaben der Modellbildung, der probabilistischen Bauwerksbewertung und der Festlegung der Monitoringstrategie. Mit dem Programmteil *PROBILAS Client* werden auf dieser Grundlage die Monitoringmaßnahmen geplant und anschließend die Messdaten ausgewertet, die benötigten Informationen gewonnen und an den Server zurück übermittelt. Ein Schema dieser Aufgabenteilung zeigt Bild 2.

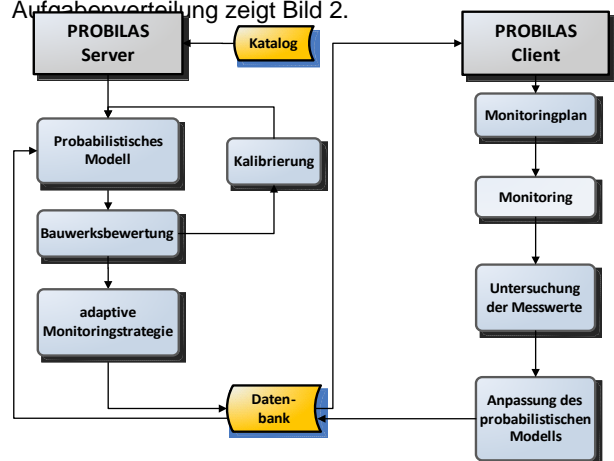


Bild 2 Aufteilung der Aufgaben von *PROBILAS* auf die Bestandteile *Server* und *Client*

4. Ausblick

Die entwickelte Methodik wurde im Rahmen von /1/ erfolgreich auf realitätsnahe numerische Beispiele angewandt, was für die Entwicklung und Erprobung notwendig und ausreichend war. In der Praxis können reale Messdaten zusätzliche Störungen enthalten und Schäden sich abweichend von Annahmen entwickeln. Für eine Überprüfung der Praxistauglichkeit soll das Programmsystem *PROBILAS* demnächst noch auf reale Bauwerke angewendet werden.

5. Literatur

- /1/ Klinzmann, C.: Methodik zur computergestützten probabilistischen Bauwerksbewertung unter Einbeziehung von Bauwerksmonitoring. Dissertation, TU Braunschweig 2008.