

# Sensorik im Bauwerk als Unterstützung eines aktiven Lebensdauermanagements

Christian BOLLER, Fraunhofer Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren (IZFP),  
Saarbrücken und Dresden;  
Lehrstuhl für zerstörungsfreie Materialprüfung und Qualitätssicherung  
Universität des Saarlandes, Saarbrücken

**Kurzfassung.** Über Generationen haben Menschen Bauwerke erstellt, die sie vielfach als Denkmäler einer nächsten Generation überlassen haben und auch in Zukunft überlassen werden. Diese Bauwerke stellen einen volks- wie auch betriebswirtschaftlichen Wert dar, den es generell zu erhalten gilt. Diese Erhaltung erfolgt durch Inspektion, Wartung und Restauration, wobei die Inspektion überwiegend visuell und auf der Basis von Erfahrung erfolgt und nur dann durch Messtechnik und Prüfverfahren unterstützt wird, wenn sprichwörtlich ‚guter Rat teuer ist‘.

Guter Rat kann allerdings heute immer preisgünstiger werden. Der Preisverfall im Bereich moderner Sensorik, Rechentechnik, Mikroelektronik, Datenverarbeitung, Datenübertragung, Werkstofftechnik und vielen anderen technischen Dingen macht es möglich, den Inspektionsprozess wie auch die Inspektionsfrequenz zu erhöhen, ohne damit gleichzeitig die Inspektionskosten steigen lassen zu müssen oder zumindest im betriebs- oder volkswirtschaftlichen Sinne die Lebenszykluskosten eines Bauwerks zu verringern. Dieser Trend ist heute bereits im Maschinenbau deutlich zu sehen, wo bei Maschinen und Fahrzeugen eine fast kontinuierliche Zustandserfassung d.h. Diagnose durchgeführt wird und mit eingebauten Algorithmen prognostisch die Dauer des Inspektionsintervalls bzw. z.B. die Restlebensdauer bestimmt wird.

Die Idee des Einbaus von Sensorik in und an Bauteile bzw. Bauwerke verbunden mit der Infrastruktur der Datenerfassung, -übertragung und -verarbeitung, liegt bei dem genannten Preisverfall der einzelnen Hard- und Software recht nah. Dies führt konsequenterweise zur Automatisierung des Inspektionsprozesses und suggeriert damit den Wegfall von Arbeitsplätzen im Inspektionsbereich. Letzteres muss allerdings nicht der Fall sein, wenn man bedenkt, dass ein Prüfer bzw. eine Prüferin in fast 100% der Fälle immer nur dieselbe Information der Fehlerfreiheit bestätigt. Dies wird umso kritischer, je höher die Rate der Fehlerfreiheit steigt bzw. die Fehlerrate fällt, weil damit automatisch, bei gleicher Fehlerrate des menschlichen Urteilsvermögens vorausgesetzt, die Wahrscheinlichkeit des Übersehens eines kritischen Fehlers überproportional steigt. Automatisierung des Inspektionsprozesses kann daher hier eine positive Wirkung dahingehend haben, dass sie die für den Prüfer bzw. die Prüferin wiederkehrenden, und damit ermüdenden bzw. langweiligen Aufgaben, übernimmt und diesem bzw. dieser die Möglichkeit gibt, sich besser auf die kritischen Schäden zu konzentrieren, bei denen menschliches Kombinationsvermögen gefordert ist, was deutlich schwieriger über einen maschinellen Automatisierungsprozess abzudecken ist.

Das Zulassen von Inspektion bzw. die Erhöhung von deren Frequenz bedeutet automatisch, dass man einen beobachtbaren und als reparaturwürdig betrachteten Mindestschaden in dem betrachteten Bauwerk bzw. Bauteil zulässt. Damit toleriert man konsequenterweise Schädigung und zwar zumindest in dem Maß, in dem man den Schaden nicht technisch bzw. kostenmäßig betrachten kann. Dieses Maß schlägt sich in den heute angesetzten Sicherheitsfaktoren bei der Auslegung von Komponenten und Bauwerken nieder. Der Sicherheitsfaktor kann somit als Gradmesser des vorhandenen Nicht-Wissens gesehen werden bzw. mit steigendem Wissen kann der Sicherheitsfaktor verringert werden, ohne dass sich damit die Ausfallwahrscheinlichkeit des betrachteten Bauteils erhöht. Die Integration von Sensorik kann somit einen Beitrag zu dieser Wissenserhöhung sein.

In der Luftfahrt hat man sich das Bemessungsprinzip der schadenstoleranten Auslegung zunutze gemacht. Dabei spielt neben der Inspektion von Schädigung auch die Ursache der Schädigung eine Rolle. Schädigung ist das Ergebnis einer einmaligen (statischen) oder wiederholten (ermüdungsbedingten) Überbeanspruchung, wobei die Beanspruchung mechanischer, tribologischer, thermischer, hygroskopischer oder chemischer Natur sein kann. Während die Beanspruchbarkeit gegen statisches Versagen bzw. Überbeanspruchungen in der ursprünglichen Bemessung in Form von Grenzlasten nachgewiesen sein muss, wird die ermüdungsbedingte Beanspruchung in Kombination mit einer bestimmten Lastfolge auch auf den Faktor Zeit ausgelegt, wobei die Kombination in dem resultiert, was landläufig als Schädigung oder auch Zustand bezeichnet wird. Neben der Zustandsbestimmung ist es somit auch erforderlich, dass die Kombination aus Last und Zeit in Form einer Last-Zeit-Folge erfasst wird, damit eine Aussage über den Schädigungsgrad getroffen werden kann. Fehlt diese Information, dann kann diese Aussage allein über eine Messung des Schädigungsgrades und seiner Folge auf die Restlebensdauer des betrachteten Bauteils ermittelt werden.

Schädigung und Schadenstoleranz sind die wesentlichen Eckpunkte eines modernen und aktiven Lebensdauermanagements, was in diesem Beitrag detaillierter betrachtet werden soll. Nach dem Erläutern von Schadenstoleranz und seiner Bedeutung wird auf die Lastmessung eingegangen, die die Grundlage für eine Lebensdauerprognose bildet. Diese Prognose definiert wiederum, wann eine Diagnose und damit zerstörungsfreie Prüfung zum Tragen kommt und somit Inspektionsintervalle im Sinne einer schadenstoleranten Auslegung. Möglichkeiten der automatisierten Prüfung werden angesprochen, sei es in Form von Robotik oder intrinsisch eingebrachter Sensorik, wie es weitläufig derzeit auch mit dem Begriff Structural Health Monitoring umschrieben wird.