

Structural Health Monitoring

Große komplexe Strukturen wie z.B. Bauwerke und Flugzeuge unterliegen andauernden Belastungen. Mit der Zeit verändern die eingesetzten Materialien daher ihre physikalischen Eigenschaften und werden geschwächt. Um das Versagen von Bauteilen zu verhindern, wird ihre Sicherheit durch routinemäßige Inspektionen in festgelegten Wartungsintervallen sichergestellt. Die hierbei genutzten Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung sind ausgereift, bis ins Detail verstanden und kostengünstig. Dennoch gibt es große Bemühungen, den aktuellen Zustand von Strukturen mithilfe fest installierter Sensorsysteme ständig automatisch zu diagnostizieren. Solche Structural-Health-Monitoring-Systeme (SHM) sollen je nach Komplexitätsgrad Schäden detektieren, lokalisieren und schließlich auch beurteilen. Vor allem intelligente SHM, die selbstständig Prognosen für die weiteren Nutzungsmöglichkeiten ableiten, befinden sich noch im Forschungsstadium. Ihre Nutzbarmachung wird intensiv vorangetrieben, weil man sich von ihnen weitere Fortschritte bei Wirtschaftlichkeit und Sicherheit verspricht.

Die Sensoren eines SHM werden auf die Oberfläche aufgebracht oder während der Bauteilfertigung in die Struktur integriert. Es gibt bisher nur wenige Ansätze, die Struktur selbst als Sensor zu nutzen. Das wäre z.B. durch Einbringen von Verstärkungsfasern möglich, die gleichzeitig selbst als Sensor wirken könnten. Generell kommt für die Messung physikalischer Schlüsselparameter eines Materials eine Vielzahl unterschiedlicher Sensortechnologien infrage. Sensoren, die z.B. auf Dehnungsmessung, Schallemission oder Faseroptik beruhen, gehören zu den passiven Systemen. Aktive Systeme hingegen, die z.B. auf Ultraschall oder Wirbelstromprüfung beruhen, senden eigenständig Signale aus und detektieren deren Wechselwirkungen mit der Struktur. Die gewonnenen Daten werden entweder kabelgebunden oder drahtlos weitergeleitet. Beim Einsatz drahtloser Sensoren stellt die Energieversorgung über lange Zeiträume jedoch ein Problem dar.

Einfachere SHM, die in Echtzeit Informationen über die aktuelle strukturelle Integrität liefern, sind schon weit entwickelt. Über ihren Einsatz entscheiden nicht zuletzt wirtschaftliche Aspekte. Im Grundlagenstadium befinden sich dagegen intelligente Systeme, die zukünftig – in begrenztem Umfang – eigenständig Entscheidungen treffen sollen. Üblicherweise wird hier der aktuelle Zustand mit einer Referenzdatenbank abgeglichen und eventuelle Abweichungen werden entsprechenden Strukturschäden zugewiesen, wofür große Datenmengen verarbeitet werden müssen. Technologien des Maschinellen Lernens sollen dazu führen, dass die Verarbeitung nicht nur schneller erfolgen kann, sondern dass zusätzlich zu bereits gelernten Signalen auch bisher unbekannte interpretiert werden können. Ein anderer Ansatz besteht darin, die gegenseitige Abhängigkeit der Daten benachbarter Sensoren auszunutzen. Um Aussagen über die noch verbleibende Lebensdauer treffen zu können, müssen in jedem Fall komplexe Prognosetools entwickelt werden.

SHM brechen mit der herkömmlichen Wartungsphilosophie, da sie beginnende Schwächen einer Struktur erkennen, lange bevor die Funktionsfähigkeit gefährdet wird. Auch Auswirkungen durch die Akkumulation mehrerer Schäden, die einzeln gesehen alle noch innerhalb der Toleranz liegen, werden durch SHM erfasst. Diese frühzeitige Warnung ermöglicht es, den rein präventiven Austausch von Teilen aufgrund von Einsatzzeit oder Laufleistung durch eine zustandsorientierte Instandhaltung (Maintenance on Demand) zu ersetzen. Generell gibt es dafür eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten, die eine hohe zivile Dynamik erwarten lässt. Bei statischen Strukturen wie Bauwerken (z.B. Brücken, Hochhäuser) und Industrieanlagen (z.B. Pipelines, Raffinerien, Windkraftanlagen) sind die zu überprüfenden Bauteile oft schlecht zugänglich oder unterliegen unwirtschaftlichen Umgebungsbedingungen. SHM können hier die Betriebslebensdauer von Bauteilen verlängern und so die hohen Kosten für die Instandhaltung minimieren. Teurer Stillstand kann aufgrund verlängerter Wartungsintervalle und der Planbarkeit

von Reparaturen reduziert werden. Die Überwachung von mobilen Systemen (z.B. Kfz, Flugzeuge) bietet darüber hinaus noch weiteres Einsparpotenzial, da bei neuen Konstruktionen die Sicherheitsmargen verringert werden könnten und somit ein höherer Leichtbaugrad zu realisieren wäre, ohne die Zuverlässigkeit der Systeme zu verringern. Dadurch eröffnet sich grundsätzlich die Möglichkeit, den Energieverbrauch der Systeme zu senken und den Nutzen neuer Werkstoffe oder Designs schneller ausschöpfen zu können.

Besondere Vorteile können SHM im Hinblick auf die spezifischen Einsatzbedingungen militärischer Systeme bringen, die im Unterschied zu zivilen auch mit schlecht vorhersagbaren Belastungsspitzen fertig werden müssen. Mit SHM könnte sowohl eine Nutzungsdauer über das theoretische Ende hinaus als auch eine unvorhergesehene starke Nutzung ohne Sicherheitseinbußen realisiert werden. Weiterhin könnten SHM neben einer effizienteren Logistik auch die kurzfristige Einsatzplanung unterstützen, indem plötzlich auftretende Schäden während eines Konflikts – z.B. durch Beschuss – detektiert und Entscheidungen darüber getroffen werden, ob ein System trotzdem zumindest eingeschränkt zur Verfügung steht.

Trotz des großen Potenzials bremsen unabhängig von den Entwicklungsaufwendungen hohe Installationskosten die breite Markteinführung von SHM. Dazu kommen nichttechnische und nichtökonomische Aspekte. Diese liegen vor allem im rechtlichen Bereich und bei der gesellschaftlichen Akzeptanz, denn die mit ihrer Einführung verbundene Abkehr von etablierten Wartungsphilosophien kann durchaus zu Verunsicherungen (z.B. der Kunden von Fluggesellschaften) führen. Auf jeden Fall ergibt sich hier ein erheblicher neuer Regulierungsbedarf. So ist insgesamt erst mittel- bis langfristig damit zu rechnen, dass SHM ihr Gesamteinsparpotenzial – z.B. über einen höheren Leichtbaugrad – voll ausschöpfen können und die erforderlichen rechtlichen Rahmenbedingungen für ihre Nutzung geschaffen worden sind.

Dr. Heike Brandt
Dr. Ramona Langner