

# Optimierung von Bauwerken durch Langzeitüberwachungssysteme

**Autor**

HBM Test and Measurement



# Optimierung von Bauwerken

## durch Langzeitüberwachungssysteme

### Überblick

In den vergangenen Jahrzehnten war eine erstaunliche Zunahme an bestehenden Ingenieurbauwerken sowie der ihnen abverlangten Widerstandskraft zu beobachten. Dazu gehören größere Brücken für schwerere Lastwagen, längere Tunnel zur Bewältigung von noch mehr Verkehr, sicherere Pipelines für den Transport verschiedener Stoffe sowie Windenergieanlagen mit höherem Wirkungsgrad und höherer Leistung.

Da solche Bauwerke exponentiell zunehmenden Lasten, Einflüssen oder Umweltbelastungen standhalten müssen, wird die Beurteilung des daraus resultierenden Strukturverhaltens zwingend erforderlich, um Fehler schon im Anfangsstadium zu erkennen und Sicherheit zu gewährleisten.

Sichtprüfungen bieten keine ausreichenden Informationen zur Verlängerung der Lebensdauer der Strukturen, doch durch eine Zustandsüberwachung der Bauwerke können Unregelmäßigkeiten jeglicher Art rechtzeitig erkannt werden. Dies ermöglicht eine optimierte Wartung sowie eine Verringerung der Betriebskosten.

Da in den meisten Industriezweigen immer noch ein reaktiver Wartungsansatz ("run until failure") verfolgt wird, erweist sich die Verbesserung von Inspektionsverfahren und Fehlerprognosesystemen mit niedrigeren Betriebs- und Wartungskosten als eine der wichtigsten Prioritäten auf der Managementagenda für diese Bauwerke.

### Bedeutung der Erkennung kritischer Infrastrukturbestände

Bauliche Strukturen unterliegen verschiedensten **inneren und äußeren Faktoren und Einflüssen**, die Abnutzung oder Funktionsstörungen verursachen können. Materialermüdung, mangelhafte Wartung, fehlerhafte Konstruktion oder mangelnde Qualitätskontrolle führen zu Schäden an zahlreichen bestehenden Bauwerken und somit zu schnellerem Verfall.

Darüber hinaus halten diese Bauwerke **exponentiell zunehmenden Belastungen** stand, die sich ständig verändern und somit höhere Beanspruchungsgrade, d. h. ein höheres Risiko für ein Versagen des Bauwerks nach sich ziehen.

Hinzu kommt, dass **größere und komplexere Infrastrukturen gebaut werden**, deren Konstruktion größere Herausforderungen darstellt. In diesen Fällen ist eine Beurteilung der Leistungsmerkmale dieser Bauwerke zwingend erforderlich, um die Sicherheit zu gewährleisten.

Durch Weiterentwicklung und Fortschritt hinsichtlich der Werkstoffe und Bautechnologien sowie aufgrund der Nutzungsanforderungen solcher Bauwerke besteht zudem die Notwendigkeit, **ausgereifte Bauverfahren und neue Bauformen zu validieren**.

All diese Faktoren haben zu einem Anstieg der Betriebs- und Wartungskosten sowie zu teuren Reparaturmaßnahmen geführt, wodurch die Investitionsrentabilität (Return on Investment, ROI) gefährdet wird.

Schließlich wurde erkannt, dass es unabdingbar ist, vorausschauend zu reagieren und bessere Wartungspraktiken anzuwenden. Dies könnte z. B. durch die Entwicklung kostengünstiger Lösungen zur **frühzeitigen Erkennung kritischer Infrastrukturbestände und somit von Schäden** gewährleistet werden.

## Anwendung des bestmöglichen Wartungsansatzes

Zahlreiche Organisationen, wie z. B. das Electric Power Research Institute, sind zu dem Schluss gekommen, dass durch vorausschauendes statt nur reaktives Handeln nicht nur die Sicherheit verbessert und gefährliche Störungen verhindert werden können, sondern dass ein solches Handeln auch ein **hohes Einsparpotenzial für die Eigentümer und Betreiber der Bauwerke** darstellt.

Die Deloitte University Press berichtete auch über Fälle von Unternehmen, bei denen das frühzeitige Erkennen der Ursache von Funktionsstörungen eine proaktivere Reaktion und dadurch **enorme Kosteneinsparungen** ermöglicht hat.

Laut einem Bericht des McKinsey Global Institute mit dem Titel [The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype](#) können Unternehmen und Hersteller durch vorausschauende Wartung bis zum Jahr 2025 Kosten im dreistelligen Milliardenbereich sparen.

Doch in der Realität ist immer noch das Gegenteil zu beobachten: Prüfungen werden selten und oft nur oberflächlich durchgeführt. Sichtprüfungen stellen nach wie vor die vorherrschende Praxis zur Überwachung der strukturellen Unversehrtheit eines Bauwerks dar.

Das Argument, dass Wartung zu kostenintensiv und darüber hinaus keine wirklich zentrale Anforderung sei, löst sich schnell in Luft auf, sobald eine kritische Infrastruktur oder ein großes Gebäude Schäden aufweist.

Die Lösung scheint darin zu liegen, **den Zustand und das Verhalten eines Bauwerks (und seiner Bestandteile) über einen langen Zeitraum kontinuierlich zu überwachen und dabei eine automatische Erkennung der kritischen Infrastrukturbestände zu erreichen.**

Tatsächlich können **Dauerüberwachungslösungen** die Integrität eines Bauwerks beurteilen und Informationen über das resultierende Beanspruchungskollektiv (Verkehrsbelastungen, Windkräfte, Temperaturschwankungen und andere Einflüsse) liefern und so teure Ausfallzeiten und Unfälle in der Zukunft vermeiden.



Abb. 1: Brückeneinsturz  
Aus <https://pixabay.com/de/> (frei zugänglich)

## Vorteile der kontinuierlichen Strukturüberwachung

Die kontinuierliche Überwachung und Beurteilung der Unversehrtheit eines Bauwerks durch Kurz- und Langzeitmessungen – auch bezeichnet als **Structural Health Monitoring (SHM)** – stellt heutzutage aufgrund der im Folgenden aufgelisteten Vorteile ein anerkanntes Verfahren dar:

- Die frühzeitige Erkennung von Unregelmäßigkeiten ermöglicht eine effizientere Umsetzung von Wartungs- und Reparaturmaßnahmen, was wiederum unmittelbare Auswirkungen hinsichtlich der Verringerung von Betriebskosten hat.

- Die Abschätzung der verbleibenden Nutzungsdauer eines Bauwerks ermöglicht eine rechtzeitige Reparatur oder auch die Verlängerung der voraussichtlichen Lebensdauer durch Materialermüdungsüberwachung.
- Die Automatisierung der Wartung geht mit einer Reduzierung der Ausfallzeiten einher und erfordert weniger Ausrüstungs- und Kapitalinvestitionen.
- Bessere Einblicke in das tatsächliche Verhalten eines Bauwerks tragen dazu bei, die allgemeine Sicherheit des Bauwerks zu gewährleisten.

Der Zustand eines Bauwerks kann durch **zuverlässige Erkennungssysteme** – wie z. B. Dehnungsmessstreifen, Sensoren und Aufnehmer, die über Netzwerke mit Datenerfassungssystemen mit intuitiver Software verbunden sind – überwacht werden. Diese Systeme bieten folgende Möglichkeiten:

- kontinuierliche Überwachung von Daten in Echtzeit,
- präzise Diagnose struktureller Parameter durch Analyse von Faktoren wie z. B. Schwingung, Dehnung, Weg und Temperatur,
- automatische Erkennung von Unregelmäßigkeiten und Funktionsstörungen durch präzise Messergebnisse,
- Erstellen von Datenberichten und Alarmauslösung.

Schließlich können Empfehlungen abgegeben werden, die darauf abzielen, den guten Zustand eines Bauwerks zu erhalten.

Letztendlich ist die **Implementierung eines Systems zur Identifikation von Schäden** unerlässlich, wobei sich moderne Überwachungslösungen während der gesamten Lebensdauer eines Bauwerks als Schlüsselfaktor erweisen – von seiner Planung über Bau und Betrieb bis zur Sanierung oder dem Ende der Nutzungsdauer.

Daher ist es von größter Bedeutung, dass Eigentümer, Integratoren und Betreiber die volle Bandbreite der Möglichkeiten zur Überwachung ihrer Bauwerke ausschöpfen, um eine bessere Wartung zu erzielen. Für eine bessere Entscheidungsfindung sollten sie sich des Umfangs der auf dem Markt verfügbaren Lösungen bewusst sein.

## Herausforderungen der Strukturüberwachung (SHM): Auswahl der passenden Lösung

Überwachungssysteme sollen über einen langen Zeitraum hinweg betrieben werden können und auch unter schwierigsten Bedingungen zuverlässig funktionieren. Mehrere kritische Faktoren, wie z. B. die Größe, der Standort und die Umgebung des Bauwerks sowie die Komplexität des Netzwerks, können sich als echte Herausforderungen erweisen:

- Bei den meisten Strukturüberwachungsanwendungen ist ein anfänglicher Vergleichswert erforderlich, um Schäden identifizieren zu können. Ist das System instabil, können die Messungen nicht aufeinander bezogen werden und ein Vergleich ist nicht mehr möglich.
- Der Einsatz an entlegenen Orten und in gefahrenträchtigen Umgebungen – Blitz, Feuchtigkeit, Salz, Staub, Schwingungen und Radioaktivität – kann sich ebenfalls negativ auf die Stabilität des Systems auswirken und die Messungen beeinträchtigen.
- Manchmal muss ein Überwachungssystem auch über große Entfernungen hinweg installiert und angeschlossen werden. Die Kombination einer hohen Messrate und vollständig synchronisierter Datenkanäle mit Sensoren, die über das ganze Bauwerk verteilt angeordnet und Kilometer voneinander entfernt sind, stellt eine echte Herausforderung dar.
- Wird eine hohe Anzahl von Sensoren verwendet, wird die Verkabelung und Verdrahtung zu einer komplexen Angelegenheit.

Optische Technologien wie z. B. **Fiber-Bragg-Gitter (FBG)** erscheinen dank der spezifischen Eigenschaften optischer Sensoren als eine praktikable und vielversprechende Möglichkeit, Herausforderungen wie beispielsweise große Sensornetze und gefahrenträchtige Umgebungen zu bewältigen.

Schließlich gelten für jede Anwendung eigene Vorgaben, Richtlinien und Anforderungen.

Um für alle Widrigkeiten hinsichtlich der Überwachung gerüstet zu sein, hat HBM unterschiedliche **messtechnische Lösungen mit Kombinationen aus Hardware und Software (elektrisch, piezoelektrisch oder optisch)** auf den Weg gebracht. Der Ansatz besteht darin, für jeden Anwendungsfall die am besten passende Lösung auszuwählen.

Egal, ob es sich nun um eine elektrische oder optische Lösung handelt – durch die Verknüpfung von Sensoren mit Datenerfassungssystemen und vernetzten Datendiensten kann das Unternehmen **maßgeschneiderte Lösungen für Überwachungsanwendungen** anbieten. Darüber hinaus können **synchronisierte Hybridkombinationen elektrischer und optischer Geräte** speziell konfiguriert werden, um den für die Anwendung geltenden Richtlinien zu entsprechen.

Dank der über viele Jahre hinweg gesammelten Erfahrung in allen Hauptbereichen der **Sensortechnologie, Dehnungsmessung sowie der experimentellen Spannungsanalyse (Experimental Stress Analysis, ESA)** konzentriert sich HBM darauf, eine breit gefächerte Produktpalette für eine zuverlässige und kostengünstige Langzeitüberwachung anzubieten.

## Überwachung mit Messtechnik von HBM

HBM ist nicht nur Technologieanbieter, sondern auch Spezialist in der Entwicklung und Fertigung von Überwachungssystemen für die Beurteilung des Zustands und der Unversehrtheit von Bauwerken über lange Zeiträume.

Der Lieferumfang von HBM reicht von der Bereitstellung von Komponenten, die als Teil einer Lösung integriert werden sollen, bis zum Bau maßgeschneiderter Systeme unter Verwendung der am besten zu den Anforderungen der entsprechenden Anwendungen passenden messtechnischen Technologien und Produkte.

Normalerweise – und insbesondere wenn es um große Überwachungsprojekte geht – wird ein modulares System empfohlen. Modulare Lösungen ermöglichen die Kombination jeglicher Art von Dehnungsmessstreifen, Sensoren und Aufnehmern in einer Schaltschranklösung für den Innen- oder Außenbereich. Im Schaltschrank befinden sich geeignete Messverstärker und Datenerfassungsgeräte, wie z. B. **QuantumX, PMX, Somat** oder optische Interrogatoren vom Typ **BraggMETER**.



Abb. 2: Beispiel eines Überwachungsschaltschranks von HBM

Eine zusätzliche Softwarelösung ist ebenfalls erforderlich. HBM bietet verschiedene Pakete an, wie z. B. **catman AP** zur Datenerfassung oder die Serie **nCode** für Analyse und Berichterstellung. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, weitere Softwarelösungen für Baustellenstatus, Übersicht und Alarmierung sowie Berichte zu verwenden.

Außerdem bietet das neue **cloudbasierte Structural Health Monitoring (SHM)-Paket** von HBM jederzeit Zugriff auf relevante Zustandsdaten von Infrastrukturen. Kunden profitieren von einem fertig installierten Gesamtpaket inklusive Datenbereitstellung über das Internet.

Dank der **Cloud-Lösung** müssen Anwender keinen eigenen Server zur Sicherung und Analyse von Daten einrichten. Um die Einhaltung strengster Normen für Datensicherheit – einschließlich der Normen nach europäischem Recht – sicherzustellen, verwendet HBM die bekannte Plattform **Microsoft Azure**.

Abhängig vom jeweiligen Land verfügt HBM über ein Team qualifizierter und zertifizierter Projekt Ingenieure, die **professionelle Vor-Ort-Installation** und Support hinsichtlich der gesamten Bandbreite von Instrumenten in jeder Art von Umgebung bereitstellen.

Im Laufe der Jahre hat das Unternehmen Überwachungssysteme für unterschiedlichste Bauwerke eingesetzt. Zu diesen Bauwerken gehören beispielsweise Tunnel, Brücken, Schienenwege, Windenergieparks und Kernkraftwerke, von denen viele weltweit noch immer überwacht werden. Darüber hinaus kann HBM auf eine wachsende Anzahl von Anwendungsreferenzen verweisen, bei denen auch führende Großunternehmen beteiligt sind.

Mehr Informationen zu den Überwachungslösungen von HBM finden Sie unter:  
[www.hbm.com/SHM](http://www.hbm.com/SHM)

#### Anwendungsbeispiele

- Statische und dynamische Belastungsprüfungen zur Vorhersage von Materialermüdung und Lebensdauer;
- Materialprüfungen (z. B. Verhaltensanalyse von Beton oder Verbundwerkstoffen) für Armierungstechniken;
- Experimentelle Analyse von Bauweisen;
- Validierung maßstabsgetreuer Modelle und Bauformen;
- Modellkalibrierung.