

Sicherheit von Bauwerken durch Überwachung und zerstörungsfreie Prüfungen

Sven HOMBURG, Andreas HASENSTAB, Günther JOST, LGA Bautechnik, TÜVRheinland®, Nürnberg

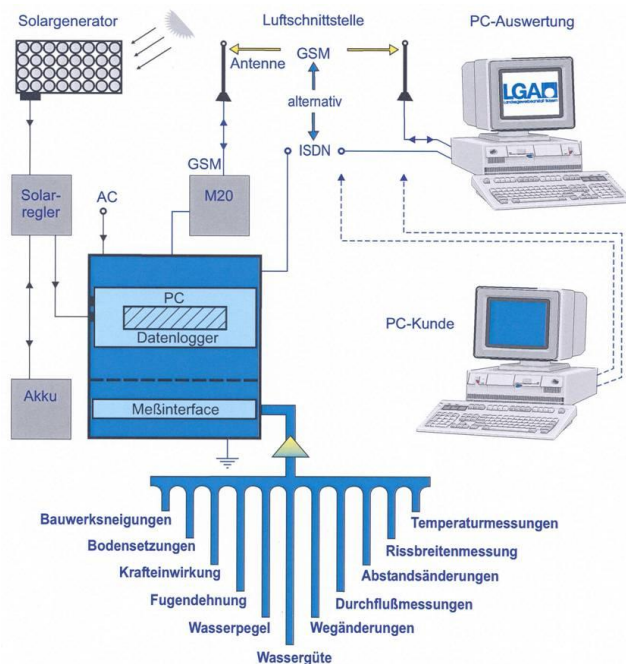
Kurzfassung: Die elektronische Bauwerksüberwachung dient der Feststellung und ganzheitlichen Betrachtung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bestandsbauwerken. Weiter ist sie hilfreich, um Daten bzw. Historien des Bauwerkszustandes zu sammeln und dadurch genaue und sichere Aussagen für später geplante Sanierungs- oder Instandhaltungsmaßnahmen zu erhalten.

Das Zusammenspiel aus Tragwerksplanung, Facility Management und Bauwerksprüfern spielt bei der Konzeptionierung eine große Rolle. Um genaue Aussagen im Zusammenhang mit der Bauwerksüberwachung treffen zu können, müssen zum permanenten Ausschluss physikalischer Unbekannter, verschiedene Prüfungen am Bauwerk vollzogen werden. Diese dienen zum einen der Entscheidungsfindung, sowie auch als Hilfestellung zur Konzeptionierung des Überwachungssystems.

Einen großen Bestandteil dieser Prüfungen können zerstörungsfrei durchgeführt werden und bieten damit eine kostengünstige Grundlage zur Sicherheit von Aussagen zum überwachten Bauwerkszustand.

1. Einleitung und Problemstellung

In unserem Umfeld ist das Messen von Größen allgegenwärtig und ermöglicht uns, im täglichen Leben laufende Prozesse zu beobachten und Entscheidung zu treffen.



Auch im Bauwesen setzt sich dieser Trend zunehmend durch. Bauwerke unterliegen heute längeren Nutzungszeiten und werden zum Teil deutlich stärker belastet als das früher geplant war. Umwelteinflüsse fördern das schnelle Altern der Bauwerke und lassen eventuell vorhandene Herstellungsmängel (z.B. geringe Betonüberdeckung des Bewehrungsstahls in Betonbauwerken) besonders sichtbar werden.

Andererseits haben die Besitzer und Betreiber von Bauwerken gerade auch im öffentlichen Bereich oft nicht die finanziellen Mittel um ihre Bauwerke entsprechend den Ergebnissen der regelmäßig durchzuführenden Bauwerksprüfungen zu erhalten.

Abbildung 1: Schema eines Überwachungskonzeptes

Das Beobachten und Aufzeichnen von Belastungen und Verformungen an Bauwerken wird im Hinblick auf die Sicherheit und Funktionsfähigkeit von Bauwerken mit hohem Risiko- bzw. Schadenspotenzial somit immer wichtiger. Gerade in der heutigen Zeit, in der die finanziellen Ressourcen einen sofortigen Ersatz von Bauwerken ausschließen, wird eine zeitlich begrenzte oder dauerhafte messtechnische Überwachung betroffener Bauwerke unumgänglich. Nur so kann die notwendige Datenbasis zur Beurteilung eingetretener Schäden und Tragfähigkeitsverluste erstellt werden.

In Kombination mit zerstörungsfreien Untersuchungen besteht die Möglichkeit, kostengünstige Lösungen für Reparaturen und Ertüchtigungsmaßnahmen zu entwickeln. Entscheidungen werden somit auf der Grundlage von objektiven Messwerten getroffen.

2. Methodik

Ob Historische-, Stahl-, Holz-, Beton- oder Erdbauwerke; gefragt sind Lösungen welche die Instandhaltungskosten deutlich senken ohne das Sicherheitsniveau zu verringern.

Zur Feststellung der Gebrauchstauglichkeit und zur optimierten Instandhaltung von Bauwerken müssen Konzepte einer elektronischen Bauwerksüberwachung mit ganzheitlicher Beurteilung erstellt werden. Für die richtige Gestaltung einer dauerhaften Überwachung von Bauwerken, wie z.B. die Wahl und Positionierung der Sensortechnik, ist es oft erforderlich, mittels zerstörungsfreier Prüfungen zusätzliche Informationen über das Innere des Bauwerks zu erhalten.

Im Fokus der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks, ist eine Symbiose aus Erforschung von Bestandsdaten, Tragwerksplanung, Facility Management und zerstörungsfreier Prüfungen in den meisten Fällen unumgänglich. Je nach Aufgabenstellung, bzw. abhängig von den fehlenden jedoch wichtigen Informationen zum Bauwerk und zur Bausubstanz, kommen dabei die unterschiedlichsten Untersuchungen in Frage.

2.1 Elektromagnetische Reflexionsverfahren (EMR)

Das bekannteste elektromagnetische Reflexionsverfahren ist das Impulsradar. Durch diese aktive Prüfung können Störungen innerhalb massiver Körper durch Reflexion elektromagnetischer Strahlungen erfasst werden. Beim Radar handelt es sich um ein Impulsverfahren, das kurze Impulse von wenigen Nanosekunden Länge von der Oberfläche in den Untergrund abstrahlt und nach Reflexion an einer Schichtgrenze oder Objekten sowie der Streuung an Einlagerungen wieder aufnimmt.[3] Im Hinblick auf die Planung und Durchführung von Überwachungskonzepten, können mit Hilfe von Radarmessungen verborgene, statisch relevante Eisen, Hohlräume oder feuchte Bereiche im Mauerwerk geortet werden. Aufgrund der breitbandigen Dipolantennen des Radars, mit Arbeitsbereichen zwischen 1 MHz und 30 GHz, können ebenfalls Aussagen über die Lage von Spannkämen bis hin zum Schichtenaufbau unter den Fundamenten eines Bauwerks getroffen werden. Die Vorteile der Anwendung liegen im geringen Messaufwand und in der Tatsache, dass nur eine zugängliche Seite des zu untersuchenden Bauteils notwendig ist.

2.2 Akustische Prüfverfahren

Als aktive akustische Prüfverfahren zur Bauwerksdiagnose kommen unter anderem das Ultraschall-Echo-Verfahren, sowie das Impact-Echo-Verfahren in Frage.

Beim Ultraschall-Echo werden auf einem Messraster Ultraschallwellen in das Bauteil gesendet und die Reflexionen registriert. Ähnlich dem Ultraschalllaufzeit - Verfahren werden Laufzeit und gegebenenfalls Intensität und Frequenzspektrum gemessen. [3]

Aufgrund des Frequenzbereiches von 40 bis 200 kHz ist das Ultraschall-Echo geeignet zur Lokalisierung von Konstruktionselementen und Fehlstellen. Dabei bedeutet eine niedrige Laufzeit des Impulses eine kleine Tiefe bis zum Impedanzsprung (Reflexionsstelle). Worum es sich handelt, kann nicht direkt aus einer einzelnen Messung gesagt werden, kann sich aber im Vergleich mit den anderen Messpunkten ergeben. Ebenso können nur einseitig erreichbare Wanddicken bestimmt werden. [3]

Eine weitere in der Konzeptionierung von Bauwerksüberwachungen angewendete Prüfung ist das Impact-Echo-Verfahren. Durch einen mechanischen Stoß wird das zu untersuchende Bauteil zu Schwingungen angeregt. Zwischen den Grenzflächen (z.B. Sender auf der Oberfläche und Fehlstelle) bilden sich stehende Wellen aus. Über eine Fourieranalyse des empfangenen, also des reflektierten Signals können diese Eigenfrequenzen und somit Tiefen zum reflektierenden Medium bestimmt werden. Das Prüfverfahren eignet sich ebenfalls zur Lokalisierung von Konstruktionselementen und Fehlstellen, sowie zur Bestimmung von nur einseitig erreichbaren Wanddicken.[3]

2.3 Bildgebende Prüfverfahren

Als bildgebende Verfahren bezeichnet man die Gesamtheit der apparativen Verfahren, mit denen beispielsweise physikalische Phänomene visualisiert werden.

Ein solches Verfahren ist die Infrarot-Thermographie die die für das menschliche Auge unsichtbare Wärmestrahlung (Infrarotlicht) eines Objektes oder Körpers mit Hilfe von Spezialkameras sichtbar macht. Das zu untersuchende Objekt sendet Wärmestrahlung aus, die von der Kamera aufgenommen und in Falschfarbenbilder umgewandelt werden.

Die Einsatzbereiche findet man im Auffinden von Wärmebrücken, im Auffinden von verborgenen Strukturen (z.B. Fachwerke oder Fußbodenheizung) oder in der Lokalisierung von Feuchte- und Fehlstellen. [3]

2.4 Optische Prüfverfahren

Ein für den Einsatz im Bauwesen sehr genaues optisches Prüfverfahren ist das 3D-Laserscanning. Als Laserscanning (auch Laserabtastung) bezeichnet das zeilen- oder rasterartige Überstreichen von Oberflächen oder Körpern mit einem Laserstrahl, um diese zu vermessen oder zu bearbeiten oder um ein Bild zu erzeugen. [3]

Der Vorteil der 3D-Laservermessung liegt darin, sämtliche geometrischen Informationen eines Bauwerks erfassen zu können, und diese im Nachhinein als CAD-basierendes Modell im Computer weiter verarbeiten zu können. Dies ermöglicht unter Anderem exakte FEM-Simulationen des Bauwerks.

3. Anwendungsbeispiele

3.1 Historische Bauwerke

Beispielhaft kann man sich einen historischen Dom vorstellen. Die Außenwände gleiten auseinander, das Gewölbe beginnt zu reißen. Im Laufe der Jahrhunderte sind durch die alten Baumeister unzählige Umbauten vorgenommen worden. Jedoch sind die historischen Dokumentationen zum Baufortschritt unvollständig. Es stellt sich nun die Frage, wie man die Bewegungen der Außenwände stoppen kann. Eine bauliche Planung, ohne die statischen Randbedingungen genau erfasst zu haben, wäre oberflächlich und mit Sicherheit nicht zielführend.

Es fehlen objektive Daten zur Beurteilung des eigentlichen baulichen Problems. Es muss ein ganzheitliches Überwachungskonzept erstellt werden. Nun müssen die Planer die Fragen nach

den Schwachpunkten im System, der größten statischen Momente, oder der äußeren teilweise auch dynamischen Einflüsse wie z.B. Verkehr, Sturm und Klimaänderung erörtern und in das Überwachungskonzept einfließen lassen.



Abbildung 2: 3D-Laserscanner , links Laserbild, rechts Foto

Der erste Schritt sollte in jedem Fall die Erfassung der genauen Geometrie des Bauwerks sein. Dazu bietet sich heutzutage ein dreidimensionaler Laserscan des Gebäudes an. Neben den genauen Abmessungen der äußeren Hülle und des Tragwerks, liefert dieser auch geometrische Informationen zu Fugen, Rissen und Fehlstellen im alten Gemäuer. Weiter können die nun vorhandenen Punktwolken zu Simulationszwecken in FEM-Programmen genutzt werden, oder zur

Planung späterer Sanierungskonzepte verwendet werden. Ebenso wie die geometrische Erfassung des Bauwerks, ist es zur Überwachungskonzeptionierung und zur Erfassung des Tragwerks von großer Bedeutung eventuelle statisch relevante Unbekannte auszuschließen oder in die Planung aufzunehmen. Radaruntersuchungen im Gewölbe, in den Gurten und Bögen, machen z.B. historische Dübel und Spangen oder Hohlräume sichtbar, mit denen man aufgrund fehlender Aufzeichnungen nicht gerechnet hätte. Impact Echo Messungen und Ultraschallanalysen geben Aufschluss über die Integrität tragender Bauteile. Infrarot-Thermographie hilft bei der Suche nach Leckaschen und feuchtebedingten Mauerwerksschäden.

Nachdem alle statisch und inhaltlich relevanten Informationen gesammelt wurden, kann ein ganzheitliches Konzept zur elektronischen Bauwerksüberwachung erstellt und installiert werden. Jetzt hat man die Möglichkeit gezielt dem Problem auf den Grund zu gehen und kann aufgrund eines exakt auf das Bauwerk zugeschnitten Überwachungssystems objektive Daten zum Bauwerksverhalten zu sammeln.

3.2 Spann- und Stahlbeton

Zerstörungsfreie Untersuchungen spielen nicht nur im Bereich der Überwachung historischer Bausubstanzen eine große Rolle. Auch im „modernen“ Bauwesen stimmen Planfeststellung und Bauausführung nur in den seltensten Fällen 100%-ig überein.

Überwacht man z.B. die zeitveränderliche Durchbiegung von Spannbetondachbindern einer Sporthalle, spielt die Lage, die Betondeckung und der evtl. Korrosionsgrad der Spannglieder eine erhebliche Rolle. Zum einen für die maximal erwartete Durchbiegung, als auch für die Installation der Sensoren sind die vorab genannten Informationen zwingend erforderlich. Stimmt zum Beispiel die Betondeckung nicht mit den Planungsunterlagen überein, kann beim installieren der Sensorik ein Spannstahl verletzt, und die gesamte Überwachung hinfällig werden.

Bewehrungssuche, Radarmessungen und Potentialfeldanalysen bieten dabei Abhilfe und resultieren in den erwünschten Informationen.

Auch die Thermographie spielt in der Konzeptionierung von Bauwerksüberwachungen eine große Rolle. Sie hilft Wärmebrücken zu finden und somit Rückschlüsse auf fäulnisgefährdete Bereiche von z.B. Brettschichtholz-Bindern zu treffen. Aktiv betrieben, können mit der Thermographie auch oberflächennahe Schäden in Stahlbetonbindern geortet werden, welche in ein eventuelles Überwachungskonzept in jedem Fall einfließen müssen.

Die genannten Beispiele der zerstörungsfreien Prüfungen, lassen sich im Hinblick auf eine sichere Konzeptionierung der Überwachung von Bauwerken auf die verschiedensten Konstruktionsarten, Bauweisen und Verwendung von Baumaterialien übertragen.

In jedem Fall können vorab durchgeführte Prüfungen sicherzustellen, dass die elektronische Überwachung auf das Bauwerk zugeschnitten ist und eine ausreichend sichere Bewertungen der Messungen, sowie Aussagen zur Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks selbst bietet.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In der heutigen Zeit, in der die finanziellen Ressourcen einen sofortigen Ersatz von Bauwerken ausschließen, wird eine zeitlich begrenzte oder dauerhafte messtechnische Überwachung von Bauwerken mit hohem Risiko- bzw. Schadenspotenzial unumgänglich.

Der Einsatz zerstörungsfreier Prüfungen bietet eine Möglichkeit die Überwachungskonzepte zu perfektionieren und genau auf das zu überwachende Bauwerk zuzuschneiden.

Ob nun Ultraschall-Echo, Radar, Thermographie oder dynamische Anregungen, die sinnvolle Anwendung zerstörungsfreier Prüfungen hilft immer unbekannte Variablen aus dem Konzept der dauerhaften Bauwerksüberwachung zu beseitigen. Damit tragen sie auch maßgeblich zur Steigerung der Aussagegenauigkeit während der Überwachungsphase eines Bauwerks bei.

Da durch die Reduzierung von Unbekannten eine bessere Planung und Realisierung von Überwachungskonzepten möglich ist, bietet das durch die Prüfungen erhaltene Wissen auch eine Sicherheit zur Aussage der Gebrauchstauglichkeit bestehender Bauwerke mit hohem Risikopotential.

Referenzen

- [1] Zerstörungsfreie Prüfverfahren an Holz und Beton im Bauwesen mit Beispielen, A. Hasenstab, S. Homburg, G. Jost, Seminar „Sicherheit von Hallendächern“ bei der Landesbaudirektion an der Autobahndirektion Nordbayern in Nürnberg; am 14. 11. in Nürnberg (2006)
- [2] Anwendungsbeispiele zerstörungsfreier Prüfverfahren an Beton und Holz sowie der Möglichkeiten zur elektronischen Bauwerksüberwachung, A. Hasenstab, S. Homburg, G. Jost, LGA Nürnberg, TÜVRheinland, (2007)
- [3] Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP) – www.dgzfp.de