



Zerstörungsfreie Prüfverfahren für die Bauwerksdiagnose – aktueller Stand und zukünftige Möglichkeiten

Claus FLOHRER, HOCHTIEF Construction, Walldorf-Mörfelden

Kurzfassung. Zerstörungsfreie Prüfverfahren sind für die Bauwerksanalyse unabdingbar und in Zukunft auch zur Überwachung und Steuerung des Erhaltungsaufwands von Bauwerken erforderlich.

Es werden Prüfaufgaben und moderne Prüfverfahren für die Bauwerksdiagnose im Überblick beschrieben und Einsatzbeispiele genannt. Dabei wird zwischen manueller großflächiger Anwendung der Verfahren und Aufgaben für gezielte Anwendung hochwertiger Technik differenziert.

1. Einführung

Die Gebäudediagnose als Bestandteil eines Werterhaltungskonzepts oder zur Beurteilung der Standsicherheit und Dauerhaftigkeit eines Bauwerks gelingt nur dann zuverlässig, wenn auch die tragenden Teile bewertet werden können. Bei großflächigen Bauwerkserhaltungsmaßnahmen oder bei der Umnutzung von Gebäuden wird der Aufwand für die flächige Bestandsaufnahme häufig unterschätzt.

Zerstörungsfreie Prüfverfahren für die Gebäudediagnose stehen zur Verfügung. Der Aufwand beim Einsatz der Verfahren und deren Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Prüfaufgabe ist sehr unterschiedlich

2. Prüfaufgaben bei der Gebäudediagnose

In der Baupraxis wird bei der Gebäudediagnose eine unterschiedliche Anwendung von ZfP-Verfahren beobachtet. Sie reicht von einer regelmäßigen Bauwerksprüfung bis hin zum versuchsweisen Einsatz von Prüfverfahren während der bereits begonnenen Instandsetzung. Ein Grund für die nicht konsequente Nutzung mag der geringe Anteil genormter Prüfverfahren im ZfP-Bau-Bereich sein.

Neben Rückprallhammer (Schmidt-Hammer) und Betondeckungsmessgräten sind bei Planern und Ausführenden wenige baupraktisch einsetzbare Prüfverfahren bekannt. Es existieren jedoch für viele weitere Verfahren von der DGZfP veröffentlichte Merkblätter und bei den Anwendern ausreichende Praxiserfahrung. Die Regelwerke zeigen Einsatzmöglichkeiten und Grenzen, Grundlagen werden beschrieben und Fallbeispiele tragen zu verbesserter Anwendungssicherheit bei.

Prüfaufgaben für die Beurteilung der Tragkonstruktion im Rahmen einer Bauwerksdiagnose, die mit zerstörungsfreien Prüfverfahren zu lösen sind, können vielfältig sein. In Tabelle 1 sind typische Prüfaufgaben zusammengestellt.

Prüfergebnisse können lokal für einzelne Bauteile oder Teile davon gefordert werden. Häufig wird jedoch eine Aussage zu allen gleichartigen Bauteilen erwartet, so dass eine großflächige oder vollständige Prüfung erforderlich wird. Je nach erwartetem Prüfergebnis sind die zur Verfügung stehenden Prüfverfahren in unterschiedlicher Konfiguration einzusetzen.

Beispielsweise ist zur Aussage über die Dauerhaftigkeit einer Brücke mit integrierten Verdrängungskörpern, bei der ausgeschlossen werden soll, dass kein Wasser in den Verdrängungskörpern steht, eine vollständige Prüfung aller Verdrängungskörper erforderlich, wenn nicht durch äußere Merkmale die mögliche Wasserbeaufschlagung der Verdrängungskörper erkannt werden kann.

Im Gegensatz dazu kann es zur Überprüfung des Verpresszustands von Spanngliedern ausreichend sein, diese nur im Bereich bekannter Schwachpunkte weitergehend zu untersuchen. Für eine derartige kleinflächige Untersuchung kann dafür die Untersuchungsintensität erhöht sowie der Einsatz der Prüfverfahren und der Prüfaufwand verstärkt werden.

Die Festlegung, welche Prüfverfahren bei welchem Prüfaufwand zu welcher Prüfungsfähigkeit führen oder führen müssen ist gemeinsam durch die Fachingenieure für die Bauwerksdiagnose und für die Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren zu treffen.

Tabelle 1. Prüfaufgaben bei der Bauwerksdiagnose

Prüfaufgaben	Prüfverfahren	Prüfziel
Betondruckfestigkeit	Rückprallhammer + zerstörende Prüfung an Bohrkernen	Einstufung des Bestandbetons in Druckfestigkeitsklassen
Oberflächenzugfestigkeit	Haftzugversuch	Aufbringen von Verbundschichten auf Altbetonflächen
Betondeckung, Durchmesserbestimmung der Bewehrung	Betondeckungsmessgeräte, Radar (tief liegende Bewehrung)	Bewertung der Dauerhaftigkeit und der Tragfähigkeit
Lage und Anordnung der Bewehrung	Betondeckungsmessgeräte, Radar, Durchstrahlungsprüfung	Bewertung der Dauerhaftigkeit und der Tragfähigkeit
Ortung von Fehlstellen im Beton, Strukturänderungen	Radar, Ultraschall-Echo, Impakt-Echo	Bewertung der Homogenität von Massivbauteilen
Bestimmung der Bauteildicke, Tiefenlage von Einbauteilen oder Fehlstellen	Impakt-Echo, Ultraschall-Echo, Radar	Einseitig zugängliche Bauteile, Verdrängungskörper im Beton, Stahleinbauteile Ortung von Dämm- oder Trennschichten, mehrschalige Bauteile
Schichtenaufbau Wand und Boden	Radar + ergänzende zerstörungssarme Untersuchung (z.B. Endoskopie)	Zur großflächigen Bestandsaufnahme bei der Bauwerksdiagnose
Feuchtezustand der Bauteile	Mikrowellen, Radar, kapazitive Verfahren	Erfassung des Feuchtezustands von Bauteilen der Werkstoffen
Ortung von Spanngliedern (laterale Lage, Tiefenlage)	Radar	Sichere Erkennung von Spanngliedern als Vorleistung für weitere Untersuchungen der Spannglieder oder für Instandsetzungsarbeiten
Verpressfehler bei Spanngliedern im nachträglichen Verbund	Ultraschall-Echo	Beitrag zur Standsicherheitsanalyse eines Spannbetonbauteils
Aktive Korrosion der Bewehrung	Potentialdifferenzmessung	Bewertung der Dauerhaftigkeit und der Standsicherheit
Spanndrahtbrüche	Magnetfeldverfahren	Untersuchung von Spannbetonbauteilen bezüglich möglicher Spanndrahtbrüche
Verleimte Holzbalken	Ultraschall-Echo	Untersuchung von Holzelembindern bezüglich Struktur oder Verbindungsfehler

3. Leistungsfähige Prüfverfahren

Elektromagnetische, akustische oder magnetische Verfahren wurden in den vergangenen Jahren soweit verbessert, dass damit schwierige Prüfaufgaben an Stahl- und Spannbetonbauwerken oder an anderen Bauteilen und anderen Werkstoffen lösbar sind. In Tabelle 1 sind neben den Prüfaufgaben die möglichen Prüfverfahren (einzeln oder in Kombination) sowie die Prüfziele beschrieben.

Betondeckungsmessgeräte wurden ab ca. 1990 soweit verbessert, dass eine Kurvenauswertung von Messsignalen, die in Abhängigkeit des abgefahrenen Messweges aufgezeichnet wurden, möglich war [1]. In späteren Entwicklungsschritten wurden die Signale nicht mehr entlang von Messlinien sondern durch Abfahren eines Messrasters mit Mehrfachprüfköpfen erfasst und anschließend so ausgewertet, dass die Bewehrungslage bildgebend dargestellt werden konnte. Der Informationsgehalt wurde dadurch jedoch nicht verbessert, da die Auflösungsgrenze dieser induktiven Messverfahren durch die Tiefenlage und den Abstand der Bewehrungsstäbe untereinander begrenzt wird [2]. Mit diesen Verfahren sind normalerweise nur die beiden oberflächennahen, kreuzweise verlegten Bewehrungslagen detektierbar.

Für die Erfassung tief liegender Bewehrung wird das Radarverfahren verwendet, das in Deutschland seit ca. 20 Jahren für derartige Prüfaufgaben eingesetzt wird. Radar ist insbesondere dann gegenüber mit mechanischen Wellen arbeitenden Verfahren im Vorteil, wenn Gegenstände mit dichterem Material (höhere Dielektrizität) in weniger dichten Umgebungsmaterialien geortet werden müssen [3,4].

Durch die Kombination von Radar und dem zuvor beschriebenen, Messlinien aufzeichnenden Betondeckungsmessgerät gelang es, zum einen mehrere Lagen Bewehrungslagen sichtbar zu machen sowie Spannglieder unter der Stahlbewehrung sicher von dieser zu differenzieren [5]. Die beiden Verfahren werden auch heute noch für diese Prüfaufgaben eingesetzt.

In den meisten Fällen ist es erforderlich, die im Beton vorhandene Bewehrung großflächig zu orten, so dass schienengeführte Systeme für diese Aufgabe zu langsam waren. Mit schienengeführten Systemen wurde jedoch bereits vor ca. 10 Jahren gearbeitet, wenn in kleinen Teilbereichen die Informationsdichte verbessert werden musste. Lediglich die schnelle Superposition der Messsignale verschiedener Messverfahren war damals noch nicht möglich.

Das Radarverfahren kann heute als Standardmessverfahren für die Ortung von Spanngliedern in Spannbetonbauteilen eingestuft werden, wenngleich die Interpretation der Messdaten, wegen der vielen Störsignale durch die schlaffe Bewehrung, nach wie vor viel Erfahrung des Mess- und Auswertepersonals erfordert (Abb.1). Für die Anwendung des Radarverfahrens liegt in Deutschland ein Merkblatt der DGZfP vor.

Die manuelle Messung hat für die Standardanwendungen nach wie vor den Vorteil, dass die Durchführung der Messungen besser an die Umgebungsbedingungen angepasst und Messlinien leichter variiert werden können. Je dichter die Spannglieder liegen (z.B. in Brückenüberbauten), desto eher kann es an lokalen Stellen erforderlich werden, ganze Messfelder mit dicht liegenden Messlinien abzuscannen, um die Spannglieder aus den aufgezeichneten Messsignalen interpretieren zu können.

Auch für die Ortung von metallummantelten Hohlkörpern (z.B. Verdrängungsrohre in Brückenplatten), ist der Einsatz des Radarverfahrens im manuellen Einsatz sinnvoll. Beispielsweise werden Verdrängungskörper in den Fahrbahnplatten von Plattenbrücken mit Radar geortet und anschließend durch endoskopische Untersuchungen weitergehend überprüft. Dazu ist die gesamte Brückenuntersicht einer Brücke, die z.B. über eine Bahnlinie führt, in nur wenigen Stunden der zur Verfügung stehenden Sperrpause zu untersuchen. Eine dazu erforderliche Flexibilität bei der Untersuchung von Untersuchungsplattformen

oder von Hubsteigern schließt den Einsatz von schienengeführten Systemen oder insbesondere von scannenden Systemen aus. Wegen des vergleichsweise einfachen Informationsgehaltes, der dabei erforderlich ist (laterale Lage, Tiefenlage oder Schräglage der Verdrängungsrohre), ist auch kein scannendes Verfahren erforderlich und wirtschaftlich interessant (Abb. 2).



Abbildung 1. Ortung von Spanngliedern und Hohlstellen in Spannbetonbindern einer Sporthalle



Abbildung 2. Ortung von Verdrängungskörpern in einer Brücke über einer Bahnlinie

Gleichartige Messungen werden beispielsweise auch bei Verdrängungskörpern, die durch verlorene Holzschalung hergestellt wurden, durchgeführt. Durch den Übergang der Radarwelle vom Beton in den Luftraum (geringe Dichte und hohe Wellengeschwindigkeit) ist die Reflektion an der Schichtgrenze vergleichsweise schwach und damit schwerer interpretierbar. Wird eine Aussage über eine mögliche Wasserfüllung der Hohlräume gefordert, bietet das Radarverfahren Vorteile, weil der Unterschied zwischen der Reflektion zum luftgefüllten Hohlraum und der Reflektion zum wassergefüllten Hohlraum signifikant und aussagekräftig ist.

Zur großflächigen Erkennung und Bewertung der Gleichartigkeit der tragenden Strukturen oder Aufbauten (Decken oder Wänden) auf tragenden Strukturen bei der Bestandserfassung oder Bauwerksdiagnose kann ebenfalls das Radarverfahren eingesetzt werden. Mit Radar gelingt die Auflösung von Deckentragsystemen auch unter Bodenaufbauten, da die elektromagnetischen Radarwellen auch bei einseitiger Zugänglichkeit die Baustoffe durchdringen und Informationen von darunter liegenden Schichten liefern kann. Auch für Mauerwerksuntersuchungen eignet sich das Radarverfahren besonders, da es dicke Mauerwerksschichten durchdringt und einzelne Schichten auflöst und dabei ohne direkte Ankopplung auf der Bauteiloberfläche eingesetzt werden kann. Dies kann insbesondere beim Denkmalschutz von zentraler Bedeutung sein (Abb. 3).



Abbildung 3. Ortung von Lüftungskanälen und Schichtgrenzen im Mauerwerk auf einer denkmalgeschützten Stuckfläche

Mit Ultraschall-Echo oder Impakt-Echo gelingt es, die Homogenität von Bauteilen zu beurteilen, Fehlstellen in tragenden Bauteilstrukturen nachzuweisen sowie Bauteildicken zerstörungsfrei zu ermitteln [3,6]. Für Ultraschall-Echo und Impakt-Echo werden derzeit Merkblätter der DGZfP erarbeitet

Die oben genannten Verfahren wurden in der Vergangenheit „im Handbetrieb“ eingesetzt, um möglichst großflächig, bauwerks- und bauteilspezifisch und individuell die Messaufgaben lösen zu können. Dabei ist zwangsläufig die Messpunktdichte geringer als bei schienengeführten oder scannenden Messsystemen. Der Vorteil des manuellen Einsatzes der Verfahren ist jedoch, dass der Einsatz der Prüfverfahren wirtschaftlich interessant ist und damit die Akzeptanz beim Kunden eher findet. Sofern derartige Verfahren oder die weiter entwickelten scannenden Verfahren im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungstätigkeit den Kunden angeboten werden, wird die Bereitschaft beim Kunden groß sein. Ist die Messdienstleistung vollumfänglich zu bezahlen, können durchaus manuell eingesetzte Prüfverfahren hohe Akzeptanz finden.

Mit dem Remanent-Magnetfeldverfahren lassen sich Risse in Spannstählen, auch von Spanndrähten und Spannstählen in metallischen Hüllrohren nachweisen. Der Einsatz des Messwagens, in dem die Magnetisiereinheit und die Sonden zur Erfassung des Magnetfeldes untergebracht sind, erfolgt dabei in Schienensystemen (Abb. 4). Bei gekrümmt verlaufenden Spanngliedern müssen die Schienensysteme dem Spanngliedverlauf angepasst wer-

den. Mit der Entwicklung diese Verfahrens gelang der Übergang zu schienengeführten und spannenden Systemen, die zwischenzeitlich durch weitere Entwicklungen ergänzt wurden.



Abbildung 4. Spann Stahl-Rissortung mit dem schienengeführten Manetfeldverfahren

4. Zukünftiger Einsatz von Prüfverfahren

Zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Prüfverfahren werden zur Datenaufnahme ergänzend scannende Systeme eingesetzt, die eine hohe Messpunktdichte bei der Messdatenaufnahme ermöglichen. Eine entscheidende Erhöhung der Auflösung wird von automatisierten Messsystemen erwartet, die horizontale und vertikale Flächen großflächig und schnell erfassen können und dabei durch mehrere Sensoren gleichzeitig bestückt werden können. Prototypen von automatisierten, selbstlaufenden scannenden Systemen wurden entwickelt und wurden versuchsweise an Bauwerken zur Lokalisierung von Verpressfehlern bei Spanngliedern eingesetzt (Abb. 5). Mit dem Saft-Algorithmus können Messdaten so ausgewertet und aufgearbeitet werden, dass die Ergebnisse nutzerverständlich als 3D-Rekonstruktion dargestellt werden [7, 8].

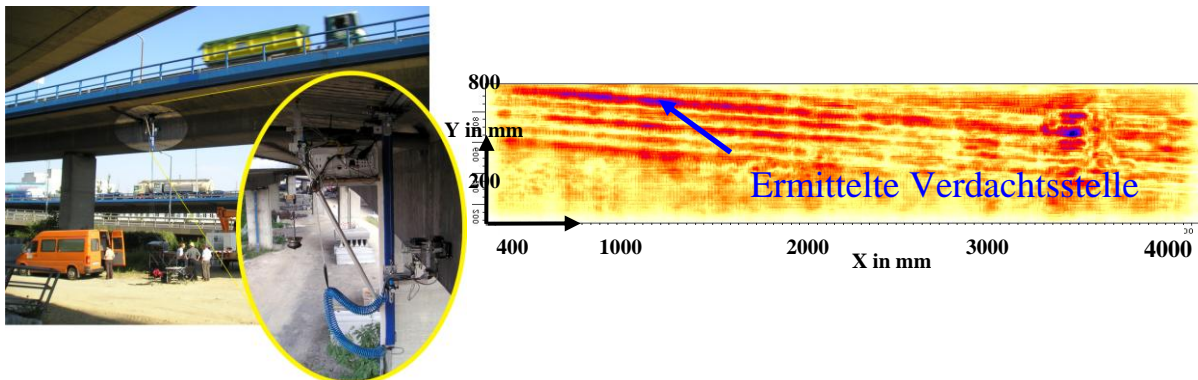


Abbildung 5. Automatisierte Messdatenerfassung mit Datenfusion und Saft-Rekonstruktion an einem Brückenbauwerk [9]

Neben der flächigen Messpunktaufnahme mit hoher Messpunktdichte ist durch scannende Verfahren eine Überlagerung der Messdaten (Datenfusion) unterschiedlicher Verfahren ein

maßgebliches Verbesserungspotential bei der Lokalisierung von Fehlstellen in Spannmitgliedern im nachträglichen Verbund.

Zur Ortung von Rissen in Querspannmitgliedern von Brücken kann heute ein Jochmagnet für die Impulsmagnetisierung eingesetzt werden, das erzeugte Magnetfeld wird durch einen Rotationsscanner erfasst [9].

Bereits seit einigen Jahren wird die Entwicklung von selbstlaufenden Robotern vorangetrieben, die mit verschiedenen Sensoren bestückt werden können, um die großflächige Bestandsaufnahme von Bauwerken zu unterstützen. Bedarf wird derzeit für die großflächige Bestandsaufnahme von Parkbauten gesehen.

Auch für nicht standsicherheitsrelevante Bauteile können großflächige Untersuchungen erforderlich werden, wenn die Gebrauchstauglichkeit von Büroräumen beeinträchtigt wird. So lösen sich seit einigen Jahren Gipsputze z.T. großflächig vom Betonuntergrund, so dass die Gefahr besteht, dass der Putz abfällt. Die Hohlstellen frühzeitig zu erkennen oder Änderungen an den Hohlstellen verfolgen zu können, ist deshalb ein mögliches Prüfziel [10].

Referenzen

- [1] Flohrer, C.: Messen der Betondeckung und Orten der Bewehrung; DGZfP-Fachtagung Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen 21. – 22.1.1999 München
- [2] Flohrer, C.: Orten der Bewehrung und Messen der Betondeckung; in: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004)
- [3] Flohrer, C. Praktische Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren am Beispiel von elektromagnetischen und akustischen Verfahren, DAfStb-Fachtagung 2005 „Zerstörungsfreie Prüfverfahren“, 10./11.3.2005
- [4] Kind, T. und C. Maierhofer: Das Impulsradarverfahren - ein Verfahren zur zerstörungsfreien Strukturaufklärung in Bauwerken, in: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, 2 Strukturaufklärung, Abschn. 2.3, S. 333-341.
- [5] Pöpel, M., Flohrer, C.: Combination of a Covermeter with a Radar System – an Improvement of Radar Application in Civil Engineering, Int. Sympos. Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Berlin 1995, DGZfP
- [6] Krause, M.: Ultraschallechoverfahren an Betonbauteilen, in: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, 2 Strukturaufklärung, Abschn. 2.4, S. 341-352.
- [7] Streicher, D., Kohl, Ch., Wiggenhauser, H. und A. Taffe , Automatisierte zerstörungsfreie Zustandsuntersuchungen von Brückenbauwerken , Beton- und Stahlbeton 101 (2006) 5, S. 330-342
- [8] Wiggenhauser, H., Brückenuntersuchungen mit automatisierten Verfahren – Neue Entwicklungen, Bauwerksdiagnose 2008
- [9] Walter, A. Schnelle zerstörungsfreie Spannstahtortung von Spannstahtlässen in Querspannmitgliedern von Spannbetonbrücken, Verstärken und Instandsetzen von Betonkonstruktionen 2007, 6. Int. Fachtagung, Innsbruck
- [10] Hillemeier, B., Schnelle und großflächige Bauzustandserfassung an Spannbetonbrücken, Estrichen und Deckensystemen