

Zerstörungsfrei prüfen

Autor(en): **Bindseil, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **136 (2010)**

Heft 33-34: **Auf Herz und Nieren**

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-109638>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ZERSTÖRUNGSFREI PRÜFEN

Mit zerstörungsfreien Prüfverfahren können aufwendige zerstörende Untersuchungen an Bauwerken vermieden werden, was die Akzeptanz von Bauwerksuntersuchungen erhöht. Dies ist wichtig in Anbetracht der Tatsache, dass viele Bestandsbauten immer noch ohne jede sachkundige Zustandsuntersuchung «modernisiert» werden.¹ Auch bei künftig häufiger durchzuführenden regelmässigen Bauwerksüberprüfungen² können zerstörungsfreie Untersuchungen zur Anwendung kommen.

Titelbild

Mikroelektromechanische Systeme (MEMS) werden heute in vielen Bereichen eingesetzt. So z. B. auch zur zerstörungsfreien Dauerüberwachung von Brücken, um Feuchte, Neigung, Druck, Verformung oder Beschleunigung zu messen. Das blaue Bauteil in der Bildmitte hat Ausmasse von wenigen tausendstel Millimetern (Foto: KEYSTONE/Science Photo Library/Volker Steger)

Dieser Artikel stellt mehrere Prüfverfahren vor. Dabei wird besonders auf Untersuchungen Bezug genommen, die im Rahmen eines Forschungsvorhabens zum Thema Aspekte der Standsicherheit beim Bauen im Bestand an einer ehemaligen Kaserne (Abb. 3) in Pirmasens (D) aus dem Jahre 1938 durchgeführt wurden³. Das Gebäude ist etwa 70m lang, 15m breit und enthält ein Kellergeschoss, drei Obergeschosse und ein Dachgeschoss. Es wurde im Jahr 1977 geringfügig renoviert und anschliessend von amerikanischen Streitkräften genutzt. Seit einigen Jahren steht das Gebäude nun leer. Die Wände bestehen aus Mauerwerk, wobei in Längsrichtung parallel zu den Aussenwänden zwei Innenwände als Begrenzung zum zentralen Flur angeordnet sind. Die Untersuchungen betrafen insbesondere die Stahlbetonrippendecken. Neben zerstörenden Prüfungen bis hin zu Traglastversuchen wurden auch zerstörungsarme und zerstörungsfreie Untersuchungsverfahren angewendet, um deren Eignung zur Erkundung der Baustrukturen zu erproben. Die untersuchten Decken bestehen aus Hohlziegeln mit quadratischem Grundriss, die mit durchgehenden Längslöchern in Richtung der Deckenspannrichtung verlegt sind. Zwischen den Ziegeln verbleiben sehr schmale Stege von nur 4cm Breite, in denen Bewehrungsstäbe mit 20mm bzw. 22mm Durchmesser liegen (Abb. 1 und 2). Dies hatte schon bei der Errichtung zu grossen Problemen beim Einbau des Betons geführt. Infolge Entmischung wurden ausgedehnte Bereiche der Stege nur unvollständig ausbetoniert, weshalb die Bewehrung auf grossen Längen frei liegt (Abb. 4).

ÜBERBLICK ÜBER DIE VERFAHREN

Die zerstörungsfreie Bauwerksprüfung hat sich noch immer nicht so weit durchgesetzt, wie es sinnvoll wäre. Dabei sind die heutigen Möglichkeiten sehr vielseitig und liefern zuverlässige Ergebnisse. Die folgenden Messverfahren nutzen unterschiedliche physikalische Erscheinungen wie elastischer Stoss, Schallwellen verschiedener Frequenzen und elektrische und elektromagnetische Vorgänge. Einige Messverfahren gehören zum Standardprogramm bei der Zustandsuntersuchung von Bauwerken, einige sind relativ aufwendig und finden seltener Anwendung, andere Verfahren werden gar nur in Sonderfällen eingesetzt.

Standard-Verfahren:

- Rückprallhammer nach Schmidt (hier nicht erläutert)
- Bewehrungssuchgeräte
- Boreoskop (Endoskopie)
- Potenzialdifferenz-Messungen

Aufwendigere Verfahren:

- Ultraschall (hier nicht erläutert)
- Radar
- Schallemission

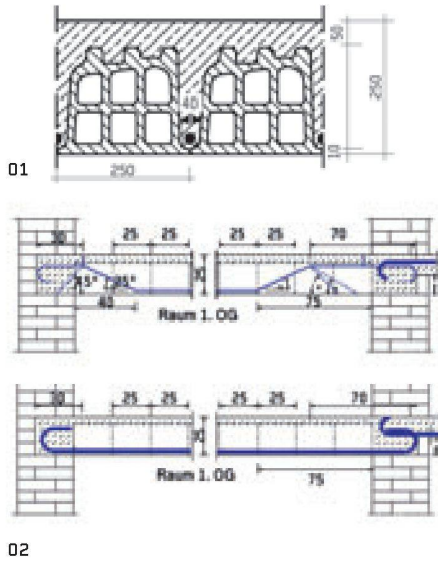
Seltene Verfahren:

- Barkhausenrauschmessungen
- Schwingungsuntersuchungen

PRÜFVERFAHREN

Die folgenden Abschnitte beschreiben jeweils die Verfahren, mit welchen an der Kaserne die bestehende Bausubstanz analysiert wurde:

- Bewehrungssuche: Bewehrungssuchgeräte dienen dem Aufsuchen oberflächennaher Bewehrung und der Ermittlung der für die Korrosion und den Brandschutz wichtigen Betondeckung. Sie beruhen auf elektromagnetischen Verfahren (in der Regel Wirbelstrommessungen). Abb. 7 und 8 zeigen exemplarische Messergebnisse. Im Fall der Rippendecke, bei der die Struktur der Decke massgeblich durch die Lage der Rippen und der darin verlegten Bewehrung bestimmt wird, gab die zerstörungsfreie Untersuchung der Bewehrung zusätzlich auch Auskunft über die Deckenstruktur. Die Messungen zeigen neben der Lage der Bewehrung auch deren Richtung und damit bereichsweise geänderte Spannrichtungen der Rippen an.
- Boreoskop (Bauendoskop): Für die punktuelle Erkundung unbekannter Deckenaufbauten wird vorteilhaft ein Boreoskop eingesetzt (Abb. 6). Es gestattet die Inspektion von Hohlräumen bei minimalem Eingriff ins Bauteil (Bohrungen $\leq \varnothing 12$ mm). Für die periodische Inspektion von Fassadenverankerungen sind Boreoskope besonders geeignet.
- Radar: Die Untersuchung der Rippendecken hat bestätigt, dass bei Altbauten immer wieder Unregelmässigkeiten in der Baustruktur auftreten. Lokale Untersuchungen allein reichen

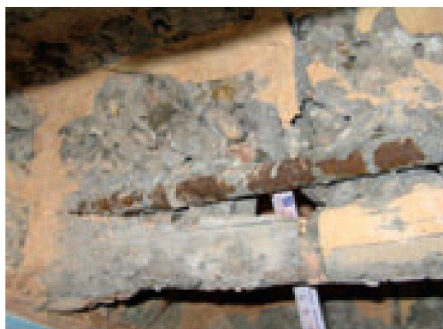


- 01 Detailquerschnitt Rippendecke System Bauer, ohne Querbewehrung, Masse in mm (Pläne + Fotos: P. Bindseil und J. Schnell)
 02 Prinzipiärlängsschnitte der Rippendecke, gerade und aufgebogene Bewehrung im Wechsel
 03 Kaserne aus dem Jahr 1938
 04 Typische Fehlstellen in den Rippenstegen, grosse Kiesnester und frei liegende Bewehrung
 05 Praxiseinsatz mit Lithoscope zur Bewehrungssuche
 06 Vertikaler Blick in einen Hohlziegel mit Bauendoskop

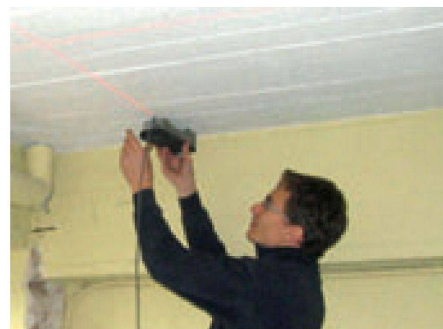
nicht aus, vielmehr sollten grossflächige Bereiche mit geeigneten zerstörungsfreien Verfahren auf Übereinstimmung mit bzw. Abweichungen von den lokal ermittelten Strukturen überprüft werden. Die Messung selbst ist relativ einfach durchführbar. Die Interpretation der Messbilder braucht allerdings viel Erfahrung. Bei Strukturänderungen (Lage und Richtung von Hohlräumen, Dickenänderungen der Decken und Ähnliches) können mit Vorteil Radaruntersuchungen (Abb. 15) eingesetzt werden. Auf diese Weise wurde rechtzeitig in einem für Traglastversuche vorgesehenen Deckenbereich ein äusserlich nicht erkennbarer Unterzug gefunden. Als Folge dieser Entdeckung mussten zwei Prüffelder in andere Deckenbereiche verschoben werden.

– Schallemission: In Bestandsbauten werden oft Belastungsversuche durchgeführt. Dabei treten im Beton Risse auf, deren Detektierung mit Schallemissionsmessungen (Abb. 9) die sonstigen Standardmessungen sinnvoll ergänzt. Die Messung von Schallemissionen gehört zu den sogenannten passiven Messverfahren: Das Bauteil selbst erzeugt das Signal. Dieses wird erfasst und hinsichtlich Entstehungsort und anderer Eigenschaften wie Intensität ausgewertet.

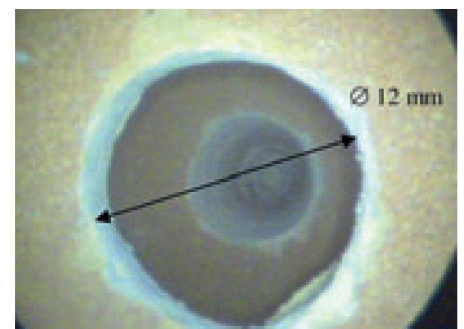
– Barkhausenrauschmessungen (BHR): Hierbei handelt es sich um induktive Messungen eines rauschartigen Signals. Dieses entsteht bei Einwirkung eines Magnetfeldes auf einen ferromagnetischen Werkstoff. Das Signal ändert sich u. a. mit der elastischen Spannung im Werkstoff. So können im Bauteil vorhandene mechanische Spannungen in Oberflächennähe gemessen werden.⁴ Die Messungen wurden an der frei liegenden Bewehrung eines Deckenstreifens vor und während der Versuchsbelastung durchgeführt.⁵ Die Untersuchungen wurden neben einem Dehnungsmessstreifen (DMS) vorgenommen. Abb. 12 zeigt einen Vergleich der Ergebnisse nach Abzug der Vordehnung: Die Übereinstimmung ist relativ gut. Das Verfahren soll weiter entwickelt werden.



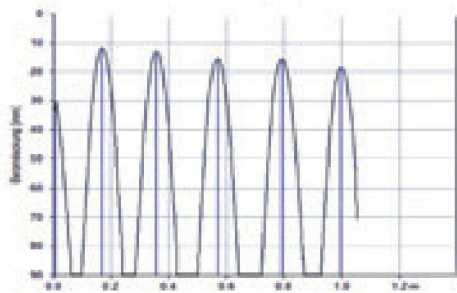
04



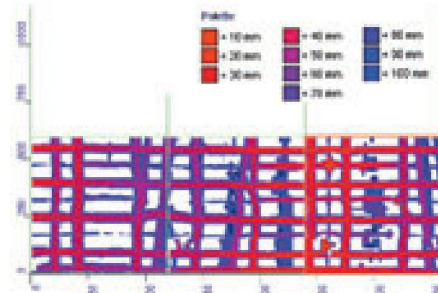
05



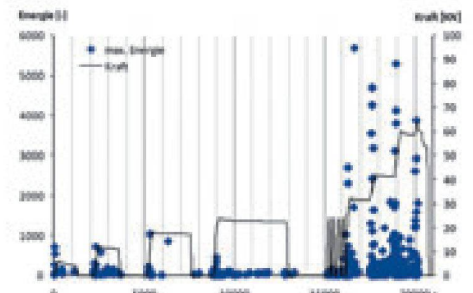
06



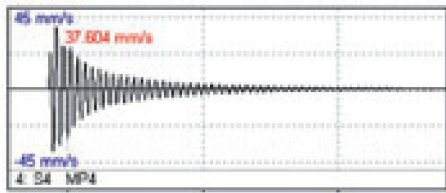
07



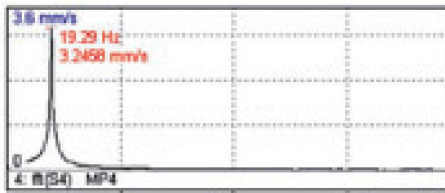
08



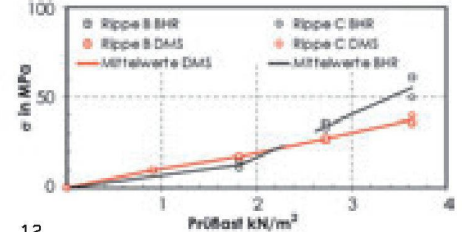
09



10



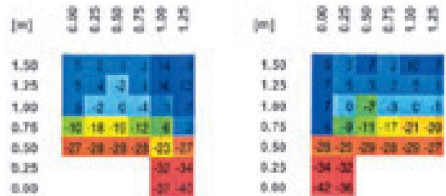
11



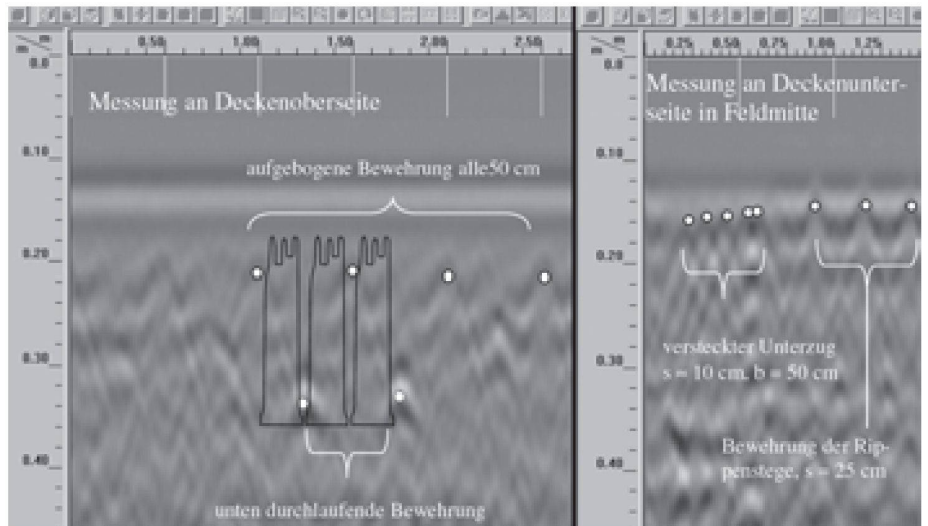
12



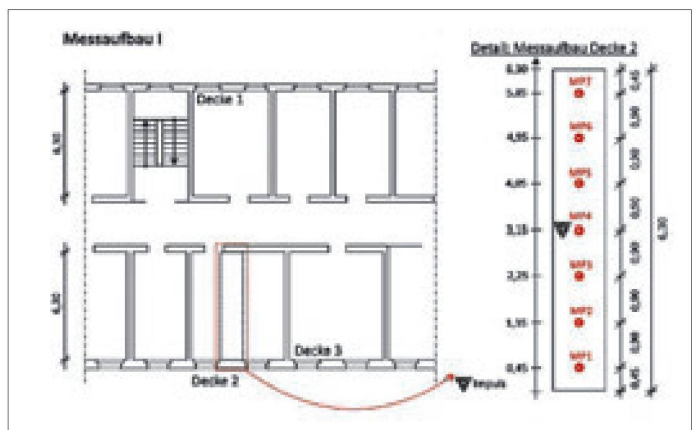
13



14



15



16

07 Auswertungsdigramm der Bewehrungssuche, Peak=Stab
(Bild: P. Bindseil, J. Schnell)

08 Flächendarstellung von Lage und Betondeckung der Bewehrung, Deckenplatte (Grafik: Hilti AG, Ferrosan)

09 Schallenergie und Lage der Schallereignisse (Bild: P. Bindseil)

10 Schwingungsuntersuchung, Antwort der Decke im Zeitraum

11 Schwingungsuntersuchung, Antwort der Decke im Frequenzraum
(Bilder: A. K. Zerbst und P. Bindseil)

12 Barkhausenrauschen (schwarz) vs. Dehnungsmessstreifen (rot)
(Bild: J. Ackermann)

13 Potenzialdifferenzmessung, Messelektrode

14 Potenzialdifferenzen 10-1, z. B. rot = starke Korrosion bei -420 mV
(Bilder: A. K. Zerbst und P. Bindseil)

15 Radaranalysen, links mit Messung an Deckenoberseite, rechts mit Messung an Deckenunterseite⁶ (Bild: P. Bindseil)

16 Schwingungsuntersuchung, Messanordnung an Decke⁹

17 Eigenfrequenzen f1 (Hz) der Deckenstreifen

(Bild und Tabelle: A. K. Zerbst und P. Bindseil)

Deckenstreifen 1 (mit Ziegeln, ohne Vorbelastung):	19.3 Hz
Deckenstreifen 2 (mit Ziegeln, mit Vorbelastung):	17.8 Hz
Deckenstreifen 3 (ohne Ziegel, mit Vorbelastung):	14.4 Hz

17

- Schwingungsanalysen: An der Leibniz Universität Hannover läuft ein Forschungsvorhaben zur Erkundung von Geschossdecken mittels Schwingungsuntersuchungen. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden drei Rippendecken der Kaserne mit unterschiedlicher Struktur und Vorbelastung untersucht.^{7,8} Beim Aufbringen einer Impulsbelastung durch einen aufprallenden Sandsack konnte die erste und die zweite Eigenfrequenz ermittelt werden. Abb. 16 gibt die Lage der Impulsbelastung und der Geschwindigkeitsaufnehmer für die Ermittlung der ersten Eigenfrequenz an. Abb. 10 und 11 zeigen die Antworten in Deckenmitte. Die Auswertung der Antworten aller drei Deckenstreifen bezüglich der ersten Eigenfrequenz ist in Abb. 17 zusammengestellt. Die Zahlenwerte sind deutlich unterschiedlich und gestatten Rückschlüsse auf die mechanischen Eigenschaften der Decken. Die Ermittlung der Eigenfrequenzen mittels Sandsackbelastung ist eine relativ einfache Methode, die die vergleichende Untersuchung zahlreicher Deckenfelder in kurzer Zeit ermöglicht. Auch dies kann dazu beitragen, Bauteilöffnungen auf ein Minimum zu beschränken.
- Potenzialdifferenzmessungen: Diese Messungen dienen der zerstörungsfreien Ermittlung von äusserlich noch nicht erkennbarer Korrosion des Betonstahls unter der Betonoberfläche. Dabei wird ausgenutzt, dass bei aktiver Korrosion Elektronen- und Ionenwanderungen im Stahl und im feuchten Beton stattfinden. Es entstehen Potenzialdifferenzen zwischen der Betonoberfläche und dem Stahl. Diese Differenzen sind im Bereich von Korrosion negativ und betragsmässig auffällig gross. Sie können mit geeigneten Elektroden (Abb. 13) gemessen und flächig dargestellt werden (Abb. 14). Die Bewertung der Messergebnisse kann nach der Norm SIA 2006 vorgenommen werden. Die Messung wird z. B. bei Aussenbauteilen wie Fassaden mit ausreichend feuchtem Beton eingesetzt.

ANWENDUNG ERWÜNSCHT

Beim Bauen im Bestand wird die möglichst schonende, also weitgehend zerstörungsfreie Untersuchung zur Zustandserkundung und zur Schadensfeststellung immer wichtiger. Hierbei kommen je nach Komplexität des Bauwerks von den einfachen Standardverfahren bis hin zu anspruchsvollen Messtechniken alle Verfahren in Frage, die geeignet sind, die Akzeptanz von Zustandsuntersuchungen vor Beginn einer Umbauplanung und die Akzeptanz von künftigen Wiederholungsprüfungen zu erhöhen.⁹ Dieser Beitrag soll dazu ermutigen, auch solche zerstörungsfreien Prüfverfahren, die in der normalen Baupraxis noch weitgehend unbekannt sind oder als teuer und aufwendig angesehen werden, vermehrt anzuwenden. Die Kombination unterschiedlicher Prüfverfahren kann dazu beitragen, die Erkenntnisse über ein Bauwerk weiter zu vertiefen und abzusichern.

Peter Bindseil, Prof. Dipl.-Ing., peter.bindseil@fh-kl.de

Anmerkungen

- 1 P. Bindseil: Zustandsuntersuchungen, Bauschäden und Instandsetzen beim Bauen im Bestand. Vortragsreihe Weiterbildung für Tragwerksplaner, TU Kaiserslautern 11.03.09 und TU Darmstadt 18.03.09
- 2 VDI-Richtlinie 6200: Standsicherheit von Bauwerken, regelmässige Überprüfung, Febr. 2010
- 3 P. Bindseil: Zerstörungsfreie Prüfungen beim Bauen im Bestand am Beispiel einer alten Deckenkonstruktion. Vortrag zur DGZfP-Fachtagung an der Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin 2010
- 4 J. Ackermann: Kurzbericht, Spannungsmessungen an freiliegenden Bewehrungsstäben. 11.02.09 (Barkhausenrauschmessungen), ag engineering, Darmstadt
- 5 M. Krüger: Untersuchungsbericht: Begleitende Messungen während zweier Belastungsversuche. Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart 13.01.2009
- 6 B. Ebsen, C. Flohren: Projekt EXTRABEST. Untersuchung der Deckenkonstruktion, Pirmasens, Hochtief Materials, 2009
- 7 P. Bindseil, J. Schnell: Sachstandsbericht zum F+E Vorhaben «Probleme der Standsicherheit beim Bauen im Bestand». FH und TU Kaiserslautern, Nov. 2009
- 8 A. K. Zerbst: Bericht über die dynamischen Messungen von Stahlbetonrippendecken in einem Kasernengebäude in Pirmasens, 02.–03.03.2009; Institut für Statik und Dynamik ISD, Leibniz Universität Hannover