

Zerstörungsfreie Prüfungen beim Bauen im Bestand am Beispiel einer alten Deckenkonstruktion

Peter BINDSEIL, Fachhochschule Kaiserslautern

Kurzfassung. 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. In diesem Beitrag wird gezeigt, wie das Zusammenspiel unterschiedlicher Prüfverfahren zum Erreichen dieses Ziels beitragen kann.

Einführung

Das Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur Rheinland-Pfalz fördert seit 2008 ein von der FH und der TU in Kaiserslautern gemeinsam durchgeführtes Forschungsvorhaben zum Thema *Aspekte der Standsicherheit beim Bauen im Bestand*. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden zahlreiche Untersuchungen in einem Gebäude aus dem Jahre 1938 durchgeführt.

Die Untersuchungen betrafen insbesondere die Geschossdecken und umfassten umfangreiche zerstörende Prüfungen bis hin zu Traglastversuchen. Gleichzeitig wurden aber auch verschiedene zerstörungsarme und zerstörungsfreie Untersuchungsverfahren angewendet, um deren Eignung zur Erkundung der Baustrukturen zu erproben. Die Anwendung solcher Verfahren kann aufwändige zerstörende Untersuchungen an Bauwerken stark einschränken und somit die Akzeptanz von Bauwerksuntersuchungen erhöhen. Dies erscheint sehr wichtig in Anbetracht der Tatsache, dass viele Bestandsbauten immer noch ohne jede sachkundige Zustandsuntersuchung „modernisiert“ werden [1]. Bei künftig sicher häufiger durchzuführenden regelmäßigen Bauwerksüberprüfungen [2] können zerstörungsfreie Untersuchungen ein weiteres Anwendungsgebiet finden.

1. Vorstellung des Bauwerks

1.1 Das Gebäude

Bei dem Forschungsgebäude handelt es sich um eine ehemalige Kaserne aus dem Jahr 1938, die nach Renovierung und geringfügigem Umbau seit 1977 von amerikanischen Streitkräften genutzt wurde. Seit einigen Jahren steht das Gebäude leer.

Die ursprüngliche Baustruktur ist weitgehend erhalten. Das Gebäude ist etwa 70 m lang, etwa 15 m breit und enthält ein Halb-Kellergeschoß, drei Obergeschosse (EG, 1. OG,

2.OG) und ein spartanisch ausgebautes Dachgeschoß (DG). Die Wände des Gebäudes bestehen aus Mauerwerk, wobei in Längsrichtung parallel zu den Außenwänden zwei Innenwände als Begrenzung eines zentralen Flures angeordnet sind. Das Gebäude enthält drei unterschiedliche Arten von Geschossdecken.

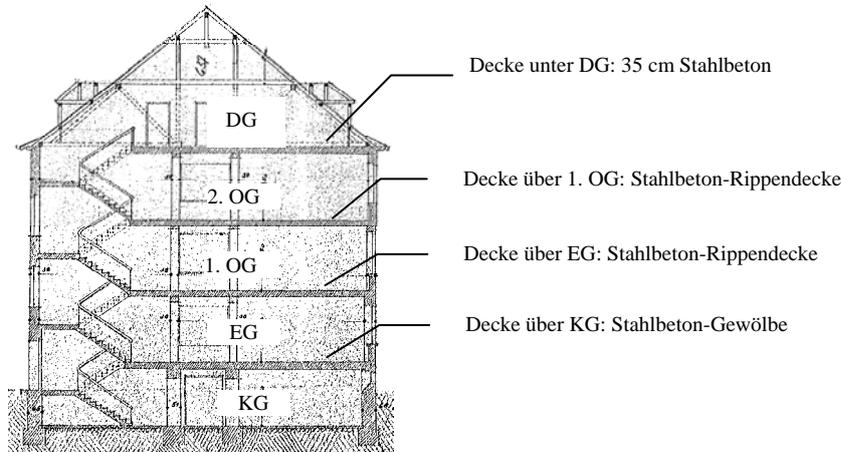


Bild 1: Querschnitt des Gebäudes und Konstruktionsarten der Decken

1.2 Konstruktion und Zustand der Stahlbetonrippendecken

Bei den Rippendecken handelt es sich um das System Bauer [3]. Sie bestehen aus Hohlziegeln mit quadratischem Grundriss, die mit durchgehenden Längslöchern in Richtung der Deckenspannrichtung verlegt sind. Zwischen den Ziegeln verbleiben sehr schmale tulpenförmige Stege von nur 4 cm Breite, in denen Bewehrungsstäbe mit 20 mm bzw. 22 mm Durchmesser verlegt sind. Dies hat zu großen Problemen beim Einbau des Betons geführt. Infolge Entmischung sind ausgedehnte Bereiche der Stege nur unvollständig ausbetoniert worden, ebenso liegt die Bewehrung auf großen Längen frei (Bilder 4 und 5).

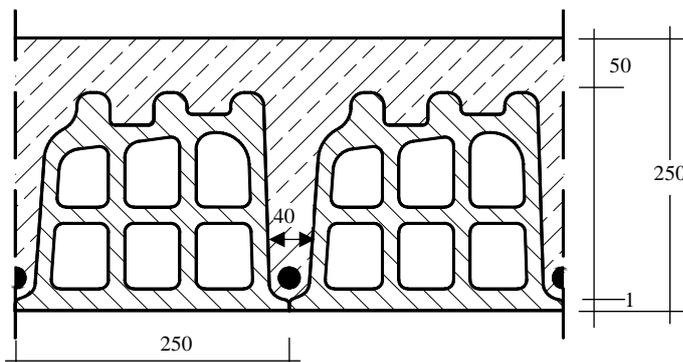


Bild 2: Querschnitt der Rippendecke (System Bauer) ohne Querbewehrung im Plattenspiegel; Maße in [mm]

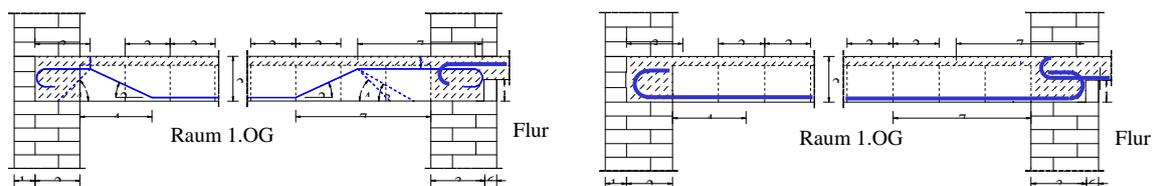


Bild 3: Längsschnitt der Rippendecke, gerade und aufgebogene Längsbewehrung im Wechsel [3]



Bilder 4 und 5: Typische Fehlstellen in den Rippenstegen [3]

2. Die angewendeten Untersuchungsverfahren

2.1 Überblick

Es ist erstaunlich, dass sich die zerstörungsfreie Bauwerks- und Baustoffprüfung noch immer nicht so weit durchgesetzt hat, wie es sinnvoll wäre. Dabei wurde schon vor vielen Jahren in ähnlichen Konferenzen wie der hier veranstalteten, auf die Nützlichkeit solcher Untersuchungen eindringlich hingewiesen [4]. Bei wissenschaftlichen Forschungen wurde z. B. Ultraschall bereits in den Jahren um 1970 eingesetzt, um den Beginn der inneren Auflösung des Betongefüges bei mehraxialer Beanspruchung zu erkennen [5], [6].

Einige der im Forschungsgebäude angewendeten Verfahren gehören zum Standardprogramm bei der Zustandsuntersuchung von Bauwerken, einige sind relativ aufwändig und finden seltener Anwendung, andere Verfahren werden nur in Sonderfällen verwendet:

Standard-Verfahren:

- Rückprallhammer nach Schmidt
- Bewehrungssuchgerät (hier: Lithoscope)
- Boreskop

Aufwändigere Verfahren:

- Radar
- Schallemission

Seltener Verfahren:

- Barkhausenrauschmessungen
- Schwingungsuntersuchungen

2.1 Erkunden der inneren geometrischen Struktur der Rippendecken

Im Laufe des Forschungsvorhabens wurden die Rippendecken an vielen Stellen geöffnet. Es zeigte sich, dass immer wenn man meinte, ein Schema in den Baustrukturen erkannt zu haben, wieder Abweichungen gefunden wurden. Es lag nahe, die nicht zerstörend geöffneten Bereiche mit geeigneten zerstörungsfreien Verfahren auf Übereinstimmung bzw. Abweichungen von den bekannten Strukturen zu überprüfen.

Hierzu wurde - sofern oberflächennahe Bewehrungen vorhanden waren – das Bewehrungs-suchgerät verwendet. Dieses zeigt neben der Lage der Bewehrung auch deren Richtung an und damit auch eventuelle geänderte Spannrichtungen.

In den Fällen, wo es sich um Strukturänderungen wie Lage und Richtung von Hohlräumen, Dickenänderungen der Decken und ähnliches handelt, konnten mit Vorteil Radaruntersuchungen eingesetzt werden. Beide Anwendungen gehören zu den aktiven Verfahren, bei denen ein Signal in das Bauteil eingeleitet wird, dessen Wechselwirkung mit dem Material gemessen und ausgewertet wird.

So konnte durch Radaruntersuchungen rechtzeitig vor der aufwändigen Montage der Versuchseinrichtung entdeckt werden, dass in einem der für Traglastversuche vorgesehenen Deckenbereiche ein äußerlich, auch nach Entfernen des Fußbodens und des unterseitigen Putzes, nicht erkennbarer versteckter Unterzug vorhanden war. Als Folge dieser Entdeckung wurden zwei Prüffelder in andere Deckenbereiche verschoben.

Die Messungen wurden an den Unterseiten auf dem Deckenputz und an den Oberseiten sowohl auf dem Fertigfußboden als auch auf dem Rohfußboden vorgenommen. Die Messung selbst ist einfach durchführbar.

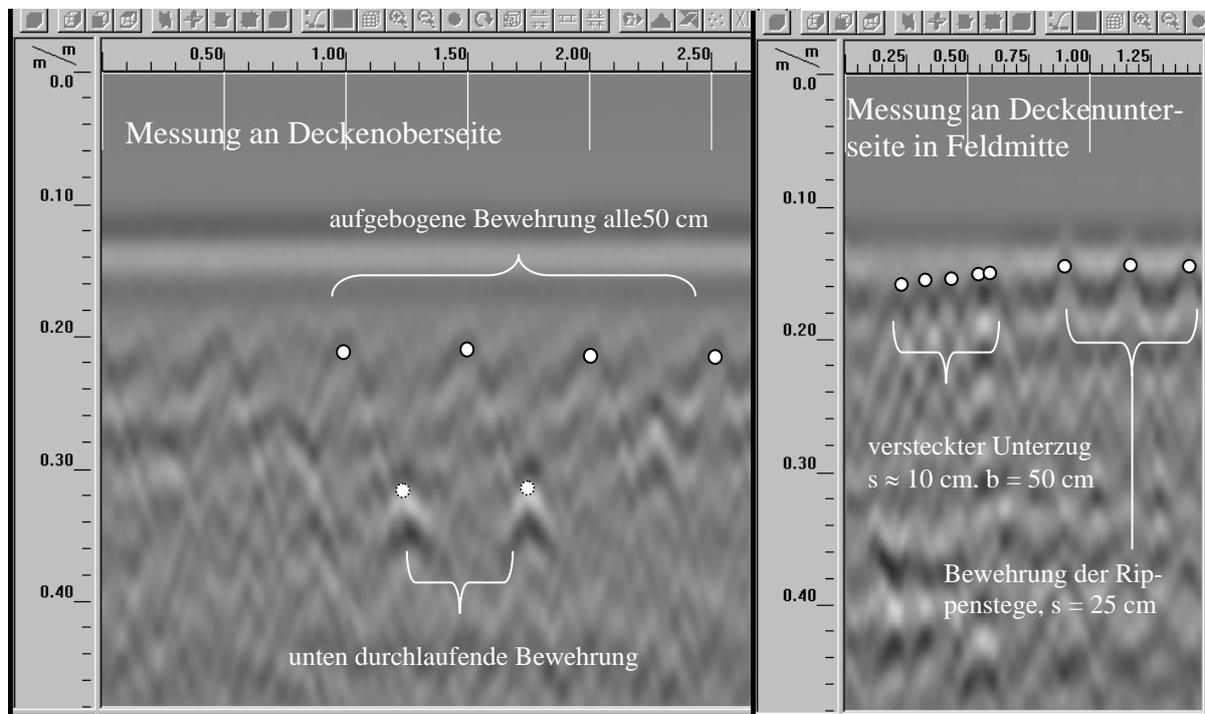


Bild 6: Zerstörungsfreie Strukturuntersuchungen mit Radar, Auffinden des versteckten Unterzuges

Die Interpretation der Messbilder bedarf allerdings der Erfahrung. Die im Forschungsgebäude durchgeführten umfangreichen Messungen an verschiedenen Geschossdecken sind in [7] dokumentiert.

2.2 Schall-Emission

Die Messung von Schallemissionen gehört zu den passiven Messverfahren. Das Bauteil erzeugt das Signal selbst. Dieses wird dann erfasst und hinsichtlich Entstehungsort und anderer Eigenschaften wie Intensität ausgewertet.

Im Zuge der Traglastversuche wurden 1 m breite Deckenstreifen mit je vier Rippen freigesägt. Bei je zwei Streifen wurden die Ziegel entfernt. Je eine Decke mit bzw. ohne Ziegel wurde mit Mikrofonen bestückt, um die bei Laststeigerung auftretenden Schallimpulse zu messen. Nun sind Traglastversuche selber keineswegs zerstörungsfrei, doch werden in Bestandsbauten durchaus häufiger Belastungsversuche im noch reversiblen Verformungsbereich durchgeführt. Auch dabei treten Risse auf, deren Detektierung mit Schallemissionsmessungen die sonstigen Standardmessungen sinnvoll ergänzen kann.

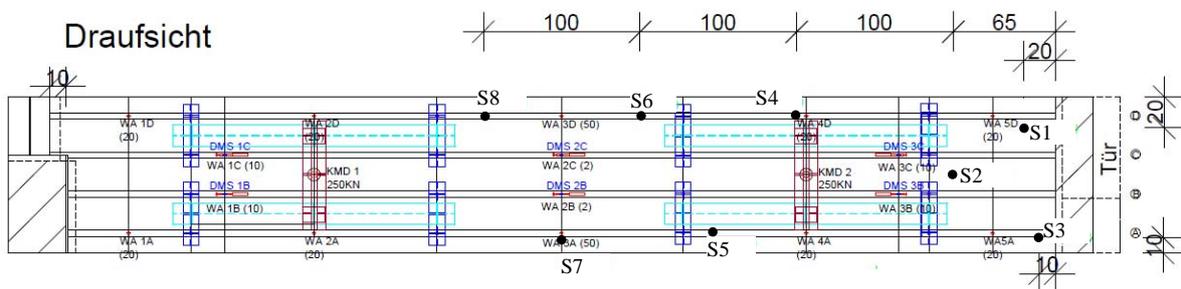


Bild 7: Deckenstreifen (ohne Lochziegel), Sensorpositionen S für Mikrofone an Deckenoberseite

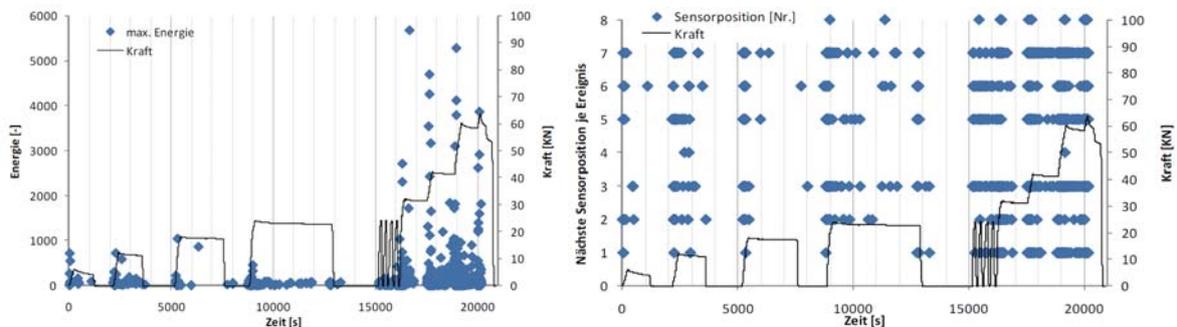


Bild 8: Schallenergie und Lage der Schallereignisse vs. Kraft-Zeitverlauf [8], Versuch ohne Lochziegel

Die Untersuchungen mittels der Schallemissionsanalyse haben durchaus interessante Erkenntnisse gebracht. Das Verhalten des Deckenstreifens mit Lochziegeln unterscheidet sich naturgemäß vor allem im unteren Lastbereich von dem des Streifens ohne Lochziegel.

Die Schallemissionen traten in den unteren Lastniveaus über die Spannweite verteilt und verstärkt in den auflagnahen Bereichen auf. Die konstruktive Schwäche dieser Zonen macht sich offensichtlich bemerkbar. Bei höheren Laststufen waren bei konstant gehaltener Last über einen längeren Zeitraum weitere Schallemissionen zu verzeichnen, die auf eine Annäherung an die Grenze der Dauerstandfestigkeit hindeuten. Gerade diese Auskünfte zum Tragverhalten könnten die Ergebnisse „konventioneller“ Belastungsversuche ergänzen.

2.3 Barkhausenrauschmessungen

Bei Messungen des Barkhausenrauschens handelt es sich um induktive Messungen eines rauschartigen Signals. Dieses entsteht bei Einwirkung eines Magnetfeldes an einem ferromagnetischen Werkstoff. Das Signal ändert sich u. a. mit der elastischen Spannung im Werkstoff. So können neben Beschädigungen auch vorhandene mechanische Spannungen in Oberflächennähe gemessen werden.

Es werden die Vorzeichen (Zug- oder Druck), der Betrag und die Richtung der Spannungen (also Hauptspannungstrajektorien) erkannt. Das bislang vorwiegend für flächige Bauteile im Maschinen- und Stahlbau eingesetzte Verfahren wurde hier an den Bewehrungsstäben als eindimensionale Messung eingesetzt. Sie ermöglicht eine Abschätzung der im Bauteil bereits vorhandenen Spannungen aus Vorlast, die in den Belastungsversuchen natürlich nicht gemessen werden können. Auf diese Weise kann der Gesamtspannungszustand erfasst werden. Eine ausführliche Erläuterung des Verfahrens mit Anwendungsbeispielen ist in [9] enthalten.

Die Messungen wurden an der freiliegenden Bewehrung eines Deckenstreifens vor und während der Versuchsbelastung durchgeführt. Vorab erfolgte an einem dem Bauwerk entnommenen Bewehrungsstab eine Messung im Zugversuch zur Kalibrierung des Verfahrens. An einem Deckenstreifen wurden die Untersuchungen etwa 12 cm neben den Dehnungsmessstreifen (DMS) an zwei Bewehrungsstäben vorgenommen (Bild 9). Es wurde vor Aufbringen der Belastung und während mehrerer Laststufen gemessen. Da unmittelbar unter der Decke händisch gearbeitet werden musste (Bild 11, Dr. Ackermann), wurden die Messungen bei einem Lastniveau deutlich unter der Traglast beendet.

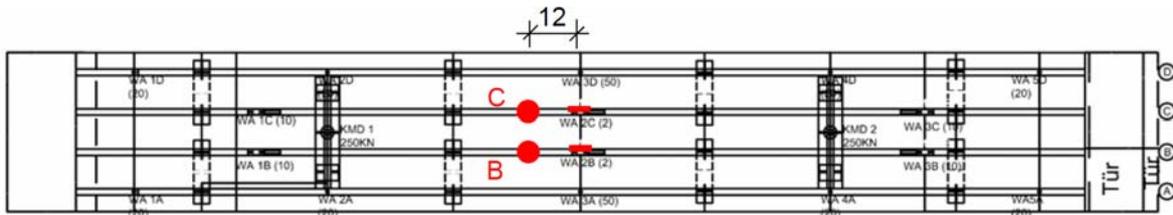


Bild 9: Lage der Messstellen Barkhausenrauschen (B, C)

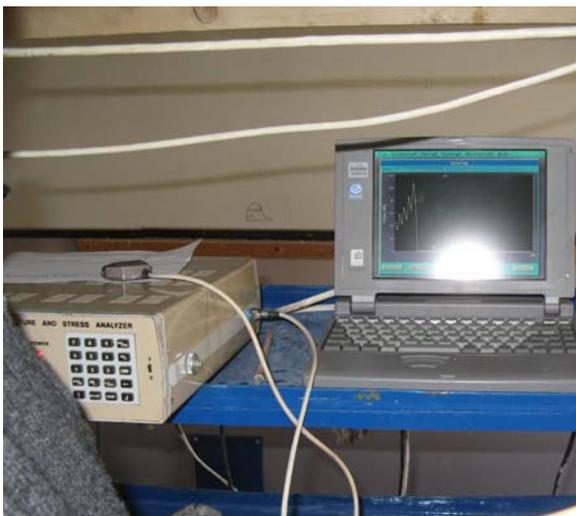


Bild 10: Messapparatur Barkhausenrauschen



Bild 11: Vorbereitung der Messstellen unter der Decke

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse sind auf Bild 12 die aus den Barkhausenrauschmessungen ermittelten und um die Vordehnungen verminderten Spannungen im Bewehrungsstahl den mit DMS gemessenen Spannungen gegenübergestellt.

Die Übereinstimmung ist relativ gut. Da das Verfahren hier in einem sonst unüblichen Kontext angewendet wurde, besteht natürlich weiter Bedarf an vergleichenden Untersuchungen. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass derartige Messungen grundsätzlich auch bei Bewehrungsstählen in Bestandsbauten geeignet sind, den jeweils aktuellen Spannungszustand zu ermitteln. Eine Weiterentwicklung dieser Anwendung ist für den Fall der Verlängerung des laufenden Forschungsvorhabens geplant.

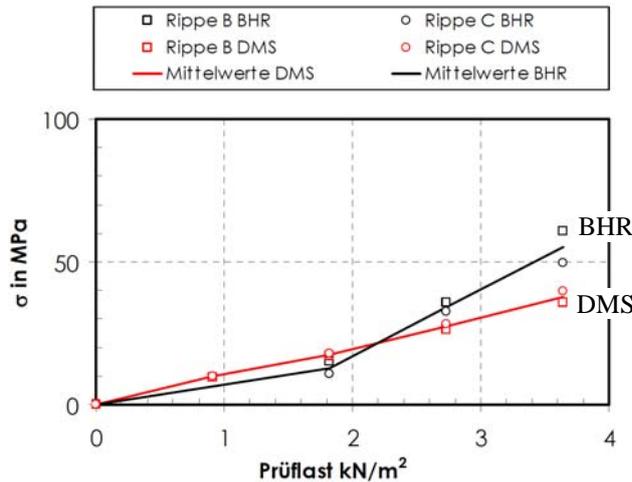


Bild 12: Ergebnisse aus Barkhausenrauschen vs. Dehnungsmessstreifen [10]

2.4 Schwingungsuntersuchungen

An der Leibniz Universität Hannover läuft ein Forschungsvorhaben zur Erkundung von Geschossdecken mittels Schwingungsuntersuchungen. Für dieses Vorhaben wurden die Versuchsdecken in Pirmasens zur Verfügung gestellt. Die Analysen der durch verschiedene dynamische Anregungen der Decken erzeugten Schwingungen können auf zerstörungsfreie Weise Erkenntnisse über den Zustand der Decken liefern.

Die Schwingungsuntersuchungen wurden an zwei durch die Traglastversuche vorbelasteten Decken, davon eine mit und eine ohne Füllziegel, und an einer nicht vorbelasteten Decke mit Füllziegeln durchgeführt. Es wurden jeweils zwei verschiedene Arten von Anregungen vorgenommen: eine Impulsbelastung durch einen aufprallenden Sandsack zur Ermittlung der ersten und zweiten Eigenfrequenz und erzwungene periodische Anregungen als Gleitsinus und als harmonische Anregung in den ermittelten Eigenfrequenzen.

Beispielhaft für eine Geschossdecke zeigt Bild 13 die Lage der Impulsbelastung und der Geschwindigkeitsaufnehmer für die Ermittlung der ersten Eigenfrequenz.

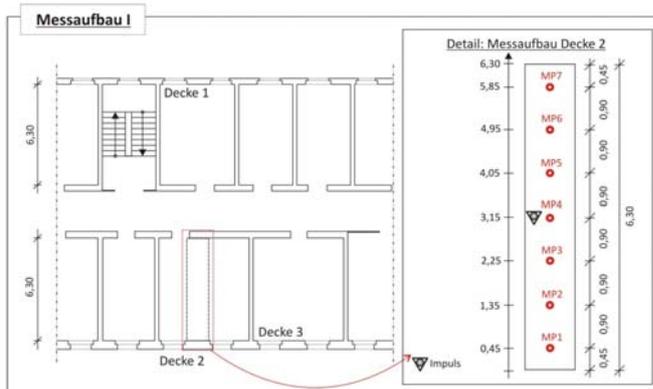


Bild 13: Versuchsdecke mit Messanordnung [11]

Bild 14 zeigt die Antworten der Decke durch Impulsanregung in Deckenmitte. Die Auswertung der Antworten aller drei Deckenstreifen bezüglich der ersten Eigenfrequenz ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Die Zahlenwerte sind deutlich unterschiedlich und gestatten Rückschlüsse auf die mechanischen Eigenschaften der Decken. Die Auswertung der zweiten Eigenfrequenz ergibt eine ähnlich deutliche Aussage. Aus den Messungen können auch die Eigenformen ermittelt werden.

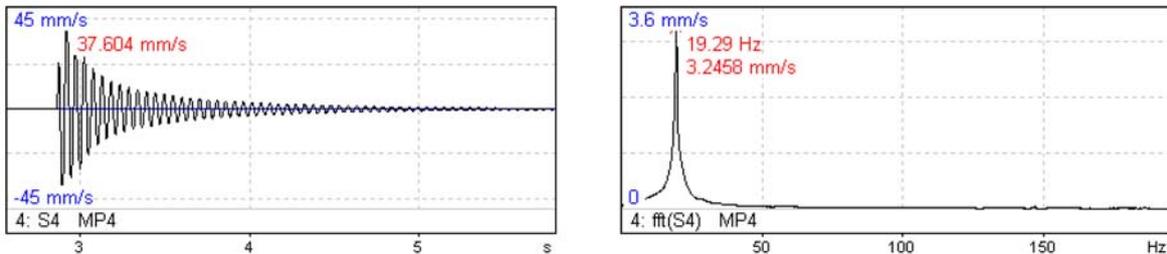


Bild 14: Antwort der Decke links im Zeitraum, rechts im Frequenzraum [11]

Tab. 1: 1. Eigenfrequenzen f_1 [Hz] der Deckenstreifen, aus [11]

Deckenstreifen Nr. 1	Deckenstreifen Nr. 2	Deckenstreifen Nr. 3
mit Ziegeln, ohne Vorbelastung	mit Ziegeln, mit Vorbelastung	ohne Ziegel, mit Vorbelastung
19,3	17,8	14,4

Das Forschungsvorhaben der Leibniz Universität verfolgt anspruchsvolle Zielsetzungen bei der Auswertung derartiger Messungen hinsichtlich der Quantifizierung von Tragreserven. Diese Arbeiten bleiben selbstverständlich den damit beschäftigten Forschenden vorbehalten. Hier kann jedoch schon bestätigt werden, dass die Ermittlung der Eigenfrequenzen mittels Sandsackbelastung eine relativ einfache Methode ist, die zumindest die vergleichende Untersuchung zahlreicher Deckenfelder in kurzer Zeit ermöglicht. Somit könnten Bauteilöffnungen auf ein Minimum beschränkt werden. Auch diese Methode kann somit zu den – zugegeben etwas ungewöhnlichen – zerstörungsfreien Prüfverfahren gezählt werden. Eine Weiterentwicklung des Verfahrens wird angestrebt. Auch als Überwachungsverfahren im Sinne von [2] ist diese Methode geeignet. Ähnliche Überlegungen wurden bereits um 1982 beim Bau der mit Polystal (GFK) vorgespannten Ulenberg-Brücke in Düsseldorf angestellt.

3. Schlussbemerkung

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.

Dieser Beitrag soll dazu ermutigen, auch solche zerstörungsfreien Prüfverfahren, die in der normalen Baupraxis noch weitgehend unbekannt sind oder als teuer und aufwändig angesehen werden, vermehrt anzuwenden. Die Kombination unterschiedlicher Prüfverfahren kann dazu beitragen, die Erkenntnisse über ein Bauwerk noch weiter zu vertiefen und abzusichern.

Referenzen

- [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, J. Schnell: Sachstandsbericht zum F+E Vorhaben „Probleme der Standsicherheit beim Bauen im Bestand“, FH und TU Kaiserslautern, Nov. 2009
- [4] Int. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), Proceedings Berlin, 1995
- [5] P. Bindseil: Beitrag zum Verhalten von Beton unter mehraxialen Spannungszuständen; proceedings of 1st SMIRT Conference, Berlin 1972, Vol.4, Part H
- [6] P. Launey, H. Gachon: Strain and Ultimate Strength of Concrete under Triaxial Stresses; proceedings of 1st SMIRT Conference, Berlin 1972, Vol.3
- [7] B. Ebsen, C. Flohrer: Projekt EXTRABEST, Pirmasens, Untersuchung der Deckenkonstruktion, Hochtief Materials, 2009
- [8] M. Krüger: Untersuchungsbericht: Begleitende Messungen während zweier Belastungsversuche, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart 13.01.2009
- [9] J. Ackermann: Die Barkhausen-Rauschanalyse zur Ermittlung von Eigenspannungen im Stahlbau. Dissertation TU Darmstadt 2008.
- [10] J. Ackermann: Kurzbericht, Spannungsmessungen an freiliegenden Bewehrungsstäben; 11.02.09 (Barkhausen-Rauschmessungen) ag engineering, Darmstadt
- [11] 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