

Zerstörungsfreie Bauwerksdiagnose für Betonbauwerke

Ausgewählte Messmethoden zur Unterstützung der Bausubstanzaufnahme an Denkmälern und Bestandsbauten

Die zerstörungsfreie Bauwerksdiagnose ist eine hilfreiche Unterstützung bei der Aufnahme bzw. Überprüfung von Bestandsbauwerken sowie der Instandsetzungsplanung zur Quantifizierung von zerstörend ermittelten Einzelprüfergebnissen. Im Folgenden werden ausgewählte Verfahren für eine Bauwerksdiagnose an Betonbauwerken an typischen Praxisbeispielen vorgestellt.

■ Von Rainer Auberg

Auf Basis von technischen Unterlagen sollte ein spezifisches Untersuchungskonzept des Bauwerks mit entsprechenden Fachplanern abgestimmt und die als zielführend angesehenen Messverfahren eingesetzt werden. Dabei sollte das Ziel verfolgt werden, mit möglichst wenig zerstörenden Bauteilöffnungen auszukommen, um eine repräsentative Zustandsanalyse zu erhalten. Die Anwendung der zerstörungsfreien Messtechnik ermöglicht eine kostenoptimierte, systematische, flächendeckende Untersuchung der Bausubstanz. Zur Kalibrierung der Messungen sind dann nur wenige zerstörende Untersuchungen erforderlich. Weitere Vorteile der zerstörungsfreien Bauwerksuntersuchungen liegen insbesondere darin, dass bei fehlender oder unvollständiger Bestandsstatik oder statischer Nachrechnung die Bemessungskenngrößen an ausgewählten Bauteilen detailliert ermittelt werden können oder eine nachträgliche Qualitätsüberprüfung und Abnahmeprüfung an Neubauten vorgenommen werden kann. Die Untersuchungen können eine frühzeitige Schadenserkenkung an Bauteilen im Rahmen eines Bauwerksmonitorings ermöglichen.

Im Folgenden werden ausgewählte Messmethoden mit typischen Anwendungsbeispielen dargestellt. Die Messtechnik ist heute durch die computerunterstützten Softwarelösungen relativ einfach. Eine Auswertung erfordert jedoch eine vertiefende

Sachkenntnis und Erfahrung. Eine Aus- und Fortbildung wird aktuell in der DIN 4871 [1] gefordert und kann z. B. bei der Deutschen Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung e. V. (DGZfP, Berlin) qualifiziert vorgenommen werden. Ergänzend wird auf die am Ende genannte Literatur verwiesen.

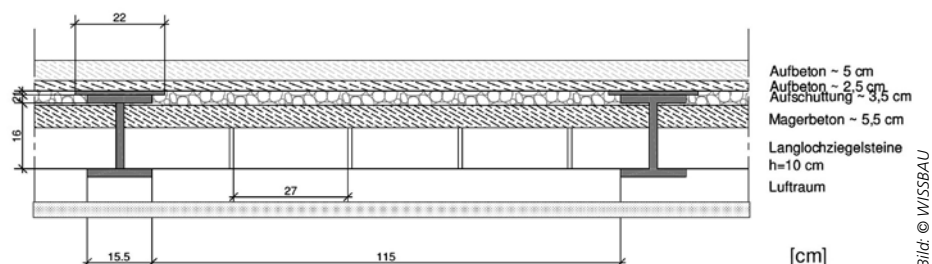
Georadar-Messtechnik

Mit der Georadar-Messtechnik können Strukturen unterschiedlicher Dichte bestimmt oder Objektdetektion im Untergrund und im Bauwerk zerstörungsfrei durchgeführt werden. Mittels einer Antenne werden über die Sendeeinheit elektromagnetische Wellen, ähnlich der Radiowellen, mit kurzen Impulsen in den Untergrund gestrahlt. Je nach Materialeigenschaften werden diese Wellen unterschiedlich stark absorbiert oder reflektiert und von der Empfangseinheit wieder aufgenommen, und von dort werden die Werte über den Transmitter zum Kontrollgerät übermittelt und gespeichert.

Die exemplarisch dargestellten Untersuchungen zur Lokalisierung von Deckentypen (Stahlträgern in Stahlsteindecken oder nachträglich erstellte Stahlbetondecken) in einem denkmalgeschützten Museum in Berlin erfolgte mit dem Bodenradar GP8000 der Firma Proceq. Dieser basiert auf der Stepped-Frequency Continuous-Wave-Technologie und verfügt über eine hohe Bandbreite mit einem Frequenzbereich von 0,2 bis 4,0 GHz. Der maximale Tiefenbereich dieses Geräts beträgt bei trockenem Beton 80 cm, sodass übliche Zwischendecken, die beidseitig verkleidet sind, gut erfasst werden können.

Bild 1 zeigt die vermutete Deckenkonstruktion, die sich aus einer unvollständigen Bestandsstatik darstellt. Die Messaufgabe lag in der Feststellung des Deckentyps, der Ermittlung der Lage von Stahlträgern bei Stahlsteindecken und der Einbautiefe, gegebenenfalls der Dimension. Bauteilöffnungen waren an den denkmalgeschützten Bauteilen u. a. auch wegen empfindlicher Exponate in den Ausstellungsräumen nicht möglich und durften nur in untergeordneten Räumen vorgenommen werden.

Mittels dieser Messtechnik konnte der Deckentyp eindeutig festgestellt sowie die Lage der Stahlträger sicher ermittelt werden



(1) Nachzuweisende Deckenkonstruktion; Annahme aus Bestandsstatik

(Bilder 2 und 3). Durch eine Kalibrierung der Messergebnisse an zwei Bauteilöffnungen in Nebenräumen konnten die Einbautiefe und die Flanschbreite je nach Lage auf ca. 1 bis 2 cm genau bestimmt werden. Die Höhe des Stahlträgers wäre nur bei beidseitiger Messung einzuschätzen gewesen.

Ultraschalldurchschallung

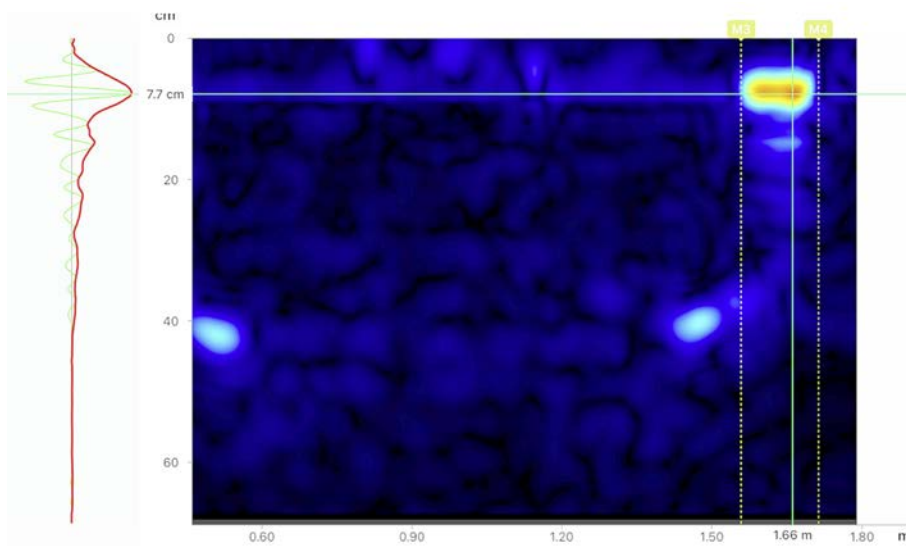
Mittels einer Ultraschalllaufzeitmessung im Durchschallungsverfahren kann in Anlehnung an die Richtlinie DAfStb Heft 621 [2] und DIN EN 12504-4 [3] eine Aussage zur Betongüte und Homogenität über den Betonquerschnitt gemacht werden. Die Ultraschallmessung sollte zur Kalibrierung in Verbindung mit einer Bohrkernprüfung angewendet werden, um eine gesicherte

Aussage zu einer mindestens vorhandenen Druckfestigkeit am Bauteil im Bereich der Messstellen vornehmen können.

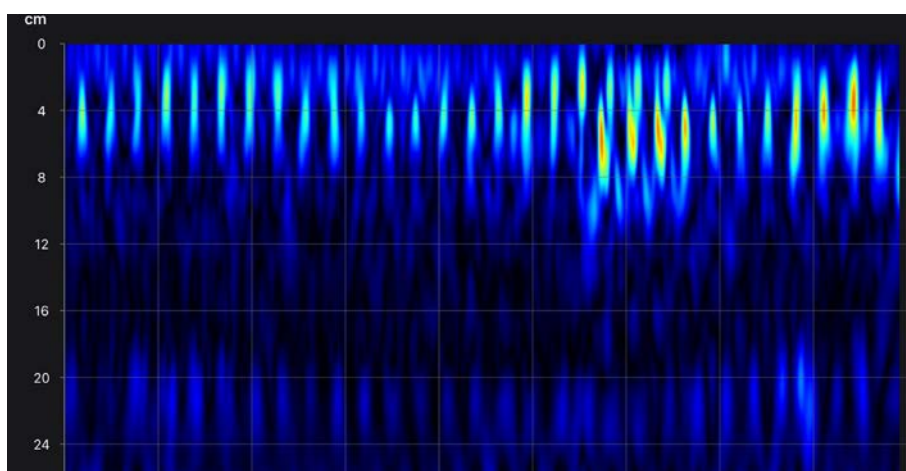
Die Ergebnisse des exemplarischen Praxisbeispiels zeigen Betonuntersuchungen an einem denkmalgeschützten Hochhaus der 1950er-Jahre in Hamburg. Bei dem Bauvorhaben sollte im Rahmen der Modernisierung eine Aufstockung mit zwei weiteren Geschossenen erfolgen. Hierzu musste etagenweise an allen Stützen der Nachweis einer Mindestbetondruckfestigkeit mittels Ultraschallmessungen im Durchschallungsverfahren erfolgen (Kalibrierkurve in Bild 4). Gleichzeitig wurde an den konstruktionsbedingten Schwachstellen der Deckeneinbindepunkte an Kopf und Fuß der Stützen eine Überprüfung auf Betonimperfectionen

bewertet. Die Betonhomogenität kann u. a. anhand der Amplitudendämpfung des Empfangssignals zum Ausgangssignal vorgenommen werden (Bild 5).

Die Untersuchungen erfolgten mit einem Ultraschallmessgerät der Firma Pundit. Es wurden Exponentialwandler als Messköpfe verwendet, da hiermit eine sichere und schnelle Ankopplung ohne Kopplungspaste an die Probenoberfläche ermöglicht wurde. Die mittlere Messfrequenz betrug 50 kHz. Vor Prüfbeginn wurde das Ultraschallgerät kalibriert. Die Messergebnisse zeigen erfahrungsgemäß erhöhte Streuungen, sodass es sinnvoll war, etagenweise weitere Untergruppen zu bilden. Bei ablehnender Bewertung einer Stütze in der zerstörungsfreien Messung wurde ergänzend eine zerstörende Prüfung ausgeführt.



(2) Linienmessung Georadar mit der Tiefenlage des Stahlträgers in der Stahlsteindecke; hier roter Fleck oben rechts



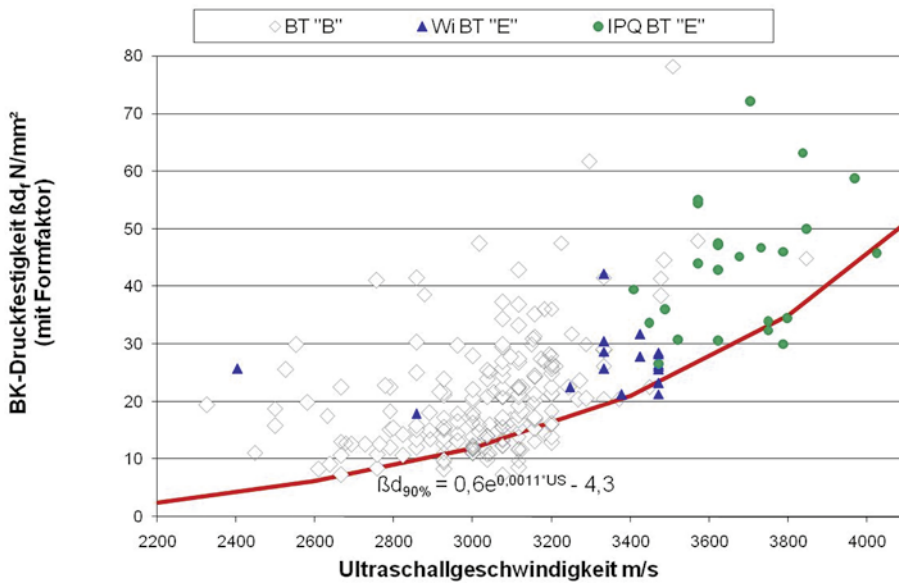
(3) Linienmessung Georadar einer Stahlbetondecke mit zweilagiger Bewehrung

Impuls-Echotechnik

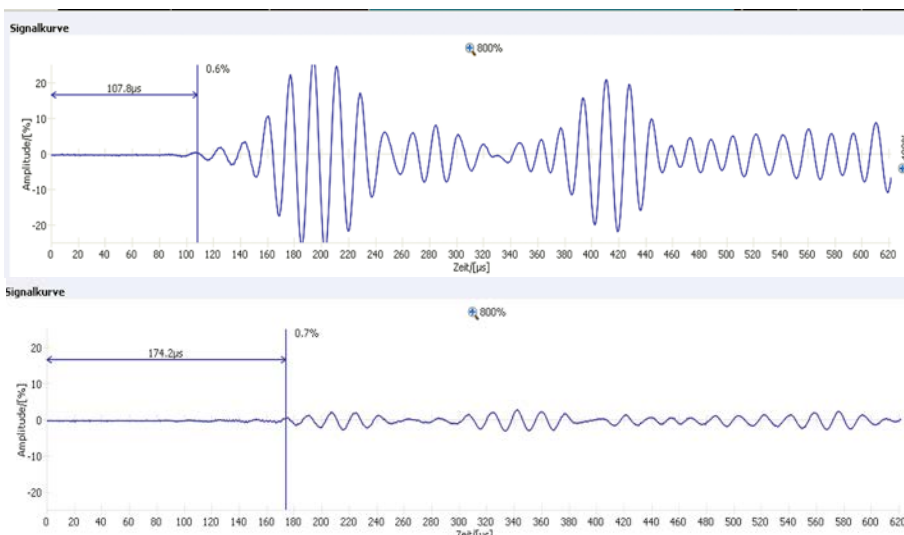
Bei dem Impuls-Echo-Verfahren werden mittels der Sendeeinheit eines Messkopfes von der Oberfläche Ultraschallimpulse in das zu prüfende Bauteil eingebracht. Da die Ultraschallwellen an der Rückwand, einer Trennlage oder einer Schichtgrenze unterschiedlicher Materialien wie dem Übergang von Beton zu Luft (z. B. bei Hohlstellen oder Kiesnestern) wegen des dort vorliegenden Impedanzsprungs reflektiert werden, können diese mittels der Empfangseinheit des Messkopfs registriert werden. Über die Auswertung der Schallgeschwindigkeit können Aussagen zur Bauteildicke, Homogenität und Störung getroffen werden. Die Messung kann z. B. bei erdberührten Bauteilen nur von einer Bauteilseite durchgeführt werden.

Das in den Bildern 6 bis 8 dargestellte Beispiel zeigt Ergebnisse von Untersuchungen an einer WU-Wanne, die mit Element-Fertigteilwänden erstellt wurde. Bei der Elementwandbauweise wird eine zweischalige Fertigteilwand mit dünner Schalendicke (ca. 5–8 cm) aufgestellt und der Zwischenraum mit Ortbeton auf der Baustelle vergossen, sodass ein monolithisches Bauteil entsteht. Die wasserundurchlässige Eigenschaft wird in der Regel nur erreicht, wenn ein dichter Verbund zwischen dem Ortbeton und den Fertigteilen erreicht wird. Ansonsten können sich Wasserwege über die Trennlage und Trennriffe im Ortbeton

Bilder: © WISSBAU



(4) Kalibrierkurve der Ultraschallgeschwindigkeiten an Stützen zur Druckfestigkeit an Bohrkernen, drei Festigkeitsklassen



(5) Exemplarische Messsignale einer Ultraschallmessung im ungestörten Bereich (oben) und gestörten Betongefüge (unten)

ergeben, die Undichtigkeiten verursachen können. Die untersuchten Außenwände der Weißen Wanne sind als Elementwände hergestellt worden, bestehend aus einer 5,5 cm starken inneren Fertigteilplatte, einem 18 cm starken Ortbetonkern und einer 6,5 cm starken äußeren Fertigteilplatte, sodass sich eine Gesamtwandstärke von 30 cm ergibt.

Die Untersuchung zur Homogenität des Betonbauteils erfolgte rasterförmig mit dem Ultraschallmessgerät Pundit 200 PE der Firma Proceq. Zur Erzeugung und Aufzeichnung der Schallwelle wird ein Schwellen-Schallkopf mit einer Bandbreite

von 50 kHz eingesetzt. Anhand mehrerer Einzelmessungen an verschiedenen Stellen wird zunächst die Schallgeschwindigkeit des vorhandenen Betons ermittelt. Daran anschließend wurden rasterförmig angeordnete Tiefenbestimmungen durchgeführt, anhand derer mögliche Störstellen detektiert wurden. Die Bilder 6, 7 und 8 zeigen exemplarisch Messergebnisse für einen ungestörten und unterschiedlich gestörten Wandaufbau. Auffälligkeiten in den Verbundebenen Fertigteilschalen und Ortbeton konnten gut geortet und für eine Instandsetzung durch Injektion eingemessen werden.

Potentialfeldmessung

Das Prinzip der Potentialfeldmessung besteht darin, die an der Betonoberfläche vorherrschenden Potentiale zur Charakterisierung des aktuellen Korrosionszustands der Stahloberfläche im Inneren des Betons zu messen. Hierzu wird eine Referenzelektrode über einem hochohmigen Voltmeter (beim verwendeten System Canin, Fa. Proceq $R = 10 \text{ M}\Omega$) an die Bewehrung angeschlossen und in einem Raster über die Betonoberfläche bewegt. Die Referenzelektrode ist eine Cu/CuSO₄-Halbzelle. Der Kontakt der Referenzelektrode wird bei der Punktelektrode über ein feuchtes Schwämmchen oder Filzband auf Radelektroden mit Wasserzufuhr hergestellt. Aus der messbaren Spannung (Potentialdifferenz) ergibt sich bei bekanntem Potential der Referenzelektrode das Potential auf der Betonoberfläche und damit indirekt ein Anhaltswert für das Potential an der Stahloberfläche. Typische Größenordnungen für das gemessene Halbzellen-Potential von Stahl in Beton in Bezug auf eine Cu/CuSO₄-Referenzelektrode liegen in den folgenden Bereichen (RILEM TC 154-EMC):

- wassergesättigter Beton ohne O₂: -1.000 bis -900 mV
- feuchter, mit Chlorid kontaminierter Beton: -600 bis -400 mV
- feuchter, chloridfreier Beton: -200 bis +100 mV
- feuchter, karbonatisierter Beton: -400 bis +100 mV
- trockener, karbonatisierter Beton: ±0 bis +200 mV
- trockener, nicht karbonatisierter Beton: ±0 bis +200 mV

Die Haupteinflüsse auf das Halbzellen-Potential sind bei sonst gleichen Korrosionsvoraussetzungen (Chloridgehalt oder Karbonatisierung des Betons an der Stahloberfläche) im Wesentlichen:

1. die Dicke der Betondeckung
2. der spezifische elektrische Widerstand der Betondeckung
3. der Sauerstoffgehalt an der Bewehrung

Wobei Letzterer mit den beiden erstgenannten Einflüssen gekoppelt ist. Der