



# Anwendung von Georadar und Ultraschall – Fallbeispiele aus der Praxis eines Ingenieurbüros

Christian SODEIKAT, Christoph DAUBERSCHMIDT,  
Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat, München

**Kurzfassung.** Bei der Anwendung von Georadar - und Ultraschall-Echo-Verfahren bei zerstörungsfreien Bauwerksprüfungen sind in den letzten Jahren auf der Forschungsseite große Fortschritte erzielt worden. Dabei werden viele dieser Untersuchungen von Hochschulen und Forschungsinstituten durchgeführt, da diese das technische Know-how und die wirtschaftlichen Ressourcen haben, um mit „maßgeschneiderten Prüfgeräten“ und z. T. aufwändigen Prüfeinrichtungen und Auswertelgorithmen zu arbeiten. Ingenieurbüros sind bei ihren Untersuchungen auf Prüfgeräte angewiesen, welche am Markt zu wirtschaftlich vertretbaren Kosten erhältlich sind. Aber auch mit diesen Prüfgeräten können zahlreiche Prüfungsaufgaben erfolgreich bewältigt werden.

## 1 Einführung

Zerstörungsfreie Prüfmethode werden seit Jahrzehnten bei der Bauwerksuntersuchung erfolgreich angewendet. Diese Prüfungen ermöglichen eine Zustandserfassung von Bauwerken, ohne sie durch weitergehende Zerstörungen in Mitleidenschaft zu ziehen. Zerstörende Untersuchungen sind häufig nicht gänzlich zu vermeiden, können jedoch im Sinne der Eigentümer und auch der Bauwerke durch zerstörungsfreie Prüfmethode auf das notwendige Maß beschränkt werden.

Zerstörungsfreie Prüfmethode, insbesondere auch Georadar (oder auch Impulsradar) und Ultraschall sind z.B. bei Zustandserfassungen von Bauwerken nützlich, welche umgebaut, umgenutzt oder instand gesetzt werden sollen. Nur durch Kenntnis des Zustand des vorhandenen Bauwerks und auch der Ursachen evtl. aufgetretener Schäden kann eine fachmännische Planung erfolgen. Typische Anwendungsfälle sind das Auffinden von Fehlstellen, Hohllagen, Bewehrung, insbesondere Spannbewehrung, die Ermittlung des Konstruktionsaufbaus und, falls keine ausreichenden Planunterlagen mehr vorhanden sind, das Feststellen von Bauwerksabmessungen unzugänglicher Bauteile.

Ultraschall und Georadar eignen sich jedoch auch für Kontrollen im Rahmen von Bauüberwachungen und Abnahmen von Bauwerken. Anwendungsfälle hierbei sind z.B. die Feststellung der Dicke von Bodenplatten und Estrichen, Fundamenten und Tunnelinnenschalen [2], [3].

Dabei wurden auf Seiten der Forschung in den letzten Jahren so große Erfolge bei der Weiterentwicklung der Georadar- und Ultraschall-Echo-Methoden in Hinsicht auf Anwendung, Kombination mehrerer Messverfahren und Visualisierung erzielt, dass vom

„gläsernen Beton“ gesprochen werden kann [1]. Für ein Ingenieurbüro stellt sich nun die Frage, inwieweit diese Forschungsfortschritte in den täglichen Praxiseinsatz „migriert“ werden können und mit einem überschaubaren Mess- und Auswertungsaufwand neue interessante Fragestellungen beantwortet werden können.

## 2 Anwendungsbeispiele Georadar

### 2.1 Prüfgerät

Als Messgerät kam ein handelsübliches für die Anwendung für Betonbauwerke angepasstes Georadargerät mit einer 1,2 GHz-Antenne zum Einsatz. Mit dieser Antenne kann je nach Feuchtigkeit des Betons bis rd. 60 cm bis 75 cm tief gemessen werden. Das Gerät ermöglicht mittels Flächenscans und anschließender Datenmigration auch eine 3D-Auswertung der Messergebnisse.

### 2.2 Bestimmung der Lage von Spanngliedern

#### Bauwerkssituation und Messaufgabe

Eine bei der Verstärkung und Instandsetzung häufig anstehende Prüfaufgabe ist die Ortung von Spanngliedern. Bild 1 zeigt ein typisches Beispiel einer Verstärkung einer Brückentafel mit verankertem Aufbeton. Um nun beim Bohren der Verankerungen die vorhandene Quer- und Längsvorspannung nicht zu verletzen, musste vorab die genaue Lage der Spannglieder ermittelt werden.

#### Vorgehen und Ergebnis

Zum Auffinden der Quervorspannung wurde die Brücke in Längsrichtung auf der gesamten Brückenlänge in einem Abstand von rd. 2 m zur Erstellung von Linienscans abgefahren. Die Polarität der Antenne wurde dabei längs der Messrichtung, also senkrecht zur Querbewehrung gewählt. Weiterhin wurden an jeder Blockfuge der Brücke die Lage der Längsspannglieder durch Linienscans in Brückenquerrichtung ermittelt.



Bild 1: Verstärkung einer Brückentafel mit verankertem Aufbeton; Plan mit Darstellung der Längsspannglieder

Nachdem die Geräteeinstellungen entsprechend optimiert waren, konnten die Spannglieder zielsicher aufgefunden werden, Bild 2. Die Lage der Spannglieder wurde direkt auf die Brückentafel aufgezeichnet. Während der gesamten Brückenarbeiten wurde weder ein Längs- noch eines der rd. 600 Querspannglieder angebohrt.

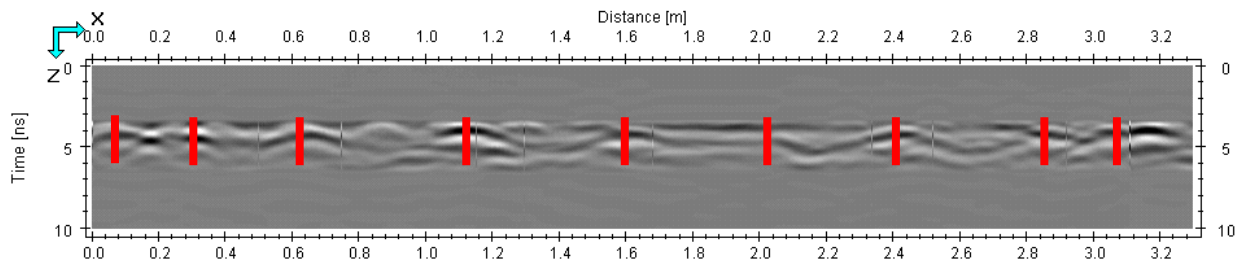


Bild 2: Radargramm mit Kennzeichnung der Längsspannglieder

### 2.3 Untersuchungen an Natursteinsäulen der Hofstallung in Landshut

#### Bauwerkssituation und Messaufgabe

An Natursteinsäulen der Hofstallung in Landshut sollten Untersuchungen durchgeführt werden mit dem Ziel, evtl. Schädigungen der Steine durch Feuchtigkeit oder Salzbelastung, sowie Fehlstellen und Anker Elemente innerhalb des Säulenquerschnittes aufzufinden, um letztlich die Tragfähigkeit der Natursteinsäulen bestimmen und ggf. entsprechende Verstärkungsmaßnahmen planen zu können.

#### Vorgehen und Ergebnis

Komplexere Bauwerksuntersuchungen müssen häufig als Kombination von zerstörenden, zerstörungsarmen und zerstörungsfreien Untersuchungen durchgeführt werden. In diesem Fall wurden Bohrkern entnommen (zerstörend), Bohrmehlproben gezogen (zerstörungsarm) sowie elektrische Widerstands-, Ultraschall- und, Impulsradarmessungen (zerstörungsfrei) durchgeführt.

Anhand der Impulsradarmessungen konnten vorhandene eiserne Einbauelemente zielsicher aufgefunden werden. Ferner war es möglich, den Feuchtezustand der Natursteinsäulen qualitativ zu bestimmen.

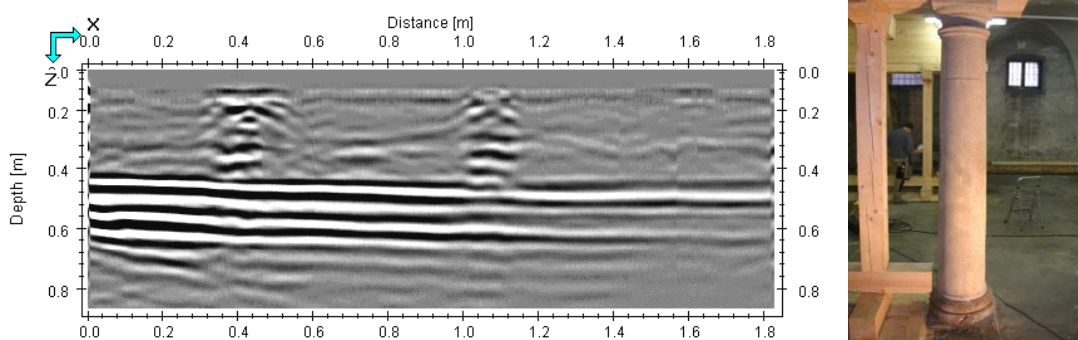


Bild 3: links: Radargramm mit Rückwandecho (Darstellung liegend); rechts: untersuchte Säule

## 2.4 Feststellung der Tragkonstruktion der Theatinerkirche in München

### Bauwerkssituation und Messaufgabe

Im Zuge von geplanten Instandsetzungsarbeiten an der Theatinerkirche in München musste die Tragkonstruktion ermittelt werden. In Folge von Bombenschäden des 2. Weltkriegs wurden seinerzeit Wiederaufbauarbeiten durchgeführt, deren Ausführung aber nicht bzw. nur unzureichend dokumentiert wurden. Ziel der Untersuchungen war das Auffinden von evtl. vorhandenen Verankerungselementen, die die Fassade im Mauerwerk des angrenzenden Kirchenschiffs rückverankern.

### Vorgehen und Ergebnis

An einem Stahlbetonriegel wurden Anker Elemente mit Georadar festgestellt. Wie Voruntersuchungen zeigten, konnten die tief liegenden Anker Elemente mit üblichen Bewehrungssuchern nicht und mit Ultraschall nur mit einem erheblich höherem Messaufwand lokalisiert werden.

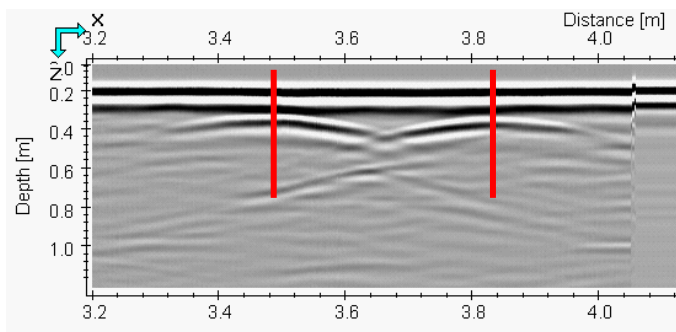


Bild 4: Radargramm mit Kennzeichnung der Anker Elemente

## 3 Anwendungsbeispiele Ultraschall

### 3.1 Prüfgerät

Seit Ende der 1990er Jahre sind Prüfköpfe erhältlich, die ohne Koppelmittel an Betonoberflächen angekoppelt werden können und für den Echobetrieb geeignet sind. Diese Bauart wird sowohl als Longitudinalwellen-Prüfkopf (Druckwellen) als auch als Scherwellen-Prüfkopf (Transversalwellen) hergestellt. Auf der Basis dieser Prüfköpfe wurde ein Messgerät entwickelt, mit dem eine Untersuchung von Betonbauteilen bis zu einer Dicke von etwa 0,7 m (je nach Randbedingungen) möglich ist. Durch seine vergleichsweise kleine Bauweise und Batteriebetrieb (Masse: Steuerteil 800 g, S/E-Einheit 800 g) ist es baustellengeeignet. Das Gerät besteht aus einer Sende-Empfangeinheit aus 24 Punktkontakt-Prüfköpfen, die in einem Sende- und Empfangsteil von je 12 Prüfköpfen zusammengesetzt sind, Bild 5.



Bild 5: Ultraschall-Echo-Messgerät und Messkopf mit 24 Punktkontakt-Prüfköpfen

Die Mittenfrequenz beträgt 55 kHz. Ein batteriebetriebenes Steuerteil erzeugt den Sendepuls (300 V) und empfängt und speichert die Empfangspulse und stellt sie als B- und C-Bilder auf einem kleinen LCD-Schirm in schwarz-weiß dar. Jeweils 40 Punktaufnahmen können zu einer Messlinie zusammengefasst werden. Die Tiefe von Reflektoren ist nach Eingabe einer Transversalwellengeschwindigkeit ablesbar (in mm). Mit einer zum Gerät gehörenden Software werden die Messdaten auf einen PC geladen und sind dort als B-Bild und C-Bild darstellbar.

Gemäß den Forschungsergebnissen der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM) [3] eignet sich das o.g. Gerät insbesondere zur Dickenmessung von Betonbauteilen bis 0,7 m als auch zur Ortung von Konstruktionselementen wie Spankanäle, zum Auffinden von Verdrängungskörpern oder reflektierenden Streuern wie z. B. Kiesnester mit deutlicher Grenzfläche. Als entscheidende Vorteile werden genannt, dass erstmals Scherwellenköpfe im Niederfrequenzbereich unter 100 kHz kommerziell erhältlich sind und dass die Verwendung von Punktkontaktprüfköpfen eine schnelle Messung ohne Verwendung eines Koppelmittels selbst bei leicht rauen Oberflächen ermöglicht [3]. Alle nachfolgend dargestellten Anwendungsfälle wurden mit o.g. Ultraschallgerät durchgeführt.

### 3.2 Bestimmung der Dicke eines Estrichs

#### Messaufgabe und Vorgehen

Bei einem Neubau wurde von Bauherrenseite die Dicke des eingebauten Industrieestrichs angezweifelt. Im Rahmen eines Gerichtsgutachtens musste deshalb die Dicke des Estrichs bestimmt werden.

Der Estrich hatte eine planmäßige Dicke von 150 mm. Diese Dicke war zur schadensfreien Ableitung der hohen Punktlasten der Hochregale zwingend erforderlich. Im Rahmen vorhergehender Untersuchungen wurden zerstörend Bohrkerns und Probeplatten entnommen. An diesen Stellen war die vorhandene Dicke des Estrichs bekannt, weshalb dort die Kalibrierung der Wellengeschwindigkeit des Ultraschallgerätes möglich war. Die Kalibrierung erbrachte eine mittlere Wellengeschwindigkeit des Estrichs von  $v = 2320$  m/s.

Im Rahmen von Voruntersuchungen wurde die Verwendung einer Messfrequenz von 70 kHz als zielführend ermittelt.

## Ergebnis

Anhand der Ultraschallmessungen konnten Bereiche der Bodenplatte detektiert werden, deren Dicken die Solldicke von 150 mm z.T. deutlich unterschritten. Stellweise konnten mit dem Ultraschall-Verfahren Dicken von rd. 110 mm ermittelt werden. Insgesamt wurden über 100 Einzelmessungen durchgeführt. Die durch anschließende Bohrungen ermittelte Genauigkeit des Messverfahrens lag bei unter 5 %. Das nachfolgende Bild 6 zeigt die Darstellung eines entsprechenden A-Scans (als Einhüllende des Signals) mit noch gut zu erkennender 2. Reflexion des Signals (hervorgerufen dadurch, dass das Sendesignal z.T. auch an der Oberseite des Estrichs reflektiert wird).

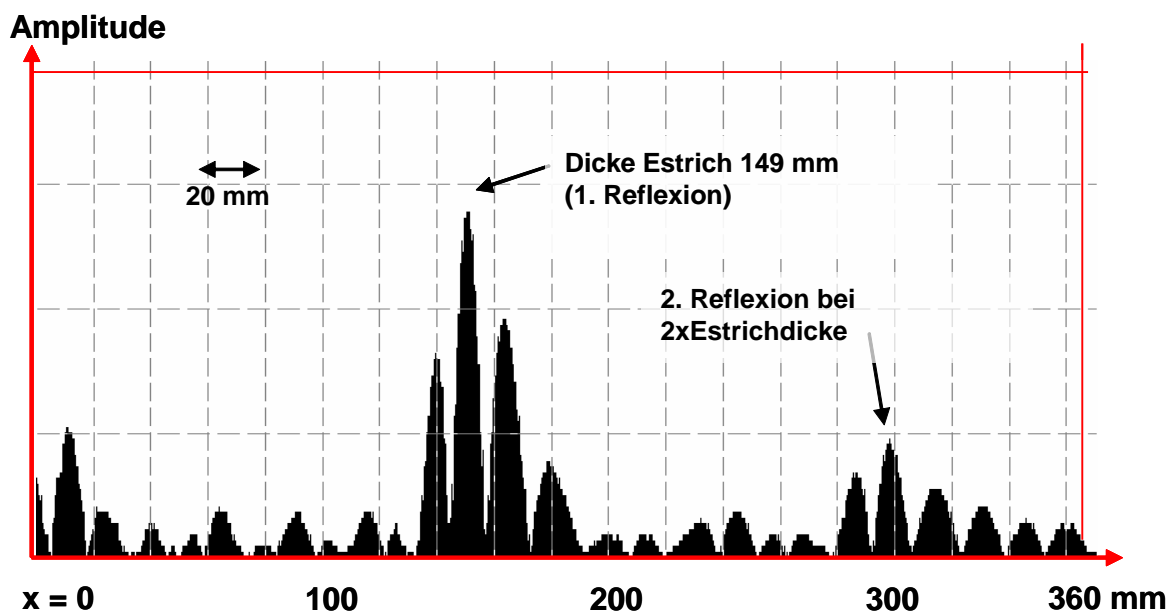


Bild 6: Ultraschall-Einzelmessung; A-Bild

### *3.3 Bestimmung des Dickenverlaufs einer Stahlbetondecke*

#### Messaufgabe und Vorgehen

An einer als Speditionslager genutzten Stahlbetondecke (Ortbeton) einer Tiefgarage mit einer planmäßigen Dicke von 300 mm und einem Stützenraster von rd. 4 m × 5 m sollte die Dicke bestimmt werden. Auf der Unterseite war die Decke mit Holz-Wolle-Leichtbauplatten versehen, die augenscheinlich in der Schalung liegend mit einbetoniert wurden. Die Stützen waren im Kopfbereich aufgeweitet.

Hintergrund der Messungen waren Risse in der Decke, deren Breiten auch dadurch zu erklären gewesen wären, wenn die Decke nicht in der statisch erforderlichen Dicke ausgeführt worden wäre.

An einer Stelle wurde ein Bohrkern mit einer Länge von 310 mm Beton und rd. 10 mm Dämmung (teilweise mit Zementschlämme getränkt) entnommen. Die Kalibrierung mit einer Wellengeschwindigkeit von  $v = 2580\text{m/s}$  ergab eine gemessene Deckendicke von 315 mm, Bild 7. Die Messungen wurden mit einer Messfrequenz von 55 kHz durchgeführt.



Um evtl. vorhandene Dickenänderungen der Decke erfassen zu können, wurden Linienscans mit einem Punktabstand von rd. 10 cm durchgeführt.

### Ergebnis

Aufgrund der engen oberen Bewehrungsführung war das Signal des Rückwandechos z.T. stark gedämpft. Unter Zuhilfenahme des Linienscans (B-Bild) konnte die Dicke der Betondecke an der jeweiligen Messstelle jedoch eindeutig bestimmt werden, auch die Dickenänderung im Bereich einer planmäßigen Aufweitungen ist gut erkennbar, Bild 8. Minderdicken der Stahlbetondecke außerhalb der Bautoleranz konnten nicht detektiert werden.

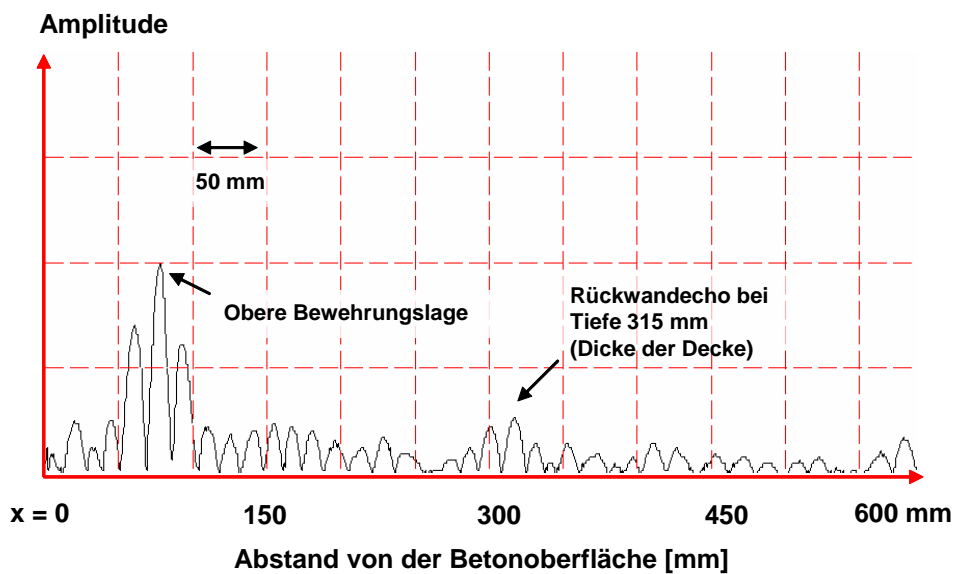


Bild 7: Ultraschall-Einzelmessung; A-Bild

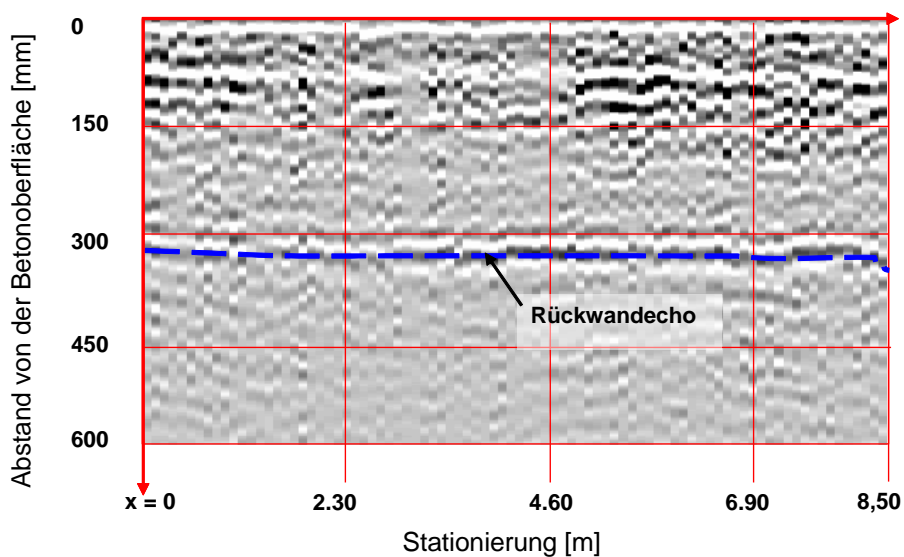


Bild 8: Ultraschall-Linienscan; B-Bild

### 3.4 Untersuchungen an verlegten Kanalrohrelementen

#### Messaufgabe und Vorgehen

An neu verlegten Kanalrohrelementen, welche in Stahlbetonbauweise mit innenliegendem Fugenband hergestellt wurden, sollten stichprobenartige Kontrollprüfungen durchgeführt werden. Zur Erfassung der Wandstärkenänderungen und der Lage des Fugenbandes wurden Linienscans mit einem Abstand von rd. 10 cm durchgeführt.

#### Ergebnis

Die Ultraschallmessungen zeigten, dass anhand der aufgenommenen B-Scans die Wandstärken und deren Änderungen in den einzelnen Segmentbereichen sowie die Lage des Dehnfugenbandes mit hoher Genauigkeit kontrolliert werden konnten, Bild 9.

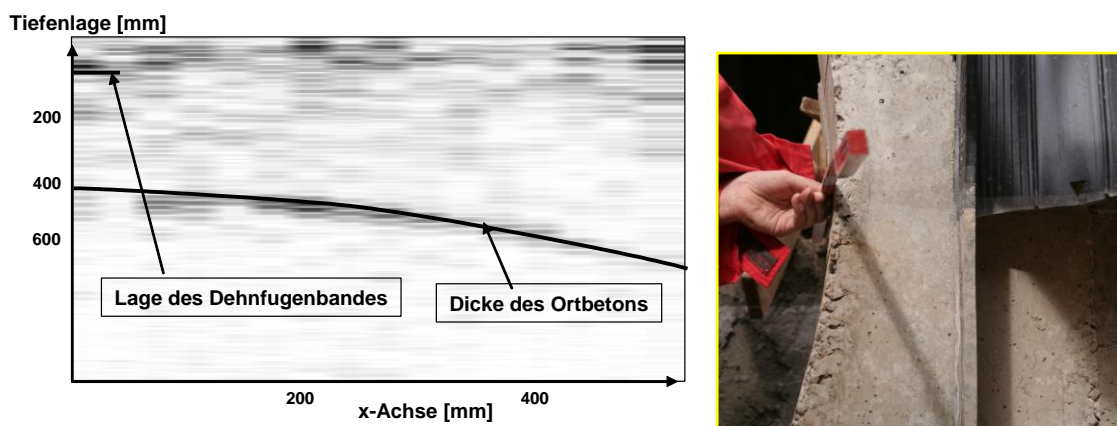


Bild 9: B-Bild zur Feststellung der Bauteildicke und der Lage des Fugenbandes (linkes Bild); Detailbild aus dem Bereich des Fugenbandes (Rechtes Bild)

### 3.5 Beurteilung des Verpresszustands der Hüllrohre einer Straßenbrücke

#### Bauwerkssituation und Messaufgabe

Bei der zu untersuchenden Straßenbrücke handelte es sich um eine einfeldrige Spannbetonbrücke mit einer Spannweite von rd. 31 m aus dem Jahr 1979. Die Konstruktion besteht aus fünf vorgespannten Fertigteil-T-Träger mit Ortbetonergänzung. Je Fertigteilträger wurden gemäß den vorliegenden Plänen sechs Spannglieder Typ Suspa IV 115,2 MP im Hüllrohr parabelförmig eingebaut.

Im Rahmen einer Bauwerksprüfung wurde an einem der Fertigteilträger eine Hohllage des Betons über dem oberen Hüllrohr festgestellt. Nachdem der lose Beton entfernt war, wurde ferner festgestellt, dass das Hüllrohr in diesem Bereich nicht verpresst war. Um mögliche Auswirkungen auf die Tragfähigkeit der Brücke zu erfassen, sollte überprüft werden, ob evtl. auch andere Hüllrohre der Träger nicht verpresst sind.



### Vorgehen und Ergebnis

Die Eignung der Ultraschall-Echo-Methode zur Überprüfung des Verpresszustands von Hüllrohren ist von zahlreichen Randbedingungen wie Bewehrungsgehalt, Betonoberfläche und Tiefenlage der Hüllrohre abhängig. Vorversuche zeigten jedoch im konkreten Fall die prinzipielle Eignung der Ultraschall-Echo-Methode zum Auffinden von Hohllagen.

Zunächst wurde die Lage der Hüllrohre durch Messungen von den Seitenwänden der Träger bestimmt. Bild 10 zeigt beispielhaft zwei Linienscans (B-Bild) von beiden Seiten eines Trägers mit Darstellung der Lage der Spannglieder im Trägerquerschnitt. Dabei zeigte sich, dass die Lage der Hüllrohre sowohl hinsichtlich ihrer Höhenlage im Träger als auch hinsichtlich ihrer Tiefenlage von beiden Trägeroberflächen sicher detektiert werden kann (wobei sich die tatsächliche Lage deutlich von ihrer Solllage nach den Bauplänen unterscheidet).

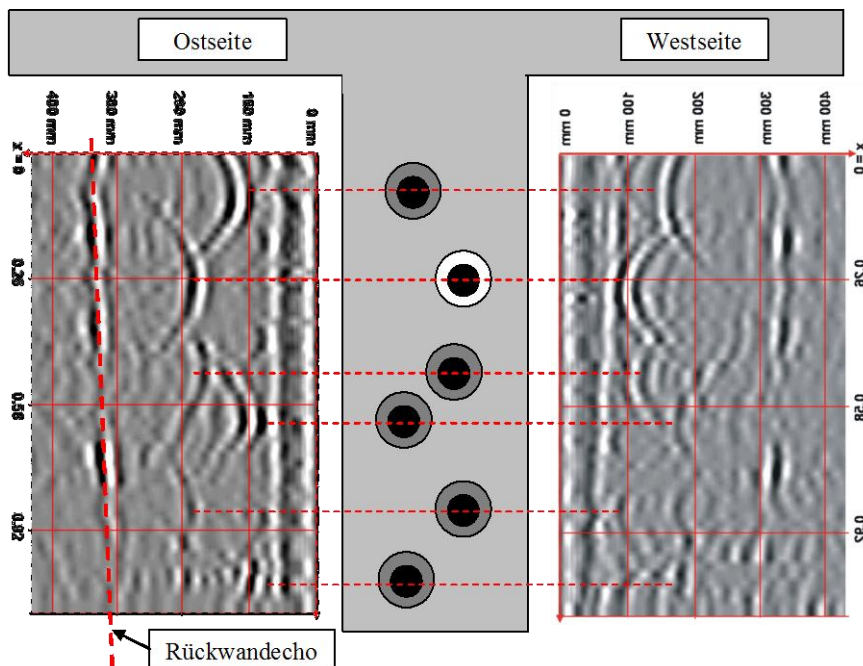


Bild 10: Ultraschallmessungen an einem Träger mit Darstellung der Lage der Hüllrohre und deren Verpresszustände (weiß: unverpresst; dunkelgrau: verpresst)

Betrachtet man die einzelnen Ultraschallsignale über den Hüllrohren, so stellt man fest, dass sich bei unverpressten Hüllrohren ein Phasensprung auf Höhe des Hüllrohrs einstellt, der bei verpressten Hüllrohren nicht festzustellen ist. Grund für diesen Phasensprung ist die Reflexion der Ultraschallwelle an der Luftschicht innerhalb des Hüllrohrs. Nach den Regeln der Akustik kommt es bei Übergängen von einem akustisch dichteren in ein akustisch weniger dichtes Medium zu einem Phasensprung, bei Übergängen von akustisch weniger dichten Medien in akustisch dichtere hingegen nicht, Bild 11.

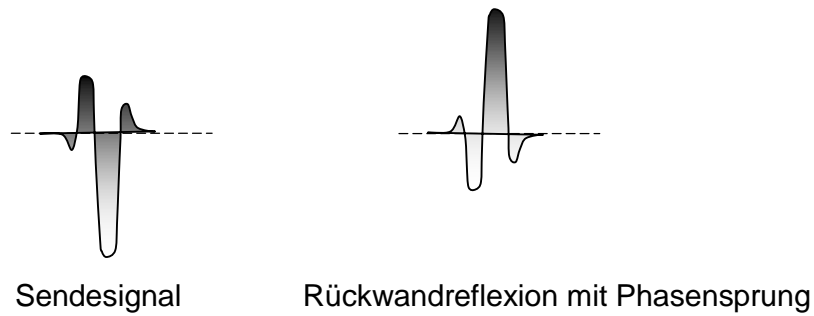


Bild 11: Phasenauswertung: links verwendetes Sendesignal und rechts Rückwandreflexion mit Phasensprung (Übergang Beton zu Luft bzw. Stahl zu Luft)

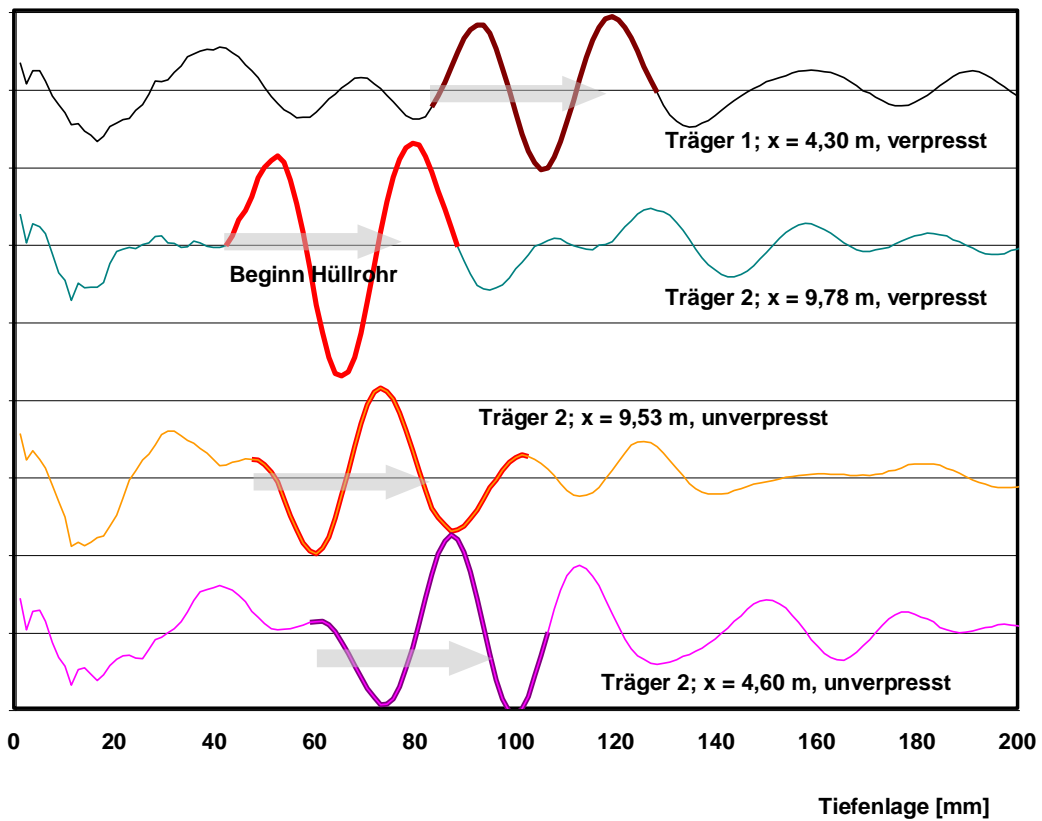


Bild 12: Ultraschallsignale über verpressten und unverpressten Hüllrohren

Durch die Auswertung der A-Bilder konnten anhand der Phasensprünge unverpresste Hüllrohrbereiche zielsicher aufgefunden und einer weiteren Untersuchung bzw. der nachfolgenden Instandsetzung zugeführt werden, Bild 12.

## 4. Zusammenfassung

Zerstörungsfreie Prüfmethode wie Bewehrungsdetektion mit Betondeckungsmessgeräten, Thermografie, elektrische Widerstands- und mittlerweile auch Potentialfeldmessung werden in der Praxis von Ingenieurbüros häufig angewendet. Hingegen sind Georadar- und Ultraschallmessungen bei Ingenieurbüros im Gegensatz zu Hochschulinstituten und amtlichen Materialprüfämtern weit weniger verbreitet. Dies liegt zum einen an den hohen Anschaffungskosten dieser Geräte und zum anderen auch an den hohen Anforderungen an den Prüfer bei der Anwendung und Auswertung, was den Einsatz für die meisten Ingenieurbüros, welche nicht regelmäßig damit arbeiten, unwirtschaftlich macht.

Mit ausreichender Praxiserfahrung können mit den handelsüblichen Impulsradar- und Ultraschallgeräten vielfältige Prüfaufgaben wie das Auffinden von Fehlstellen, Hohllagen, Bewehrung, insbesondere Spannbewehrung, die Ermittlung des Konstruktionsaufbaus, Dickenbestimmungen von Bodenplatten, Estrichen, Fundamenten und Tunnelinnenschalen erfolgreich durchgeführt werden.

Ein entsprechender Nachweis der Praxiserfahrung könnte zukünftig entsprechend der Tunnelinnenschalenprüfung erfolgen: diese zerstörungsfreie Prüfung darf nur von Firmen durchgeführt werden, die ihre Erfahrung an einem Prüfkörper bei der BAST nachgewiesen haben und erst dann entsprechend zugelassen werden.

## Referenzen

- [1] Moderne ZfP bei der Bauwerkserhaltung: Abschlusskolloquium DFG-Forschergruppe FOR 384 (Mai 2007). Verlag: Universität Stuttgart Inst. f. Werkstoffe im Bauwesen,
- [2] Taffe, A.; Gehlen, Ch.: Anwendung der Zuverlässigkeitsanalyse auf Messungen mit zerstörungsfreien Prüfverfahren am Beispiel der Tunnelinnenschalenprüfung. Beton- und Stahlbetonbau 12.2007.
- [3] ZfPBau-Kompendium der BAM ([http://www.bam.de/microsites/zfp\\_kompendium/welcome.html](http://www.bam.de/microsites/zfp_kompendium/welcome.html))