

# Grenzen der Anwendbarkeit bei ZfP-Prüfungen – Beispiele aus der Praxis

Christian SODEIKAT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ingenieurbüro Schießl Gehlen Sodeikat GmbH, München  
[sodeikat@ib-schiessl.de](mailto:sodeikat@ib-schiessl.de)

Carsten LOHSE<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Bewehrungsnachweis & -analyse, Augustusburg

**Kurzfassung.** Eigentümer, Bauherren, Architekten, Planer und vielfach auch Gerichte benötigen weitergehende Informationen bzgl. des Zustands bestehender und auch im Bau befindlicher Bauwerke. Um die Bausubstanz nicht zu beeinträchtigen, Belästigungen durch Lärm und Dreck zu vermeiden und letztlich Kosten zu sparen, sollen Bauwerksuntersuchungen möglichst zerstörungsfrei durchgeführt werden. ZfP-Verfahren weisen jedoch immer Anwendungsgrenzen auf, die je nach eingesetzten Verfahren und Prüfgeräten sehr unterschiedlich sein können. Jedoch kann nicht jede Prüfaufgabe, deren Umsetzung sich Auftraggeber wünschen, mit ZfP-Verfahren gelöst werden. Der nachfolgende Beitrag stellt Praxisbeispiele für Anwendungsgrenzen verschiedener ZfP-Verfahren dar.

## Einführung

Für jedes zerstörungsfreie Prüfverfahren und auch für jedes Messgerät gibt es spezifische Anwendungsgrenzen. Diese resultieren im Wesentlichen aus dem eigentlichen physikalischen Messprinzip, der Leistungsfähigkeit der Messgeräte, den zu messenden Bauwerken bzw. Bauteilen und auch der gewünschten Messgenauigkeit.

Um ZfP-Verfahren erfolgreich durchführen zu können, müssen dem Anwender die verfahrensspezifischen Grenzen bekannt sein. D.h., er muss über das physikalische Messprinzip die Durchführbarkeit einer an ihn gestellten Prüfaufgabe beurteilen. Falls gestellte Prüfaufgaben nicht lösbar sind, muss der Anwender dies seinem potentiellen Auftraggeber mitteilen. Auch bei Prüfaufgaben, deren erfolgreiche Umsetzung nicht von vornherein abschätzbar ist, müssen dem Auftraggeber entsprechende Hinweise gegeben werden. Hier empfiehlt es sich, im Vorfeld größerer Prüfkampagnen erste Tastversuche durchzuführen, um die prinzipielle Möglichkeit der Lösung einer Prüfaufgabe zu ermitteln. Hinweise zu Anwendungsgrenzen finden sich u.a. in [1, 2] und den Merkblättern der DGZfP.

# 1 Anwendungsgrenzen aufgrund physikalischer Messprinzipien

## 1.1 Impuls- bzw. Georadar

Radargeräte arbeiten mit elektromagnetischen Wellen (Radarwellen), welche vom Messgerät ausgesendet, an Reflektoren zurückgesendet und am Messgerät wieder empfangen werden. Dabei werden die Laufzeit der Radarwellen und die Amplitude, d.h. die Stärke der reflektierten Wellen, gemessen. Über die materialspezifische Ausbreitungsgeschwindigkeit der Radarwellen kann die Position des Reflektors zurückgerechnet werden. Radarwellen werden an Grenzflächen zurückgeworfen, an denen sich die Dielektrizitätskonstante ändert. An metallischen Grenzflächen findet eine Totalreflexion statt, an anderen Grenzflächen wird in der Regel ein Teil der Wellen transmittiert, ein Teil reflektiert und ein Teil absorbiert.

Radarwellen werden durch Wasser sehr stark absorbiert, was bedeutet, dass der Feuchtegehalt von Beton, Mauerwerk etc. die mögliche Eindringtiefe (die Messtiefe) beeinflusst. Die erzielbare Auflösung der Messungen hängt von der eingesetzten Frequenz ab. Die Verwendung höherfrequenter Radarantennen ermöglicht eine höhere Auflösung, allerdings reduziert sich dann die Eindringtiefe. Umgekehrt wird eine höhere Eindringtiefe durch niederfrequente Antennen erreicht, allerdings auf Kosten der Auflösung.

## 1.2 Ultraschallecho-Verfahren

Das Ultraschallecho-Verfahren basiert auf der Einleitung mechanischer Wellen (Ultraschallwellen) in das zu messende Bauteil. Die Ultraschallwellen werden an Grenzflächen reflektiert, an denen sich die akustische Impedanz ändert. Je nachdem, ob die nachfolgende akustische Impedanz größer oder kleiner ist, findet ein Phasensprung statt oder nicht. Mit zunehmender Lauflänge der mechanischen Ultraschallwellen entsteht ein zunehmender Energieverlust innerhalb des Bauteils, dies begrenzt die mögliche Messtiefe. Wie bei der Radarmessung sind bei höheren Frequenzen prinzipiell auch höhere Auflösungen möglich. Die Wellenlänge darf jedoch nicht kleiner werden als das Größtkorn des Betons oder Mörtels, ansonsten würde man nur die äußersten Zuschlagkörner messen können. Dies bedeutet, dass die mögliche Auflösung bei Beton von vornherein begrenzt ist.

Die zu messende Bauteiloberfläche muss ausreichend eben und fest sein, um die mechanischen Messköpfe ankoppeln und die Ultraschallwellen einleiten zu können, *Abbildung 1*. Bei einem Übergang zu Luft findet eine Totalreflexion statt.



**Abbildung 1:** Ultraschallecho-Messgerät und Messkopf mit 24 Punktkontakt-Prüfköpfen.

## 2 Praxisbeispiele für Anwendungsgrenzen

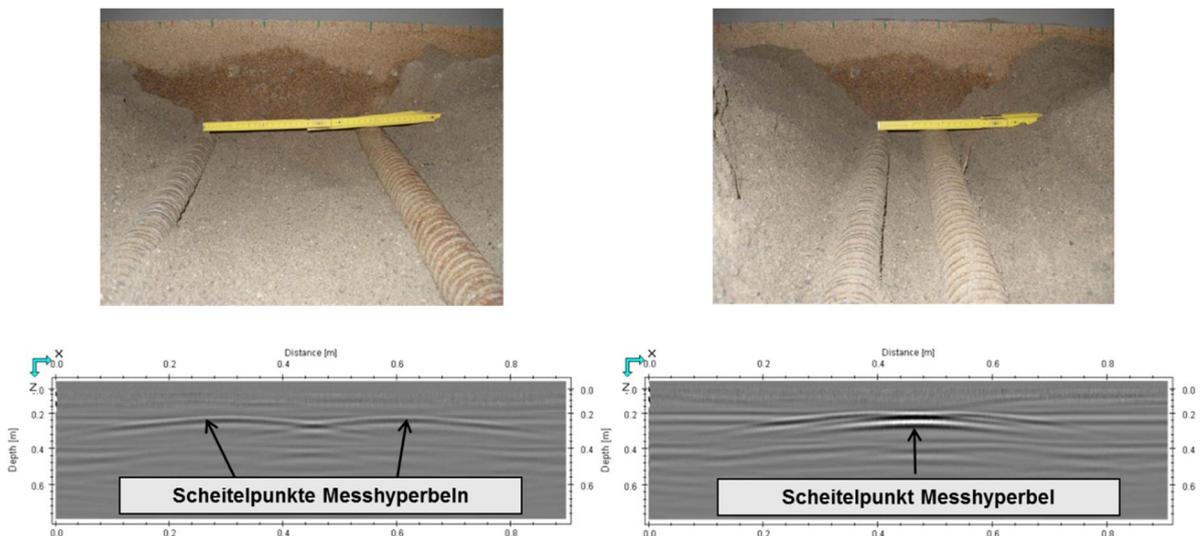
### 2.1 Impuls- bzw. Georadar

#### Eindringtiefe in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bzw. Bauwerksalter

Mit üblichem Bodenradar werden je nach Bodenart und Feuchtegehalt Eindringtiefen von vielen Metern erreicht. An im ZfP-Bereich tätige Büros werden immer wieder Prüfaufgaben herangetragen, welche Radaruntersuchungen von z.T. mehrere Meter dicken Stahlbetonbodenplatten und auch die Feststellung von darunterliegenden Fundamenten etc. betreffen, jeweils mit dem Hinweis, dass das doch bei Bodenuntersuchungen Standard sei. Die tatsächlich mögliche Messtiefe bei Stahlbetonbauteilen ist jedoch wesentlich geringer und hängt neben der Dichte der oberen Bewehrungslage, welche Radarwellen komplett abschirmen kann, auch vom Bauteilalter bzw. vom Feuchtegehalt ab. Nach umfangreichen Untersuchungen von Taffe et.al. [3] liegen realistische Messtiefen bei Stahlbetonbauteilen mit einem Alter zwischen 6 und 12 Monaten je nach verwendeter Antennenfrequenz zwischen 25 cm und 35 cm (Mittenfrequenz 1,2 GHz), 20 cm und 30 cm (Mittenfrequenz 1,6 GHz) sowie 10 cm und 15 cm (Mittenfrequenz 2,3 GHz). Bei jungem bzw. wenige Tage altem Beton liegt die Messtiefe noch wesentlich darunter.

#### Auflösung

Zu eng liegende Bewehrungsstäbe, Spannglieder etc. können nicht mehr als einzelne, getrennte Elemente nachgewiesen werden. Nachfolgende *Abbildung 2* zeigt diesen Zusammenhang auf. In den linken Einzelbildern sind der Abstand der gemessenen Spannglieder (oberes Bild) und die zugehörigen Messhyperbeln (unteres Bild) zu sehen. Bei zunehmend kleinerem Abstand wachsen die Einzelhyperbeln zu einer Gesamthyperbel zusammen, deren angezeigte Amplitude stärker als die der Einzelhyperbeln und deren Tiefenlage außerdem nach unten verschoben ist.



**Abbildung 2:** Bei zu engem Abstand können Spannglieder/Bewehrungsstäbe nicht mehr als einzelne, getrennte Elemente nachgewiesen werden (die Spannglieder wurden in einem mit Sand gefüllten Versuchskörper gelagert).

#### Abschattung durch Totalreflektoren

Zur Abdichtung von Brückentafeln wurden früher häufig Bitumenschweißbahnen mit metallischen Folieneinlagen (z.B. aus Kupfer oder Aluminium) verwendet. Diese Folien stellen für Radarwellen Totalreflektoren dar, eine Untersuchung unterhalb der Abdichtungsebene ist somit nicht möglich.

### Bewehrungsdetektion mit Multiarray-Radargeräten

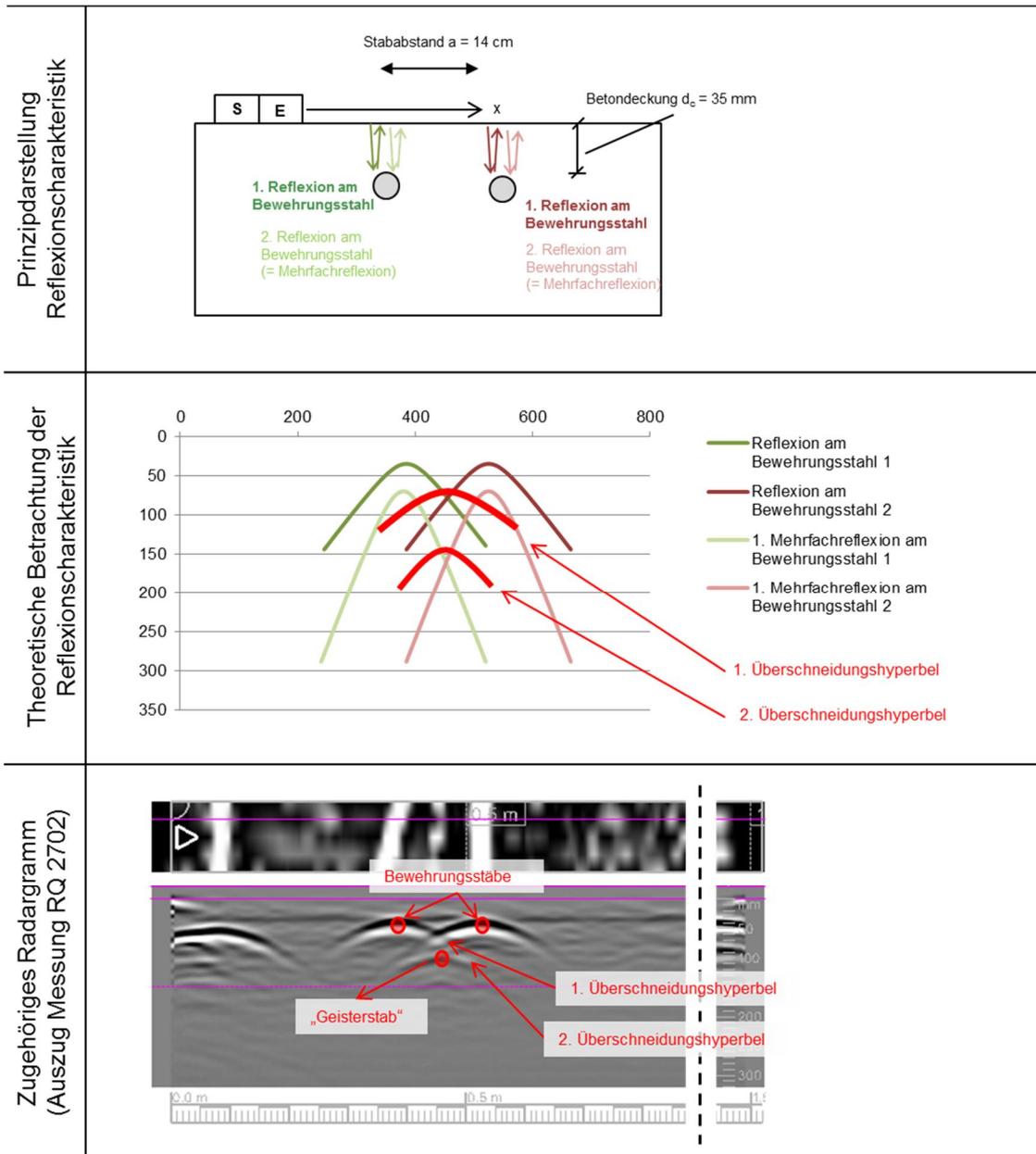
Seit einigen Jahren ist ein Multiarray-Radargerät (Antennenfrequenzen zwischen 1,0 GHz und 4,3 GHz, Mittenfrequenz 2,0 GHz) auf dem Markt, mit welchem die Bewehrungsführung dreidimensional, je nach Randbedingungen bis in etwa 30 cm Tiefe ermittelt werden kann.

### *Betondeckung*

Dieses Gerät ist gut geeignet, die Bewehrungsführung auch tieferer Bewehrungslagen zu detektieren, es ist jedoch nicht geeignet, Betondeckungen in der üblichen geforderten Genauigkeit zu messen. Zur Bestimmung von Betondeckungen nach DBV-Merkblatt sind die einschlägigen Bewehrungsscanner (magnetisches Wechselfeldverfahren) zu verwenden.

### *Geisterstäbe*

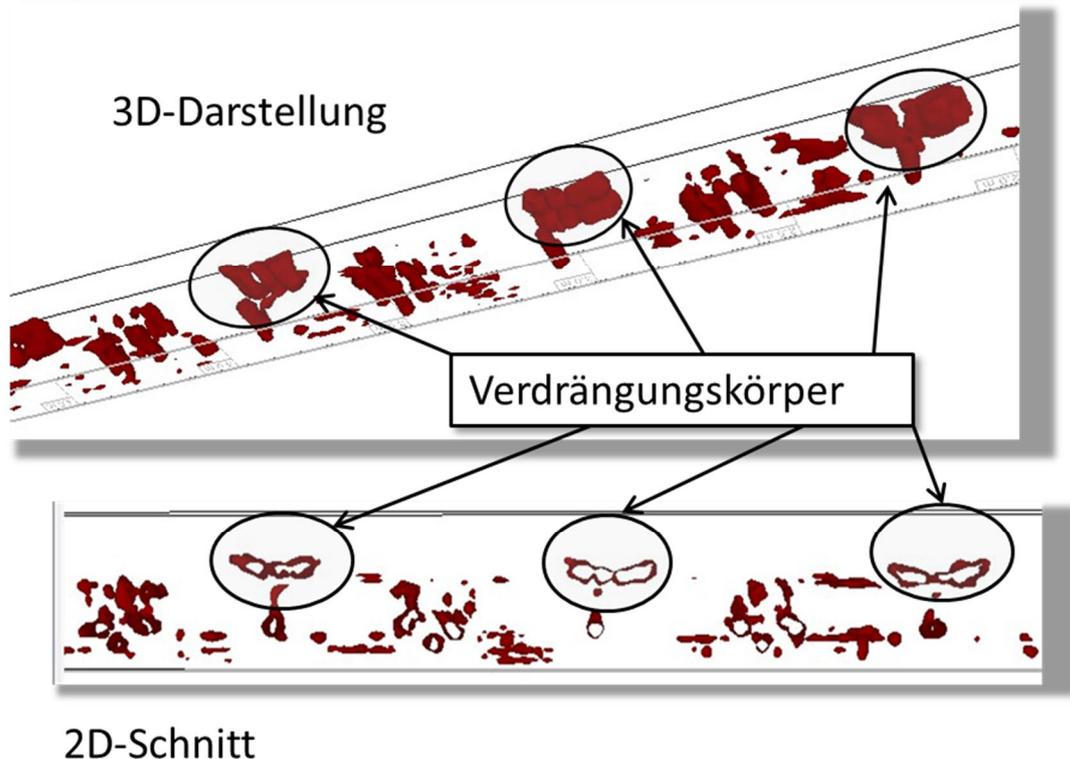
Bei bestimmten Bewehrungsanordnungen können Messartefakte erzeugt werden, welche Bewehrungsstäbe angeben, die tatsächlich nicht vorhanden sind. Diese „Geisterstäbe“ werden bei bestimmten Stabdurchmessern, Bewehrungsabständen und Betondeckungen erzeugt. *Abbildung 3* zeigt schematisch den Verlauf dieser Reflexionen, der Messhyperbeln einschließlich der Mehrfachreflexionen und der vom Messgerät angezeigten Messhyperbeln.



**Abbildung 3:** Bei bestimmten Bewehrungsanordnungen kann es durch Überlagerung von Messhyperbeln zum Anzeigen von „Geisterstäben“ kommen.

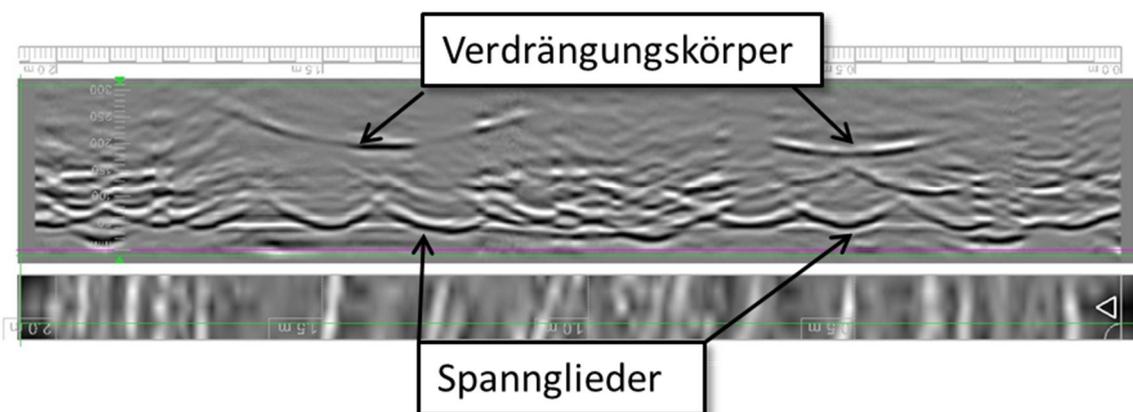
### Schwierigkeiten bei der Verwendung von 3 D-Auswertalgorithmen

Multiarray-Radargeräte sind mitunter mit Auswertalgorithmen ausgestattet, welche speziell zur dreidimensionalen Detektion von Bewehrungsstäben entwickelt wurden. Dies bedeutet, dass sämtliche Messsignale quasi „gewaltsam“ als linienförmige Bewehrungsstäbe gedeutet bzw. umgedeutet werden. Die Detektion anderer Einbaukörper, z.B. von Verdrängungskörpern, ist mit diesen Algorithmen schwierig. *Abbildung 4* zeigt die Messung an einer Brückenplatte mit Verdrängungskörpern. An der oberen 3 D-Darstellung ist zu erkennen, wie der Auswertalgorithmus den Verdrängungskörper als Bewehrungsstäbe darstellt. Für derartige Untersuchungen bzw. Auswertungen ist es günstiger, die Darstellung der Ur-Radarwellen (A-Scans oder B-Scans) zu verwenden, *Abbildung 5*.



**Abbildung 4:** 3 D-Darstellung einer Radarmessung an einer Brückenplatte (oberes Bild) und zugehöriges 2 D-Bild (unteres Bild). Anhand des geräteeigenen Auswertalgorithmus können die Verdrängungskörper nicht eindeutig erkannt werden.

### B-Bild

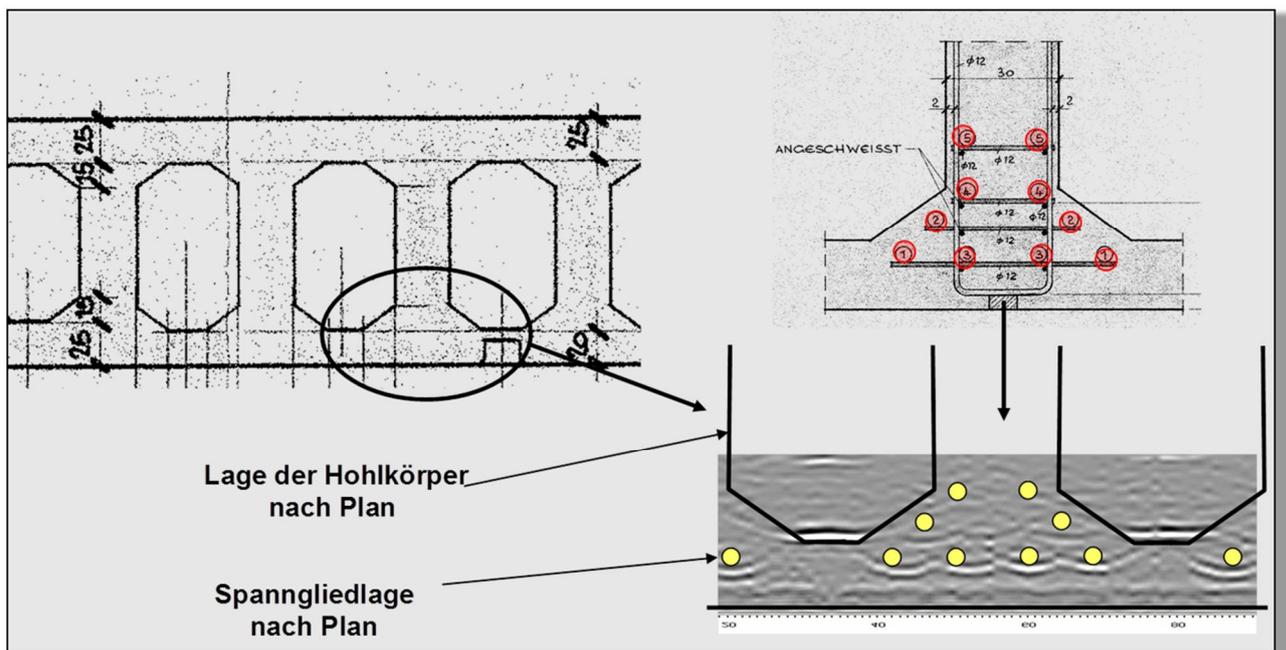


**Abbildung 5:** Anhand eines B-Bilds (linienförmige Schnittdarstellung) können die Verdrängungskörper, Spannglieder und Bewehrungsstäbe eindeutiger erkannt werden.

## 2.2 Ultraschallecho-Verfahren

### Abschattungen

Wie auch bei Radarwellen können bei Ultraschallwellen Abschattungen hinter größeren Reflektoren entstehen. Diese Bereiche sind quasi nicht mehr einsehbar. Auf der anderen Seite können Abschattungen dazu dienen, wertvolle Informationen über die abschattenden Körper zu gewinnen. Bei in *Abbildung 6* dargestellter vorgespannter Brückenplatte sollte die Anordnung der Spannglieder ermittelt werden. Für die erste und zweite Lage der Spannglieder war dies gut möglich, die dritte und vierte Lage konnte aufgrund der Abschattungen der darunterliegenden Spannglieder nicht mehr ermittelt werden.



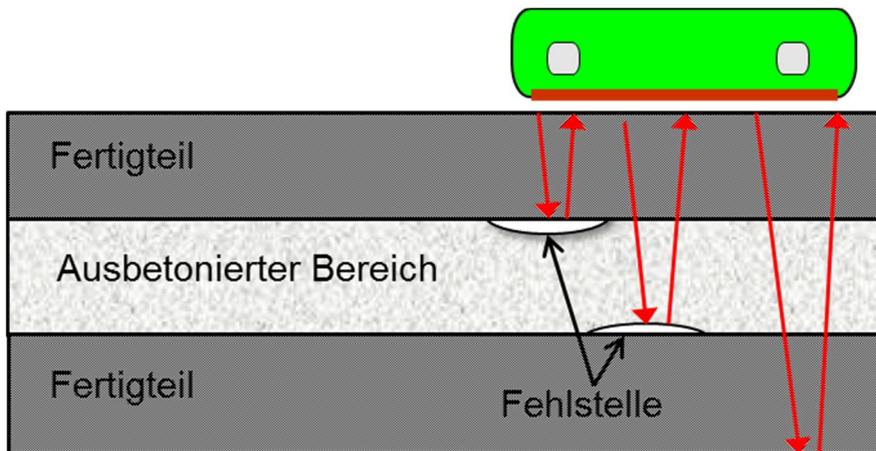
**Abbildung 6:** Ultraschallmessung an einer vorgespannten Brückenplatte mit Verdrängungskörpern.

### Messung von Elementwänden (Dreifachwänden)

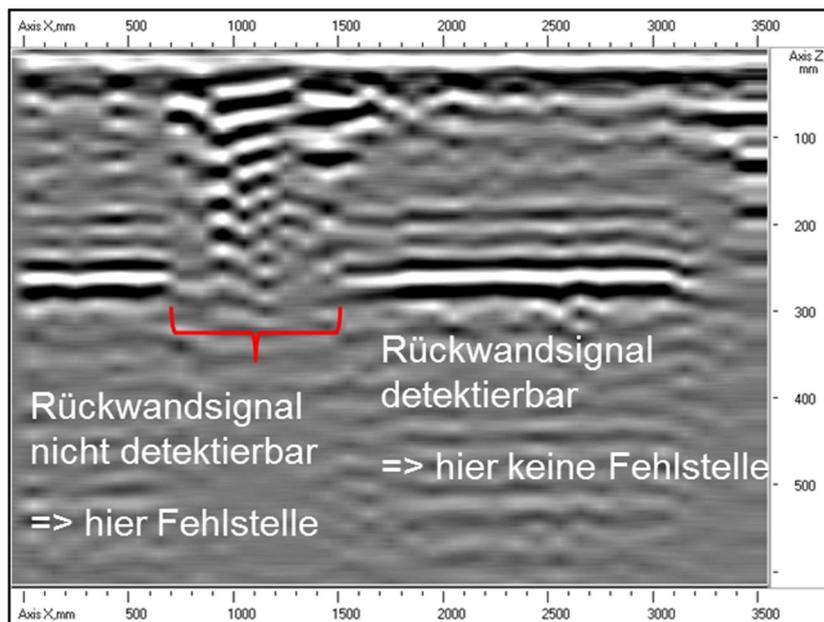
Bei Elementwänden bilden zwei außenliegende Stahlbetonfertigteile die äußere Schalung, der innenliegende Hohlraum wird mit Ortbeton verfüllt. Ziel ist es, ein monolithisches Wandelement herzustellen, über dessen Verbundfuge Fertigteil/Ortbeton Scherkräfte übertragen werden können. Bei Verwendung in WU-Bauwerken muss über den Verbund außerdem die Wasserdichtheit sichergestellt werden. In der Praxis werden jedoch häufig Fehlstellen, Hohlräume etc. im Ortbeton und ein unzureichender Verbund festgestellt. Dies kann Auswirkungen auf die Tragsicherheit und die Dichtheit der Elementwände nach sich ziehen. Eine häufige Messaufgabe besteht darin, die Qualität der Elementwände nachzuweisen bzw. Fehlstellen wie Hohlräume und Kiesnester sowie Ablösungen und Hohllagen zwischen Fertigteil und Ortbeton aufzufinden.

Hierbei ist es generell nicht möglich, die Tiefe von Hohlräumen oder Spalten/Ablösungen zwischen Ortbeton und Fertigteil nachzuweisen. Sobald ein durchgehender Luftspalt vorhanden ist, entsteht eine Totalreflexion. Je nach der Ausbildung von Spalten/Ablösungen und der Messseite kann nicht unterschieden werden, ob sich nur an einer Seite eine Ablösung/Spalt gebildet hat oder ob der Ortbeton zu beiden Fertigteilen keinen ausreichenden Verbund/Kontakt aufweist. Es kann auch nicht nachgewiesen werden, ob sich überhaupt Ortbeton zwischen den Fertigteilen befindet.

In *Abbildung 7* sind die möglichen Reflexionsbereiche bei Spalten/Ablösungen zwischen Fertigteilen und Ortbeton dargestellt. Die in *Abbildung 8* dargestellte Elementwand weist eine rd. 70 cm lange Fehlstelle im Bereich der Fuge zwischen erstem Fertigteil und Ortbeton auf. Anhand des B-Scans ist jedoch nicht zu erkennen, ob die Verbundfuge zwischen Ortbeton und zweitem Fertigteil Mängel aufweist oder ob im Ortbeton größere Fehlstellen in Form von Kiesnestern etc. vorhanden sind.



**Abbildung 7:** Mögliche Reflexionsbereiche bei Ablösungen zwischen Fertigteil und Ortbeton.



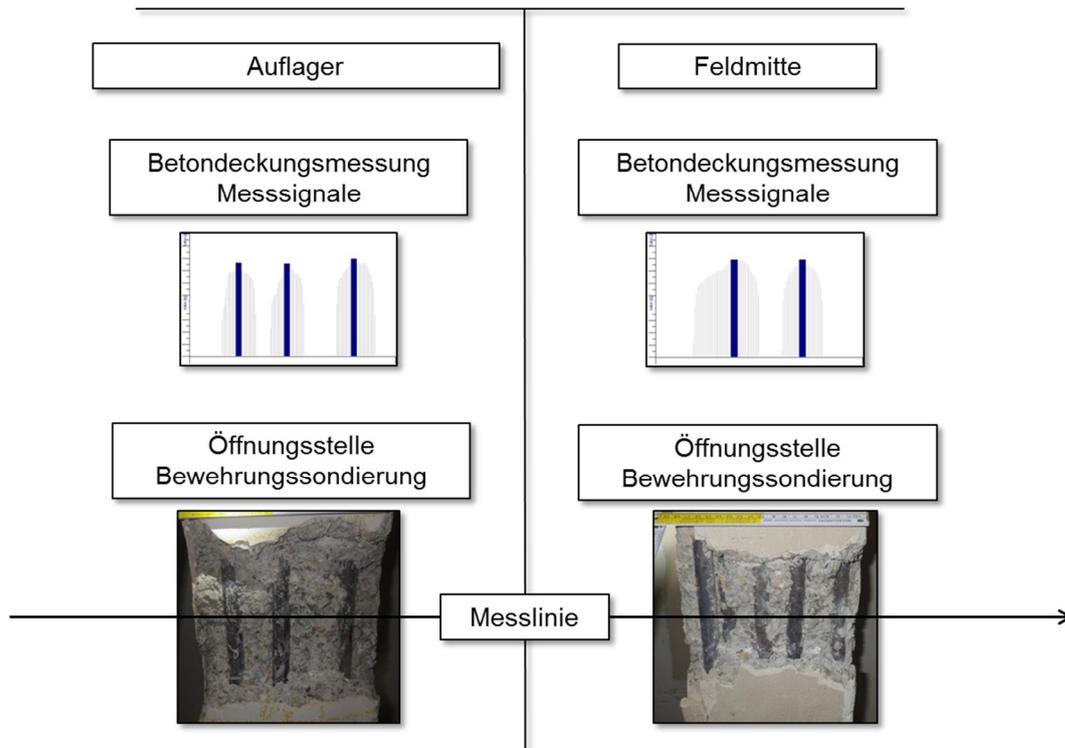
**Abbildung 8:** Messung einer Elementwand mit lokaler Fehlstelle (B-Scan).

### 2.3 Bewehrungsscanner

#### Grenzen der Auflösung

Bei enger Bewehrungsführung kann es bei Messungen mit Bewehrungsscannern vorkommen, dass Bewehrungsstäbe nicht mehr einzeln detektiert werden können. Bei der Anzeige der Signalstärke werden mehrere Bewehrungsstäbe zu einem Stab zusammengefasst. Die Position des angezeigten, zusammengefassten Bewehrungsstabes entspricht dabei häufig keiner realen Position eines einzelnen Bewehrungsstabes, *Abbildung 9*.

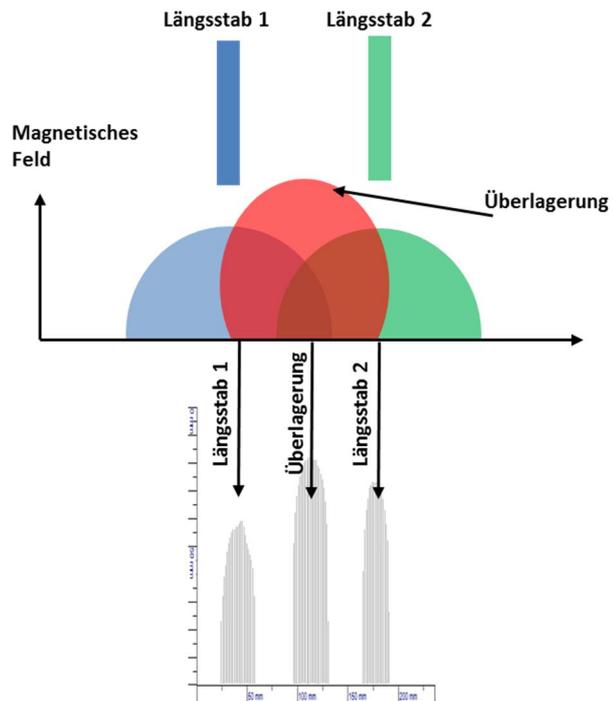
## Untersuchung Bewehrungsführung Unterzug mit enger Bewehrungsführung



**Abbildung 9:** Bei enger Bewehrungsführung können Bewehrungsscanner vorhandene Bewehrungsstäbe nicht mehr einzeln detektieren, sie werden häufig als ein Stab dargestellt.

### Geisterstäbe

In seltenen Fällen kann es auch bei Bewehrungsscannern vorkommen, dass in Abhängigkeit des Bewehrungsdurchmessers, des Stababstandes und der Betondeckung in der Anzeige der Signalstärke Stäbe angezeigt werden, welche nicht vorhanden sind, *Abbildung 10*. Ursächlich hierfür ist vermutlich eine Überlagerung der gemessenen Einzelfelder.



**Abbildung 10:** In seltenen Fällen kann es vorkommen, dass bei Messungen mit Bewehrungsscannern offensichtlich durch Überlagerung von Magnetfeldern Stäbe angezeigt werden, welche tatsächlich nicht vorhanden sind.

### 3 Zusammenfassung

Mit zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZfP-Verfahren) können zahlreiche Prüfaufgaben an Bauwerken gelöst werden. Alle Prüfverfahren weisen jedoch auch physikalische und gerätebedingte Anwendungsgrenzen auf, welche beachtet werden müssen. Unter gewissen Randbedingungen liefern Messgeräte Prüfsignale, welche ihren Ursprung nicht in realen Bauelementen wie z.B. Bewehrungsstäben haben. Dies muss vom Anwender erkannt werden.

### Referenzen

- [1] DBV-Merkblatt: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen, Fassung Januar 2014.
- [2] ZfPBau-Kompendium der BAM ([http://www.bam.de/microsites/zfp\\_kompendium/welcome.html](http://www.bam.de/microsites/zfp_kompendium/welcome.html))
- [3] Taffe, A.; Feistkorn, S.; Diersch, N.: Erzielbare Detektionstiefen metallischer Reflektoren mit dem Impulsradarverfahren an Beton. In: Beton- und Stahlbetonbau, 2012, Heft 7, S. 442 – 450.