

Zerstörungsfreie Prüfung an Tiefbauten in der Schweiz mit Ultraschallecho und Radar

Andreas HASENSTAB*, Fritz HUNKELER**, Yves SCHIEGG**,
Andreas STEIGER***

*Ingenieurbüro Dr. Hasenstab GmbH, Carron-du-Val Str. 17, D-86161 Augsburg,
+49 821 540 162 50, zfp@hasenstab.de

**TFB AG, Lindenstrasse 10, CH-5103 Wildegg, +41 062 887 72 49, schiegg@tfb.ch

***Andreas Steiger & Partner AG, St. Karlistrasse 12 / Postfach 7829, CH-6000 Luzern 7,
+41 41 248 51 71, andreas.steiger@ast-p.ch

Kurzfassung. Das Ultraschall-Echoverfahren wird vielfältig an Betonbauwerken wie Brücken oder Tunnels erfolgreich eingesetzt. Hierbei ist es das Ziel, innere Schäden wie Risse, Kiesnester oder andere strukturelle Schäden zu lokalisieren. Das Radarverfahren ist gut zur Bestimmung der Lage der Bewehrung, Lage der Spannglieder und zur Untersuchung der Struktur z.B. unter einer Bodenplatte geeignet. Die Messungen erfolgen direkt am Bauwerk und werden teils von Hand, teils mit einem Scannersystem ausgeführt.

An mehreren Projekten an Betonbauwerken in der Schweiz wird die Leistungsfähigkeit der Ultraschallechomethode und der Radartechnik vorgestellt und der Beitrag der Untersuchungen an der Lösung der Fragestellungen aufgezeigt. Im Einzelnen werden ein Schadensfall an einem Spannbetonviadukt durch Felsbrocken (Ziel: Eingrenzung der Schäden), eine Untersuchungen der Integrität eines Tunnels aus den 1970er Jahren und eine Untersuchung mit Scanner der BAM und Handmessungen an einem für Forschungszwecke ausgebauten Spannbetonbrückenträger vorgestellt.

1. Einführung

Seit einigen Jahren werden unterschiedliche zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Untersuchung von Bauwerken eingesetzt. Im vorliegenden Beitrag wird die Untersuchung von Betonbauwerken beschrieben. Untersuchungen von Holzbauwerken oder Mauerwerk können [1], [2] entnommen werden.

Allgemein erfolgen die Messungen direkt am Bauwerk und werden teils von Hand, teils mit einem Scannersystem ausgeführt.

Im Vorfeld wurden umfangreiche Untersuchungen an Probekörpern der BAM durchgeführt, um die Aussagesicherheit der Verfahren zu untersuchen.

Das Ziel einer Anwendung der ZfPBau-Verfahren ist:

- zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchung
- frühes Erkennen und Eingrenzung von Schäden
- Kostenabschätzung bei Instandsetzung
- zerstörungsfreie Dokumentation und Integritätsprüfung des Bauteilzustandes

Allgemein zeigte sich, dass die Aussagesicherheit der Ultraschallechomessungen durch eine Verfeinerung des Messrasters und durch eine zusätzliche SAFT-Auswertung unter bestimmten Bedingungen gesteigert werden kann. Weiter ergaben die Untersuchungen, dass die Darstellung und Bewertbarkeit der Ergebnisse der Radarmessungen mittels 3-D-Darstellung stark verbessert werden kann.

Im folgenden Beitrag wird untersucht, in wie weit die Laborergebnisse auf Praxismessungen übertragen werden können. Als Praxisbeispiele werden Messungen an mehreren Betonbauwerken in der Schweiz ausgewählt und hierbei die Leistungsfähigkeit der Ultraschallecho- und Radarmethode vorgestellt.

2. Messverfahren

Zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt. Einen groben Überblick der Verfahren kann der folgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 1: zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau) aus [3]:

Elektromagnetische Verfahren:	Akustische Verfahren:	Sonstige Verfahren:
<ul style="list-style-type: none"> • Radar • Thermographie (passiv / aktiv) • Röntgen /Durchstrahlung 	<ul style="list-style-type: none"> • Ultraschallecho • Impact Echo 	<ul style="list-style-type: none"> • Bohrwiderstand

Eine umfangreiche Liste der zFP – Bau – Verfahren kann dem Kompendium der BAM [4] und dem Bauphysikkalender [5] entnommen werden.

Folgend werden die Messverfahren Ultraschallecho und Radar detailliert vorgestellt.

2.1. Messverfahren Ultraschallecho

Das Ultraschall-Echoverfahren beruht auf der Reflexion von Schallwellen an Werkstoffinhomogenitäten wie der Bauteilrückwand oder an anderen Grenzflächen (**Abbildung 1**) [8]. Aus den empfangenen Signalen kann indirekt eine Aussage über den Bauteilzustand, z.B. die Freiheit von inneren Schäden, getroffen werden. Aus bekannter Bauteilabmessung und der Laufzeit kann die Geschwindigkeit der Schallwellen bestimmt werden, mit der dann eine Kalibrierung der Laufzeitmessungen erfolgt u Bauteildicken als Ergebnisse ausgegeben werden.

Ebenso kann die Gleichmäßigkeit der Bauteildicke von nur einer zugänglichen Seite aus untersucht werden.

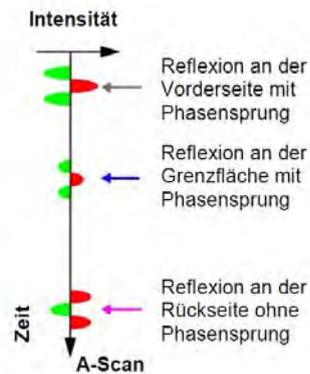
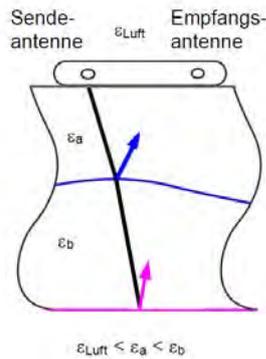


Abbildung 1: (links) Prinzip des Ultraschallechoverfahrens

Abbildung 2: (rechts) Schematische Darstellung der Reflexionen an Bauteiloberfläche, Grenzfläche und Rückseite

Die Ultraschallbilder (B-Bilder) stellen einen Vertikalschnitt im Bauteil entlang der Messlinie dar, wobei die Laufzeit der reflektierten Signale (vertikalen Achse) entlang der Messlinie (horizontale Achse) aufgetragen ist. Durch unterschiedliche Farben wird die Höhe der Signale, d. h. die Signalintensität dargestellt. Als A-Bilder werden die Einzelsignale mit Angabe der Signalintensität über die Zeit bezeichnet.

Mit Ultraschall werden Laufzeitmessungen ("Echos") gemessen, was bedeutet, dass die Laufzeitachse über Tiefe = Wellengeschwindigkeit / 2 x Laufzeit in eine Tiefenachse umgerechnet werden kann.

Durch den unterschiedlichen Aufbau der untersuchten Struktur ist die Wellengeschwindigkeit tatsächlich nie konstant, was bedeutet, dass die Tiefenachse nur eine Näherung darstellt.

2.2. Messverfahren Radar

Das elektromagnetische Radar-Verfahren wird grundlegend im Merkblatt B10 der DGZfP [6] beschrieben. Die prinzipielle Funktionsweise des Radargerätes ist in Abbildung 3 dargestellt. Das eingesetzte Messgerät besteht aus einem Notebook, einem Datenerfassungsgerät mit Antennenanschlüssen sowie einem auswechselbaren Antennensystem, das über ein bis zu 30 m langes Kabel mit dem Hauptgerät verbunden werden kann. Die Antenne wird über die Oberfläche des zu untersuchenden Bauteils geführt und sendet dabei sehr kurze elektromagnetische Impulse (zeitliche Dauer eines Impulses: $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$) aus. Diese Impulse werden an der Oberfläche zum Teil reflektiert, der größere Anteil dringt jedoch in das Bauteil ein und wird dort an weiteren Grenzflächen von Materialien mit unterschiedlicher Dielektrizitätszahl, wie z. B. Hohlstellen, metallischen Einschlüssen oder auch der Rückseite des Bauteils, reflektiert. Diese reflektierten Impulse werden dann von der Antenne wieder empfangen und mit Hilfe des Notebooks verarbeitet und gespeichert sowie auf dem Monitor simultan dargestellt. Aus der Laufzeit der reflektierten Impulse kann bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit auf die Tiefe des Reflektors geschlossen werden. Daher wird dieses Verfahren auch als Impuls-Echo-Methode bezeichnet. Eine ausführliche Beschreibung der Funktion des Radarverfahrens kann in [7] nachgelesen werden.

In **Abbildung 2** sind die Reflexionen an der Bauteiloberfläche, der Grenzfläche im Bauteil und an der Bauteilrückseite beispielhaft dargestellt. Das Auftragen der Intensität der reflektierten Impulse über der Zeitachse bezeichnet man als A-Bild. Bewegt man nun die Antenne entlang der Oberfläche des zu untersuchenden Bereiches, so erhält man eine Vielzahl von A-Bildern, die dann in Form von Grauwert- bzw. Falschfarbenbildern zweidimensional wiedergegeben werden können. Bei der Grauwert- bzw.

Falschfarbendarstellung werden Amplituden gleicher Ausrichtung (Phase) und Intensität mit derselben Grau- bzw. Farbcodierung belegt. Diese Darstellung wird auch als B-Bild oder Radargramm bezeichnet. Der Sende- und Empfangsvorgang der elektromagnetischen Impulse wird mit Hilfe eines Computers und zugehöriger Spezialsoftware gesteuert. Eine anschließende Datenbearbeitung und -interpretation ist in den meisten Fällen notwendig. Bei dieser Signalverarbeitung mit anschließender Visualisierung der Daten wird eine Vielzahl von Prozessschritten durchlaufen.

3. Praxisbeispiele

Folgend werden drei Ingenieurbauwerke beschrieben, welche zerstörungsfrei untersucht wurden. Bei den Bauwerken handelt es sich um das Lopperviadukt am Vierwaldstättersee bei Luzern, welches durch einen Felssturz erheblich beschädigt wurde. Weiter werden Ergebnisse der Untersuchung eines Teiles einer Spannbetonbrücke in Sargans vorgestellt. Abschliessend werden die Möglichkeiten der Ultraschallechountersuchung an einer Tunnelinnenschale dargestellt.

3.1. Untersuchung Lopperviadukt mit Ultraschallecho

Bei dem untersuchten Bauwerk, dem Lopperviadukt, handelt es sich um eine aufgeständerte Fahrbahnplatte der Nationalstrasse A2 (Abbildung 3).



Abbildung 3: Ansicht der Autobahn Lopperviadukt, rote Linie stellt untersuchte Betonplatte dar, linker gelber Kasten: Lage der Untersuchungen im geschädigten Bereich, rechter gelber Kasten markiert Lage der Voruntersuchungen

Auf das Lopperviadukt sind mehrere Felsbrocken gestürzt und haben 4 Blockeinschläge verursacht, die unterschiedliche Schäden am Bauwerk zur Folge hatten. Um das Ausmaß der Schäden bestimmen zu können, wurden verschiedene zerstörungsfreie Prüfmethode diskutiert. Die zu Beginn angesprochenen Untersuchungen mit Radar erschienen nicht als zielführend, da es durch die vorhandene Bewehrung zu einer sehr starken Reflexion der Radarwellen an der Bewehrung kommen würde und so der mögliche schwache Reflex an einer Fehlstelle nicht sichtbar wäre.

Das nachfolgend angewandte Verfahren Ultraschallecho ist ein akustisches Verfahren, welches bei Werkstoffinhomogenitäten sehr sensibel reagiert. Trotz vorhandener dichter Bewehrung ist es möglich, mit Ultraschallecho mögliche Fehlstellen zu lokalisieren.

Die Untersuchungen hatten das Ziel, zerstörungsfrei zu untersuchen, welche Ausdehnung die Strukturschäden durch die Blockeinschlagereignisse am Lopperviadukt

besitzen. So soll die ungeschädigte Struktur von Bereichen einer geschädigten Struktur unterschieden werden.

Praktisch bedeutet dies, dass bei einer deutlichen Reflexion der Ultraschallwellen von der Bauteilrückseite davon ausgegangen werden kann, dass sich keine großen Schäden im Beton befinden. Wird kein Signal von der Bauteilrückseite empfangen, kann eine Schädigung vorliegen.

Untersuchungen und Ergebnisse

Die Ultraschallechomessungen wurden direkt am Bauwerk von Hand durchgeführt (Abbildung 4, links). Da während der Werkstage oberhalb des Viaduktes Sicherungsmaßnahmen der Felsen vorgenommen wurden, waren nur Nacht- und Wochenendmessungen möglich.

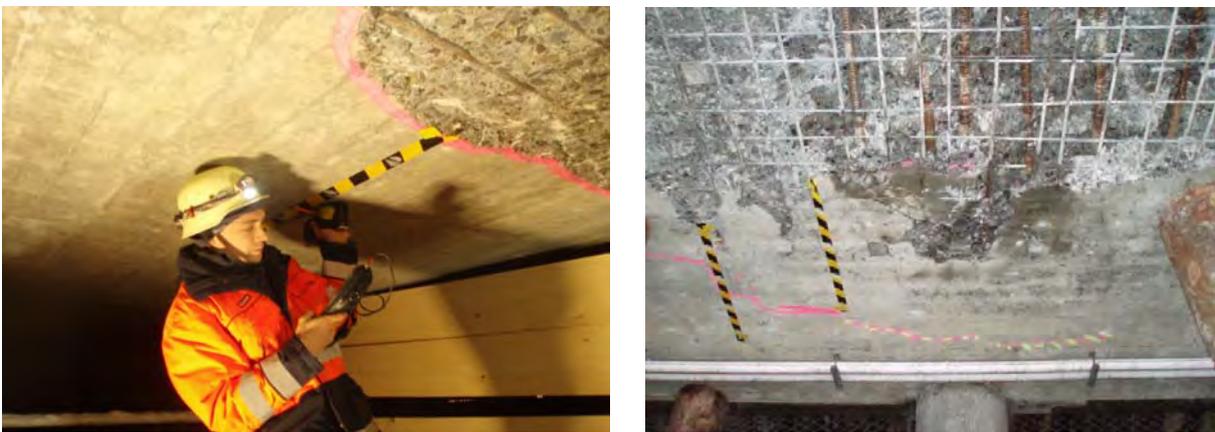


Abbildung 4: Links: Ultraschallechomessung an Unterseite des Lopperviaduktes mit Ultraschallecho
Rechts: Schaden am Strukturschaden 1 mit sichtbaren Hüllrohren und abgesprengtem Beton (Schadensdurchmesser etwa 7m)

Einen Eindruck des Schadens kann mit Abbildung 4 (rechts) verdeutlicht werden. Im Zuge der Untersuchung wurden die geschädigten Bereiche systematisch eingegrenzt indem von Bereichen mit einer ungeschädigten Struktur (d.h. einem deutlichem Rückwandecho) in Richtung der geschädigten Struktur gemessen wurde. In Abbildung 5 (links) ist das Ergebnis einer Ultraschallechomessung dargestellt. Hierbei wurde eine Messfrequenz von 50 kHz verwendet, der Messpunktastand betrug 2,5 cm. Die Messspurrichtung verlief parallel zur Fahrbahnrichtung und die Messung hatte das Ziel, die Ausdehnung der Schädigung in Richtung der Aussenkante des Viaduktes zu untersuchen. Zum besseren Verständnis die die Lage des Rückwandechos bei intaktem Zustand mit einem weißem Rahmen markiert. Der rote Kreis markiert ein fehlendes Rückwandecho, was auf eine Inhomogenität hindeutet. Die Messdaten der Messspur wurden zusätzlich an der BAM mit SAFT (*Synthetic Aperture Focusing Technique*) [9] ausgewertet (Abbildung 5, rechts).

Probeweise wurden mehrere Messspuren in einem Abstand von 2 cm nebeneinander durchgeführt, um 3-D-SAFT zu ermöglichen. Eine Auswertung dieser 3-D-Daten brachte keinen bedeutenden Erkenntnisgewinn, hingegen ist der Aufwand zur händischen Aufnahme der Daten enorm gross. Für den Fall der Notwendigkeit von 3-D-Daten sollte zur Datenaufnahme ein Scannersystem der BAM verwendet werden.

Die Auswertung einiger B-Bilder wurde durch die SAFT-Rekonstruktion der BAM entscheidend verbessert, da so Störungen wie Spannglieder oder flächige Reflexe an den

Spanngliedern eindeutig erkannt werden konnten und so von Strukturschäden unterschieden werden konnten.

Allgemein wurden die Ergebnisse der Untersuchungen am Bauwerk angezeichnet (rosa Linie markiert Übergang von ungeschädigtem zu geschädigtem Bereich in Abbildung 4 links und rechts).

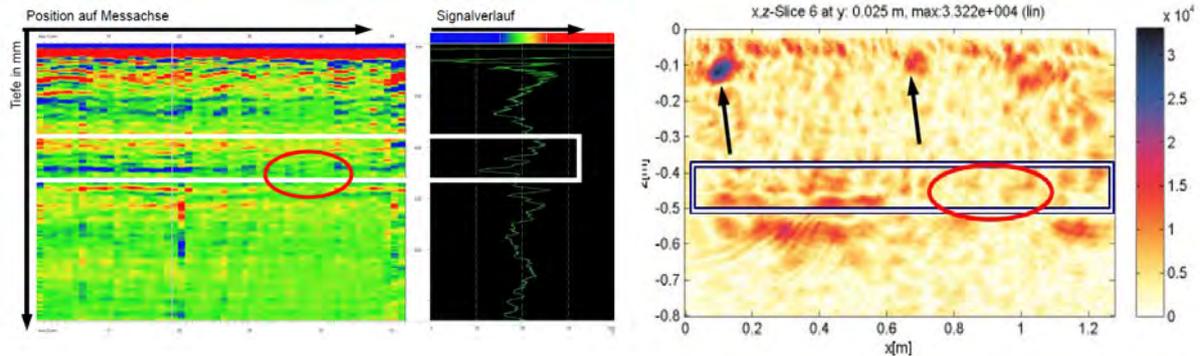


Abbildung 5: links: Ergebnis einer Ultraschallechomessung (links B-Bild, rechts A-Bild, Transversalwellen 50 kHz, Mittelung 4, Länge 1,3 m, Messpunktabstand 2,5 cm, Messlinie 15) am Strukturschaden 1; Messspurrichtung parallel zur Fahrbahnrichtung; mit weißem Rahmen ist der Bereich der vorhandenen Rückwand markiert; roter Kreis markiert fehlendes Rückwandeck
rechts: Ergebnis der SAFT-Auswertung: linker Pfeil: Spannglied, rechter Pfeil: Spannglied, Bereich im weissen Kasten stellt Rückwand dar.

Zusammenfassung der Ergebnisse der Messungen am Lopperviadukt und Nutzen für den Auftraggeber

Die Untersuchungen zeigen dass es möglich ist, mit Ultraschallecho ungeschädigte Bereiche zu definieren, wo keine inneren Risse oder Ablösungen zu erwarten sind.

Durch die sehr flächigen und genauen Untersuchungen konnte so der Schaden sehr genau eingegrenzt werden. Die Messungen ergaben, dass bei optisch identischen Aussehen in einem Bereich die Struktur um den Einschlagkegel noch weiter geschädigt ist (Abbildung 4 rechts), in einem anderen Bereich neben dem Einschlagkegel die Struktur intakt ist (Abbildung 4 links). Durch diese Untersuchungen war es möglich, die geschädigten Bereiche eindeutig zu begrenzen und die zu sanierenden Bereiche festzulegen, was besonders im Bereich der Spannglieder von großer Bedeutung war, da ein Austausch des Betons im Bereich der Spannglieder zu einem Spannkraftverlust führen kann.

3.2. Untersuchung an einem ausgebauten Brückenträger in Sargans mit Ultraschallecho und Radar

Im Zuge einer Untersuchung der Bundesamtes für Straßen (ASTRA) sollte ein ausgebauter Teil einer Spannbetonbrücke (Objekt 79R in Sargans, **Abbildung 6**) zerstörungsfrei untersucht werden.

Hierbei war das Ansinnen zu untersuchen, mit welcher Untersuchungsmethode oder mit welcher Kombination von unterschiedlichen Untersuchungsmethoden es möglich ist, ein möglichst genaues Bild über den Zustand der Konstruktion zu erlangen. Weiter sollte bei den Messungen die Lage der Spannglieder möglichst exakt bestimmt werden (**Abbildung 6**). Als Untersuchungsverfahren wurde das elektromagnetische Radarverfahren in Kombination mit dem akustischen Ultraschallechoverfahren angewendet.

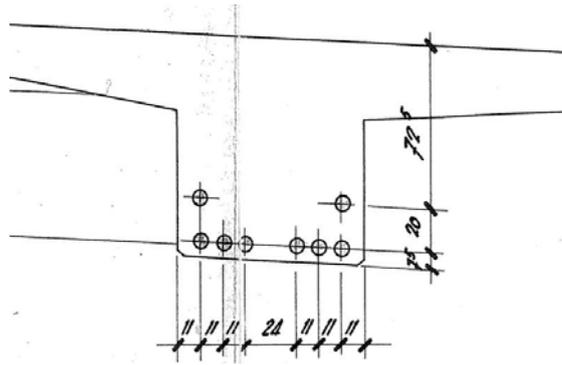


Abbildung 6: links: Ansicht ausgebaute Brückenteil
Rechts: Lage der Spannglieder des Brückenbalkens in Brückenmitte (Bestandspläne).

Durchführung der Messungen

Die Handmessungen wurden mit dem **Ultraschallmesssystem A1220** (Firma ACSYS) und einem Punktkontaktprüfkopf mit einer Mittenfrequenz von 55 kHz durchgeführt (Abbildung 7, links). Der Messpunktstand war mit 2,5 cm sehr gering, d. h. es wurden Daten mit einem feinen Messraster aufgenommen.

In einem genauen Messraster wurden Ultraschallechomessungen mit einem Scannersystem in einem ausgewählten Messfeld durchgeführt (Abbildung 7, rechts).



Abbildung 7: Ultraschallechomessungen, links von Hand entlang einer Messspur, rechts mit einem Scannersystem der BAM.

Mit dem **Radarverfahren** wurden insgesamt sechs Messfelder in unterschiedlichen Größen untersucht, wobei in jedem Messfeld parallel verlaufende vertikale und zum Teil auch horizontale Messspuren mit einem Spurabstand von 5 bzw. 10 cm aufgenommen wurden. Eingesetzt wurde ein Radargerät vom Typ SIR 20 von der Fa. GSSI in Verbindung mit einer 2,0 GHz-Palm-Antenne vom gleichen Hersteller. Die typische Eindringtiefe dieser Antenne in Beton beträgt ca. 25 cm.

Die Messungen wurden manuell, d. h. handgeführt durchgeführt. Während der Datenaufnahme hatte die Antenne direkten Kontakt mit der Bauteiloberfläche, die Polarisationsrichtung des von der Antenne abgestrahlten E-Feldes war senkrecht zur Messrichtung ausgerichtet. Die wegabhängige Triggerung der Messung erfolgte mit einem an die Antenne montiertem Laufrad. Während der Datenaufnahme dienten auf der Bauteiloberfläche angebrachte Schablonen mit aufgedrucktem Messraster zur Antennenführung.



Abbildung 8: Radarmessung an der Seitenfläche (Kappenseite) des Längsträgers

Ergebnisse der Untersuchungen:

Beispielhaft werden die Ergebnisse der Radarmessung am Messfeld 3 mit einer Größe von 0,6 m x 2 m mit horizontalen und vertikalen Messspuren mit einem Spurbestand von 5 cm, vorgestellt.

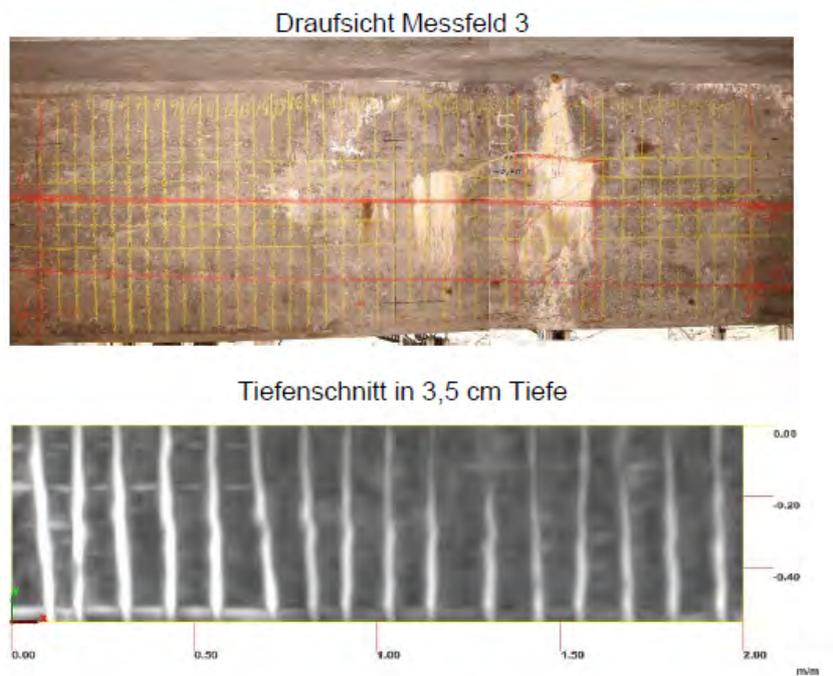


Abbildung 9: Datensatz aufgenommen mit der 2,0 GHz-Palm-Antenne im Messfeld 3, erstellt aus horizontalen und vertikalen Messspuren mit einem Spurbestand von 5 cm, Messfeldgröße: 60 cm x 200 cm. (Tiefenschnitt bei 3,5cm)

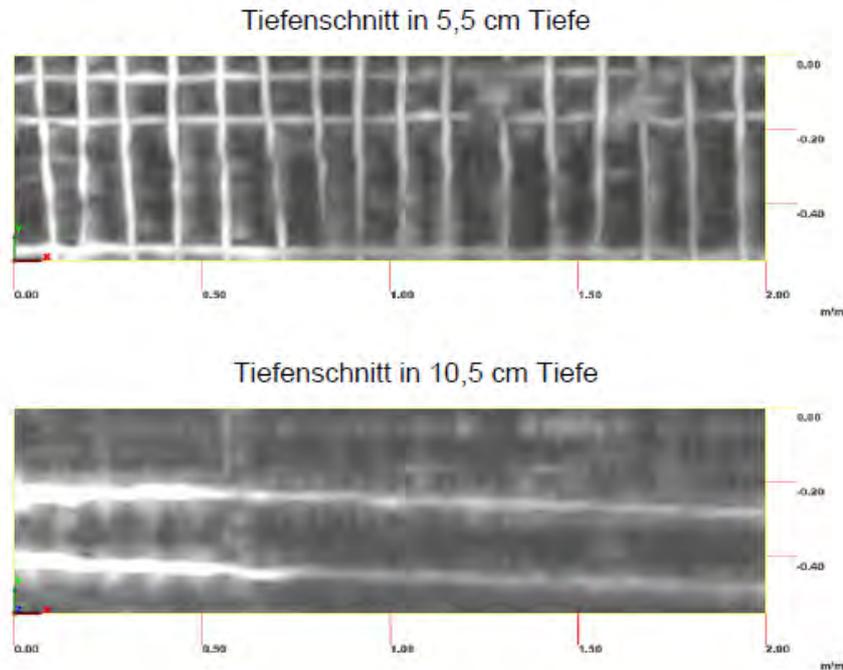


Abbildung 10: Datensatz aufgenommen mit der 2,0 GHz-Palm-Antenne im Messfeld 3, erstellt aus horizontalen und vertikalen Messspuren mit einem Spurabstand von 5 cm, Messfeldgröße: 60 cm x 200 cm. (Tiefenschnitt bei 5,5cm und 10,5cm)

Es wurden mehrere Bereiche mit **Ultraschallecho** untersucht. Um eine höhere Aussagesicherheit zu erlangen, wurden immer mehrere Messspuren nebeneinander gemessen bzw. eine automatisierte Ultraschallmessung vorgenommen.

Allgemein zeigte sich, dass mit Handmessungen (siehe **Abbildung 11**) bei einer Materialdicke von 90 cm (d. h. einem Schallweg von 180 cm) gute Echos von der Bauteilrückseite empfangen werden können. Dies bedeutet, mit dem verwendeten Ultraschallechoverfahren steht dem Ingenieur vor Ort am Bauwerk ein Gerät zur Verfügung, mit dem strukturell homogene Bereiche klar definiert werden können. Um eine genaue Aussage über die Lage der Spannglieder treffen zu können ist ein sehr enges Messraster erforderlich, was mit dem Scannersystem der BAM gemessen wurde.

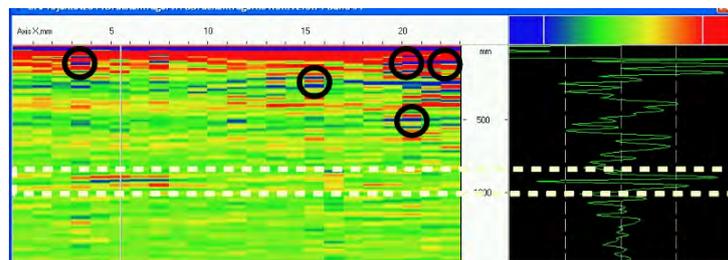


Abbildung 11: Ergebnis einer Ultraschallechomessung (Messfrequenz 50 kHz, Messpunktabstand 2,5 cm) im visuell ungeschädigten Bereich (gepunktetes Kästchen markiert Bereich des zu erwartenden Rückwandechos), schwarze Kreise deuten Reflektoren an, die bei einer Einzelauswertung der Messlinien auffallen, mit leichten Echos an der Bauteilrückseite bei 90 cm

Die Auswertung der automatisierten Ultraschallmessung erfolgte nach Abschluss der Messungen in der BAM. Die Ultraschalldaten wurden hierzu gefiltert und anschließend mit dem SAFT Verfahren rekonstruiert. Beispielhaft wird hier das Messfeld 3 (Balkenseite) gezeigt, um die Vergleichbarkeit mit den anderen Messungen zu vereinfachen.

Messfeld 3 (Balkenseite):

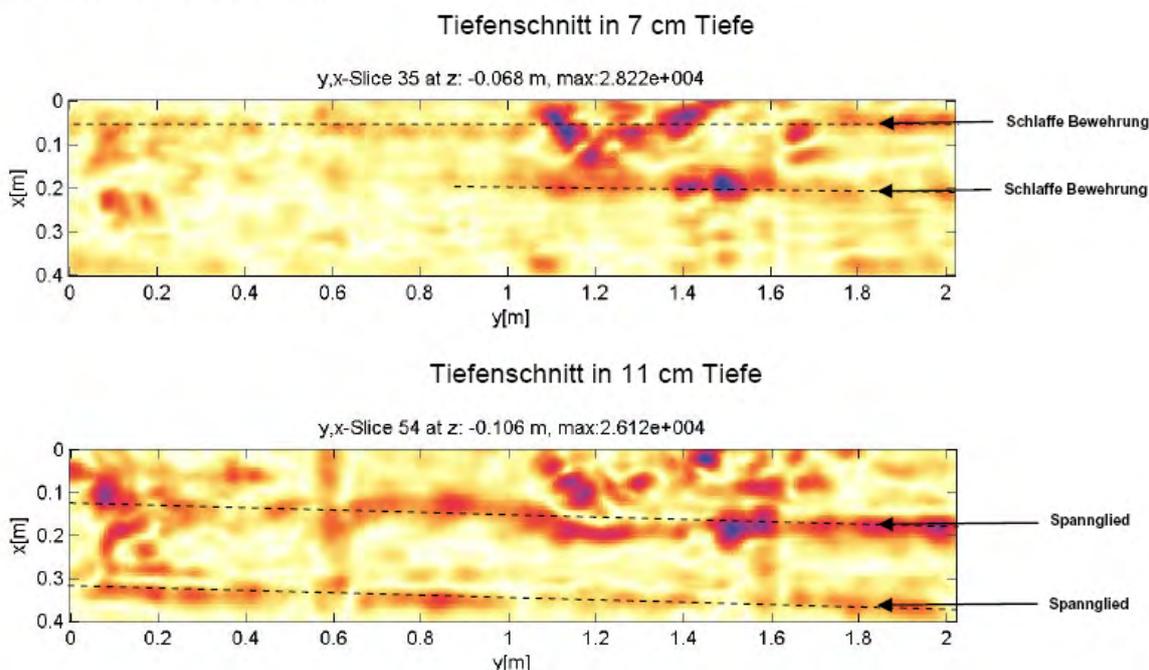


Abbildung 12: Datensatz aufgenommen mit dem Transversal-Ultraschallmesskopf A1220 dem automatisierten Scannersystem im Messfeld 3 (Balkenseite), Messpunktabstand in x- und y- Richtung 2 cm

Zusammenfassung der Ergebnisse der Messungen am Brückenträger in Sargans und Nutzen für den Auftraggeber

Mit dem Radarverfahren wurden mehrere Messfelder mit einer 2,0 GHz-Antenne untersucht. In allen Messfeldern konnte nach der Datenbearbeitung neben der oberflächennahen schlaffen Bewehrung auch der Spanngliedverlauf bildgebend über die gesamte jeweilige Messfeldgröße bis zu einer Tiefe von 25 cm dargestellt werden. Spannglieder, die bei der Untersuchung der Seitenwände mit Radar abgeschattet wurden oder tiefer als 25 cm lagen, konnten durch die Untersuchung von der Unterseite des Träges nachgewiesen werden, wenn die Betonüberdeckung der Spannglieder auf der Unterseite weniger als ca. 20 cm betrug.

Mit dem Ultraschallverfahren konnten die Radarergebnisse bestätigt werden. Die erfahrungsgemäß größere Eindringtiefe des Ultraschallverfahrens gegenüber dem Radarverfahren konnte aber nicht aufgezeigt werden, da die tiefer als 20 cm liegenden Spannglieder direkt hinter der ersten Spanngliedlage lagen und somit abgeschattet wurden. Durch die Größe der Gesteinskörnung von 32 mm und Luftporen im Beton (Holzstücke und ähnliches) wurden die Ultraschallwellen stark gestreut, dadurch wurde die Abbildung der Spannglieder in den Tiefenschnitten teilweise stark gestört.

Generell kann gesagt werden, dass für ein schnelles Lokalisieren der Spannglieder das Radarverfahren dem Ultraschallechoverfahren vorzuziehen ist. Bei Fragen der Integrität der inneren Struktur ist das Ultraschallechoverfahren sinnvoll, da hier die geschädigten Bereiche von den benachbarten, ungeschädigten Bereichen klar unterschieden werden können.

3.3. Untersuchung einer Tunnelinnenschale mit Ultraschallecho

Im Zuge einer Untersuchung im Allmendtunnel bei Thun wurde an drei Messflächen (4m x 6m) zerstörungsfrei die Kontinuität der Dicke des Betongewölbes bzw. die Lage möglicher

Fehlstellen im Betongewölbe wie Minderdicken bestimmt und untersucht, ob die untere Lage der Bewehrung bestimmt werden kann.

Diese Untersuchungen hatten das Ziel, ein möglichst genaues Bild über den Zustand der Konstruktion zu erlangen.

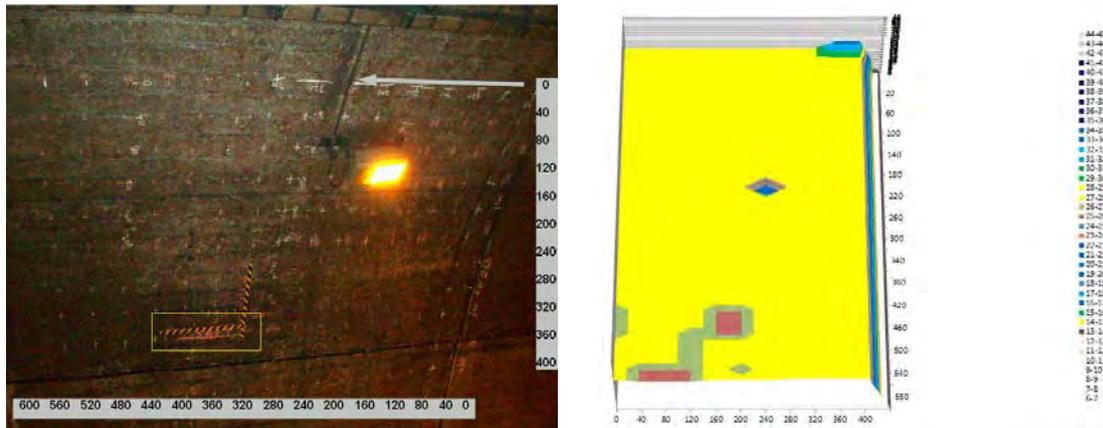


Abbildung 13: links: Lage der Messpunkte bei Messfeld, Messspurrichtung parallel zur Fahrbahn, Abstand der Messspuren zueinander 40 cm, Messpunktabstand bei Messlinien 20 cm, Pfeile deuten Richtung der Messlinien an (SAFT-Feld gelb markiert).

Rechts: Ergebnis der Ultraschallechomessungen bei Messfeld 3 bildlich dargestellt. Üblicherweise werden bei der Auswertung der Ultraschallechodaten ein 5 cm Intervall verwendet. Da die Messdaten so eine hohe Qualität aufwiesen und so genau erschienen, wurde eine Intervallbreite von 2-2,5 cm verwendet. Dicke der Tunnelinnenschale fast überall 26-28cm

Die Messungen am Messfeld 3 zeigten sehr deutliche Echos von der Rückseite der Tunnelinnenschale was bedeutet, dass keine Risse und Kiesnester zu erwarten sind. Allgemein sind keine Dicken sprünge in der Tunnelinnenschale zu erkennen.

Die Ergebnisse der SAFT-Auswertung der einzelnen Messspuren zeigten, dass die Bewehrung in der Tunnelschale nicht eindeutig dargestellt werden kann.

Hingegen ergab die Auswertung eines Messfeldes aus mehreren Messspuren, dass metallische Reflektoren vor der Bauteilrückseite detektiert wurden, was auf das Vorhandensein einer hinteren Bewehrung schließen lässt. So ist es möglich, trotz feuchtem Beton (was eine Anwendung des elektromagnetischen Radarverfahrens verhindert) das Vorhandensein der hinteren Bewehrungslage ohne Sondagen oder Bohrkern zu untersuchen.

4. Zusammenfassung

An Hand der Untersuchungen an den vorgestellten Bauwerken konnte die Leistungsfähigkeit der zerstörungsfreien Prüfverfahren Ultraschallecho und Radar dargestellt werden. Im einzelnen konnte gezeigt werden: Mit Ultraschallecho kann eindeutig die gleichmäßige Dicke der Tunnelinnenschale bestimmt werden. Weiter konnten Risse und Kiesnester ausgeschlossen werden. Am Lopperviadukt konnte der durch Felsbrocken geschädigte Bereich eindeutig dargestellt werden, was teilweise einen deutlichen Unterschied zu der visuellen Einschätzung ergab. Bei den Untersuchungen an einem Teil einer Spannbetonbrücke zeigte sich, dass mit Radar die Lage der Bewehrung und der Spannglieder sehr gut bestimmt werden kann. Diese Messungen waren auch genauer als automatisierte Ultraschallechomessungen der BAM. Messungen von Hand ergaben trotz engem Messraster nur eine grobe Lagebestimmung der Spannglieder. Allgemein brachte die Auswertung der händisch aufgenommenen Ultraschalldaten mit

SAFT teilweise sehr viel bessere Ergebnisse – teilweise kaum bessere Ergebnisse als die ursprünglichen Ultraschall-B-Bilder. So kann keine allgemeingültige Aussage getroffen werden, wann eine Anwendung der SAFT-Auswertung zu besseren Ergebnissen führt. Wird eine automatisierte Messung durchgeführt, sollte hingegen immer die SAFT-Auswertung erfolgen.

Der Vorteil der händisch aufgenommenen Daten ist, dass vor Ort in situ eine Aussage getroffen werden kann, und an Hand der erlangten Informationen Entscheidungen getroffen werden können.

Danksagung

Die in diesem Beitrag erläuterten Untersuchungen an Tiefbauten in der Schweiz wurden unterstützt und finanziert durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA).

Die vorgestellten Radarmessungen und automatisierten Ultraschallmessungen am Bauwerk 79R in Sargans wurden von der BAM im Auftrag von Astra und TFB durchgeführt. Die dazugehörigen Bilder und Ergebnisse wurden einem Untersuchungsbericht der BAM entnommen.

Literatur

- [1] Hasenstab, A., Baron, T., Frühwald, K.: Kombinierte Anwendung von Ultraschallecho und Bohrwiderstand bei der Prüfung von Holzkonstruktionen. Der Bausachverständige, Jahrgang 7, Heft 1 (Februar) 2011, S. 20-26
- [2] Hasenstab, A., Frühwald, K.: Zerstörungsfreie Prüfung in der Baudenkmalpflege. Teil 1: Theoretische Grundlagen. Restauro 1/2011, S. 33-39
- [3] Hasenstab, A., Jost, G., Taffe, A., Wiggenhauser, H.: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – angewandte Forschung und Praxis. Tagungsband der DGzFP-Jahrestagung 2008, St. Gallen, 28.04.-30.04.2008
- [4] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): ZfPBau-Kompendium.http://www.bam.de/microsites/zfp_kompendium/welcome.html (2004)
- [5] Walter, A. und A. Hasenstab: Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau in: Fouad N. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2012, Berlin: Ernst und Sohn (2012)
- [6] Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (B10), DGzFP Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Berlin (2008).
- [7] Kind, T. und Ch. Maierhofer: Das Impulsradarverfahren - ein Verfahren zur zerstörungsfreien Strukturaufklärung in Bauwerken. In: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, 2 Strukturaufklärung, Abschn. 2.3, S. 333-341.
- [8] Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung (DGzFP): Merkblatt für Ultraschallverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung mineralischer Baustoffe und Bauteile, Merkblatt B4 (1999) DGzFP.
- [9] M. Schickert: Grundlagen der Ultraschall-SAFT-Rekonstruktion. In: H.-W. Reinhardt *et al.*: Echo-Verfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbau-teilen; in: K. Bergmeister, J.-D. Wörner (Hrsg.): *Betonkalender 2007*. Berlin: Ernst & Sohn, 2007, Bd. 1, 536–543