

Zerstörungsfreie Zustandsuntersuchungen an Spannbetonbrücken unter Verkehr

D. Streicher, D. Algernon, M. Behrens, C. Kohl, J. Wöstmann, H. Wiggenhauser, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin; J. Petz, Amt der Wiener Landesregierung, MA 29 – Brücken- und Grundbau, Wien (Österreich)

Kurzfassung

Der Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren erlaubt es, für die Zustandsbewertung von Spannbetonbrücken notwendige zerstörende Prüfungen gezielter anzuwenden, und bietet weitreichendere Möglichkeiten der Zustandserfassung.

In diesem Beitrag werden ergänzend zu dem Vortrag *Automatisierte zerstörungsfreie Untersuchungen an Spannbetonbrücken* [1] die Untersuchungen mit den Verfahren Radar, Impact-Echo und Ultraschallecho an zwei Spannbetonbrücken der A 23-Südosttangente Wien vorgestellt. Mit den zerstörungsfreien Prüfverfahren erfolgten automatisierte Messungen an den Außenseiten zweier Hohlkastenstege, bei denen die Ausführung der Längsvorspannung auf unterschiedliche Spannverfahren beruht. Die 50 cm dicken Stege wurden in einem Bereich über eine Höhe von 1,50 m und einer Länge von 10,00 m und in einem Bereich von 0,80 m Höhe und einer Länge von 4,00 m untersucht. Die Messungen konnten bei laufendem Verkehr auf den Brücken durchgeführt werden. Gegenseitige Beeinflussungen traten nicht auf.

Die Messdaten von Radar und Ultraschallecho wurden mit Hilfe von 3D-Rekonstruktionsalgorithmen [2], [3] aufbereitet und werden durch Schnittbilder senkrecht und parallel zur Messfläche visualisiert. Anhand der bildgebenden Darstellung der Reflexionssignale sind Spannglieder in einer Messtiefe bis 16 cm mit Radar und Spannglieder bis zu 40 cm Tiefe mit Ultraschallecho lokalisierbar. Zusätzlich wurden die 3D-rekonstruierten Daten beider Prüfverfahren miteinander fusioniert [4]. Nach- und Vorteile beider Verfahren werden durch die Datenkombination teilweise ausgeglichen und die Interpretation der Ergebnisse vereinfacht.

1 Einleitung

Die Anwendbarkeit und die Leistungsfähigkeit der automatisiert eingesetzten Prüfverfahren Radar, Impact-Echo und Ultraschallecho für großflächigere Untersuchungen an Spannbetonbauwerken wurde im Sommer 2004 erneut unter Beweis gestellt. In einem gemeinsamen Projekt des Amtes der Wiener Landesregierung, MA 29 und der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung kamen die zerstörungsfreien Prüfverfahren an zwei Hohlkastenbrücken zur Anwendung, die zu den Ingenieurbauwerken der stark befahrenen Autobahn A 23 – Südosttangente in Wien gehören. Hauptziel des kombinierten Einsatzes der Verfahren war es, die in den Hohlkastenstegen verlaufenden Längsspannglieder und ggf. vorhandene unverpresste Spanngliedbereiche zu orten.

2 Bauwerke

Die zwei ausgewählten Brücken wurden 1975/76 als Mehrfeldträger mit einzelligen Hohlkastenquerschnitten errichtet. Die Stegdicke der Hohlkästen beträgt jeweils 50 cm im Regelquerschnitt.

Die Längsvorspannung des im Bild 1 dargestellten Brückenbauwerkes wurde durch ein Litzenspannverfahren mit nachträglichem Verbund realisiert. In den Stegquerschnitten sind sechs, teilweise zehn Spannglieder eingebaut, wobei jeweils 12 Litzen in einem metallischen Hüllrohr mit einem Außendurchmesser von 82 mm angeordnet sind. Der mit den zerstörungsfreien Prüfverfahren untersuchte Steg ist im Bild 1 gekennzeichnet und wird in den nachfolgenden Ausführungen als *Hohlkastensteg 1* bezeichnet. Der bei diesem Steg gewählte Untersuchungsbereich schließt den vor der abgebildeten Stütze liegenden Koppelbereich ein. Hier sind Spannglieder z. T. verankert. Die Dicke dieses Stegbereiches beträgt 83 cm, die lichte Höhe des Steges bis zur Unterkante der Fahrbahnplatte 1,78 m. Der Überbau in einer Höhe von 9,80 m über dem Gelände war von unten über ein Arbeitsgerüst zugänglich.

Zur Ausführung der Längsvorspannung des zweiten Brückenüberbaus war ein Stabspannverfahren angewandt worden. In den Stegen sind 30 Spannglieder mit Achsabständen von meist nur 85 mm in sechs Lagen übereinander und fünf Lagen hintereinander angeordnet. In den metallischen Hüllrohren mit einem Durchmesser von 40 mm befindet sich jeweils ein 32 mm dicker Spannstab. Im Zuge systematischer Spanngliederuntersuchungen waren bei diesem Bauwerk die an Zehntelpunkten erreichbaren Spannglieder angebohrt und endoskopisch untersucht worden. Dabei war festgestellt worden, dass zwei der außenseitig angeordneten Spannglieder nicht vollständig mit Verpressmörtel verfüllt sind. Der betreffende Stegabschnitt war vom Gelände unterhalb des Überbaus zugänglich, sodass die Untersuchungen mit Radar, Impact-Echo und Ultraschallecho in einer Höhe von ca. 10 Metern mit Hilfe eines Hubsteigers vorbereitet und realisiert werden konnten.

3 Prüfverfahren Radar, Ultraschallecho und Impact-Echo

Die Messungen mit den drei Impuls-Echo-Verfahren erfolgten an den Außenseiten der Stege. Die Untersuchungsfläche am *Hohlkastensteg 1* hatte eine Höhe von 1,50 m und eine Länge von 10 m. Die schalungsglatte Oberfläche wurde mit einer 1,5 GHz- und einer 900 MHz-Radarantenne [5], einem Ultraschallecho-Messkopf mit 24 Transversalwellen-Prüfköpfen [6] und einem Impact-Echo-Messkopf [7] abgetastet. Das Messfeld am zweiten Bauwerk (*Hohlkastensteg 2*) wurde zwischen zwei Zehntelpunkten ausgewählt, in denen zwei außenseitige Spannglieder mangelhaft verpresst angetroffen wurden. Die lagenweise angeordneten Spannglieder wurden zunächst nur mit den beiden akustischen Verfahren Impact-Echo und Ultraschallecho über eine Höhe von 0,80 m und einer Länge von 4 m untersucht. Etwa ein viertel Jahr nach der Nachverpressung der Spannglieder kamen diese Verfahren wiederholt zur Anwendung und es wurden zusätzlich Messungen mit der 1,5 GHz-Radarantenne durchgeführt.

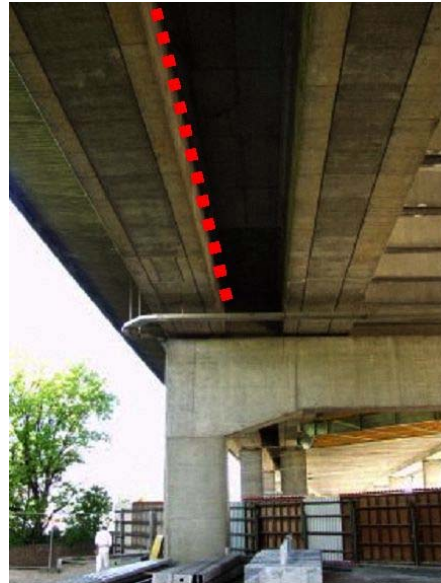


Bild 1 *Hohlkastensteg 1*
(mit Litzenspannverfahren)

3.1 Automatisierte Anwendung

Die großflächigen Messungen erfolgten automatisiert. Für die Untersuchungen an den Außenflächen der Hohlkastenstege wurde ein spezielles Scannersystem entwickelt, mit dem vertikale Flächen über eine Höhe von max. 1,60 m abgetastet werden können. Im Bild 2, links ist der mechanische Aufbau des Systems skizziert. Die Führungsschienen in horizontaler Richtung bestehen aus Teilstücken mit Längen von 1,20 m und 2,40 m. Sie konnten sukzessive an die Brückenkragarme mit Ankerbolzen befestigt werden.

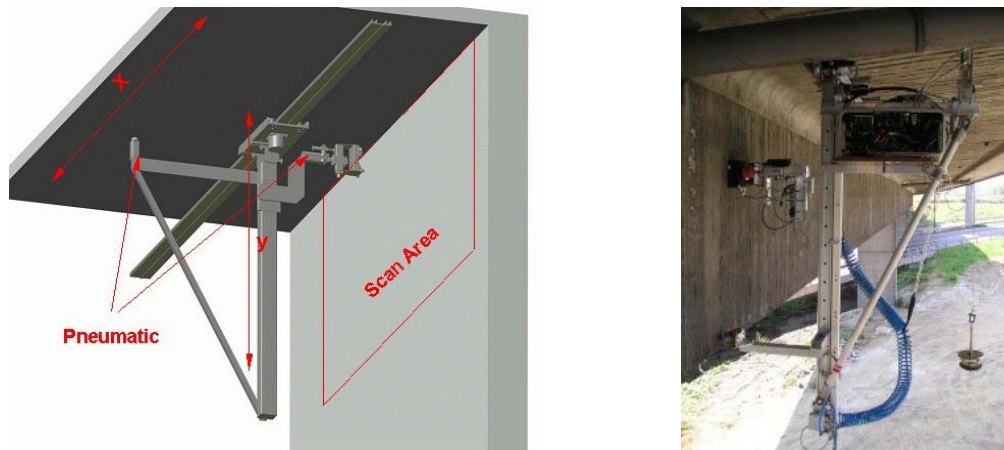


Bild 2 Scannersystem zur automatisierten Anwendung der zerstörungsfreien Prüfverfahren, links: Schematische Darstellung, rechts: System mit Ultraschallecho und Impact-Echo-Prüfkopf

Mit dem Scannersystem können die Messköpfe der beiden akustischen Verfahren gemeinsam verfahren werden. Da diese Messköpfe für flächige Abtastungen in der Regel in einem Messraster von 2 cm an die Prüffläche angedrückt werden müssen, reduziert sich dadurch die Messzeit für die kombinierte Anwendung der Verfahren deutlich. Bei der Untersuchungsfläche am *Hohlkastensteg 1* zum Beispiel wurde für die Erfassung der Messdaten mit beiden Verfahren an insgesamt 38.076 Einzelpositionen rund 40 Stunden benötigt.

Die Messungen mit Radar erfolgten verfahrensbedingt in wesentlich kürzerer Zeit. Die Aufnahme von zwei Datenfeldern pro Antenne dauerte auf der Fläche von 1,50 m x 10 m (Linienabstand 5 cm) etwa 2 Stunden. Für die Montage des Scannersystems inklusive des Aufbaus und der Verkabelung der Messapparatur, sind ca. 4 Stunden zu berücksichtigen. Die Steuerung des Messsystems kann ebenerdig unterhalb der Untersuchungsflächen erfolgen. Maßgebend dafür sind die Längen der verwendeten Kabel (max. 10 m). Für die Messungen am *Hohlkastensteg 2* hat sich dieser Vorteil sehr bewährt.

3.2 Bildgebende Auswertung der Messergebnisse

Die Auswertung der Messdaten basiert auf der graphischen Darstellung der zur Prüboberfläche zurück reflektierenden Impulse. Deren Intensitäten werden in Form von Grauwert- oder Falschfarben in Schnittbildern senkrecht und waagrecht zur Prüffläche dargestellt. Die Schnittbilder wiederum lassen sich mit Hilfe der für die Bauteilstruktur spezifischen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit definierten Ebenen im Bauteil zuordnen.

Zur Steigerung der Aussagesicherheit wurden die Messdaten bei Radar und Ultraschallecho mit Hilfe von 3D-Rekonstruktionsalgorithmen [2], [3] aufbereitet. Die Impulssignale dicht benachbarter Messpositionen werden dabei unter Berücksich-

tigung des Öffnungswinkels der Antennen bzw. des Ultraschallmesskopfes in definierten Volumenteilen unterhalb der Prüffläche summiert. Folglich werden Impulssignale wahrer Reflektoren fokussiert und das Signal/ Rausch-Verhältnis verbessert. Die rekonstruierten Daten wurden zur Erleichterung der Ergebnisinterpretation teilweise miteinander überlagert (Datenfusion, [4]).

Beim Impact-Echo-Verfahren [8], bei dem neben den direkten Reflexionsimpulsen auch deren Vielfache über die Zeit aufgenommen werden, wurden die Messdaten mit Hilfe der Fourier-Transformation in den Frequenzbereich transformiert und die daraus resultierenden Frequenzspektren analysiert.

4 Ergebnisse

Die Messungen erfolgten bei laufendem Verkehr auf den Brücken. Gegenseitige Beeinflussungen zwischen dem Verkehr und den Messungen traten nicht auf.

Für die Ortung der außenseitigen Bewehrung und Spannglieder hat sich die 1,5 GHz-Radarantenne am zweckmäßigsten erwiesen. Die laterale Lage und die Betondeckung der Bewehrungselemente, die nicht zu stark von vorliegenden Elementen abgeschattet werden, konnten im *Hohlkastensteg 1* bis zu einer Messtiefe von 16 cm zuverlässig bestimmt werden. Die im Hohlkastensteg außenseitig angeordneten Bügel und Längsbewehrungsstäbe lassen sich durch die Überlagerung der 3D-rekonstruierten Radardaten, die mit senkrecht zueinander ausgerichteter Polarisation aufgenommen wurden, umfassend abbilden. Deren Anordnung zueinander kann durch Schnittbilder, wie im Bild 3 für die Messtiefe von 7,5 cm dargestellt, wiedergegeben werden.

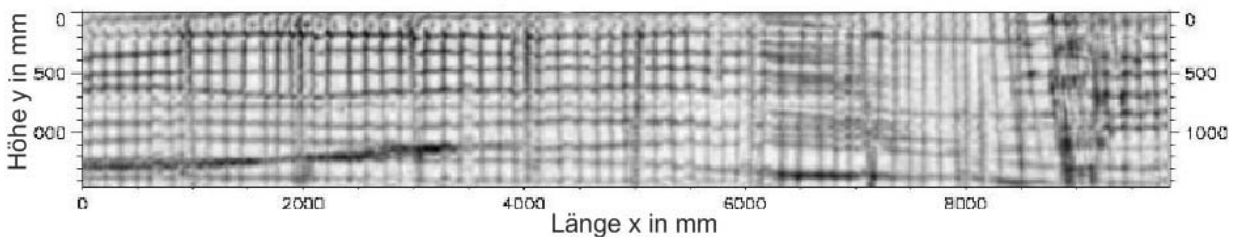


Bild 3 *Hohlkastensteg 1*, Radar – Längsschnitt in einer Messtiefe von 7,5 cm, generiert aus 3D-rekonstruierten und fusionierten Daten

Spannglieder in größeren Messtiefen und in Bereichen mit Zusatzbewehrung lassen sich zuverlässiger mit Ultraschallecho detektieren. Mit der angewendeten Ultraschalltechnik konnten Spannglieder in Messtiefen bis 40 cm lokalisiert werden.

Beim *Hohlkastensteg 1* sind in den Tiefen der Spannglieder abschnittsweise relativ hohe Reflexionsintensitäten der Schallwellen zu beobachten. Ein Hinweis dafür, dass eine nicht vollständige Verpressung der Spannglieder vorliegt. Der Vergleich mit den zur Verfügung stehenden Bauunterlagen zeigte, dass einige dieser Bereiche auf die im Lisenenbereich eingebauten Koppelglieder zurückzuführen sind. Im Bild 4 sind die in einem Messtiefenbereich von 22 – 28 cm detektierten Kabelgleitkupplungen abgebildet. Für eine weitere Verifizierung der auffälligen Spanngliedbereiche wären zusätzliche zerstörende Untersuchungen notwendig.

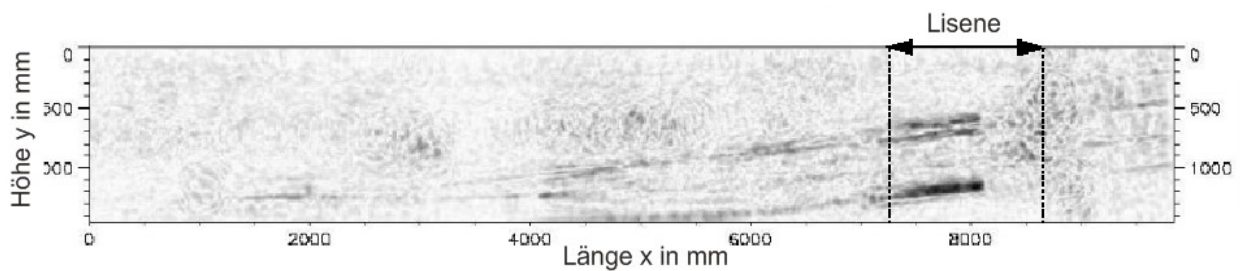


Bild 4 *Hohlkastensteg 1*, Ultraschallecho – Abbildung von Koppelgliedern durch Projektion von Längsschnitten aus dem Messtiefenbereich von 22 – 28 cm

Der Vorteil der kombinierten Anwendung von Radar und Ultraschallecho wird im nachfolgenden Bild 5 deutlich. Die drei Schnittbilder in derselben Messtiefe wurden auf der Basis unterschiedlicher Daten erzeugt, oben - aus 3D-rekonstruierten und miteinander fusionierten Radardaten, Mitte - aus 3D-rekonstruierten Ultraschallechodaten und unten - aus Daten, die Ergebnis der Überlagerung der Radar- und Ultraschallechodaten sind. Bei Radar werden die Spannglieder aufgrund der starken Wellenreflexion an der vorliegenden Bewehrung im stärker bewehrten Lisenenbereich (x: ca. 7000 - 9000 mm) nicht mehr zuverlässig abgebildet. Die Informationen zum Verlauf und zur Tiefenlage werden hier durch Ultraschallecho kompensiert. Durch die Datenfusion wird dann auf der Grundlage eines einzigen Datensatzes eine vollständigere Abbildung der Spannglieder erreicht.

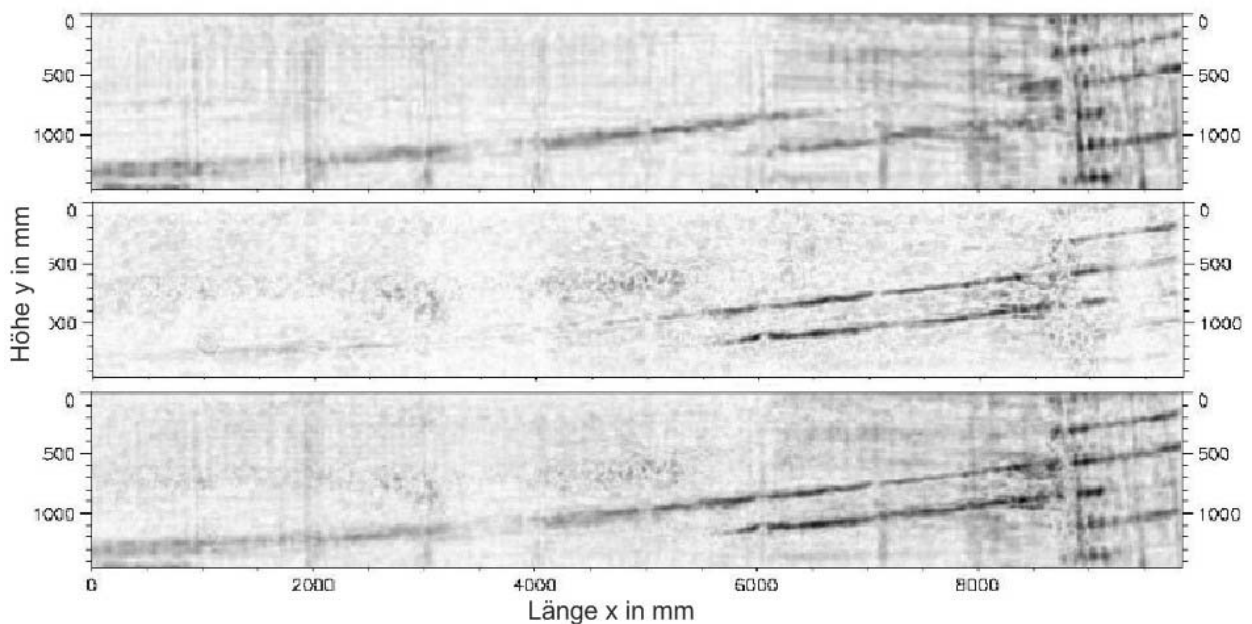


Bild 5 *Hohlkastensteg 1*, Radar/ Ultraschallecho – Längsschnitte in einer Messtiefe von 14,5 cm, oben: von 3D-rekonstruierten und fusionierten Radardaten, Mitte: von 3D-rekonstruierten Ultraschallecho-Daten, unten: von Fusionsdaten resultierend aus den rekonstruierten Radar- und Ultraschallechodaten

Die Ortung und Zustandsbeschreibung der Spannglieder mit den zerstörungsfreien Prüfverfahren im *Hohlkastensteg 2* gestaltet sich aufgrund der großen Anzahl der Spannglieder und deren sehr dichter und symmetrischer Anordnung sowie der Ausbildung der Spannglieder selbst schwieriger als beim *Hohlkastensteg 1*. Die

Beschaffenheit der Messoberfläche, die durch die beim Bau verwendete Brettschalung geprägt wird, beeinträchtigte darüber hinaus die Ankopplung der akustischen Prüfsensoren an das Bauteil.

Trotz der weiterführenden Datenbearbeitung ist es ausschließlich mit Ultraschallecho möglich, die Spannglieder des *Hohlkastensteges 2* einzeln aufgelöst darzustellen. Mit diesem Verfahren können zugleich die dicht folgenden Spannglieder der zweiten Tiefenlage dargestellt und der Tiefenbereich der in der Tiefe folgenden 3. und 4. Spanngliedlage angegeben werden. Die ausgewählten Abbildungen in den Bildern 6 und 7 stützen diese aus der gesamtheitlichen Analyse der Ultraschallecho-Daten resultierenden Aussagen. Die nicht in diesem Umfang erwartete Abbildung der Stabspannglieder wird vermutlich durch deren geringen Durchmesser begünstigt. Die Ausbildung der Spannglieder führt andererseits dazu, dass die mangelhaft verpressten Bereiche, die in den Zehntelpunkten der Brücke durch das Anbohren der Spannglieder festgestellt wurden, durch die flächigen Untersuchungen nicht zuverlässig beschrieben werden können.

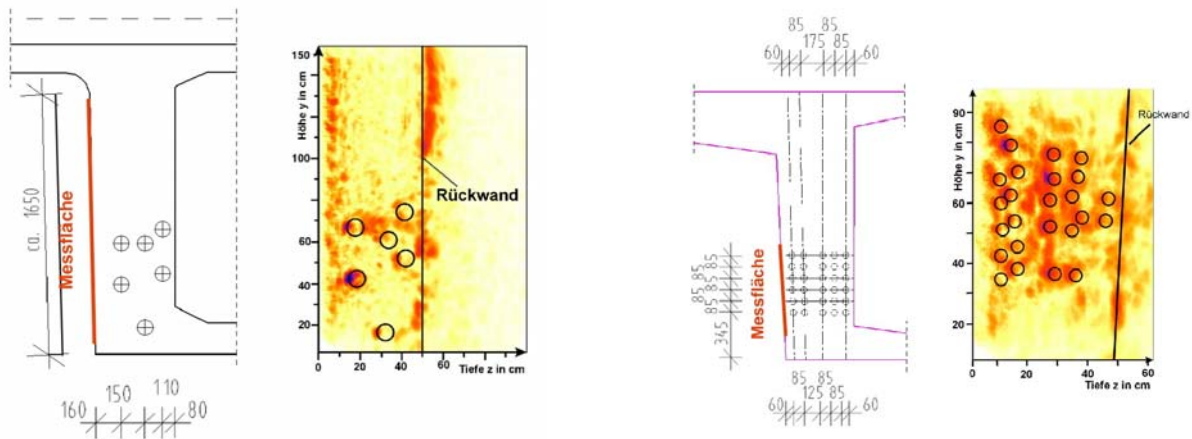


Bild 6 *Hohlkastensteg 1 und 2*, Ultraschallecho – Gegenüberstellung von mit Ultraschallecho erzeugten Stegquerschnitten zu denen nach Bauplan

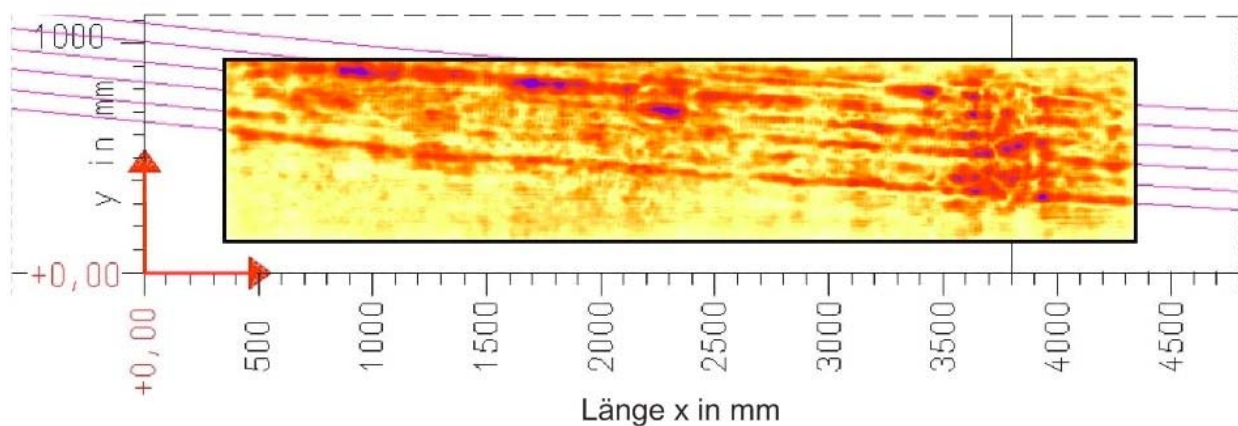


Bild 7 *Hohlkastensteg 2*, Ultraschallecho – Abbildung von Spanngliedern in der 2. Tiefenlage durch Projektion von Längsschnitten im Messtiefenbereich von 12,5 – 17,5 cm

Ergänzend ist im Bild 8 eine durch die Anwendung von Impact-Echo am *Hohlkastensteg 2* erzielte Abbildung dargestellt. Die sich durch Signalverschiebungen im Bereich der Stegrückseite dunkel abzeichnenden Reflexionsintensitäten bei 3,5 kHz deuten den lateralen Verlauf der Spannglieder an.

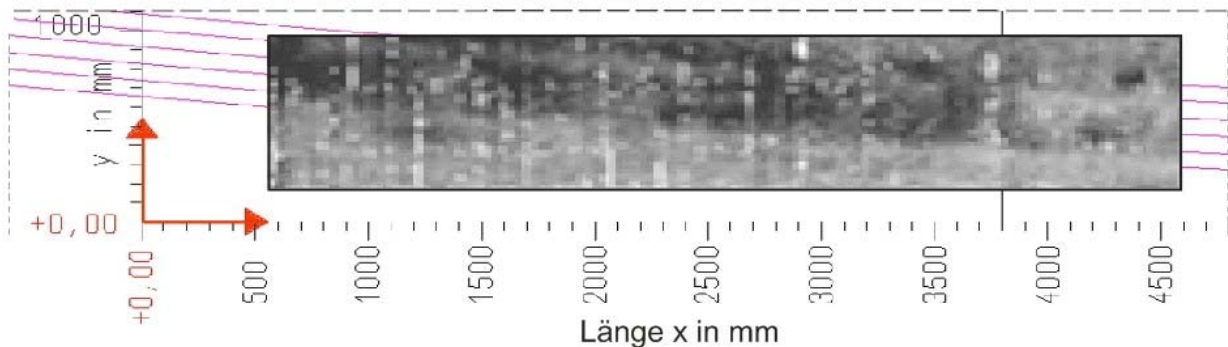


Bild 8 *Hohlkastensteg 2*, Impact-Echo – Rückwandecho bei einer Frequenz von 3,5 kHz

In der Gesamtheit konnten mit Impact-Echo an den Hohlkastenstegen jedoch, im Unterschied zu Untersuchungen an dünneren vorgespannten Bauteilen, keine relevanten Informationen für die Zustandsbeurteilung der Stege erbracht werden.

5 Zusammenfassung

Der Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren erlaubt es, notwendige zerstörende Prüfungen für die Zustandsbewertung von Spannbetonbrücken gezielter anzuwenden und bietet tiefgehende Möglichkeiten der Zustandserfassung. Die flächige Anwendung von Radar, Impact-Echo und Ultraschallecho an den zwei Hohlkastenstegen gestattet es, die Anordnung der außenseitigen Bewehrung und die Lage von Längsspanngliedern wiederzugeben. Anhand der bildgebenden Darstellung der Reflexionssignale waren mit Radar die schlaffe Bewehrung sowie Spannglieder in einer Messtiefe bis zu 16 cm und mit Ultraschallecho Spannglieder bis zu 40 cm Tiefe lokalisierbar. Durch Überlagerung der 3D-rekonstruierten Daten beider Verfahren konnten die Vor- und Nachteile der Verfahren kompensiert und die zuverlässige Interpretation der Ergebnisse vereinfacht werden.

6 Danksagung

Die Untersuchungen an den Spannbetonbrücken erfolgten in Kooperation mit dem Amt der Wiener Landesregierung, MA 29 – Brückenbau und Grundbau. Das Forschungsvorhaben wurde finanziell unterstützt durch die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-AG in Wien. An der Entwicklung des Scannersystems, bei der Messdurchführung und der Auswertung der Messdaten waren zahlreiche Kollegen der BAM, Fachgruppe VIII.2 beteiligt.

7 Literatur

1. Streicher, D., Wiggerhauser, H.: Automatisierte zerstörungsfreie Untersuchungen an Spannbetonbrücken. Fachtagung Bauwerksdiagnose in Berlin, 23.-24. Februar 2006
2. Mayer, K., Marklein, R., Langenberg, K. J., Kreuter, T.: Three-dimensional imaging system based on Fourier transformation synthetic aperture focusing technique. *Ultrasonics* 28, July 1990, pp. 241-255

3. Schickert, M., Krause, M., Müller, W.: Ultrasonic Imaging of Concrete Elements Using Reconstruction by Synthetic Aperture Focusing Technique. In: Journal of Materials in Civil Engineering (JMCE), ASCE Vol. 15 (2003) 3, pp. 235-246
4. Kohl, C., Krause, M., Maierhofer, C., Wöstmann, J. and H. Wiggerhauser. Datenfusion komplementärer Impuls-Echo Verfahren zur zerstörungsfreien Untersuchung von Betonbauteilen. In DACH-Jahrestagung, Salzburg, A, Berlin: DGZfP BB-CD, Plakat 37, 17.-19. Mai 2004.
5. GSSI - Geophysical Survey Systems, Inc. (USA), <http://www.geophysical.com/SIR20.htm>
6. ACOUSTIC CONTROL SYSTEMS (Russia), <http://www.acsys.ru/prod/a1220/ea1220.htm>
7. Olson Instruments, Inc. (USA), <http://www.olsoninstruments.com>
8. Wiggerhauser, H.: Impact-Echo. In: Cziesielski, E. (Hrsg.), Bauphysik-Kalender 2004, Ernst und Sohn, Berlin, 2004