



Brückenuntersuchung mit automatisierten Verfahren - Neue Entwicklungen

Herbert WIGGENHAUSER, Alexander TAFFE, Bundesanstalt für
Materialforschung und -prüfung, Berlin
Doreen STREICHER, Potsdam

Kurzfassung. Bei der regelmäßigen Prüfung von Brücken im Zuge von Bundesfernstraßen nach DIN 1076 werden gesonderte Untersuchungen erforderlich, wenn Umfang und Ursache bei der handnahen Prüfung nicht eindeutig festgestellt werden können. Für diese Untersuchungen im Rahmen der objektbezogenen Schadensdiagnose stehen automatisierte Messwerverfassungssysteme – Brückenscanner - zur Verfügung. Eine Auswertung der in einem dichten Messraster aufgenommenen Ultraschall-, Radar- und Impakt-Echo-Daten erlaubt die kombinierte und bildgebende Darstellung von Ergebnissen. So kann leicht ein Bezug zu Bestandsplänen hergestellt werden. Die neuen Entwicklungen bei den von der BAM entwickelten Brückenscannern werden in diesem Beitrag vorgestellt.

Einführung

Automatisierte ZfPBau-Verfahren werden bei Untersuchung von Brücken im Rahmen der *objektbezogenen Schadensanalyse (OSA)* [1] angewandt, die dann durchgeführt wird, wenn komplexe Schadensbilder vorliegen, deren Ursache und Umfang nicht im Zuge einer handnahen Prüfung ermittelt werden können. Die OSA ist Teil des Bauwerksmanagementsystems (BMS) deren Vorgehensweise im zugehörigen Leitfaden der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) dokumentiert ist [2]. Das BMS wurde durch die Bundesanstalt für Straßenwesen im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) entwickelt und gewährleistet, dass Schäden, die im Zuge der Überwachung und Prüfung von Ingenieurbauwerken nach DIN 1076 [3] festgestellt werden, nach Art und Umfang bestimmt werden müssen. Dabei werden Schadenserscheinungsformen zunächst vorwiegend visuell oder durch handnahes Prüfen der Bausubstanz (z. B. Abklopfen) festgestellt. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse erfolgt die Ermittlung der Schadensursache. Durch Hinzuziehen von zerstörungsfreien und zerstörungswarmen Prüfverfahren wird der Schadensumfang bestimmt. Die Kenntnis von Schadensursache und –umfang, insbesondere bei visuell nicht erkennbaren Schäden, ermöglicht Standsicherheit und Verkehrssicherheit zuverlässig zu bewerten.

Neben der Schadensdiagnose gewinnt die Bestandsaufnahme von Bauwerken an Bedeutung. Dazu ist die bildgebende Darstellung von Ergebnissen in der Weise erforderlich, dass der verantwortliche Bauwerksprüfer bzw. Planungsingenieur einen Bezug zum Bestandsplan herstellen kann oder eine Datengrundlage hat, einen Bestandsplan zu erstellen.

1. Entwicklung von automatisierten Messwerterfassungssystemen

Bei ZfPBau-Verfahren wird i.d.R. *ein* Parameter gemessen und von diesem auf eine Kenngröße oder den Bauwerkszustand geschlossen. Oft bieten die Messergebnisse nur einen Hinweis auf mögliche Ursachen. Um einen vorliegenden Verdacht zu erhärten oder entkräften, bedient man sich häufig eines anderen, physikalisch unabhängigen Verfahrens. Solche Verfahrenskombinationen geben, wenn sie gezielt eingesetzt werden, verbesserten Aufschluss zur Lösung einer Prüfaufgabe. Das Potenzial der **Kombination von Ultraschallecho, Impakt-Echo und Radar** wurde bereits Mitte der 1990er Jahre für den Massivbrückenbau erkannt [4].

1998 [5] und 2002 [6] folgten initiiert durch die BASt umfangreiche Berichte über zwei Brückenbauwerke, die vor und nach dem Abbruch mit Radar, Impakt-Echo und Ultraschallecho untersucht wurden und deren Ergebnisse nach dem Abbruch verifiziert werden konnten. Es wird über das erfolgreiche Lokalisieren von Verpressfehlern mit Ultraschallecho und Impakt-Echo berichtet. Die Messflächen mussten am Bauwerk z.T. im 1 cm-Raster abgetastet werden, was sehr zeitaufwändig war. Deshalb wurde bei der Untersuchung der Talbrücke Haiger [6] erstmals ein automatisches Impakt-Echo-Datenaufnahmesystem von der BAM eingesetzt. Die Entwicklung solcher automatisierten Messwerterfassungssysteme, später als Baustellenscanner bezeichnet [7], wurde in den Folgejahren fortgesetzt, da die bildgebende Darstellung der Messergebnisse eine Vielzahl von Einzelmessungen erfordert.

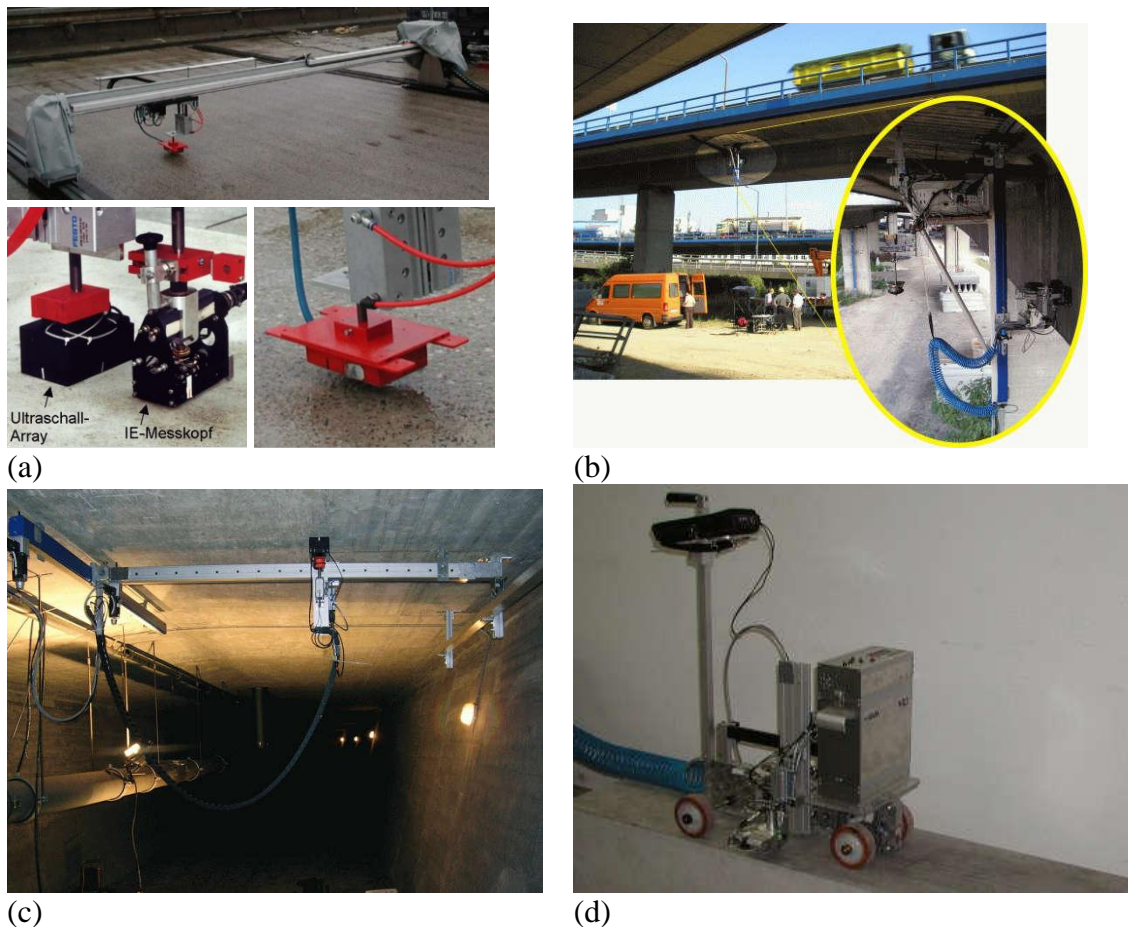


Abbildung 1 (a) Baustellenscanner mit multifunktionalem Prüfkopf zur gleichzeitigen Ultraschallecho- und Impakt-Echo-Messung (links unten) bzw. Radarmessung (rechts unten). (b) Scanner zum Einsatz an vertikalen

Flächen unter Brückenkappen, (c) Über-Kopf-Einsatz und (d) selbstfahrender Stepper. [8]

Die entwickelten Systeme erlauben eine hohe Positioniergenauigkeit und stellen gleichzeitig ein geometrisches Referenzsystem zur Verfügung. Darüber hinaus wird der Zeit- und Personalaufwand für die Prüfungen reduziert. Die Scannersysteme sind als zweiachsige Schienensysteme konzipiert und ermöglichen das zweidimensionale Verfahren der Prüfsensoren über der Messfläche. Zum Einsparen von Messzeit wurde das in Abbildung 1a dargestellte System mit einer Prüfkopfhalterung zur gleichzeitigen Messung von Ultraschall- und Impakt-Echo entwickelt [7]. Die Weiterentwicklung wird in [8] und [12] detailliert beschrieben: Systeme zur Messung an vertikalen Flächen im beengten Raum unter Brückenkappen (Abbildung 1b) oder zum Einsatz in Hohlkästen über Kopf (Abbildung 1c) wurden an der BAM entwickelt. So können Gesamtflächen von bis zu 40 m² untersucht werden, wobei das Ziel nicht die vollflächige Untersuchung ganzer Brücken ist, sondern nur gezielt vom Bauwerksprüfer ausgewählte Bereiche untersucht werden sollen. Dadurch wird eine Reduzierung des Prüfaufwandes erreicht, wobei die Untersuchungsbereiche, die aus der visuellen Prüfung bzw. als Schwachstellen bekannt sind, durch den Brückenprüfer vorgegeben werden.

Anzahl und Abstand der Messpunkte auf den Prüfflächen werden vor Beginn der Messungen festgelegt. Sie richten sich im wesentlichen nach den für die Untersuchungen zu Grunde liegenden Prüfaufgaben. Für die Brückenuntersuchungen mit den akustischen Prüfverfahren wurden bisher enge Messraster, von minimal 2 cm, gewählt. Je nach Scanner/Verfahren- und Messkonfigurationen werden für das Verfahren, das Andrücken der Prüfköpfe an die Bauteiloberfläche und die Messung selbst 3 – 6 s pro Messpunkt benötigt. Somit beträgt die Messleistung bei dem Messraster von 2 cm im Mittel 0,4 m²/h. Deutlich größere Messleistungen werden mit einem 5 cm Messraster erreicht, das zur Ermittlung der Bauteilgeometrie und einfacher Hüllrohrortung ausreicht. Bei der Anwendung von Radar wird jeweils eine Antenne mit einer Geschwindigkeit von ca. 0,1 m/s berührungslos über die Messfläche bewegt. Die mäandrierende Abtastung der Prüfflächen mit Radar bei Linienabständen von 5 cm schlägt sich in einer deutlich größeren Messleistung von ca. 15 m²/h nieder. Der Zeitaufwand für die kombinierte Anwendung der Verfahren lässt sich natürlich deutlich reduzieren, wenn im Ergebnis großflächiger Untersuchungen mit Radar die mit den akustischen Prüfverfahren zu untersuchenden Bereiche eingegrenzt werden.

Um an horizontalen Messflächen insbesondere zur Aufnahme einzelner Linien den Aufbau eines flächendeckenden Scanners einzusparen, wurde von der BAM der „NDT Stepper“ (Abbildung 1d) entwickelt, der annähernd horizontale Betonoberflächen selbstständig abfährt und gleichzeitig Ultraschall- und Impakt-Echo-Daten aufnimmt. Er ist für Anwendungen auf kleineren Teilflächen oder einzelnen Messspuren vorgesehen. Die Schrittweite lässt sich zwischen 0,5 cm und 12 cm einstellen.

2. Saugscanner und weitere Entwicklungen

Um eine Befestigung des Scanners in Bereichen zu ermöglichen, in denen nicht gebohrt werden darf, wurden Scanner mit Saugfüßen (Vakuumschanner) entwickelt, die die Apparatur senkrecht oder über Kopf am Bauwerk festhalten (Abbildung 2a und b). Die Montage erfolgt in wenigen Arbeitsschritten (Abbildung 2c) und kann auch von zwei Personen aus einem Steigerfahrzeug erfolgen.

In [9] wird über einen Scanner berichtet, der mit Ankopplung der Prüfköpfe über Luft betrieben wird. Damit sind berührungslose Ultraschallechomessungen möglich.



(a)



(b)



(c)

Abbildung 2 (a) Saugscanner beim Über-Kopf-Einsatz und (b) an vertikaler Fläche. (c) Der Saugscanner ermöglicht eine schnelle Montage.

Im Zuge des vom Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie geförderten InnoNet-Forschungsvorhabens OSSCAR (OnSite SCAnner) soll ein Baustellenscanner entwickelt werden, mit dem die bildgebende Darstellung der Bauteilgeometrie und der Konstruktion (Anzahl und Tiefe von Spanngliedern und schlaffer Bewehrung sowie zusätzlich Durchmesser bei schlaffer Bewehrung) vor Ort möglich werden soll. Dabei wird besonderes Augenmerk auf Handlichkeit und einfache Bedienung gelegt. Weitere Details sind auf der zugehörigen Website beschrieben: www.vdivde-it/innonet/projekte/in_pp200_ossacar.pdf.

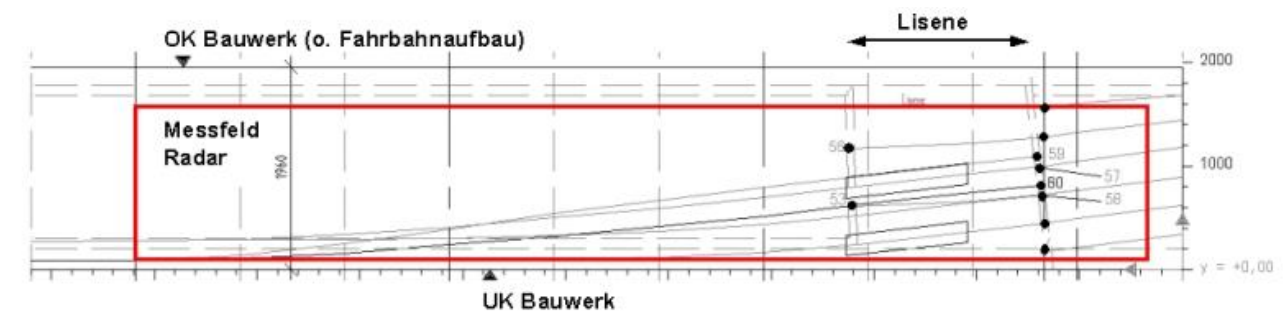
3. Ausgewählte Ergebnisse

3.1 Hohlkastensteg

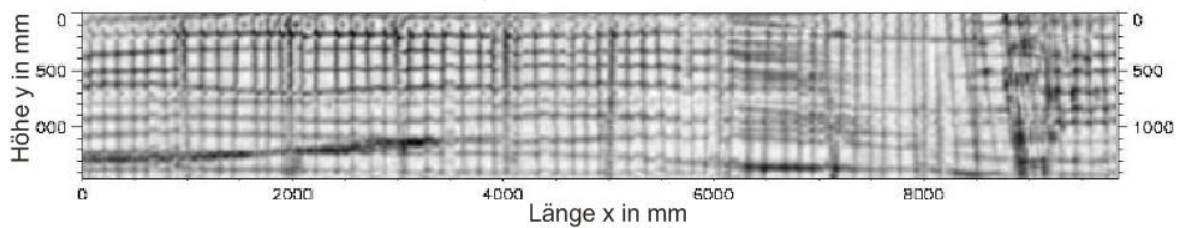
Gegenstand der Untersuchung war eine $10 \times 1,5 \text{ m}^2$ große Fläche eines 50 cm dicken Hohlkastenstegs, der von der Außenseite untersucht wurde. Das untersuchte Bauteil ist in Abbildung 3a dargestellt. Der Untersuchungsbereich umfasst eine Koppelfuge und einen etwas dichter bewehrten Lisenenbereich. Links der Koppelfuge befinden sich sechs, rechts davon zehn Spannglieder mit einem Hüllrohrdurchmesser von 80 mm, in denen je zwölf Litzen angeordnet sind.

Die oberflächennahen Bewehrungsstäbe und Spannglieder in den normal bewehrten Stegabschnitten mit einer Dicke von 50 cm sind zuverlässig mit Radar detektierbar. Das wird in Abbildung 3b deutlich, wo ein oberflächenparalleler Schnitt in einer Messtiefe von

7,5 cm aus rekonstruierten und fusionierten Radardaten dargestellt ist. Die schlaife Bewehrung und die Hüllrohre konnten bis zu einer Messtiefe von 16 cm lokalisiert werden. Im Bereich der etwas stärker bewehrten Lisene wird die Nachweisgrenze des Radar-Verfahrens erreicht. Das bedeutet, dass Bewehrungsstäbe nicht mehr einzeln aufgelöst dargestellt werden und dahinter liegende Spannglieder eingeschränkt detektierbar sind. Dann kann das Ultraschallechoverfahren zielführend eingesetzt werden. Die Reflexion der Schallwellen an metallischen Reflektoren ist nicht so dominierend wie diejenige der elektromagnetischen Wellen. Dadurch können mit Ultraschallecho auch Spannglieder hinter dichter schlaffer Bewehrung detektiert und dicht benachbarte Spannglieder unterschieden werden. An anderen Bauteilen konnten Spannglieder bis in Messtiefen von 55 cm geortet und Bauteildicken bis zu von 83 cm ermittelt werden. Die mit Ultraschallecho erreichbare bildgebende Darstellung wird in Abbildung 4 und Abbildung 5 deutlich.



(a)



(b)

Abbildung 3 (a) Längsschnitt des Hohlkastensteges mit Kennzeichnung des untersuchten Messfeldes. (b) Radar: aus 3D-rekonstruierten und fusionierten Daten generierter Längsschnitt in einer Messtiefe von 7,5 cm.

In Abbildung 4 sind aus 3D-rekonstruierten Ultraschallecho-Daten erzeugte Schnitte (SAFT-B-Projektionen) den Stegquerschnitten nach Bauplan gegenüber gestellt. Die Spannglieder des in Abbildung 4a dargestellten Querschnittes konnten alle detektiert werden. Das Beispiel in Abbildung 4b zeigt, dass diese Aussage derzeit noch nicht verallgemeinert werden kann und die Nachweisbarkeit der Spannglieder u. a. durch deren Anordnung im Bauteil und die Spanngliederquerschnitte (Hüllrohrdurchmesser 80 bzw. 100 mm) mitbestimmt wird. Hierzu sind weitere systematische Untersuchungen erforderlich, die Gegenstand des oben erwähnten Forschungsvorhabens OSSCAR sind.

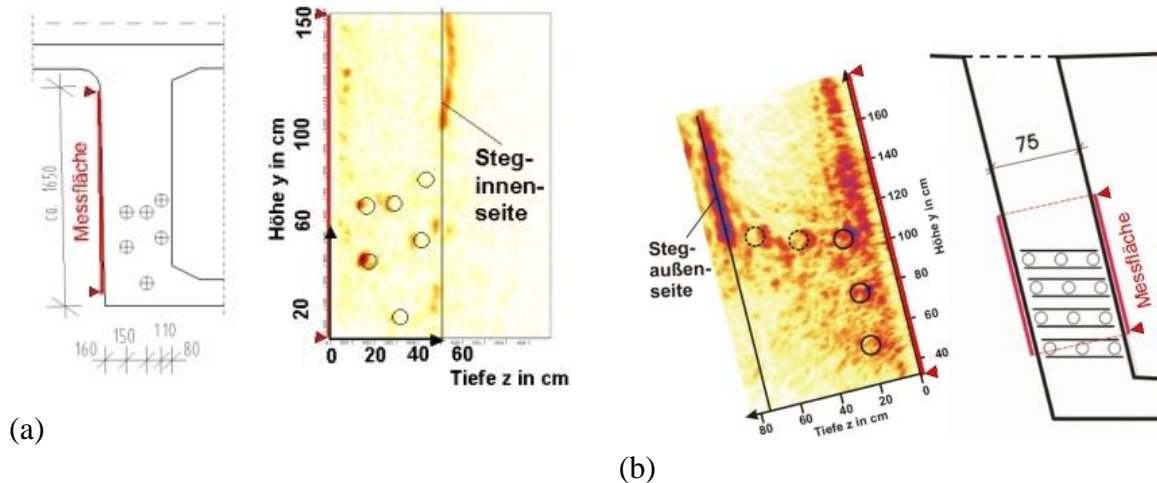


Abbildung 4 Gegenüberstellung SAFT-rekonstruierter Ultraschallecho-Daten mit den Querschnitten nach Bauplan für zwei Hohlkastenstege.

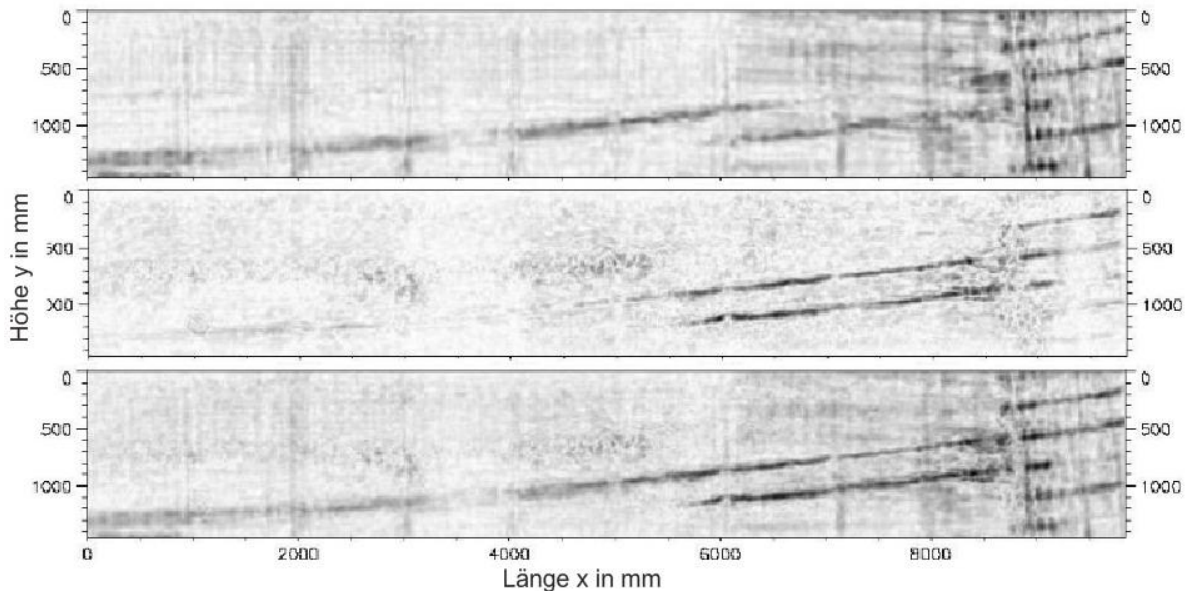


Abbildung 5 Oberflächenparallele Schnitte (SAFT-C-Bilder) zu dem in Abbildung 3a betrachteten Hohlkastensteg in einer Messtiefe von 14,5 cm. Oben: von 3D-rekonstruierten und fusionierten Radardaten. Mitte: von 3D-rekonstruierten Ultraschallecho-Daten. Unten: von Fusionsdaten resultierend aus den rekonstruierten Radar- und Ultraschallechodaten.

Abschließend wird gezeigt, wie sich der Einfluss der Kombination von Ultraschall- und Radardaten (Datenfusion) auf die Darstellung und Interpretation der Daten auswirkt. In Abbildung 5 sind für den in Abbildung 3a dargestellten Hohlkastensteg drei oberflächenparallele Schnitte (SAFT-C-Bilder) aus derselben Messtiefe jedoch auf unterschiedlicher Datenbasis dargestellt. Das obere Bild wurde von den 3D-rekonstruierten und miteinander fusionierten Radardaten und das mittlere Bild von den 3D-rekonstruierten Ultraschallechodaten erzeugt. Das untere Bild ist ein Ergebnis der Fusion der Radar- und Ultraschallechodaten. Durch die Datenfusion werden dann auf der Grundlage eines einzigen jedoch kombinierten Datensatzes die Spannglieder deutlicher abgebildet.

3.2 Fahrbahnplatte

Ein weiteres Beispiel zur bildgebenden Darstellung zeigt Ergebnisse, die mit Ultraschall an einem rd. 1,80 m dicken Plattenbalken erzielt wurden. Die Platte war oben und unten im oberflächennahen Bereich mit drei Lagen schlaff bewehrt ($\varnothing 16$ bis 25 mm; Stababstand 15 cm). Der Verlauf der Spannglieder ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Hüllrohrdurchmesser beträgt rd. 100 mm. Die Messungen zur Untersuchung der Fahrplanplatte erfolgten an deren Unterseite.

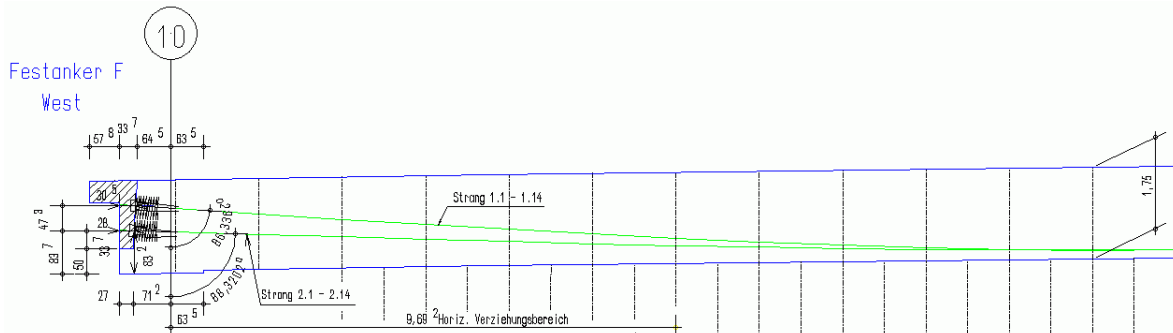


Abbildung 6 Längsschnitt der untersuchten Fahrbahnplatte mit Verlauf der Längsspannglieder. Der Planausschnitt ist nahezu identisch mit dem untersuchten Bereich.

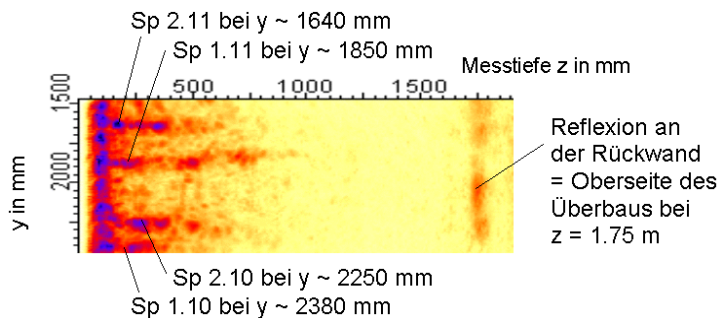


Abbildung 7 Projektion mehrerer Schnittbilder auf einer Länge von rd. 1 m. Neben der oberflächennahen Bewehrung und vier Spanngliedern ist die Rückwand bei 1,75 m Tiefe zu erkennen (y = Koordinaten quer zur Brückenlängsachse).

Abbildung 7 zeigt Ergebnisse nach einer Rekonstruktionsrechnung, die als Projektion mehrerer Querschnitte auf einer Länge von rd. 1 m zusammengesetzt wurden. Dabei kann man die Rückwand des Bauteils in einer Tiefe von 1,75 m deutlich erkennen. Das hier dargestellte Beispiel zeigt die Leistungsfähigkeit der Dickenmessung mit Ultraschall selbst an stark bewehrten Bauteilen. Die Anwendungsgrenze, die bislang an Stahlbetonfundamenten bei rd. 120 cm lag, wurde um 50% erweitert [12].

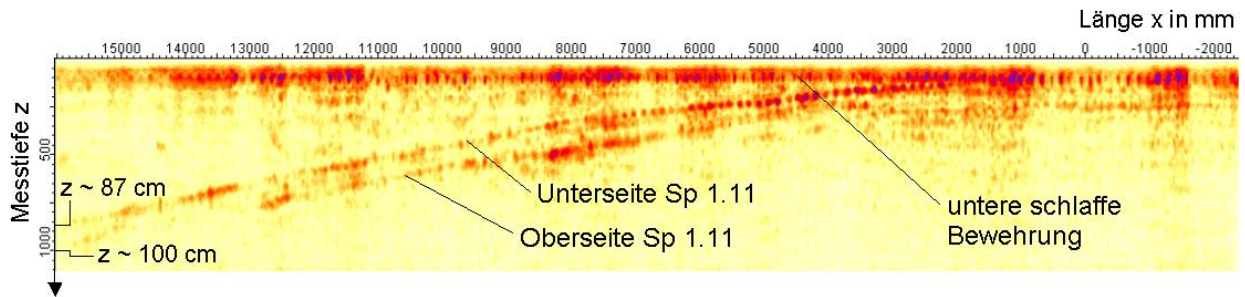


Abbildung 8 Längsschnitt über eine Länge von mehr als 18 m der mit Ultraschallecho gemessenen Ergebnisse nach SAFT-Auswertung. Die Ober- und Unterseite des Spannglieds kann getrennt aufgelöst werden. Der Verlauf der Spannglieder ist bis in eine Tiefe von rd. 100 cm nachvollziehbar.

Auch die Darstellung der Ergebnisse in Form von Längsschnitten, wie in Abbildung 8 dargestellt, erlaubt die Beobachtung des Spanngliedverlaufs bis in eine Tiefe von rd. 1 m, wobei zwischen der Ober- und Unterseite des Hüllrohrs unterschieden werden kann.

Referenzen

- [1] Krieger, J., Kaschner, R. und P. Haardt: Die objektbezogene Untersuchung und Bewertung von Brücken im Rahmen des Bauwerks-Management-Systems. Bautechnik 77 (2000) 7, S. 453-463
- [2] Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse, OSA, BASt 2004 (Download unter www.bast.de Stichwort: Fachthemen)
- [3] DIN, Normenausschuss Bauwesen: DIN 1076: Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen, Überwachung und Prüfung, Ausgabe 11/1999, Berlin: Beuth Verlag (1999).
- [4] Krieger, J.: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren bei Betonbrücken, Bautechnik 73 (1996) 1, S. 23-31
- [5] Krieger, J., Krause, M. und H. Wiggenhauser: Erprobung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfmethode für Betonbrücken, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 18, Verlag für neue Wissenschaft, Bremerhaven, 143 Seiten (1998).
- [6] Krieger, J., Krause, M. und H. Wiggenhauser: Materialtechnische Untersuchung beim Abbruch der Talbrücke Haiger, Durchführung von Ultraschall- und Impakt-Echo-Messungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 38, Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW
- [7] Taffe, A., Gardei, A., Krause, M., Maierhofer, Ch. und H. Wiggenhauser, Automatisierung zerstörungsfreier Prüfverfahren für das Bauwesen, Materialprüfung 46 (2004) 7-8, S. 397-403
- [8] Stoppel, M., Mielentz, F. und H. Wiggenhauser: Automatisierung in der zerstörungsfreien Prüfung, Bergmeister, K., Wörner, J.-D. (Hrsg.); BetonKalender 2007, Verkehrsbauten-Flächentragwerke. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Bd. 1, Kapitel V Echoverfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbauteilen, Absch. 10, S. 562-567
- [9] Schickert, M.: Grundlagen der Ultraschall-SAFT-Rekonstruktion, in: Bergmeister, K. (Hrsg.) Beton-Kalender 2007, Berlin: Ernst und Sohn (2007), Kap. V, Abschnitt 7, S. 536-543
- [10] Streicher, D., Wiggenhauser, H., Holst, R. und P. Haardt: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen - Automatisierte Messungen mit Radar, Ultraschallecho und Impact-Echo an der Fuldataalbrücke, in: Beton- und Stahlbetonbau 100 (2005) 3, 216-224; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin
- [11] Streicher, D., Algernon, D., Behrens, M., Kohl, Ch., Wöstmann, J., Wiggenhauser, H. und J. Petz: Großflächige ZfPBau-Untersuchungen an Hohlkastenbrücken der A 23 - Südosttangente Wien: BAM-Forschungsbericht (2006) 278, 46 Seiten; Wirtschaftsverlag NW/Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven; Hrsg.: Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin
- [12] Streicher, D., Kohl, Ch., Wiggenhauser, H., und A. Taffe: Automatisierte zerstörungsfreie Zustandsuntersuchungen von Brückenbauwerken, in: Beton- und Stahlbetonbau 101 (2006) 5, 330-342; Ernst, Berlin