

# OSSCAR-Bauwerkscanner: Automatisierte Datenaufnahme von Radar, Ultraschall und Wirbelstrom an Spannbetonbauteilen mit bildgebender Darstellung der inneren Konstruktion

Alexander TAFPE, Thomas KIND, Markus STOPPEL  
BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung), Berlin  
Jochen H. Kurz  
Fraunhofer IZFP, Saarbrücken

**Kurzfassung.** Bereits seit vielen Jahren stehen Anwendern der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) zuverlässige Geräte für Radar-, Wirbelstrom- und Ultraschallmessungen an Betonbauteilen zur Verfügung. Doch erst die Kombination dieser drei Verfahren an einer Messfläche erlaubt den maximalen Informationsgewinn über die innere Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen. Mit dem OSSCAR-Bauwerkscanner wurden diese drei Verfahren erstmals zur kombinierten und automatisierten Datenaufnahme an einem Scannerrahmen und unter einer Software vereint. Die Ergebnisse werden bildgebend in frei wählbaren Schnitten dargestellt, was eine Rekonstruktion von Bauteilen erlaubt, für die keine Planunterlagen vorliegen.

## 1 Bisherige Entwicklung von ZfPBau-Verfahren

Zerstörungsfreie Prüfverfahren haben im Bauwesen als „ZfPBau-Verfahren“ in den vergangenen Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die Veröffentlichungen zur Verfahrensübersicht zum Stand der Technik ([1], [2] und [3]) und Stand der Wissenschaft [4] belegen, dass für eine Vielzahl von ZfPBau-Verfahren am Markt bewährte Handgeräte existieren. Diese messen aber i.d.R. nur eine Größe. Neuere Entwicklungen bedienen sich zunehmend der Kombination von Verfahren, deren Potenzial bereits Mitte der 1990er Jahre für den Massivbrückenbau erkannt wurde [5]. Bislang veröffentlichte Ergebnisse zur kombinierten und automatisierten Datenaufnahme zeigen oftmals lediglich die Möglichkeiten, die sich bieten. Bezüglich realer Einsatzbedingungen und erforderlichem Zeitaufwand von der Messung bis zur Auswertung sind sie meist weit von einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand entfernt. Mit der Entwicklung des nachfolgend beschriebenen OSSCAR-Bauwerkscanners soll diese Lücke zu wirtschaftlich vertretbaren Einsätzen unter realen Einsatzbedingungen geschlossen werden.

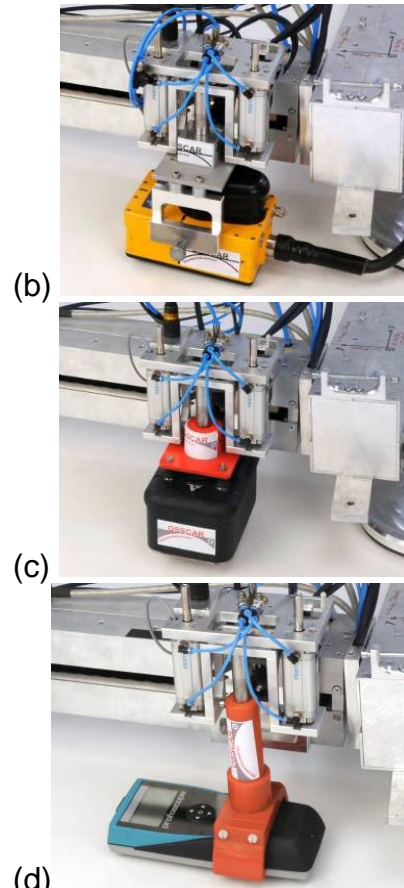
## 2 Entwicklung des OSSCAR-Bauwerkscanners

Im Rahmen des vom BMWi geförderten innoNet-Programms wurde in dem Verbundvorhaben **OSSCAR (On-Site SCAnner, [www.ossscar.eu](http://www.ossscar.eu))** aus einem Konsortium von dreizehn Partnern (Forschung, Industrie und KMU) ein neuartiger Bauwerkscanner



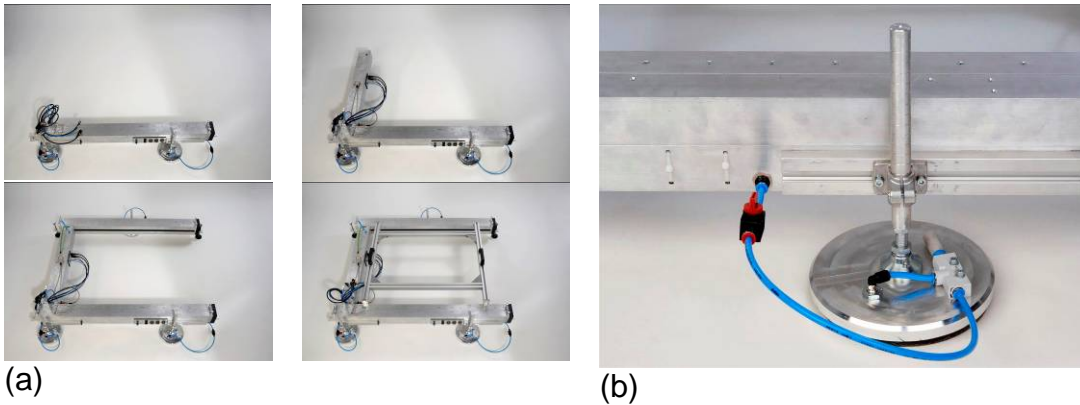
entwickelt (Abbildung 1a). Der OSSCAR-Bauwerkscanner erlaubt die kombinierte Untersuchung mit Ultraschallecho, Radar und Wirbelstrom (Abbildung 1b bis d) und die nachfolgende bildgebende Darstellung der Ergebnisse vor Ort. Im Vordergrund steht dabei die Prüfaufgabe, für eine wenige Quadratmeter große Messfläche, die zuvor von einem Brückenprüfingenieur festgelegt wird, detaillierte Kenntnisse über die innere Konstruktion zu gewinnen, um aus den Messergebnissen beispielsweise nachträglich einen Bestandsplan abzuleiten. Folgende Eigenschaften des Scanners, die für einen Einsatz unter Baustellenbedingungen unerlässlich sind, wurden dabei umgesetzt:

- **Flexibel:** Kleine Außenabmessungen von rd. 1,25 x 1,00 cm<sup>2</sup> erlauben auch Messungen in beengten Verhältnissen.
- **Robust:** Geschlossene Trägerprofile mit innen verlegten Kabeln und Versorgungsleitungen sowie Scannerkomponenten der Schutzklasse IP55 erlauben Einsätze in rauer Umgebung.
- **Leicht transportierbar und installierbar:** Die Scannerachsen bestehen aus drei separaten Trägern, die vor Ort zusammenschraubt werden (Abbildung 2a). Damit ist ein Zugang über enge Mannlöcher bzw. Kriechgänge in Hohlkästen möglich. Die Befestigung erfolgt wahlweise zerstörungsfrei mit Ankern oder mit Saugfüßen (Abbildung 2b).

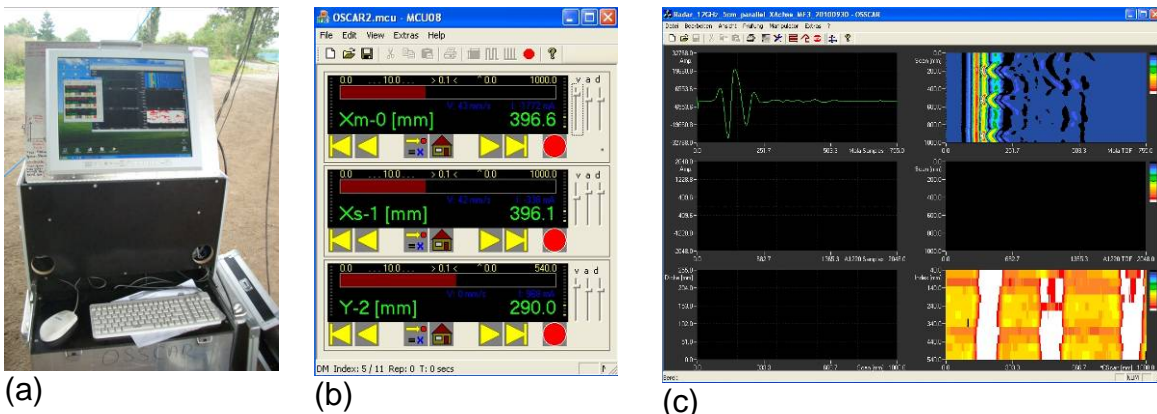


**Abbildung 1** (a) OSSCAR-Bauwerkscanner bestehend aus Rahmen und Steuerungseinheit mit den verwendeten Messgeräten für (b) Radar (Mala ProEx), (c) Ultraschallecho (ACSYS A1220) und (d) Wirbelstrom (Proceq Profoscope)

Die Software des Rechners der Steuerungseinheit (Abbildung 3a) erlaubt zugleich Scannersteuerung (Abbildung 3b), Datenerfassung (Abbildung 3c), und bildgebende Darstellung. Die Rohdaten werden nur mit einem Programm erfasst. Somit entfällt ein Datentransfer zwischen verschiedenen Programmen.



**Abbildung 2** (a) Scannerrahmen, der vor Ort aus drei modularen Trägern zusammengesetzt wird. Die Montagehilfe (rechts unten) wird nur zum parallelen Ausrichten der beiden langen Achsen verwendet. (b) Saugfuß zur zerstörungsfreien Befestigung des Scanners am Bauwerk per Unterdruck.



**Abbildung 3** (a) Steuerungseinheit mit Benutzeroberflächen zur Bedienung und zur Datenerfassung. Screenshots der Software (b) zur Scannersteuerung und (c) zur Datenerfassung.

Der Scanner wurde für drei am Markt etablierte Handgeräte konzipiert, die ohne Modifikationen über ihre digitalen Schnittstellen zur automatischen Datenerfassung integriert werden können. Dabei wurden folgende Geräte ausgewählt, die in Abbildung 1b bis d dargestellt sind:

- **Radar:** Pro-Ex System der Firma Mala (Schweden) mit Antennen von 1,2 GHz, 1,6 GHz und 2,3 GHz
- **Ultraschall:** A1220 Monolith der Firma ACSYS (Russland) mit Punkt-Kontakt-Prüfkopf für Transversalwellen (30 bis 85 kHz) für den Betrieb ohne Koppelmittel
- **Wirbelstrom:** Profoscope der Firma Proceq (Schweiz)

Die zuvor beschriebenen Geräte können wahlweise weiterhin als Handmessgerät oder am Scanner betrieben werden. Damit bleibt dem Nutzer die Flexibilität für die jeweilige Messaufgabe erhalten. Die Integration anderer Messgeräte ist von Seiten der verwendeten Software möglich und erfordert seitens des Geräteherstellers eine Offenlegung seiner Schnittstellen.

Für den Einsatz am Bauwerk sind grundsätzlich zwei Betriebsarten möglich:

- Die Scannersteuerung befindet sich unmittelbar neben der Messfläche. Abbildung 4a zeigt eine Messung in einem hohlkastenartigen Bereich.
- Die Scannersteuerung verbleibt am Boden und der Scanner wird ferngesteuert. („Remote“ Betrieb in Abbildung 4b).

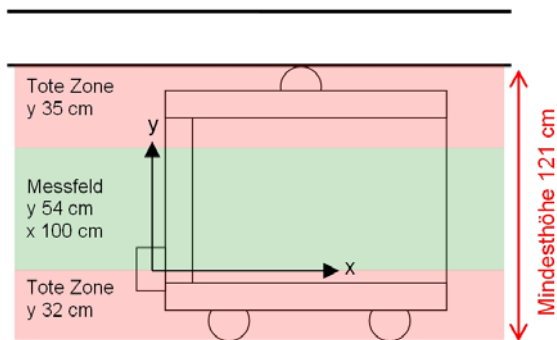


(a)

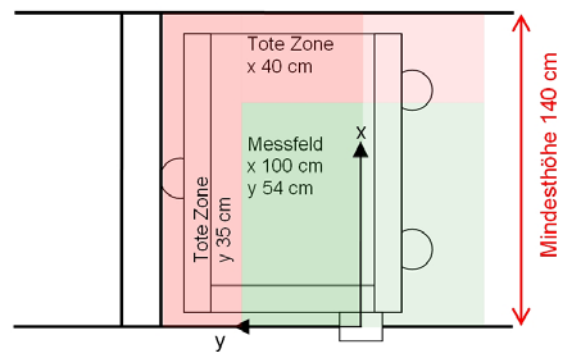


(b)

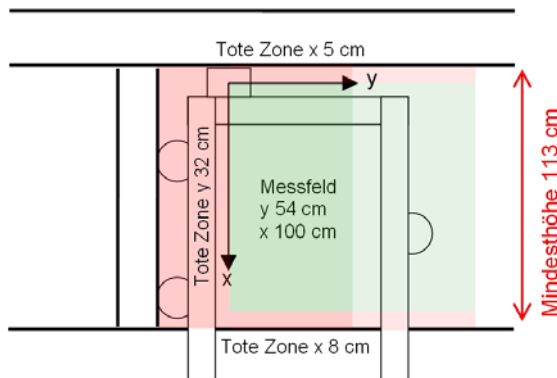
**Abbildung 4** (a) Messung in einem hohlkastenartigen Bereich oberhalb einer Stütze mit Scannersteuerung direkt neben der Messfläche. (b) Messung an einem vorgespannten Längsträger im „Remote“ Betrieb mit Scannersteuerung 10 m unterhalb des Bauteils



(a)



(b)



(c)



(d)

**Abbildung 5** Positionierung des Scannerrahmens am Bauwerk und erreichbare Messfläche: (a) Unterzug bzw. Hohlkasten mit x-Achse horizontal. (b) Unterzug mit x-Achse vertikal nach oben bzw. (c) nach unten. (d) Scannerrahmen mit Sicherung an einem Brückenträger.

Wie der Scannerrahmen am Bauwerk anzubringen ist, um mit der Messfläche den geforderten Bereich auch zu überdecken, ist in drei Messsituationen in Abbildung 5a-c dargestellt. Der Standardbetrieb zur Erzeugung eines horizontalen Messbandes wie in Abbildung 5a führt zu einem Rand von 32 bzw. 35 cm entlang der Bauteilkanten, für den keine Ergebnisse aufgezeichnet werden können. Daher ist es sinnvoll, an den Tiefpunkten bzw. an den Hochpunkten der Spannglieder, den Scanner wie in Abbildung 5b bzw. c gedreht anzubringen. Für Hohlkästen ergibt sich für die Messung der Hohlkastenstege eine erforderliche Mindesthöhe von 1,21 m. Da an Unterzügen die langen Achsen überstehen können, ergibt sich eine erforderliche Mindestbauhöhe von 1,13 m. Da ein großer Anteil der Brücken diese Mindestabmessungen unterschreitet, ist für diesen Fall auch ein Einachsbetrieb möglich. Der Einachsbetrieb wurde ebenfalls für Messungen an Stützen



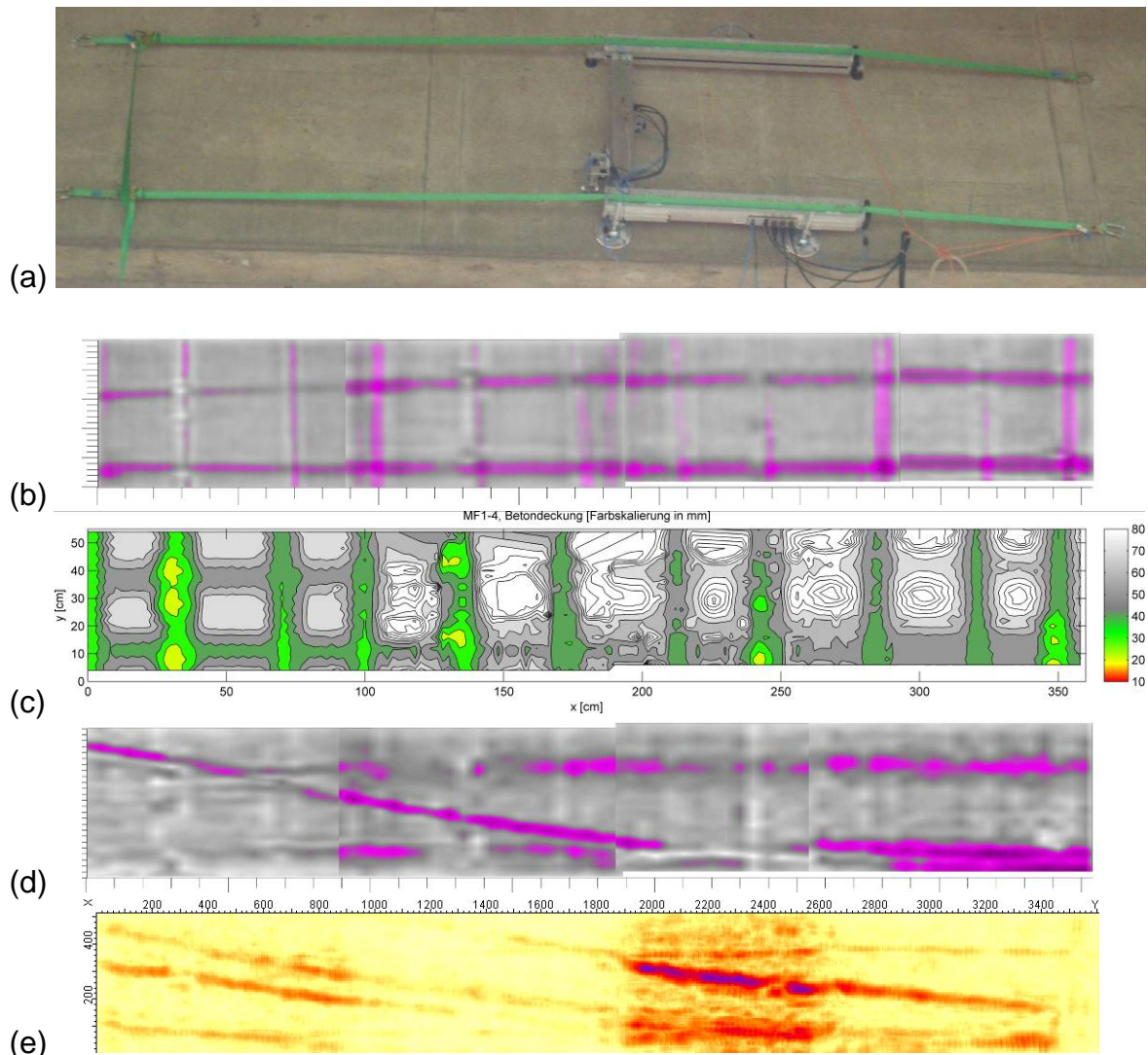
konzipiert. Abbildung 5c zeigt den Scannerrahmen im sogenannten „Remote“ Betrieb an einem Brückträger. Der Rahmen wird mit zwei Bändern gesichert, wobei dann ein horizontales Verschieben nahezu entlang der gesamten der Sicherung möglich ist.

Die Messungen mit Ultraschallecho, Radar und Wirbelstrom werden nacheinander durchgeführt, Radar und Wirbelstrom jeweils in zwei Polarisationsrichtungen, um sowohl die vertikale als auch die horizontale Bewehrung deutlich darzustellen. Für die Messfläche von 1,0 x 0,5 m<sup>2</sup> wird bei einem Spurabstand von 5 cm insgesamt weniger als eine Stunde benötigt. Die Ultraschallmessung im Messraster von 2,5 cm (in beiden Orientierungen) erfordert etwa eine Stunde. Am Ende der Messung entstehen drei genau kongruente Flächen mit einheitlichem Koordinatensystem. Damit kann die genaue örtliche Zuordnung der Reflektoren (Bewehrung, Hüllrohr, Rückwand) und der Defekte (Fehlstelle, Verpressfehler) durch Vergleich der Verfahren untereinander erfolgen. Das führt schlussendlich zu präzisen Aussagen zur inneren Konstruktion eines Bauteils.

### **3 Bildgebende Darstellung der inneren Konstruktion eines Spannbetonbauteils**

Die Messergebnisse an dem in Abbildung 5d dargestellten Brückenlängsträger wurden an insgesamt vier Messfeldern von jeweils 0,5 x 1,0 m<sup>2</sup> mit geringer Überlappung aufgenommen. Alle Einzelflächen wurden mit Wirbelstrom, Radar (1,6 GHz Antenne) und Ultraschall (55 KHz, Transversalwelle) untersucht. Der Linienabstand bei Wirbelstrom und Radar beträgt 5 cm, wobei entlang der kontinuierlich fahrenden Achse Messdaten in einem Abstand von 1 mm (Wirbelstrom) bzw. 4 mm (Radar) aufgezeichnet wurden. Das Messraster für Ultraschall beträgt in beide Richtungen 2 bzw. 2,5 cm. Das Gesamtmessfeld von rd. 3,6 m Länge und 0,5 m Höhe entspricht in etwa der in Abbildung 6a abgebildeten Fläche. Die Messergebnisse der drei Verfahren sind nach entsprechender Datenbearbeitung und Datenauswertung für die Gesamtfläche in Abbildung 6b-e in ausgewählten Tiefenlagen zusammengefasst. Dazu wurden die Radardaten einer Migration unterzogen und die Ultraschalldaten mittels SAFT-Algorithmen rekonstruiert([7], [8]). Die Wirbelstromdaten wurden so bearbeitet, dass die Betondeckung farbcodiert angezeigt wird.

In Abbildung 6b und c sind die Ergebnisse von Radar und Wirbelstrom für die oberflächennahe schlaffe Bewehrung dargestellt. Man erkennt die Stärke von Radar, dass metallische Reflektoren sehr scharf abgebildet werden. Im Gegensatz dazu bilden sich die Einzelstäbe bei Wirbelstrom weniger scharf ab. Ihre Lage stimmt aber gut mit den Ergebnissen von Radar überein. Zusätzlich enthalten die Ergebnisse aus der Wirbelstrommessung farbcodiert die Betondeckung. Da bei Radar derzeit noch keine ausreichend genaue Angabe der Überdeckung oberflächennaher Bewehrung nach automatisierter Datenaufnahme möglich ist, liefert Wirbelstrom als einziges Verfahren präzise und großflächige Angaben zur Betondeckung. Abbildung 6b und c zeigen den Mehrwert, den man durch die kombinierte Aufnahme von Radar- und Wirbelstromdaten erhält: Radar liefert die genaue laterale Lage, während Wirbelstrom eine genaue Tiefenangabe erlaubt. Derzeit arbeiten BAM und IZFP daran, auch Radardaten durch entsprechende Laufzeitkorrektur zur Betondeckungsmessung zu nutzen. Der Abstand von Sender und Empfänger in Kombination mit geringen Reflektortiefen sowie ein Luftspalt zwischen Antenne und Betonoberfläche bei der automatisierten Datenaufnahme machen diese Laufzeitkorrekturen erforderlich. In [9] wird gezeigt, dass bei entsprechender Korrektur die sich ergebende Gesamtstandardabweichung für Betondeckungsmessungen mit Radar bei einer Überdeckung von 50 mm und einem Luftspalt von im Mittel 10 mm bei etwa 5% liegen.

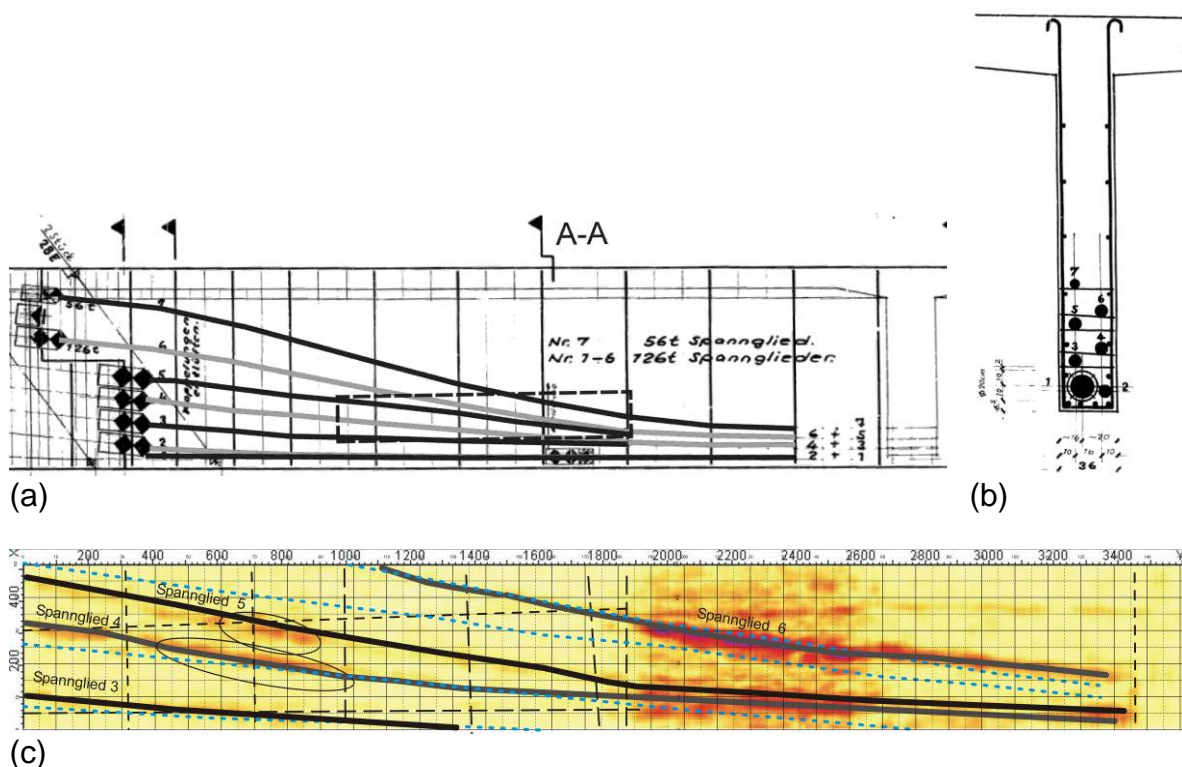


**Abbildung 6** (a) Scanner mit Saugfußbefestigung und Sicherungsgurten am Längsträger einer Spannbetonbrücke. Die Ergebnisse der drei Messverfahren sind gleich skaliert und wurden aus vier Messfeldern zusammengesetzt: (b) Die oberflächennahe Bewehrung ist mit Radar sehr deutlich erkennbar. (c) Die Ergebnisse der Wirbelstrommessung enthalten zusätzlich farbcodiert die Betondeckung. (d) Die Spanngliedlage zwischen 10 und 12 cm Tiefe ist gut mit Radar detektierbar. (e) Tiefer liegende Spannglieder zwischen 20 und 30 cm sind gut mit Ultraschall erkennbar.

Der Vergleich von Abbildung 6d und e zeigt die Stärken von Radar und Ultraschall. Während Radar, wie hier in Abbildung 6d in einer Tiefe von 10 bis 12 cm dargestellt, den Spanngliedverlauf sehr präzise anzeigt, eignet sich Ultraschall zur Darstellung des Spanngliedverlaufs in größeren Tiefen (Abbildung 6e in einer Tiefe zwischen 20 und 30 cm). Mit Ultraschall bildet sich der Verlauf etwas weniger kontrastreich und mit unschärferen Konturen ab. Allerdings reicht bei Ultraschall die reflektierte Signalstärke aus, um die Rückwand in etwa 36 cm Tiefe darzustellen (hier nicht dargestellt).

In Abbildung 7a und b sind Spanngliedverlauf und Querschnitt des untersuchten Trägers gemäß Bestandsplan angegeben. Die Gesamtmessfläche ist in Abbildung 7a gestrichelt umrandet. Der Verlauf der im Bestandsplan angegebenen Spannglieder ist in Abbildung 7c gestrichelt dargestellt. In diese Abbildung wurde auch der aus Radar- und Ultraschalldaten ermittelte tatsächliche Verlauf der Spannglieder eingezeichnet. Besonders bei Spannglied 5 wird die große Abweichung der tatsächlichen Spanngliedlage von der Soll-Lage deutlich. Bei der Nachrechnung von Bauwerken werden i.d.R. Angaben aus Bestandsplänen ungeprüft übernommen. Gerade an Schnitten, die bei der Nachrechnung bezüglich der Standsicherheit als kritisch eingestuft wurden, bietet die gezeigte

Vorgehensweise der bildgebenden Darstellung eine Möglichkeit zu überprüfen, ob die Annahmen der statischen Berechnung überhaupt zutreffen.



**Abbildung 7** (a) Bestandsplan für den untersuchten Brückenlängsträger mit Spanngliedverlauf. Der gestrichelt umrandete Bereich entspricht der Gesamtmessfläche. (b) Querschnitt des untersuchten Trägers. Die Messfläche befindet sich auf der Seite der ungerade nummerierten Spannglieder oberhalb von Spannglied 1. (c) Aus den Ergebnissen von Radar und Ultraschall rekonstruierter Verlauf der Spannglieder (schwarze und graue durchgezogene Linien). Der gemäß Bestandsplan anzunehmende Verlauf ist gestrichelt in hellblau dargestellt. Abweichungen vom angenommenen zum tatsächlichen Bestand sind besonders für Spannglied 5 erkennbar.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem OSSCAR-Bauwerksscanner steht ein flexibles, robustes und einfach handhabbares System zur automatisierten Datenaufnahme von Radar, Ultraschall und Wirbelstrom zur Verfügung. Der Bauwerksscanner ist für einen Betrieb durch Techniker konzipiert, die in der Lage sind, erste bildgebende Ergebnisse bereits vor Ort zu generieren, was für einfache Prüfaufgaben bereits ausreichen mag. Die aufgenommenen Daten können jedoch auch mit den in der Wissenschaft verwendeten leistungsfähigsten Algorithmen durch ZfP-Spezialisten bearbeitet werden. Solche Daten können als Grundlage für einen Vergleich von tatsächlich vorhandener innerer Konstruktion mit dem angenommenen Bestand gemäß Bestandsplan dienen. Diese Vorgehensweise könnte Berücksichtigung bei der statischen Nachrechnung von Bauwerken finden. Für kritische Schnitte könnte nachgeprüft werden, ob die Annahmen der Statik der Realität entsprechen. Darüber hinaus könnten die aufgenommenen Daten des Bauwerksscanners in Kombination mit zerstörungsarmen Verfahren zur Rekonstruktion von fehlenden Bestandsplänen herangezogen werden. Die Schaffung neuer Dienstleistungen zusammen mit Ingenieurbüros aus den Bereichen Statik und Zustandsbewertung ist möglich und wird angestrebt. Dabei soll gerade die Verwendung handelsüblicher Geräte, die einfach integriert werden können, dazu beitragen, dass der Bauwerksscanner für ZfPBau-Dienstleister, die bereits mit diesen Geräten arbeiten, ein wirtschaftlich attraktives Werkzeug zur Verfahrenskombination wird.



## 5 Referenzen

- [1] Schickert, G., Krause, M. und H. Wiggenhauser: ZfPBau-Kompendium, Internetpräsenz: <http://www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm> (2004).
- [2] Wiggenhauser, H. und A. Taffe: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen, in: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, S. 305-418.
- [3] Taffe, A.: Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung. In: Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 574, Beuth Verlag, Berlin (2008), Dissertation
- [4] Reinhardt, H.-W.: Echo-Verfahren in der zerstörungsfreien Zustandsuntersuchung von Betonbauteilen in Bergmeister, K. (Hrsg.); BetonKalender 2007, Verkehrsbauten-Flächentragwerke. Berlin: Verlag Ernst & Sohn, Bd. 1, Kapitel V, S. 479-598
- [5] Krieger, J.: Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren bei Betonbrücken, Bautechnik 73 (1996) 1, S. 23-31
- [6] 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
- [7] Schickert, M., Krause, M., and W. Müller: Ultrasonic Imaging of Concrete Elements Using Reconstruction by Synthetic Aperture Focusing Technique. Journal of Materials in Civil Engineering (JMCE), ASCE Vol. 15 (2003) 3: 235-246
- [8] 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
- [9] Streicher, D., Taffe, A. und Ch. Boller: Quantitative Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Radar an Stahl- und Spannbetonbauteilen, in: Berichtsband der DGZfP-Jahrestagung 2010, Erfurt, 10.-12. Mai 2010, BB 122-CD, Vortrag Mo.3.B.1
- [10] Taffe, A., Stoppel, M., Kind, Th. und J. Kurz: OSSCAR-Bauwerkscanner: Neuentwicklung zur automatisierten und kombinierten Datenaufnahme mit Darstellung der inneren Konstruktion von Spannbetonbauteilen, Messtechnik im Bauwesen 1 (2011), Ernst & Sohn Sonderheft, S. 79-83
- [11] Taffe, A., Kind, T., Kurz, J.-H. und M. Stoppel: Bauwerkscanner zur automatisierten und kombinierten Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren im Bauwesen, Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011) 4, Ernst & Sohn, S. 267-276

### Danksagung:

Der Dank gilt insbesondere den Industriepartnern und den KMU, die in diesem Projekt mitgearbeitet haben.



### Förderer:

OSSCAR ist ein Projekt aus dem Programm zur „Förderung von innovativen Netzwerken“ (Innonet, [www.vdivde-it.de/innonet](http://www.vdivde-it.de/innonet)) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Laufzeit: 01.01.2008 bis 31.12.2010. Weitere Informationen unter [www.osscar.eu](http://www.osscar.eu)

### Anmerkung:

Der Beitrag wurde in Teilen bereits in [10] und [11] veröffentlicht.