

# Moderne Verfahrenskombinationen: Ziele und praktische Anwendung am Beispiel der Spandauer-Damm-Brücke

Ralph HOLST, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

**Kurzfassung.** Die Belastung der Brücken durch zunehmenden Verkehr und steigende Bauwerksalter führt zur immer größer werdenden Notwendigkeit der systematischen Bauwerkerhaltung. Damit diese möglichst effektiv und wirtschaftlich durchgeführt werden kann, gewinnen neuen Formen des Einsatzes von ZfP-Verfahren zunehmend an Bedeutung. Dabei bieten sich mit Verfahrenskombinationen und Datenfusion vielversprechende Möglichkeiten.

## Einführung

Die Infrastruktur und hierbei vor allem die Straßen, stellt eine grundlegende Voraussetzung zur wirtschaftlichen Entwicklung eines Landes dar. Dieses bedeutet einerseits eine Notwendigkeit der Anpassung an zunehmenden Verkehr durch Um- und Ausbauten des Straßennetzes. Andererseits bestehend viele Netze, vor allem in den Industrienationen, schon eine geraume Zeit und sind somit dem Verkehr und weiteren äußeren Einflüssen ausgesetzt. Diese führt dazu, dass das Thema „Erhaltung der Infrastruktur“ verstärkt in das Bewusstsein der handelnden Personen und Organisationen gelangt. Denn aktuelle Studien gehen von einer erheblichen Steigerung des Verkehrs und hierbei besonders des Schwer- und Schwerlastverkehr aus.



Abb. 1 Schwer- und Schwerlastverkehr

Die Zunahme des Schwerverkehrs beeinflusst den Zustand der Infrastruktur und hierbei der Brücken und Ingenieurbauwerke auf unterschiedliche Weise. Da ist erstens der Anstieg der Fahrzeugüberfahrten zu nennen, der zu Ermüdungserscheinungen der Bauwerke führen kann. Dieser Effekt wird noch verstärkt dadurch, dass sich die zulässigen Gesamt- und Achslasten der LKW im Laufe der letzten Jahrzehnte entsprechend der Entwicklung der Normung erheblich erhöht haben, die Bauwerke aber für geringere Lasten bemessen

sen wurden. Dazu kommt, dass sich die Entwicklung der Fahrzeugtechnik und -leistung deutlich schneller entwickelt hat, als der „Rhythmus“ der Ertüchtigung oder der Erneuerung der Infrastruktur und somit Überladungen fahrzeugseitig nicht zu Schwierigkeiten führen, aber einen erheblichen negativen Effekt auf die Brücken haben können. Drittens haben neuer Erkenntnisse im Bereich der Normung ergeben, dass die Bemessungsregeln der Vergangenheit auf der einen und anderen Seite damals nicht bekannte Effekte nicht berücksichtigten bzw. berücksichtigen konnten. Diese Effekte können aber Schwachstellen darstellen. Last but not least hat auch das Alter der Brückenbauwerke seinen Einfluss. Die Brücken der Bundesfernstraßen sind zum Großteil in den 60er bis 80er Jahren des letzten Jahrhunderts errichtet worden. Somit haben sie nach 30 bis 40 Jahren einen erheblichen Teil ihrer geplanten Nutzungsdauer erreicht und müssen erhaltungstechnisch untersucht und behandelt werden.

Die Kombination der beschriebenen Effekte führt dazu, dass diese sich verstärken können und somit ein deutlich höherer Erhaltungsaufwand entsteht, als ursprünglich angenommen. Zudem sind in der Vergangenheit die notwendigen Erhaltungsmittel, aus unterschiedlichen Gründen, nicht im erforderlichen Umfang eingesetzt worden.

## 1 Bauwerksprüfung in Deutschland

### 1.1 DIN 1076 und Objektbezogene Schadensanalyse

Erhaltung bzw. notwendige Instandsetzungsumfänge von Bauwerken hängen sehr stark von den zur Verfügung stehenden Informationen, wie Konstruktions- und Schadensdaten, ab. In Deutschland ist für Brücken im Zuge von Straßen und Wegen gemäß der DIN 1076 vorgeschrieben, dass Brücken und andere Ingenieurbauwerke der Straßen regelmäßig überwacht und geprüft werden.



Abb. 2 visuelle Bauwerksprüfung und Brückenscanner

Bei der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076 handelt es sich weitgehend um eine visuelle Prüfung, bei der vorhandene Schäden bzw. mögliche Folgeschäden erfasst und bewertet werden. Hierbei kann aber der Fall eintreten, dass die reguläre Bauwerksprüfung keine ausreichenden Informationen liefert, um einen Prüfbericht sach- und fachgerecht abschließen zu können. In diesem Fall ist es angezeigt, zusätzliche Untersuchungen in Form einer sogenannten Objektbezogenen Schadenanalyse (OSA) durchzuführen. Hierbei handelt es sich um zusätzliche Untersuchungen deren Art und Umfang sich aus der Fragestellung ergibt.

Im Einzelnen ist eine OSA sinnvoll z.B. bei

- Schäden, deren Ursachen unbekannt sind,
- Schäden unbekanntem Umfangs bzw. Ausmaßes,
- Vermuteten Schäden,
- Unklaren Schädigungsverläufen.

Die jeweilige Fragestellung bestimmt die notwendige Untersuchungsart. So können Messungen vor Ort oder im Labor durchgeführt werden. Es können aber auch chemische oder physikalische Untersuchungen erfolgen.

Im Laufe der letzten Jahre hat sich das Gebiet der zerstörungsfreien Prüfverfahren im Bauwesen (ZfPBau) sehr stark weiterentwickelt und findet im Rahmen von Objektbezogenen Schadenanalysen immer häufiger Eingang in die reguläre Bauwerksprüfung.

Damit diese Gutachten ein Mindestmaß an Informationen enthalten, systematisch gegliedert sind und somit untereinander vergleichbar und auch für Dritte verständlich lesbar sind, ist ein Leitfaden „Objektbezogene Schadensanalyse“ entwickelt worden. Dieser steht auf der Homepage der BAST ([www.bast.de](http://www.bast.de)) zum kostenlosen Download zur Verfügung.

Die Abb.3. Stellt die Einbindung der OSA in Ablauf der Bauwerksprüfung gemäß DIN 1076 dar.

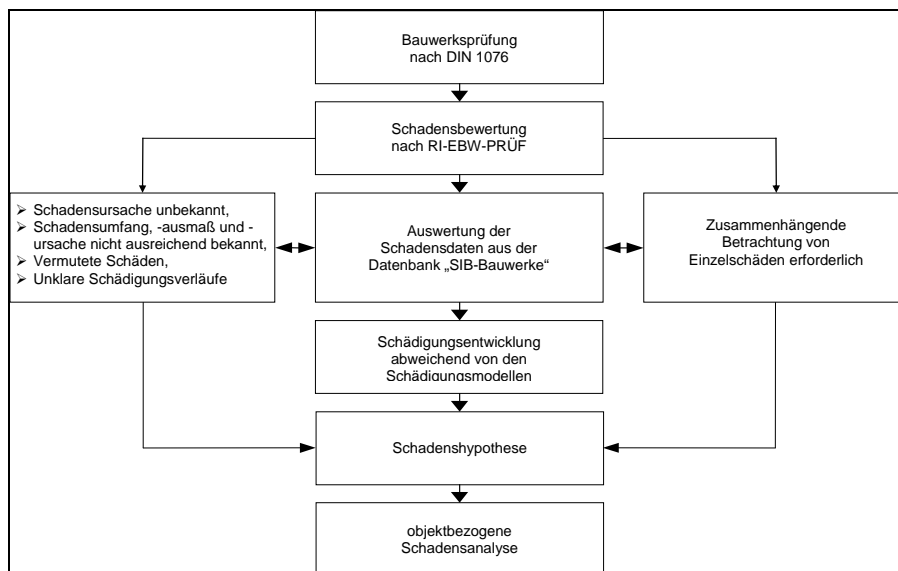


Abb. 3 Einbindung der OSA in Bauwerksprüfung

## 1.2 Aus- und Fortbildung für Bauwerksprüfung

Regelungen und technische Hilfsmittel können aber nur zu sinnvollen Ergebnissen führen, wenn die verantwortlichen Personen ausreichend qualifiziert sind. Leider gibt es z.Z. in Deutschland noch keine Ausbildung zum Ingenieur/in der Bauwerksprüfung. Aber seit 2002 finden regelmäßig „Lehrgänge für Ingenieure/-innen der Bauwerksprüfung“ statt. Hierbei handelt es sich um Fortbildungsveranstaltungen die gewisse Erfahrungen der Teilnehmer im Bereich Bauwerksprüfung/Konstruktiver Ingenieurbau voraussetzen. Diese Lehrgänge sollen es ermöglichen die Bauwerksprüfung und hierbei insbesondere die Schadensbewertung untereinander vergleichbarer zu machen und die rein subjektive Bewertung zu objektivieren. Zur weiteren Förderung der Fortbildung und um mittel- bis langfristig eine Ausbildung zu ermöglichen, hat sich aus der ursprünglichen Bund-/Länder-Begleitgruppe ein eingetragener Verein gebildet ([www.vfib-ev.de](http://www.vfib-ev.de)). Diese Resonanz auf die Lehrgänge hat dazu geführt, dass sich mittlerweile die „Zertifikate“ (Abb. 4) als Nachweis der erfolgreichen Teilnahme am Lehrgang als Qualitätsmerkmal bei der Vergabe von Bauwerksprüfungen an Firmen und Ingenieurbüros etabliert haben.



Abb. 4 Zertifikat (Beispiel das Lehrbauhofes Lauterbach)

Die Weiterentwicklung der ZfPBau-Verfahren hat in den letzten Jahren dazu geführt, dass zunehmend Verfahren der ZfP im Rahmen der „erweiterten“ Bauwerksprüfung“ oder im Rahmen der Qualitätskontrolle eingesetzt werden. Zur Qualitätskontrolle existiert seit 2001 die „Richtlinie zur zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen“ (RI-ZfP-TU), die seit 2007 in überarbeiteter Form vorliegt. Hierin wird u.a. festgelegt, dass jeder, der Messungen mit zerstörungsfreien Prüfverfahren im Tunnel, z.B. im Rahmen einer zur Qualitätskontrolle, durchführen will, zuerst anhand von Messungen an einem Probekörper bei der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) seine Fähigkeit bei der Detektion von Fehlstellen nachweisen muss. Diese Anerkennung ist personen- und gerätegebunden.

## 2 Verfahrenskombination und Datenfusion

### 2.1 „bewährte“ Verfahren

Aus der Zusammenarbeit mit den Straßenbauverwaltungen der Länder haben sich aus Sicht der BASt in der Vergangenheit bestimmte Verfahren als besonders geeignet für zusätzliche Untersuchungen im Rahmen einer OSA ergeben. Es handelt sich dabei um die Verfahren

- Remanenzmagnetismus,
- Potentialfeldmessung,
- Ultraschall-Echo,
- Radar,
- Impact-Echo.

Der Bruch von Spanngliedern in längs- bzw. quervorgespannten Spannbetonbauwerken stellt grundsätzlich ein Schadensereignis dar, dass die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit erheblich beeinträchtigen kann. Vor allem vor dem Hintergrund von begründeten Vermutungen über nicht oder nur teilweise verpresste Hührohröhre und damit der Frage, ob der jeweilige Spanndrahtbruch nur örtliche oder weitreichendere Auswirkungen hat, ist es für die Straßenbaulastträger von großer Bedeutung, hierüber möglichst genaue Informationen zu erhalten. Dieses ist auch vor dem Hintergrund zu sehen, dass ca. 70% der Brücken der Bundesfernstraßen als Spannbetontragwerke ausgeführt worden sind und sich somit ein erheblicher finanzieller Bedarf ergeben könnte. Das Remanenzmagnetismusverfahren; d.h.

die Ortung von Spannglied- bzw. durchrissen durch Detektion von Streufehlern magnetisierter Bewehrungslagen, kann hierzu einen wichtigen Beitrag leisten.



Abb. 5 Jochmagnet als Teil des Remanenzmagnetismusverfahrens

Eine andere wichtige Fragestellung ist diejenige nach der Feststellung von Bewehrungskorrosion; denn auch dadurch kann die Standsicherheit und Dauerhaftigkeit einzelner Bauteile bzw. eines ganzen Bauwerks erheblich reduziert werden. Hierfür bietet sich das Potentialverfahren, entweder als Potentialpunkt- oder Potentialfeldverfahren an. Dabei werden Potentiale gemessen, die Kennzeichen aktiver Korrosionsbereiche sind. Zum Stillstand gekommene Korrosion kann mit diesem Verfahren leider nicht detektiert werden. Aber i.A. sind für den Baulastträger diejenigen Bereiche, in denen aktive Korrosion stattfindet von größerem Interesse, da dort die Schädigung kontinuierlich fortschreitet.

Neben Schädigungen der Stahleinlagen in Form von schlaffer Bewehrung bzw. Spanngliedern, ist die Informationen über den Zustand des Hauptbaustoffes, in den meisten Fällen Beton, ebenfalls sehr wichtig. Der Verbundwerkstoff Stahl- bzw. Spannbeton kann die äußere Einwirkungen durch innere Kräfte und Momente nur wirkungsvoll abtragen, solange der Verbund zwischen Beton und Stahleinlagen einwandfrei funktioniert und die Stahleinlagen vor schädigenden Angriffen durch Chlordeindringung bzw. Karbonatisierung geschützt sind. Die reguläre Bauwerksprüfung kann oberflächliche Schäden feststellen bzw. durch Abklopfen oberflächennahe Fehlstellen detektieren, aber genauere Informationen über das Innere von größeren Bauteilen können damit nur sehr begrenzt gewonnen werden.

Um diese Informationen zu erhalten, bieten sich unterschiedliche Verfahren an. Da ist zuerst einmal das Radar-Verfahren genannt. Radar-Wellen werden an metallischen Gegenständen, z.B. Bewehrungsstäben, vollständig reflektiert und eignen sich daher sehr gut zur Bestimmung der Lage dieser. Allerdings werden bedingt durch die Reflexion und bei ungünstiger Anordnung der Bewehrungslagen, z.B. kleine Abstände bei großen Durchmessern, die Bereiche unterhalb dieser Bewehrungslage fast vollständig abgeschattet. Damit erhält man keine oder nur sehr geringe Information über das Bauteil in diesem Bereich.

Ein anderes wichtiges Verfahren ist das Ultraschall-Echo-Verfahren. Dieses eignet sich zur Bestimmung von Bauteildicken, zur Ortung von Spanngliedern und von Verpressfehlern in diesen, sowie von, ausreichend großen, Kiesnestern bzw. Fehlstellen im Konstruktionsbeton.

## 2.2 Abbruchbauwerk „Spandauer-Damm-Brücke“

Abbruchbauwerke eignen sich sehr gut für die Validierung bzw. Weiterentwicklung von ZiP-Verfahren. Denn sie liefern die Möglichkeit durch Messungen gewonnene indirek-



te Informationen, wie z.B. Laufzeitveränderungen durch nachträgliches Öffnen bestimmter Bereiche zu verifizieren. Ein anderer ganz erheblicher Vorteil gegenüber „künstlich“ hergestellten Probekörpern ist, dass Abbruchbauwerke unter regulären Baustellenbedingungen, mit allen möglichen Fehlerquellen hergestellt wurden und auch immer ein „Spiegel der Zeit“ in Bezug auf Herstellungsverfahren und Regelwerke darstellt.

Bei dem hier behandelten Untersuchungsbauwerk handelt es sich um die „Spanndauer-Damm-Brücke“ in Berlin. Diese Brücke ist 1963 als achtstegiger Hohlquerschnitt in Spannbetonbauweise hergestellt. Das statische System in Längsrichtung ist ein 3-Feldrahmen mit Fussgelenken. Das Bauwerk ist insgesamt 116 m lang bei einer Breite von ca. 39 m. Aufgrund der Abmessungen sind die Spannglieder sowohl in Längs- als auch in Querrichtung gekoppelt.



Abb. 6 Spandauer-Damm-Brücke

Das Bauwerk weist typische Merkmale für ein über 40 Jahre altes Bauwerk auf. So wurde sowohl für die Längs- wie auch die Quervorspannung Sigma-Oval-Spannstahl verwendet, der als seit geraumer Zeit als spannungsrissempfindlich eingestuft ist. Das Bauwerk ist in einer Zeit gebaut worden, in der sich die Spannbetonbauweise zur vorherrschenden Bauweise für den Normalbrückenbau entwickeln sollte. Allerdings waren Schwierigkeiten, wie das nicht oder nur teilweise Verpressen von Hüllrohren, mit allen daran anschließenden Problemfeldern, damals noch nicht bekannt. Somit gehört auch dieses Bauwerk zu den „Verdachtsfällen“ bzgl. spannungsrissempfindlichem Spannstahl in nicht oder nicht vollständig verpressten Hüllrohren. Das Bauwerk ist im Laufe seiner Nutzungszeit wiederholt instandgesetzt worden; u.a. wurden der Belag, die Abdichtung (ursprünglich nicht vorhanden) und die Fahrbahnübergangskonstruktionen instandgesetzt und auch am Überbau wurden Imprägnierungen, Beschichtungen bzw. Risseinstandsetzungen vorgenommen. Durch die Schäden am Belag, der Abdichtung und der Übergangskonstruktionen konnte chloridhaltiges Oberflächenwasser in die Konstruktion eindringen und entsprechende Schädigungen im Überbau bewirken.

Somit stellt sich das Bauwerk als typisch für seine Herstellungszeit dar und da sich vergleichbare Bauwerke zu einer großen Zahl noch heute im Brückenbestand befinden, war es sinnvoll die Gelegenheit des Abbruches zu nutzen, um Messungen mit entsprechenden Validierungsmöglichkeiten vornehmen zu lassen.

Im Einzelnen wurden folgende Untersuchungen vorgenommen:

- Ortung von Spanngliedern und schlaffer Bewehrung in Verbindung mit bildgebender Darstellung des Inneren der Konstruktion (Ultraschall-Echo, Impact-Echo und Radar),
- Ortung von Verpressfehlern in Hüllrohren (Ultraschall-Echo, Impact-Echo und Radar),
- Ortung von Spanndrahtbrüchen (Remanenzmagnetismus),

- Ortung von korrosionsaktiven Bereichen und Korrosionsschäden (Potentialfeldmessungen)

Die Ortung von Spanngliedern und schlaffer Bewehrung hat sehr deutliche Ergebnisse geliefert. Allerdings führte die Anordnung der Spannglieder dazu, dass die dritte Spanngliedlage durch die beiden davorliegenden Lagen abgeschattet wurde und somit nicht oder nur sehr schwach detektiert werden konnte. Zur Darstellung von Bewehrungslagen in oberflächennahen Bereichen hat sich der Einsatz spezieller Filteralgorithmen als Zielführend erwiesen. Bezüglich der Ortung von Verpressfehlern konnten keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden, da sich die Verdachtsstellen als verpresst erwiesen haben. Allerdings konnte durch den neuen Ansatz der Phasenauswertung ein Bereich mit Ablösungen zwischen Hüllrohr und Beton erkannt werden. Diese Ablösungen waren nicht in der Nutzungszeit, sondern durch die Abrissarbeiten an der Brücke entstanden.

Die Validierung der Ortung von Spanndrahtbrüchen ergab, dass Brüche von 30% des Stahlquerschnittes ohne Fahrbahnbelag und 50% mit Fahrbahnbelag zweifelsfrei detektiert werden konnten.

Korrosionsaktive Bereiche in der Fahrbahnplatte konnten an zwei Stellen detektiert und durch manuelles Öffnen verifiziert werden.

Somit konnten mit dem Einsatz der unterschiedlichen Verfahren die jeweiligen Messaufgaben zufriedenstellend gelöst werden. Dabei zeigten sich die verfahrensspezifischen Vorteile und damit auch die Notwendigkeit zur Beurteilung unterschiedlicher Fragestellungen an einem Bauwerk auch das Fachwissen über Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Verfahren zu kenn, um bedarfsgerecht vorgehen zu können.

Der nächste Schritt zur Verbesserung der Aussagekraft von Messergebnissen ist der Einsatz unterschiedlicher Messverfahren an derselben Messstelle und die Überlagerung der Ergebnisse.

Dazu wurde die Seitenflächen zweier Längsträger unter Einsatz eines von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) entwickelten Brückenscanners messtechnisch erfasst, um die innere Konstruktion (schlaffe Bewehrungslagen, Lage der Spannkantäle) bildgebend darstellen zu können.

Die Abb. 7 zeigt einen der entnommenen Längsträger in der Seitenansicht und die 2-dimensionale Darstellung der inneren Bewehrungslagen.

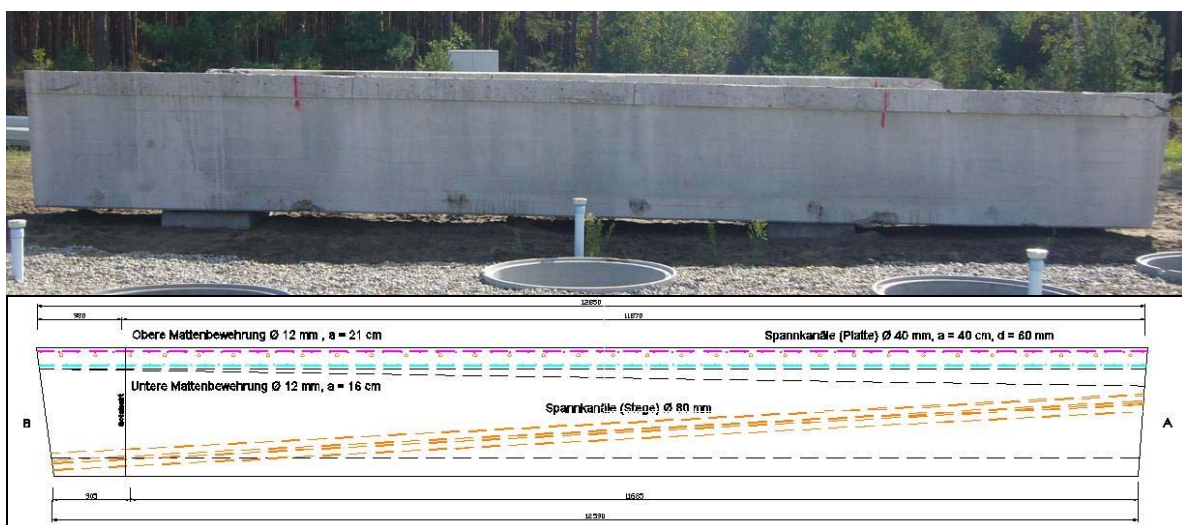


Abb. 7 Längsansicht und Darstellung Bewehrungslagen eines Brückenlängsträgers

Die nachfolgende Abbildung 8 zeigt beispielhaft die 3-dimensionale Darstellung der inneren Konstruktion eines Probekörpers und gibt sehr anschaulich einen Ausblick in die Möglichkeiten der näheren Zukunft.

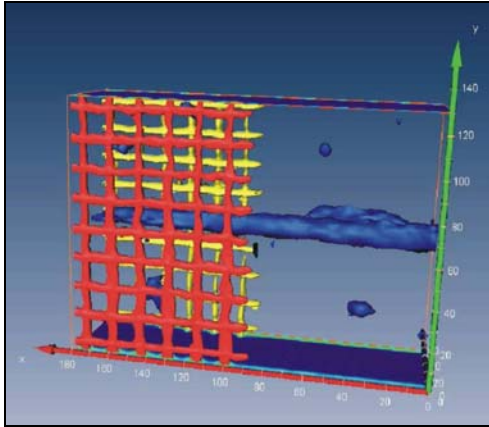


Abb. 8 Innere Konstruktion und Fehlstellen eines Probekörpers (Bild: BAM)

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Der steigende Verkehr in Kombination mit höherem Bauwerksalter, zunehmenden Lasten und weiteren, nicht direkt verkehrsbezogenen, Herausforderungen wie die Finanzkrise führen dazu, dass eine systematische Straßen- und damit Bauwerkserhaltung immer dringender wird. Dieses führt auch dazu, dass Priorisierungen vorgenommen werden müssen. Dafür ist es zwingend erforderlich möglichst zeitnah umfassende Informationen über den Zustand der Bauwerke zu erhalten. Die reguläre Bauwerksprüfung liefert hierfür eine sehr gute Grundlage. Aber die visuelle Schadenserfassung und Bewertung haben ihre Grenzen. Zunehmend wichtiger werden frühzeitige, verifizierbare Informationen über Veränderungen am Bauwerk/in den Bauteilen, die noch keinen Schaden darstellen oder noch nicht als solcher zuerkennen sind, die aber zu einem späteren Zeitpunkt Einfluss auf die Nutzung haben können.

Hier liefert schon heute die ZFP im Bauwesen einen wertvollen Beitrag und viele Verfahren sind mittlerweile aus dem Stand der Forschung zu anerkannten Regeln der Technik geworden und z.T. in Regelwerken für die Baupraxis verankert. Einen vielversprechenden Ansatz zur Verbesserung der Aussagekraft von Ergebnissen liefert die Verfahrenskombination. Hierbei werden Messungen mit unterschiedlichen ZfP-Verfahren durchgeführt und mit Hilfe entsprechender Software so überlagert, dass die Vorteile der einzelnen Verfahren optimal ausgenutzt werden können. Somit kann die Aussagekraft der einzelnen Ergebnisse erheblich verbessert werden und „Fehlmessungen“ reduziert werden. Die Verfahrenskombination setzt aber voraus, dass die Messergebnisse räumlich genau lokalisiert werden können, um die Daten fusionieren zu können. Aus diesem Grund ist von der BAM ein Baustellenscanner entwickelt worden, der im Rahmen eines BMWI-Projektes „OSSCAR“ zur Marktreife weiterentwickelt.

Dieser Weg ist sehr vielversprechend und wird es ermöglichen ZFP-Verfahren verstärkt in die reguläre Bauwerksprüfung einzubeziehen, um die Erhaltung der Brücken und Ingenieure der Straßen noch effektiver und wirtschaftlicher zu gestalten.

### 4 Referenzen

- [1] Taffe, Wiggenhauser: Untersuchungen an abzubrechenden Brückenbauwerken gemäß ARS Nr. 11/1999 – Abbruch Spandauer-Damm-Brücke in Berlin; Forschungsprojekt FE 15.0456/2007/HRB im Auftrag der BAST, Berlin, 2009
- [2] BAST, Leitfaden „Objektbezogene Schadensanalyse“, Bergisch Gladbach, 2004
- [3] BAST, Bauwerksbuch „Spandauer-Damm-Brücke (BWNr. 3445174)