

Rekonstruktion des Bestandsplans im Zuge der Nachrechnung der Brücke über die Leine bei Schwarmstedt

Stefan MAACK¹, Ralph HOLST²

¹ Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin

² Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach

Stefan.Maack@bam.de ; Holst@bast.de

Kurzfassung. Der aktuell im Rahmen der Nachrechnungsrichtlinie geforderte Nachweis von Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Ermüdung der Brückenbauwerke im Bestand der Länder und des Bundes stellt eine enorme Herausforderung dar. Insbesondere bei unvollständigen oder fehlenden Bestandsplänen der Bauwerke sind Maßnahmen erforderlich, um die erforderlichen Informationen zu beschaffen. Ein wirkungsvolles Instrument können hierfür die zerstörungsfreien Prüfverfahren des Bauwesens sein. In dem präsentierten Forschungsprojekt erfolgte die Rekonstruktion eines Bestandsplanes direkt auf die Anforderungen des mit der Nachrechnung beauftragten Ingenieurbüros. Darüber hinaus wurde der Entwurf eines Leitfadens erstellt, der im Falle von unvollständigen oder fehlenden Bestandsplänen die Grundlagen für die Beauftragung und Durchführung der Nachrechnung schafft.

Aktuelle Situation

Die Aufgabe der Straßenbulasträger ist es, ein den Anforderungen der Verkehrsteilnehmer gerecht werdendes Verkehrsnetz zur Verfügung zu stellen und entsprechend zu erhalten. Für Deutschland, als eines der wichtigsten Transitländer in Europa trifft dieses in besonderem Maße zu.

Die größte Verkehrsleistung wird auf den Bundesautobahnen erbracht, aber auch das weitere Straßennetz ist für die Wirtschaft unerlässlich, denn letztendlich muss eine Ladung vom Abgangsort (Produzent) bis zum Bestimmungsort (Abnehmer) möglichst störungs- und unfallfrei sowie wirtschaftlich transportiert werden können.

Dieses Netz der Bundesautobahnen ist zum Großteil in den 60er bis 80er Jahren des letzten Jahrhunderts entstanden und befindet sich somit seit 30 bis 50 Jahre unter Verkehr.

Dieser heutige Verkehr und hierbei insbesondere der Schwer- und Schwerlastverkehr entspricht in weiten Teilen nach Art und Anzahl nicht mehr dem Verkehr für den die Bauwerke ursprünglich ausgelegt worden sind. Man kann in vielen Bereichen hier von einer Nutzungsänderung sprechen, denn der wachsende Verkehr konnte vielerorts nur durch Erweiterungsmaßnahmen z.B. von 2 auf 4 oder von 4 auf 6 Fahrstreifen bewältigt werden. Nicht immer sind diese Maßnahmen verträglich mit dem statischen System erfolgt. So befand sich die LKW-Fahrspur der Leverkusener-Rheinbrücke ursprünglich direkt über einem der Hauptträger. Durch die

Fahrspurverbreiterung wurde diese Lastspur in den Bereich des Kragarms verlegt. Die Folgen daraus sind ein wichtiger Teil des heutigen Zustandes dieser Brücke.

Aber nicht nur Erweiterungsmaßnahmen haben ihren Einfluss auf den Zustand der Brücken. Nicht immer verfügten die eingebauten Baustoffe über die notwendige Qualität und auch der Einbau selbst erfolgte nicht immer fehlerfrei. Zudem entsprachen die damaligen Regelwerke nicht unserem heutigen Wissenstand. Insbesondere die Anwendung der zu dieser Zeit noch recht neuen Spannbetonbauweise führte zu erheblichen Problemen in den folgenden Jahren und da diese Bauweise Ende der 60er bis in die 89er hinein die bevorzugte Bauweise war, sind die Probleme nur singulär, sondern im gesamten Straßennetz vorhanden. Eine Unterteilung des Brückenbestandes nach den vornehmlich verwendeten Baustoffen findet sich in der Abbildung 1 wieder. Es ist zu erkennen, dass die Spannbetonbauweise einen wesentlichen Anteil des Gesamtbestandes einnimmt.

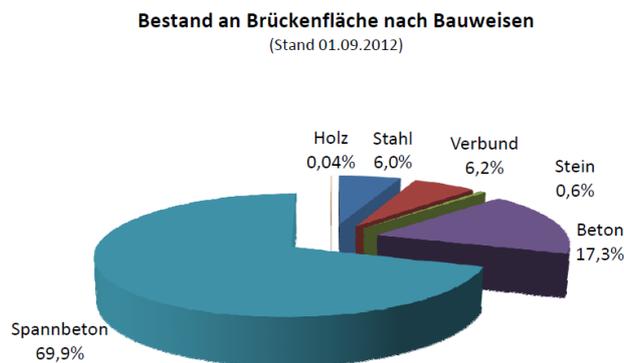


Abbildung 1: Hauptbaustoffe der Brücken der Bundesfernstraßen [5]

Damit die zukünftig zu erwartenden Verkehre zuverlässig auf den Straßen abgewickelt werden können, ist es notwendig die Brücken zukunftsfähig zu machen. Hierfür muss der innere und äußere Zustand der Brücken erfasst und bewertet werden, um damit entsprechende Erhaltungsstrategien entwickeln zu können. Denn ohne entsprechende Erhaltungsstrategien auf Objekt- und auf Netzebene könnte zukünftig der Verkehr insbesondere auf den Bundesfernstraßen nicht aufrechterhalten werden. Daher wird im nachfolgenden Abschnitt kurz erläutert, wie die regelmäßige Bauwerksprüfung durchgeführt wird und wie die Belange der speziellen konstruktiven Schwachstellen erfasst und bewertet werden können. Für Spannbetonbrücken haben sich nachfolgende Mängel als möglicherweise standsicherheitsgefährdend herausgestellt:

- Koppelfugenproblematik
- Spannungsrisseempfindlicher Spannstahl
- keine ausreichende Schubdeckung.

Zustandserfassung und Bewertung der Bauwerke

Alle Brücken und sonstigen Ingenieurbauwerke, im Zuge von Straßen sind regelmäßig einer visuellen Bauwerksprüfung zu unterziehen. Basis dafür sind die Regelungen der DIN 1076. Danach sind alle Bauteile der Bauwerke alle 6 Jahre handnah zu prüfen. Dieses bedeutet eine visuelle Prüfung und Bewertung der sichtbaren Schäden und Mängel. Wenn der Bauwerksprüfer einen Schaden nicht eindeutig bewerten kann oder den Verdacht auf versteckte Mängel hat, ist eine Objektbezogene Schadenanalyse (OSA) zu veranlassen, um die für eine sachgerechte Beurteilung fehlenden Informationen zu bekommen.

Bei diesem Vorgehen können aber nur die visuell sichtbaren Schäden und Mängel erkannt und bewertet werden. Schädigungen oder Schwachstellen, die sich im Inneren der Konstruktion befinden und noch nicht zu sichtbaren äußeren Schäden geführt haben, werden im Allgemeinen nicht erkannt. Daher gibt es hierfür Möglichkeiten zusätzliche Informationen zu bekommen, indem Objektbezogene Schadensanalysen (OSA) [OSA] durchgeführt werden. Hierbei werden durch zusätzliche Untersuchungen, zum Beispiel mit Hilfe von zerstörungsfreien Prüfverfahren für eine abschließende Bewertung notwendige Informationen ermittelt.

In diesen Bereich zusätzlicher Untersuchungen fallen auch Nachrechnungen von Brückenbauwerken. Wenn bekannt ist oder vermutet wird, dass eine Brücke aufgrund bestimmter konstruktiver Schwachstellen in Verbindung mit der aktuellen Zustandserfassung gemäß DIN 1076 aus statisch-konstruktiver Sicht nicht mehr zukunftsfähig oder akut gefährdet ist, hat der Baulasträger eine Nachrechnung durchzuführen oder durchführen zu lassen.

Im Zuge der Nachrechnungen von bestehenden Brücken ist festgestellt worden, dass die Anwendung der jeweils gültigen Normen und Regelwerke nicht immer zielführend ist und Bauwerke rein rechnerisch nicht mehr tragfähig sind, obwohl Sie keine oder nur geringe Schädigungen aufweisen und sich unter Verkehr befinden.

Daher ist eine sogenannte Nachrechnungsrichtlinie (NRR) [3] zwischen Bund und Ländern erarbeitet und 2011 veröffentlicht worden.

Kernbestandteil dieser Richtlinie ist ein mehrstufiges Verfahren. Dieses reicht von der Nachrechnung auf Basis der aktuellen Regelwerke über die Reduzierung von Teilsicherheitsbeiwerten, Einführung von Kompensationsmaßnahmen (z.B. sensorbasiertes Monitoring) bis hin zu neuesten wissenschaftlichen Verfahren.



Abbildung 2: Darstellung der vier Stufen der Nachrechnung mit Möglichkeiten der unterschiedlichen Bauwerksuntersuchungen [8]

Die Nachrechnung nach vorhandenen Regelwerken bzw. auf Basis reduzierter Teilsicherheitsbeiwerte erfordert die genaue Kenntnis über die realen äußeren und inneren Abmessungen und Baustoffkennwerte. Mit inneren Abmessungen sind die Lage, der Zustand und die Anzahl von Spannbewehrung und schlaffer Bewehrung gemeint. Während

für den Bereich der Bundesfernstraßen im Allgemeinen davon ausgegangen werden kann, dass Bestandsunterlagen vorliegen, ist das für das weitere Straßennetz nicht immer gewährleistet.

Während die äußeren Abmessungen recht einfach durch ein Aufmaß vor Ort erfasst und dabei Materialproben zur Bestimmung deren Festigkeit genommen werden können, stellt sich das Erfassen der Bewehrungen schon als deutlich schwieriger dar. Vor allem vor dem Hintergrund, dass die Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion) [4] einen statischen Nachweis in den 1/10-Punkten erfordert.

Daher war es Ziel eines Forschungsprojektes einen Herangehensweise zu entwickeln, wie mit Hilfe von ZfP-Verfahren gezielt fehlende Konstruktionsangaben von Brücken bzw. deren Bauteilen zu ermitteln und damit die Erstellung von Bestandplänen u.a. für die Nachrechnung zu ermöglichen bzw. entscheidend zu unterstützen. Damit die Erkenntnisse auch auf andere Brücken angewendet werden können, war der erste Entwurf eines Leitfadens zu entwickeln.

Bauwerk - Leinebrücke

Als Untersuchungsobjekt für die Forschungsarbeit wurde eine Brücke über die Leine, im weiteren Verlauf - Leinebrücke - genannt, bei Schwarmstedt im Heide-Kreis ausgewählt, Abbildung 3. Das Brückenbauwerk befindet sich aktuell in der Nachrechnung. Das Bauwerk hat, in einer durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) 2010 herausgegebenen Liste, die höchste Priorität für die Nachrechnung. Die für eine Nachrechnung erforderlichen Bestandsunterlagen sind nicht vollständig vorhanden. Sie beschränken sich auf das Bauwerksbuch [6], Informationen aus den Bautagebüchern, Berichten von Sonderprüfungen im Rahmen von Objektbezogenen Schadensanalysen (OSA) [OSA], dokumentierten Schriftwechseln aus der Bauphase und weiteren Literaturquellen.



Abbildung 3: Örtliche Lage des Bauwerkes [6]



Abbildung 4: Übersichtsfoto der Brücke über die Leine bei Schwarmstedt [6]

Bei der Leinebrücke handelt es sich um eine Spannbetonbrücke, die im Jahr 1953 von der Firma Philipp Holzmann erbaut wurde. Das Bauwerk ist 139,30 m lang und hat eine maximale Breite im Querprofil von 12,30 m. Das statische System entspricht einem Dreifeldträger mit Durchlaufwirkung. Im Freiwasserbereich der Leine befindet sich die Hauptstützweite von 70,00 m. Die Stützweite der seitlichen Felder beträgt 32,65 m [6].



Abbildung 5: Ansicht des Bauwerkes im Freiwasserbereich der Leine



Abbildung 6: Ansicht des Hohlkastens im westlichen Stützenbereich

Im Stützenbereich ist die dreistegige Plattenbalkenkonstruktion durch eine unten liegende Druckplatte in eine Hohlkastenkonstruktion überführt, Abbildung 5. Die Fahrbahnplatte ist als Vollquerschnitt mit Quervorspannung ausgeführt. Die Längsvorspannung wird durch in den Stegen liegende sowie durch seitlich an den Stegen geführte Spannglieder erzeugt, Abbildung 6.

Methodik des Vorgehens der ZfPBau-Untersuchungen

Die Planung der Untersuchungen mit den ZfPBau-Verfahren erfolgte in dem Forschungsprojekt, eingebunden in die Fragestellungen und Anforderungen des mit der Nachrechnung beauftragten Ingenieurbüros. Grundsätzlich wurden hierbei zwei Strategien verfolgt. Zum einen sollten möglichst zeitnah Informationen über die innere Struktur gewonnen werden, um die Nachrechnung zu ermöglichen. Zum anderen galt es Möglichkeiten zu erkunden (Sensitivitätsanalyse), die eine wirtschaftliche Planung von ZfPBau-Untersuchungen im Vorfeld einer Nachrechnung bedarfsgerecht ermöglichen. Aus diesem Grund wurde sich mit allen Projektbeteiligten auf folgendes Vorgehen geeinigt:

- Es erfolgte eine umfassende Datenerhebung des Bauwerkes auf der Basis der Forderungen des mit der Nachrechnung beauftragten Ingenieurbüros.
- Parallel zu den Untersuchungen wird die Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

Die beiden genannten Punkte werden nachfolgend kurz erläutert.

Umfassende Datenerhebung am Bauwerk

Durch das nachrechnende Ingenieurbüro wurden zentrale Fragestellungen formuliert, die für die ZfPBau-Untersuchungen relevant sind. Von Interesse sind hierbei insbesondere die Art und Verteilung der Bewehrung, die Beurteilung der Materialkennwerte des Betons sowie eine Einschätzung des Zustandes der Spannglieder einschließlich einer Abschätzung der Vorspannkraft. Da eine vollständige Untersuchung des Bauwerkes mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht sinnvoll ist, wurden weiterführende Festlegungen und Annahmen getroffen. Wesentliche Punkte hierbei sind:

- Der Querschnitt des Bauwerkes wird insgesamt als ausgewogen betrachtet.
- Hinsichtlich der konstruktiven Ausbildung ist der Mittelträger eventuell gesondert zu betrachten.
- Der nördliche Längsträger soll nach Möglichkeit großflächig (insbesondere von den

Seitenflächen) mit den ZfPBau-Verfahren erfasst werden, Abbildung 7.

- An dem Längsträger (mit überlaufendem) Fußweg und dem Mittelträger sollen stichpunktartige Messungen durchgeführt werden. Als idealer Abstand werden die in der Handlungsanweisung [4] genannten 1/10 Punkte angesehen, Abbildung 7.
- In den Längsträgern sollen insgesamt 12 Probenentnahmen zur Bestimmung der Materialkennwerte des Betons erfolgen. Diese Untersuchungen erfolgen wie schon in Punkt 4 auf Basis der Handlungsanweisung [4] in den 1/10 Punkten des Bauwerkes.
- Zur Ermittlung der Materialeigenschaften und der Dimension der Spannglieder sind 3 Beprobungen vorgesehen. Hierbei soll aus jedem Längsträger eine Probe entnommen werden.
- Die Abschätzung der Vorspannkraft erfolgt anhand von einzelnen Spannlitzen in den Bereichen in denen die Dimension und der Zustand der Spannglieder stichpunktartig geprüft werden.
- Aus den Unterlagen geht hervor, dass vertikale Schubnadeln verbaut wurden. Die Art und die Lage der Schubnadeln sollen bestimmt werden. In den ersten Betrachtungen werden diese aber nicht rechnerisch angesetzt.

Eine vollständige Auflistung der getroffenen Festlegungen und Annahmen findet sich im Forschungsbericht zu dem Projekt wieder [1].

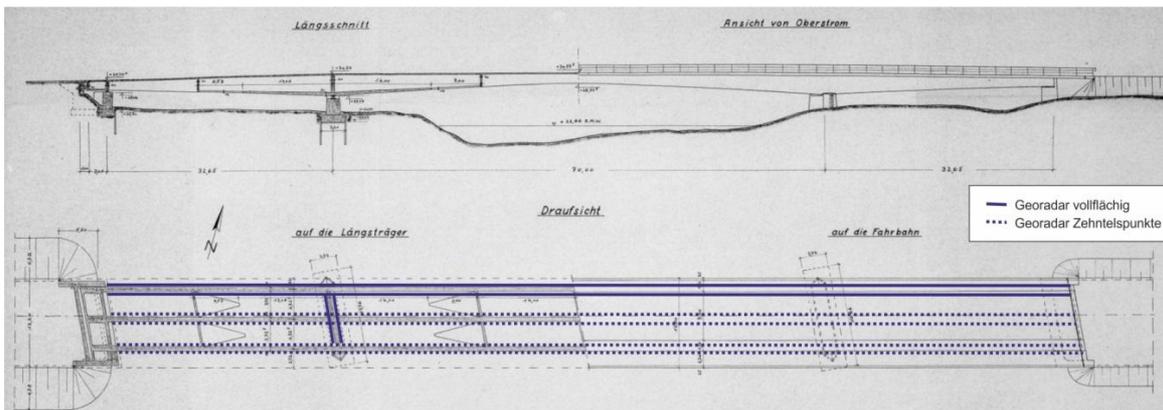


Abbildung 7: Darstellung der Bereiche für die Ermittlung der Art und Lage der Bewehrung

Im Vorfeld der Untersuchungen wurden verschiedene Möglichkeiten des Zugangs zum Bauwerk verglichen. Als Zugangstechnik zum Bauwerk wurde im Ergebnis der Überlegungen ein Unterflurgerät gewählt. Das Unterflurgerät bietet in diesem Fall die höchste Flexibilität gegenüber beispielsweise einer Einrüstung.

Sensitivitätsanalyse

Mit der Durchführung einer Sensitivitätsanalyse an der Leinebrücke soll gezeigt werden, wie sich auf den so gewonnenen Erkenntnissen zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchungen bedarfsgerecht planen lassen. Mit der Sensitivitätsanalyse steht dem nachrechnenden Ingenieurbüro ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem Bereiche von besonderer statischer Relevanz einfach erkannt werden können. Über Wichtungsfaktoren kann anschließend der Einfluss angegeben werden. Die Sensitivitätsanalyse erfolgt im Rahmen der Berechnung der Zuverlässigkeit des Bauwerkes mit probabilistischen Verfahren [2].

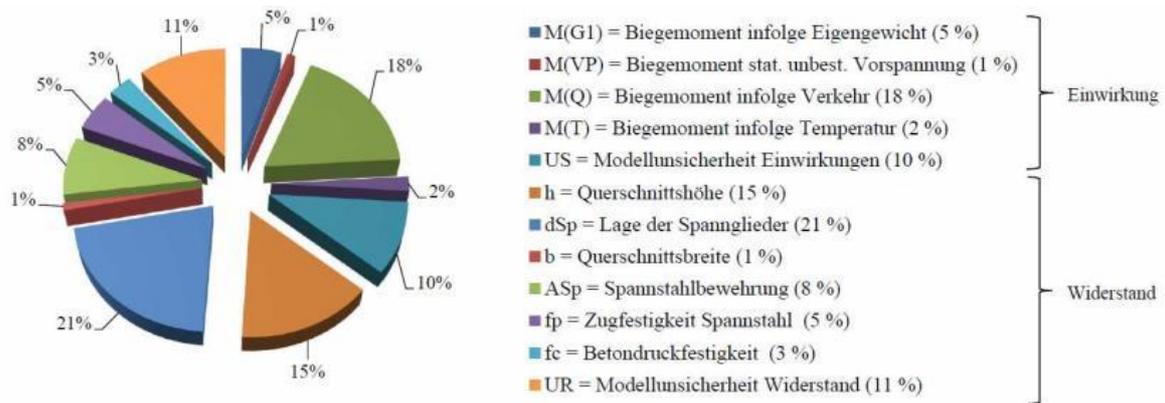


Abbildung 8: Beispielhafte Darstellung der Ergebnisse einer Sensitivitätsanalyse [1]

Abbildung 8 zeigt ein Ergebnis einer solchen Sensitivitätsanalyse für die Biegetragfähigkeit des nördlichen Plattenbalkens im Freiwasserbereich. In dem Kreisdiagramm lassen sich sehr einfach die maßgebenden Parameter bestimmen. Erwartungsgemäß hat beispielsweise die Lage der Spannglieder im Querschnitt (Höhenlage) an dieser Stelle einen besonders großen Einfluss. Das bedeutet für die Planung von ZfPBau-Messungen, dass in diesem Bereich die Lage der Spannglieder mit einem entsprechenden Verfahren (z.B. Radar) überprüft werden sollte [1].

Durchführung und Ergebnisse der ZfPBau-Untersuchungen

Bewehrungsortung

Die Ortung der Bewehrung an dem Bauwerk erfolgte mit dem Georadar. Bei den Messungen wurden verschiedene Messsysteme parallel verwendet. Hierbei kamen hochfrequente Antennen mit Frequenzen von 2,6 GHz und 1,5 GHz zur Anwendung. Der nördliche Plattenbalken wurde an der Außen- und Innenseite vollflächig gemessen, Abbildung 9. Die Messlinien am nördlichen Plattenbalken wurden in einem gleichförmigen Raster mit einem Abstand von 10 cm aufgezeichnet. In den Messbereichen am mittleren und südlichen Plattenbalken erfolgte eine Aufweitung des horizontalen Abstandes auf 20 cm.



Abbildung 9: Bewehrungsortung vom Unterflurgerät am nördlichen Plattenbalken [1]



Abbildung 10: Manuelle Messung mit dem Georadar auf einer gitterförmig bedruckten Folie [1]

Die Messdaten der Radaruntersuchungen wurden im Anschluss an die Aufnahme prozessiert. Hierfür werden sie gefiltert und migriert. In Abbildung 11 ist beispielhaft das Ergebnis für einen Bereich des nördlichen Plattenbalkens in einer Tiefe von 4,0 cm zu sehen. Deutlich zeichnet sich hier die schlaffe Bewehrung in horizontaler und vertikaler Richtung ab. Eine tiefere Schnittebene desselben Bereiches ist in der Abbildung 12 zu

sehen. In einer Tiefe von 8,0 cm sind hier sehr gut die horizontal verlaufenden Längsspannglieder zu erkennen.

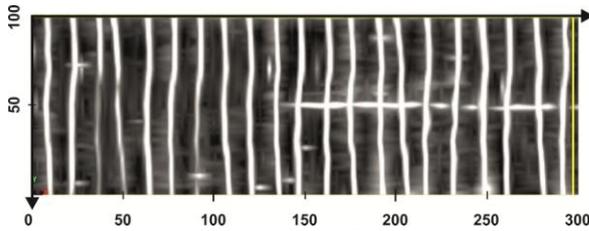


Abbildung 11: Rekonstruierte Radardaten in einem Schnitt mit einer Tiefe von 4,0 cm [1]

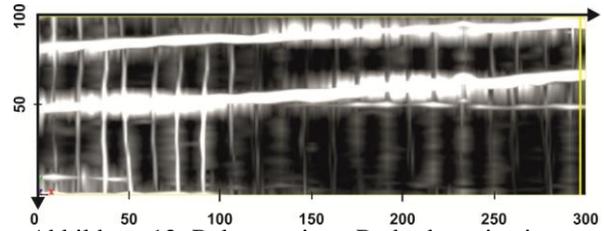


Abbildung 12: Rekonstruierte Radardaten in einem Schnitt mit einer Tiefe von 8,0 cm [1]

Die rekonstruierten Datensätze werden anschließend in eine technische Zeichnung übertragen, Abbildung 13. Hierin ist die Bewehrung mit den verschiedenen Tiefenlagen sehr gut zu erkennen. Aus den Radardaten kann gegenwärtig nicht auf den Durchmesser der Bewehrung geschlossen werden. Hierfür erfolgten an verschiedenen Stellen des Bauwerkes Öffnungen bei einer gleichzeitigen Probenentnahme zur Charakterisierung des Stahls.

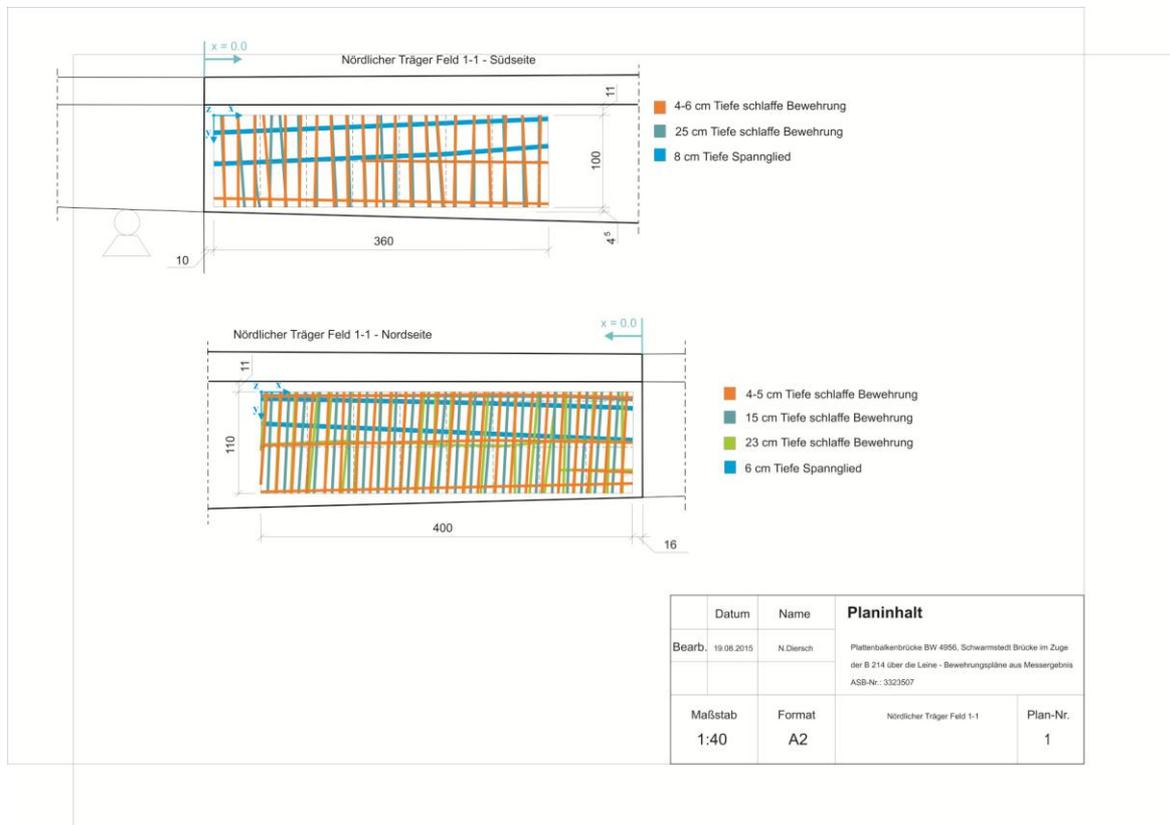


Abbildung 13: Technische Darstellung der vorhandenen Bewehrung rekonstruiert aus den Radardaten in einem Bereich des nördlichen Plattenbalkens [1]

In den noch vorhandenen Bestandsunterlagen war angegeben, dass in dem Bauwerk vertikale Schubnadeln verbaut wurden. Die Art und Lage der Schubnadeln war nicht bekannt. Bei der Detailauswertung der Radardaten konnten die Schubnadeln in den Bereichen der Stützen detektiert werden, Abbildung 14. In der Detailansicht ist gut zu erkennen, dass keine Aussagen zur Verankerung der Schubnadeln im unteren Bereich gemacht werden können. Es zeichnen sich keine Ankerplatten oder ähnliches ab. Es wurde daher beschlossen eine Bauteilöffnung durchzuführen.

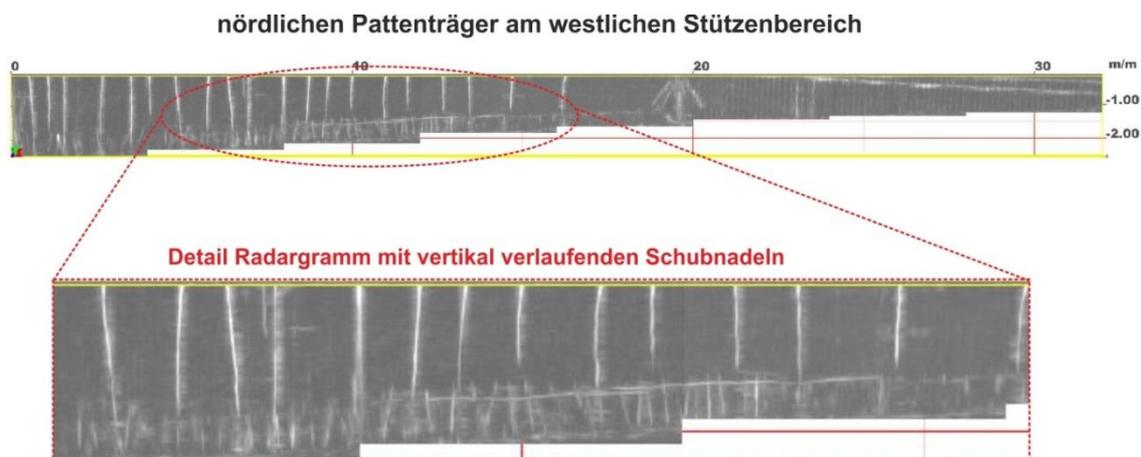


Abbildung 14: Radargramm in einer Schnittansicht in einer Tiefe von 10,0 cm bis 15,0 cm mit den durch die vertikalen Schubnadeln hervorgerufenen Reflexionen [1]

Die Bauteilöffnung erfolgte mit dem Höchst-Druck-Wasserstrahlverfahren (HDW) an einer mit dem Radarverfahren exakt eingemessenen Position. Das Ergebnis der Öffnung ist in Abbildung 15 dargestellt. Sehr gut ist zu erkennen, dass es sich um eine fächerförmige Verankerung handelt. In der Literatur [7] ist eine mögliche Verankerungsmethode dokumentiert. In wie weit die vertikale Schubbewehrung bei der Nachrechnung angesetzt werden kann, war zum Zeitpunkt der ZfPBau-Untersuchungen noch nicht abschließend geklärt.



Abbildung 15: Verifizierung der Verankerung der vertikalen Schubnadeln [1]

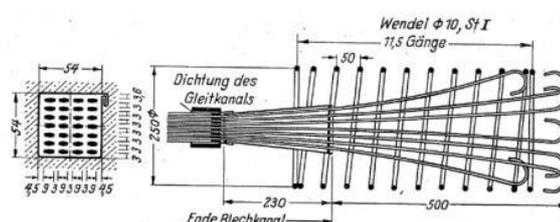


Bild 3.29 Fächerverankerung von 12 quergewirpten Ovaldrähten, würde auch ohne Endhaken halten (Beton- und Monierbau AG)

Abbildung 16: Mögliche Rückverankerung aus einer Literaturrecherche [7]

Abschätzung der Vorspannkraft

Im Zusammenhang mit der Beurteilung des Zustandes der Spannglieder wurden an der Leinebrücke Messungen zur Abschätzung der Vorspannkraft durchgeführt. Hierfür kommt ein kaum verbreitetes Prüfverfahren zur Anwendung [9]. Bei dem Verfahren handelt es sich um ein mechanisches Verfahren (statische Auslenkmethode). Bei dem Prüfverfahren wird eine einzelne Spannlitze aus ihrer Lage mit einer definierten Kraft ausgelenkt. Die Spannlitze wird hierbei von einem Bügelsystem an zwei Aufstandspunkten fixiert, Abbildung 17. Aus dem Verhältnis von Auslenkkraft und Auslenkung kann die Federkonstante berechnet werden. Für die Untersuchung ist es erforderlich, dass die Spannlitze freigelegt wird, Abbildung 19.



Abbildung 17: Statische Auslenkmethode an einem Querspannglied der Brücke [1]



Abbildung 18: Kalibriermessung an einer entnommenen Spannlitze [1]

Um die Genauigkeit der Messungen zu erhöhen, können zusätzlich Kalibriermessungen durchgeführt werden, Abbildung 18. Diese Messungen erfolgen im Labor idealer Weise an entnommenen Spannlitzen. Mit dieser Vorgehensweise kann eine Genauigkeit bei der Bestimmung der Vorspannkraft von $\pm 5\%$ erreicht werden. Für die Kalibrierung können aber auch Rückstellproben der entsprechenden Stähle verwendet werden.



Abbildung 19: Bügelvorrichtung am Brückenbauwerk [1]

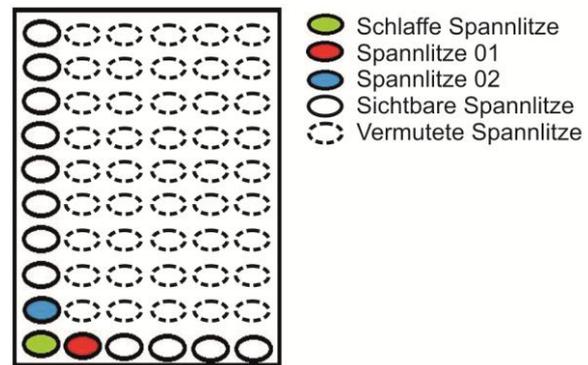


Abbildung 20: Schematische Darstellung der untersuchten Spannlitzen [1]

Abbildung 19 zeigt die Prüfvorrichtung am südlichen Plattenbalken. Störende Schwingungen bei der Messung waren trotz des laufenden Verkehrs nicht festzustellen. Die gemessenen Spannlitzen sind beispielhaft in der Abbildung 20 dargestellt. In der unteren linken Ecke (grüne Färbung) war eine spannungslose Litze. Diese wurde entfernt und eine Messung an den beiden farblich markierten Spannlitzen durchgeführt. Spannlitze 01 hatte hierbei eine Vorspannung von 15,8 kN ($\pm 0,9$ kN) und Spannlitze 02 15,9 kN ($\pm 0,8$ kN). Die Vorspannung bei den Messungen der Spannlitzen lag insgesamt in einem Bereich 8,4 kN bis 16,3 kN. Bei einigen Spannlitzen wurden höhere Messwerte bestimmt. Dies war auf Probleme bei der Durchführung der Messung zurückzuführen, da die Spannlitzen nicht zwangungsfrei ausgelenkt werden konnten.

Materialkennwerte Beton

Die Abschätzung der Druckfestigkeit des Betons erfolgte mit dem Rückprallhammer, Abbildung 21. Bei diesem zerstörungsfreien Prüfverfahren handelt es sich um das einzige in Deutschland genormte Prüfverfahren für die Anwendung an Betonbauteilen. Bei dem Prüfverfahren wird der Zusammenhang von Oberflächenhärte des Betons und der Druckfestigkeit aufgestellt. Entsprechend der Norm DIN EN 13791:2008 kann die Abschätzung auf verschiedene Weisen erfolgen. Es ist zum Beispiel eine direkt Abschätzung

zulässig aber auch eine Abschätzung über die Erstellung einer Bezugskurve über die Bestimmung der Materialkennwerte durch eine Probenentnahme. Die zweite Möglichkeit führt hierbei zu einer genaueren Abschätzung und wurde im Rahmen des Forschungsprojektes angewendet.

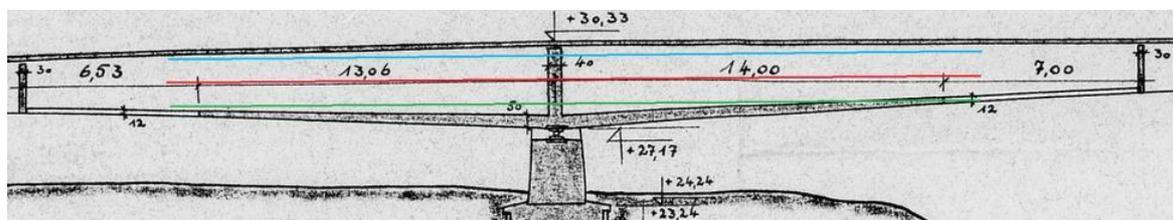


Abbildung 21: Untersuchung mit dem Rückprallhammer an der Leinebrücke [1]



Abbildung 22: Untersuchungsgebiete für die Rückprallhammermessungen [1]

Abbildung 22 zeigt einen Untersuchungsbereich im Hohlkasten an der westlichen Stütze. Zu sehen sind 3 Bereiche in verschiedenen Höhenlagen mit jeweils 9 Messfelder in denen 15 Messungen durchgeführt wurden. Auf diese Weise können eventuelle Unterschiede in der Materialzusammensetzung über die Höhe des Trägers erfasst werden. Die Bezugskurve wurde mit Hilfe von insgesamt 17 Bohrkernen erstellt. Einschränkend ist festzuhalten, dass es sich hierbei um eine erste Näherung zur Beurteilung der Druckfestigkeit handelt, da davon ausgegangen wird, dass die 17 Bohrkern für das gesamte Bauwerk repräsentativ sind. Die Untersuchungen wurden über die Bauwerkslänge in jedem Plattenbalken in den 1/10-Punkten durchgeführt.



Betondruckfestigkeit am Auflager südlicher Träger

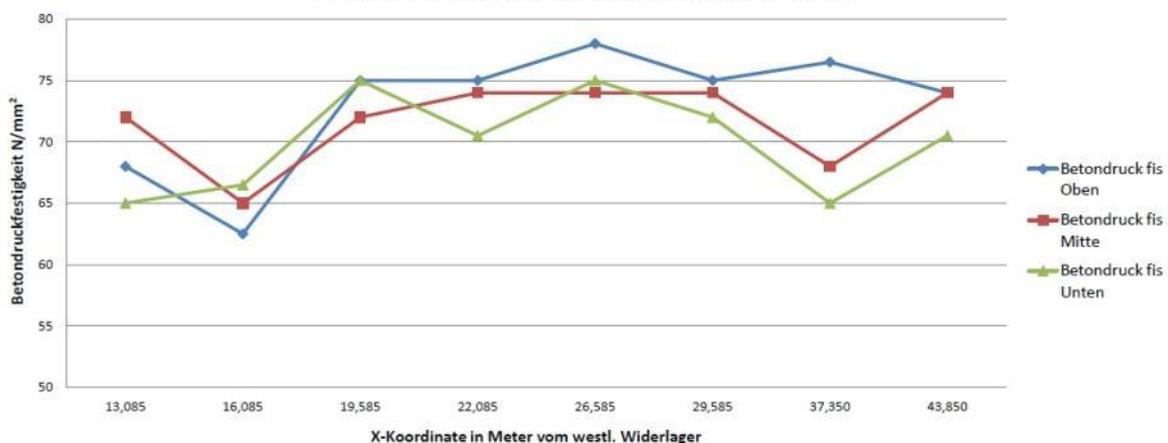


Abbildung 23: Materialkennwerte im Stützenbereich des südlichen Plattenbalkens [1]

Abbildung 23 zeigt in einer Übersichtsdarstellung den Bereich und die Ergebnisse der Abschätzung der Materialkennwerte durch den Rückprallhammer. Es zeigt sich, dass die abgeschätzten Betondruckfestigkeiten ähnlich sind. Lediglich bei der x-Koordinate von

37,35 m ist die abgeschätzte Druckfestigkeit im Vergleich etwas größer. Die Abweichung der Druckfestigkeit befindet sich in einer Größenordnung, die entsprechend der durch die Norm vorgegebenen Stufung nicht relevant ist.

Entwurf eines Leitfadens

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Entwurf für einen Leitfaden erstellt. Der endgültige Leitfaden soll dazu dienen den Straßenbauverwaltungen und mit der Nachrechnung betrauten Ingenieurbüros auch bei nicht vorhandenen Unterlagen oder unklarer Aktenlage die Grundlage für die Nachrechnung der entsprechenden Bauwerke zu schaffen. So wurden die für die Nachrechnung relevanten Kennwerte, wie zum Beispiel geometrische Kennwerte, die mit den ZfPBau-Verfahren bestimmt werden können zusammengestellt.

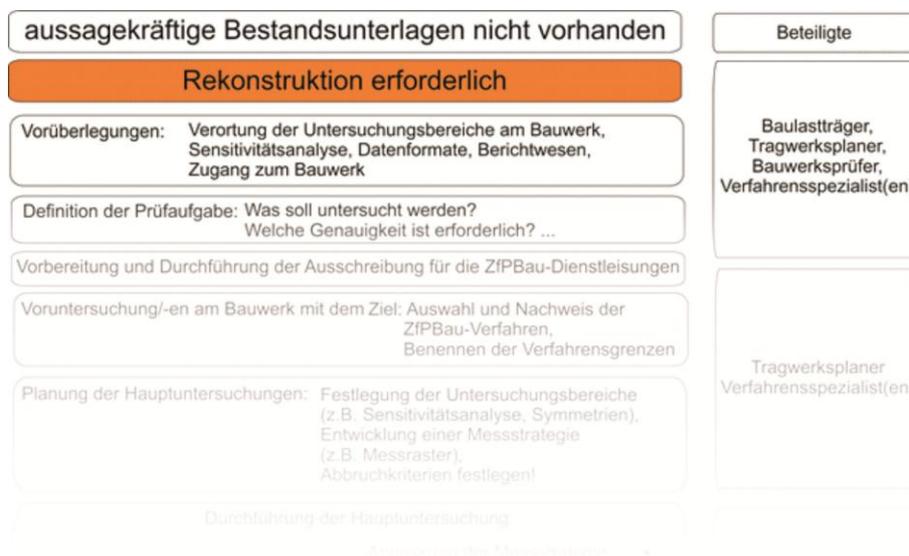


Abbildung 24: Auszug des Blockdiagramms zum allgemeinen Ablauf einschließlich der verantwortlich Beteiligten an der Nachrechnung [1]

Neben der Zusammenstellung der Kennwerte die mit den ZfPBau-Verfahren bestimmt werden können, erfolgte eine Darstellung eines möglichen Ablaufes der Rekonstruktion eines Bestandsplanes. Hierin werden in der Entwurfsfassung wesentliche Fragestellungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen erfasst. Darüber hinaus werden auch die Verantwortlichkeiten der an der Nachrechnung Beteiligten abgebildet. Die Form des hierfür erstellten Blockdiagramms ist in der Abbildung 24 auszugsweise zu sehen.

Ein wesentliches Ergebnis des Forschungsprojektes ist die Zusammenstellung relevanter Kennwerte die mit den ZfPBau-Verfahren ermittelt werden können. In der Entwurfsfassung für den Leitfaden wurden hierbei insbesondere Kennwerte erfasst, die für die Nachrechnung an der Leinebrücke von Bedeutung waren. Neben der Zuordnung der bautechnischen Kennwerte sind die wichtigsten technischen Regelwerke benannt, Abbildung 25.

Tabelle L 1: Beispielhafte Zusammenstellung der mit Hilfe der zerstörungsfreien Prüfverfahren ermittelbaren Kennwerte, die für die Rekonstruktion von Bestandsplänen im Rahmen einer Nachrechnung von Relevanz sind

Nr.	Bautechnischer Kennwert	Prüfverfahren	Regelwerk	Bemerkungen
1.	Bauteildicke	Ultraschall-Echoverfahren	Merkblatt der DGZfP B4 [DGZfP 1999], RI-ZfP-TU [BAST 2007]	<ul style="list-style-type: none"> Stand der Technik Punktuelle Messungen oder kleine Messflächen möglich Kalibrierung des Verfahrens erforderlich (evt. Beprobung einplanen)
2.		Impakt-Echoverfahren	Merkblatt der DGZfP B11 [DGZfP 2011], RI-ZfP-TU [BAST 2007]	<ul style="list-style-type: none"> Stand der Technik Punktuelle Messungen oder kleine Messflächen möglich Kalibrierung des Verfahrens erforderlich (evt. Beprobung einplanen) Gegenüber dem Ultraschallverfahren geringere Genauigkeit
3.		Radarverfahren	Merkblatt der DGZfP B10 [DGZfP 2008]	<ul style="list-style-type: none"> Stand der Technik Große Messflächen möglich Kalibrierung des Verfahrens erforderlich (evt. Beprobung einplanen) Gegenüber den akustischen Verfahren geringere Genauigkeit
4.		Wirbelstromverfahren	Merkblatt der DGZfP B2 [DGZfP 2014], Merkblatt des DBV [DBV 2011]	<ul style="list-style-type: none"> Stand der Technik Punktuelle Messungen oder kleine Messflächen möglich Durchmesser des Bewehrungsstabes muss bekannt sein
5.		Magnetisches Wechselfeld	Merkblatt der DGZfP B3 [DGZfP 2014]	<ul style="list-style-type: none"> Stand der Technik Punktuelle Messungen oder kleine Messflächen möglich

Abbildung 25: Auszug aus der Tabelle der bautechnischen Kennwerte des Entwurfes für den Leitfaden [1]

Für die Anwender des Leitfadens ist neben den Informationen zur Vorgehensweise und den bautechnischen Kennwerten die mit den ZfPBau-Verfahren bestimmt werden können zusätzlich von Interesse, wie der Aufwand bei der Bestimmung der Kennwerte zu beurteilen ist. Es wurde daher eine grobe Einschätzung in Form einer Tabelle vorgegeben (Abbildung 26), die den erforderlichen Aufwand für verschiedene ZfPBau-Verfahren gegeneinander abschätzt.

Tabelle L 2: Auflistung der Prüfverfahren und Beurteilung des erforderlichen Aufwandes zur Gewinnung geometrischer Kennwerte des Bauwerkes

Nr.	Prüfaufgabe	Prüfverfahren	Aufwand	Bemerkung
1.	Bauteildicke	Vermessungstechnisches Aufmaß	gering	<ul style="list-style-type: none"> bei allseitiger Zugänglichkeit
2.		Ultraschall-Echoverfahren	mittlerer	<ul style="list-style-type: none"> bei großflächigen Untersuchungen sehr zeitintensive Datenerhebung
3.		Impakt-Echoverfahren	mittlerer	<ul style="list-style-type: none"> bei großflächigen Untersuchungen sehr zeitintensive Datenerhebung ungenauer gegenüber dem Ultraschall-Echoverfahren (Nr.2)
4.		Radarverfahren	mittlerer	<ul style="list-style-type: none"> zusätzlicher metallischer Reflektor an der Bauteilrückwand erforderlich starke Abhängigkeit von der Feuchte im Material ungenauer gegenüber dem Ultraschall-Echoverfahren (Nr.2)
5.		Vermessungstechnisches Aufmaß	großer	<ul style="list-style-type: none"> bei geschlossenen (unzugänglichen) Bauteilen (z. B. Hohlkästen, Verdrängungskörpern)
6.		Ultraschall-Transmissionsmessung	großer	<ul style="list-style-type: none"> beidseitige Zugänglichkeit erforderlich komplizierte Positionierung der Messtechnik
7.		Radar-Transmissionsmessungen	großer	<ul style="list-style-type: none"> beidseitige Zugänglichkeit erforderlich komplizierte Positionierung der Messtechnik

Abbildung 26: Auszug der tabellarischen Reihung zur Beurteilung des Aufwandes der Ermittlung von Kennwerten für ZfPBau-Verfahren [1]

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Bergisch Gladbach unter finanzieller Beteiligung der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin durchgeführt. Durch die Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr war das Ingenieurbüro WK

Consult Hamburg (WK Consult) mit der Nachrechnung betraut. Wir möchten uns bei allen an dem Forschungsprojekt Beteiligten für die konstruktive und erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken.

Zusammenfassung und Ausblick

In dem Forschungsprojekt wurde an einer realen Nachrechnung erfolgreich gezeigt, dass die ZfPBau-Verfahren einen wesentlichen Beitrag bei der Rekonstruktion von fehlenden oder unvollständigen Bestandsunterlagen leisten können. Es wurde mit den Projektbeteiligten eine Strategie für die Durchführung der Untersuchungen entwickelt, auf der aufbauend die ersten Schritte zur Entwicklung eines Leitfadens erfolgten.

Neben der Erforschung und auch der Validierung der ZfPBau-Verfahren ist es erforderlich die Aus- und Weiterbildung der Anwender dieser Prüfverfahren weiterzuentwickeln. Dies ist möglich in dem auf den bestehenden Programmen aufgebaut und künftig eine aufgabenbezogene Zertifizierung der Anwender erfolgt.

Literatur

- [1] Maack, S., Diersch, N.: Einsatz von zerstörungsfreien Prüfverfahren (ZfP-Verfahren) zur Rekonstruktion von Bestandsplänen als Grundlage für die Nachrechnung, Forschungsbericht BASt, FE 29.0333/2013/BASt, im Druck.
- [2] Braml, T., Wurzer, O.: Probabilistische Berechnungsverfahren als zusätzlicher Baustein der ganzheitlichen Bewertung von Brücken im Bestand. Beton- und Stahlbetonbau, 107, 654–668, 2012.
- [3] BMVBS: Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie). Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011.
- [4] BMVBS: Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion), Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011.
- [5] Bericht: Strategie zur Ertüchtigung der Straßenbrücken im Bestand der Bundesfernstraßen, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013.
- [6] Bauwerksbuch nach DIN 1076, Brücke im Zuge der B214 über die Leine bei Schwarmstedt, ABS-Nr.: 3323 507, IBwNr.: 4956, Stand 27.08.2010.
- [7] Leonhardt, F.: Spannbeton für die Praxis, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1962
- [OSA] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken: Leitfaden Objektbezogene Schadensanalyse OSA.
- [8] Sperlin, D.; Heumann, G.: Anwendungen der Nachrechnungsrichtlinie auf Betonbrücken - Praxisbeispiele aus Sicht eines Ingenieurbüros, VSVI Seminar Brücken- und Ingenieurbau, Braunschweig, 2012.
- [9] Weise, F.; Porzig, E.; Mayer, N.: Bauzustandsanalyse selbsttätig vorgespannter Stahlbetonfachwerkträger im Flughafen Berlin-Tempelhof - Zerstörungsarme Prüfung Artikel aus: Bauingenieur ISSN: 0005-6650 (Deutschland): Jg.74, Nr.7/8, 1999 S.315-324.