

Integritätsprüfung statisch relevanter Bereiche von Spannbetonbrücken mit dem Ultraschallecho, Radar und Remanenzmagnetismus Verfahren

Andreas HASENSTAB^{*}, Andrei WALTHER^{**}, Bernd HILLEMEIER^{***},
Sven HOMBURG^{****}

^{*} Ingenieurbüro Dr. Hasenstab GmbH, Carron-du-Val Str. 17, D-86161 Augsburg,
+49 821 540 162 50, zfp@hasenstab.de

^{**} BauConsulting Brandenburg, Bergstraße 12 14770 Brandenburg
+49 3381 30 85 90, Walther@bauconsulting.com

^{***}Ingenieure für das Bauwesen Prof. Hillemeier & Knapp GmbH, Potsdamer Str. 23/24
14163 Berlin +49 30 805 809 66, hillemeier@zfp-bauwesen.de

^{****}TÜV Rheinland LGA Bautechnik GmbH, Tilly Str. 2 90431 Nürnberg
+49 911 655-55 74, sven.homburg@de.tuv.com

Kurzfassung. Das Zusammenspiel zerstörungsfreier Messverfahren hat das Ziel, eine möglichst genaue Aussage über den Zustand der Spannbewehrung an Tragwerken zu treffen. - Mit der Radartechnik ist die Lage der Spannglieder bei trockener Oberfläche und geringer Bewehrung gut bestimmbar. - Die Ultraschallechotechnik kann der Zustand des Betons um die Spannglieder (Kiesnester, Risse) besonders im Druckbereich überprüfen. - Das Remanenzmagnetismus Verfahren ist zur Ortung von Spanndrahtbrüchen geeignet. So ist durch die Anwendung der Verfahren eine genaue Untersuchung von Spannbetonbrücken möglich, und nach Schadensfällen (Anprall, Überlastung) bzw. Alterungsschäden oder bei "unüblichen Verformungen" kann eine fundierte Aussage getroffen werden. Weiterhin können unter zur Hilfenahme der zerstörungsfrei gewonnenen Ergebnisse Tragwerksplaner die Traglastreserven der Konstruktion zuverlässig abschätzen.

1. Einführung

Schlanke Bauweisen sind im Betonbrückenbau möglich, wenn ergänzend zur schlaffen Bewehrung Spannbewehrung zum Abtrag der Lasten genutzt wird. Die Spannglieder bestehen aus hochveredelten Spannstählen, welche extrem hohe Spannungen aufnehmen können.

So ist es um so ungünstiger, wenn es zu Schäden an der Spannbetonkonstruktion kommt. Diese Schäden können entweder direkt die Spannglieder oder den Beton um die Spannglieder betreffen.

Im folgenden Beitrag wird das Lokalisieren der Spannglieder, die Untersuchung des Betons um die Spannglieder und die Untersuchung der Spannglieder selbst mit zerstörungsfreien Prüfmethode beschrieben.

In der Baupraxis wird unter zerstörungsfreier Prüfung (zFP) häufig nur eine Sichtprüfung und die Anwendung des Rückprallhammers verstanden. Zusätzlich zu diesen relativ einfachen Verfahren stehen für die Bestandsuntersuchung noch eine große Anzahl von zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Verfügung. In den letzten Jahren haben sich z. B.



Impact-Echo, Radar, Ultraschall und Radiographie etabliert. Eine grobe Zusammenstellung der verwendeten Verfahren kann Tabelle 1 entnommen werden. Eine umfangreiche Liste der zFP-Bau-Verfahren kann dem Kompendium der BAM [1], dem Bauphysikkalender [2] oder [3] entnommen werden. Die Ziele der zerstörungsfreien Prüfung kann dem folgenden Kapitel entnommen werden.

Tabelle 1: Zerstörungsfreie Prüfverfahren im Bauwesen (zFPBau) [3]

Elektromagnetische Verfahren:	Akustische Verfahren:	Sonstige Verfahren:
Radar	Ultraschall Echo	Bohrwiderstand
Thermographie (passiv / aktiv)	Impact Echo	
Durchstrahlung	Pfahlprüfung	

2. Ziele der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen und Messverfahren

Das Ziel einer Anwendung der ZFPBau-Verfahren ist

- die zerstörungsfreie Bauwerksuntersuchung,
- frühes Erkennen und Eingrenzung von Schäden,
- die Kostenabschätzung bei Instandsetzung sowie
- die zerstörungsfreie Dokumentation und Integritätsprüfung des Bauteilzustandes.

2.1. Ultraschallecho

Die Ultraschall-Echotechnik beruht auf der Reflexion von Schallwellen an Diskontinuitäten wie Werkstoff-inhomogenitäten, Grenzflächen, Hohlstellen oder der Bauteilrückwand. Im Bauwesen kann Ultraschallecho an Beton [4], [5] und Holz [6], [7] angewendet werden zur

- Bestimmung von Bauteilabmessungen (gleichmäßige Dicke, Aussparungen),
- Ortung von Schäden (Hohlstellen, Kiesnester, Ablösungen, Rissen parallel zur Oberfläche, Fäulnis, Äste) sowie
- Ortung von Schichtwechselln und stofflichen Inhomogenitäten.

Bei Vorhandensein eines Echosignals von der Bauteilrückseite kann davon ausgegangen werden, dass das Bauteil ungeschädigt ist und sich keine inneren Schäden im Bauteil befinden.

2.2. Radar (auch Impulsradar, Georadar)

Radar ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, mit dem Störungen und Inhomogenitäten in massiven Körpern (Bauwerken, Bauteilen, Boden) durch Reflexionen von elektromagnetischen Wellen festgestellt werden können. Gemessen wird die Laufzeit und Amplitude der empfangenen Radarwellen und deren Messposition. Das Radarverfahren ist besonders für die Detektion von Metall in Bauwerken geeignet. Eine detailliertere Beschreibung kann [2] entnommen werden.

2.3. Remanenzmagnetismus Verfahren (erkläre ruhig recht viel, fülle die Seite!)

Das Verfahren der magnetischen Spanndrahtbruchortung beruht auf dem Effekt, dass sich an der Bruchstelle eines magnetisierten Körpers eine Dipolverteilung aus. Das magnetische Streufeld an der Bruchstelle eines magnetisierten Spanndrahts gleicht dem an der Bruchstelle eines Stabmagneten (siehe Abb. 1). Betrachtet man die transversale Komponente der magnetischen Flussdichte (orthogonal zum Spannglied gerichtet) an der Betonoberfläche, so zeigt sich an Bruchstellen einzelner Spanndrähte eines Spannglieds ein charakteristisches Bruchsignal.

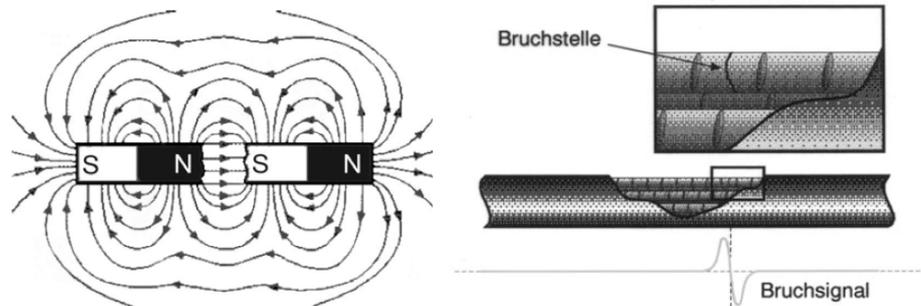


Abbildung 1: Ausbildung magnetischer Streufelder an Brüchen (Prinzip Darstellung)

Das magnetische Streufeldverfahren wird seit über 80 Jahren in der Werkstoffprüfung wissenschaftlich genutzt. Im Bauwesen nutzt man es zur Ortung von Spanndrahtbrüchen seit Ende der Achtzigerjahre. Anfänglich konnte das Verfahren nur bei Spannbeton mit direktem Verbund eingesetzt werden [8]. In den Neunzigerjahren wurde das Verfahren von zwei Arbeitsgruppen unabhängig voneinander für die Anwendung auf Spannbeton mit nachträglichem Verbund weiterentwickelt. Seit Mitte der Neunzigerjahre kann das Verfahren auf praktisch alle Spannbetonbauteile bei verschiedenen Randbedingungen angewandt werden [9]. Der Messablauf war unabhängig von der Art des untersuchten Bauteils stets gleich: Das Spannglied musste, bis es bis remanent aufmagnetisiert war, mehrmals von einem elektromagnetischen Jochmagneten entlang seiner Projektionslinie auf der Betonoberfläche „überfahren“ werden. Nach den einzelnen Magnetisierungsschritten wurde die magnetische Flussdichte mit magnetischen Sensoren (z. B. Hallsonden) entlang dieser Projektionslinie gemessen (Abb. 2).



Abbildung 2: Messung des Streufelds einer Brückenplatte mit herkömmlicher Messtechnik [TU Berlin, Fachgebiet Baustoffe und Baustoffprüfung]

Dieser Messvorgang ist zeitaufwendig und lässt sich nach heutigem Kenntnisstand nur durch den Einsatz eines größeren Magneten und den Einsatz von magnetischen Sensoren, die größere Flächen erfassen, beschleunigen. Müssen Magnet und Sensorik seitlich oder unterhalb des Bauteils an diesem entlang geführt werden, stößt man bei dem Wunsch nach

größeren und damit effizienteren Geräten schnell an Gewichtsgrenzen. Erstens ist die Zugänglichkeit zu den Bauteilen häufig eingeschränkt, zweitens ist die Masse des Magneten, der für derartige Messungen eingesetzt wird, bereits so groß, dass jede weitere Massezunahme die Handhabbarkeit stark einschränken würde. Anders verhält es sich bei der Messung von der Oberseite eines Bauteils, wie sie bei der Überprüfung von Querspanngliedern in Brückenplatten durchgeführt wird. In einem solchen Fall ist es prinzipiell möglich, selbstfahrende Magnete mit hoher Masse im Tonnenbereich einzusetzen.

Das RM-Verfahren ist ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, mit dem Spannstähle im sofortigen oder im nachträglichen Verbund auf Brüche untersucht werden können. Die Entwicklungen und Modifikationen des Verfahrens ermöglichen Anwendungen bei verschiedensten Bauteilen und erlauben eine wirtschaftliche und vor allem zerstörungsfreie Einschätzung der vorhandenen Bausubstanz. Durch die Entwicklung der magnetischen Streufeldmethode ist es nun möglich Brüche von Spannbewehrungen in Spannbetonbauwerken zu ermitteln. Diese Methode wurde in den letzten 10 Jahren auf die schnelle Untersuchung von Querspanngliedern mittels Großmagneten erweitert. In der Praxis konnten die an der TU Berlin entwickelten Prototypen ihre Tauglichkeit beweisen [10] und stellen somit eine schnelle großflächige und zerstörungsfreie Methode dar, die Spannbewehrungen auf Brüche zu untersuchen. Zum Zustand der Spannbewehrung sind schnell Informationen ermittelbar und es können Sanierungsmaßnahmen kostengünstiger und möglicherweise auf Teilbereiche begrenzt geplant werden.

3. Radar-und Ultraschallecho-Untersuchungen an der Karl-Karstens-Brücke in Bremen

Aufgabenstellung: Bei einer Sanierung der Kappen einer Spannbetonbrücke sollen diese mit Ankern in den Brückenstegen befestigt werden. Da in diesen Bereichen Querspannglieder vorhanden sind, muss vor den Bohrungen die Lage der Spannglieder bestimmt werden.



Abbildung 3: Ansicht Karl-Karstens-Brücke über die Weser in Bremen (Tusche laviert)

Lösungsansatz: Mit Radar konnten die Spannglieder detektiert werden

Messung und Ergebnisse: In den folgenden Abbildungen sind die Messungen mit Radar und Ultraschallecho an einem Messbereich im Bereich des Auflagers zu sehen. Die genauen Messungen waren erforderlich, da zu Beginn der Messungen nur ein Bruchteil der im Plan eingezeichneten Spannglieder detektiert werden konnten. Durch die Auswertung der Bauteilrückwand und der 3-D-Datensätze der Radar-und Ultraschallechomessungen

konnten Funktionstüchtigkeit der Messverfahren gezeigt werden. Mit Radar wurden die Punkte markiert, wo die Bohrungen durchgeführt werden konnten. Nach dem Ende der Messungen wurde den Messingenieuren mitgeteilt, dass mit den Planausschnitten einer anderen Spannbetonbrücke nur getestet werden sollte, ob gut gemessen wird.

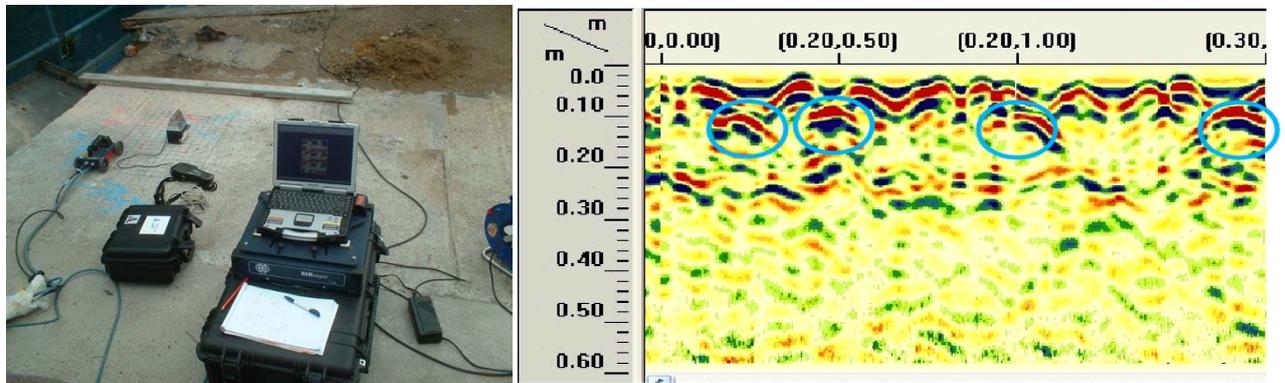


Abbildung 4: links: Radarmessung und Ultraschallechomessung an gemeinsamen Messfeld am Brückenaufleger; rechts: Ergebnis einer Radarmessung als Längsschnitt (B-Scan) entlang der Messlinie, Spannungsglieder mit Kreisen markiert

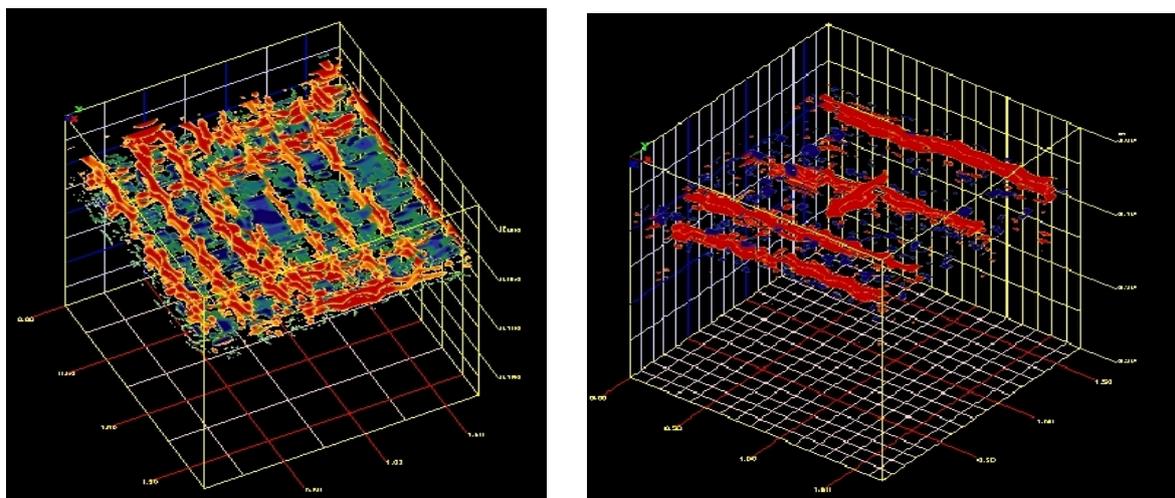


Abbildung 5: 3-D-Darstellung der Bewehrung; rechts: 3-D-Darstellung der Spannungsglieder

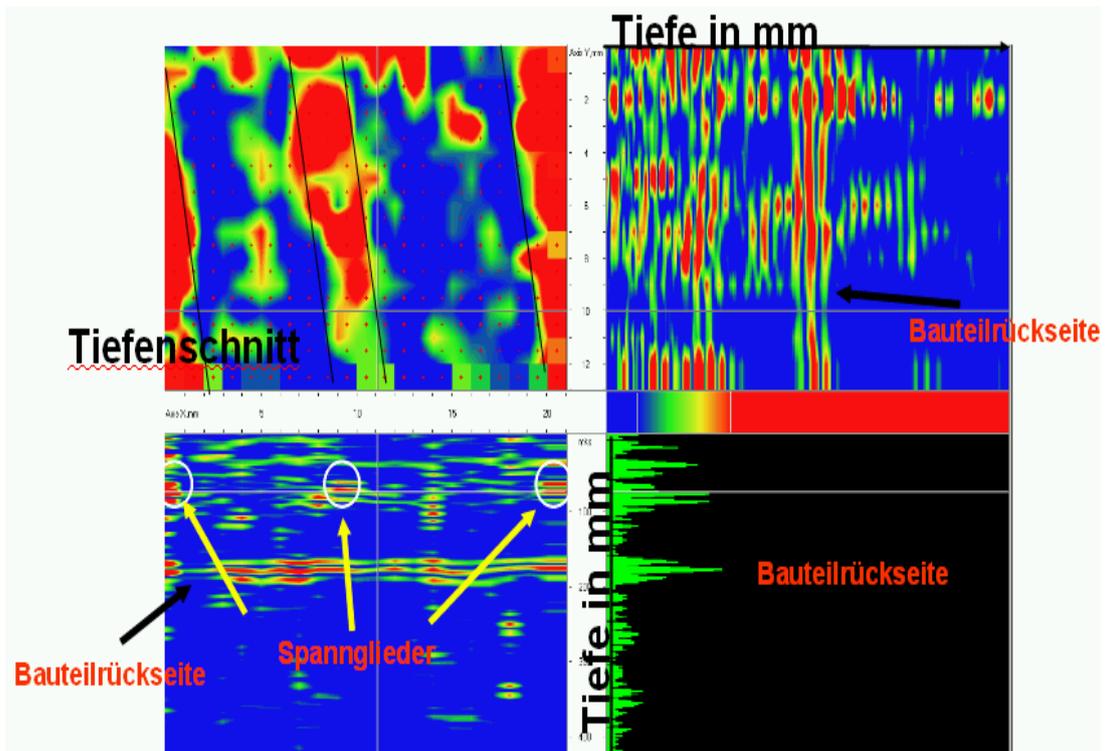


Abbildung 6: Ergebnis der 3-D-Messung mit Ultraschallecho, links oben: Tiefenschnitt (C-Scan) mit Lage der Spannglieder; rechts oben: als Längsschnitt (B-Scan), Pfeil markiert Bauteilunterseite; unten links: als Längsschnitt (B-Scan), Pfeil markiert Bauteilunterseite entlang der Messlinie, Spannglieder mit Kreis markiert; rechts unten: Laufzeit-Intensitäts-Diagramm (A-Bild) mit Echo an Spannglied und Brückenunterseite

Nutzen für den Auftraggeber: Trotz Spannglieder konnte die Lage für die Bohrungen der Bolzen bestimmt werden und kein Spannglied wurde beschädigt.

4. Bohrkernentnahme an Spannbetonbrücke in Nürnberg (Radar)

Aufgabenstellung: Lage von Spanngliedern bestimmen, um Bereiche für Bohrkern zu markieren. Problematisch war, dass die zu untersuchende Betonplatte feucht war und zudem eine umfangreiche schlaaffe Bewehrung vorhanden war.

Lösungsansatz: Kombinierte Messung mit dem feuchteunabhängigen Ultraschallechoverfahren und Versuch, ob Radar funktioniert

Messung und Ergebnis: Durch die Kombination der zerstörungsfreien Prüfverfahren Radar und Ultraschallecho war es möglich, die Lage der Spannglieder zu bestimmen und so Bereiche für Bohrkern zu markieren.

Nutzen für den Auftraggeber: Keine Schädigung der Spannglieder bei der Bohrkernentnahme.

5. Bohrungen für Kabelführungen und Bolzen von Kappen an Spannbetonbrücke bei Regensburg (Radar)

Aufgabenstellung: Lage von Spanngliedern bestimmen, um Bereiche für Bohrungen und Bolzen für Kappen zu markieren. Problematisch war, dass auf der Baustelle die Überzeugung vorhanden war, dass eine Kupferfolie unter der Bitumenbahn nicht bei unseren Radarmessungen gefunden wird.

Lösungsansatz: Nach nachdrücklichem Hinweis und Entfernung der Kupferfolie Radarmessung an Spannbetonbrücke (siehe Abb. 7).



Abbildung 7: Radarmessung (900MHz) um obere und untere Querspannglieder zu bestimmen

Messung und Ergebnis: Mit den Radarmessungen war es möglich, die Lage der oberen und unteren Spannglieder zu bestimmen (Abb. 8) und so Bereiche für die Bohrungen zu markieren.

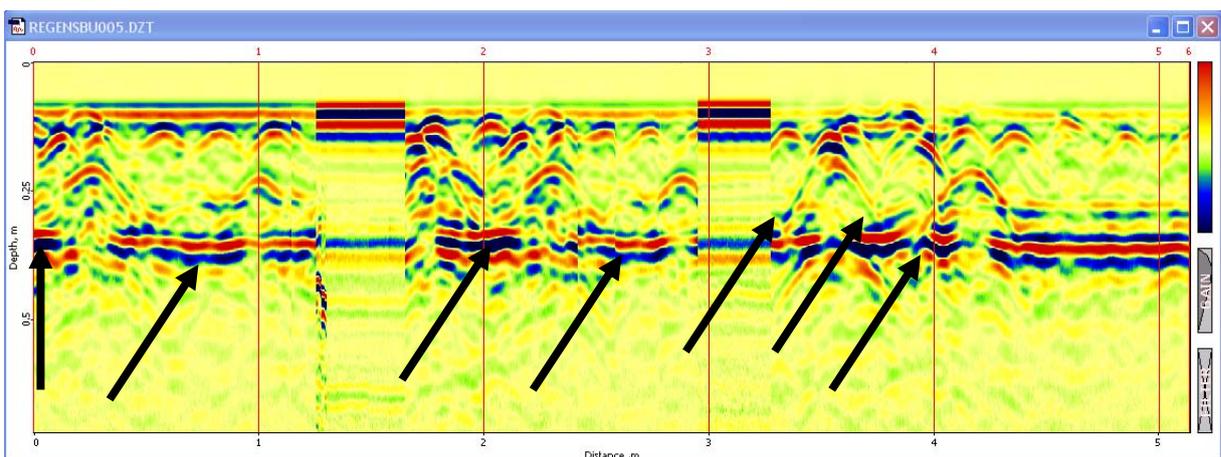


Abbildung 8: Ergebnis einer Radarmessung (900MHz) um obere und untere Querspannglieder (Pfeile) zu bestimmen

Nutzen für den Auftraggeber: Keine Schädigung der Spannglieder bei den Bohrungen

6. Ultraschallecho an Spannbetonbrücke mit Verdichtungsproblemen

Aufgabenstellung: An einer Spannbetonbrücke in der Schweiz aus dem Beginn dieses Jahrtausends wurde nach einem Anprallschaden an Querträgern festgestellt, dass an mehreren Stellen Kiesnester und Beton geringer Festigkeit vorhanden waren. Da die Mängel vorher nicht sichtbar, d.h. nur im Inneren der Bauteile waren, bestand die Befürchtung, dass die Schäden durch alleiniges Abklopfen nicht ausreichend detektierbar sind. Die hinzugezogenen Tragwerksplaner äußerten auch die Befürchtung, dass durch u.a. die Kiesnester die Spannglieder einen eingeschränkten Verbund in der Brücke aufweisen könnten.

Lösungsansatz: Neben dem Abklopfen, zerstörungsfreien Prellhärte- sowie Luftpermeabilitätsmessungen wurden für die flächige Untersuchung der inneren Struktur Ultraschallechomessungen empfohlen. Weiter wurden für Druckprüfungen und mikroskopische Analysen Bohrkerns gezogen. Die Bohrkernentnahme war jedoch wegen der Bewehrung nur sehr eingeschränkt möglich.

Messung und Ergebnis: Unter der Leitung von Dr. Jacobs (TFB AG, Wildegg, Schweiz) wurden u.a. systematische Ultraschallechomessungen durchgeführt. So konnten die geschädigten Bereiche näher eingegrenzt und gezeigt werden, dass die Druckzonen der Spannglieder intakt sind.

Nutzen für den Auftraggeber: Mit den Messungen konnte binnen eines Messtages gezeigt werden, dass zwar erhebliche innere Schäden vorliegen, aber dass es keine Schäden in der Druckzone der Spannglieder vorliegen und die Brücke in ihrer Nutzung nicht eingeschränkt ist. Für die Sanierung wurden die Schadstellen markiert.

Eine großflächige Untersuchung an einem durch Steinschlag stark geschädigtem Bauwerk (Lopperviadukt, Schweiz) mit Ultraschallecho kann [5] entnommen werden. Hier wurde der unbeschädigte Bereich in der Umgebung der Einschläge bestimmt und so die Sanierung optimiert.

7. Bauwerksuntersuchung an Trog zur Lage der Spannglieder

Aufgabenstellung: Nachdem bei einer Sanierung eine Brücke über eine Unterführung zu niedrig gebaut wurde, war es erforderlich, den Belag im Trog zu reduzieren. Da der Trog im Grundwasser liegt und ein Aufschwimmen verhindert werden musste, waren zusätzliche Erdanker erforderlich. Um die vorhandene Spannbewehrung bei den Bohrungen nicht zu beschädigen musste die Lage der vorhandenen Spannglieder bestimmt werden.

Lösungsansatz: Mit Radar sollte die Lage der Spannglieder bestimmt werden.



Abbildung 9: links: Wasser auf Messfläche, mitte oben: Radarmessung; mitte unten: Ergebnis von Radarmessungen mit Bewehrung und Lage von Spanngliedern; rechts: Messung und Auswertung in situ

Messung und Ergebnis: Auf der Baustelle zeigte sich, dass sich teilweise Wasser auf der Messfläche befand (Abb. 9 links), welches durch Risse im Trog stetig nachkam. An den trockenen Messbereichen konnte die Lage der Spannglieder trotz dichter oberer Bewehrung bestimmt werden (Abb. 9 rechts). Trotz trocken der Oberfläche war es nicht möglich, die Lage der Spannglieder im nassen Beton zu detektieren. Hierbei zeigte sich sogar, dass in einem Fall im nassen Bereich in „verrauschten Daten“ kein Spannglied zu erkennen war. Daher wurde durch Handöffnung das Ergebnis verifiziert und genau in diesem Bereich ein Spannglied entdeckt.

Nutzen für den Auftraggeber: In nur kurzer Zeit konnten Bohrpunkte für die Verankerungen trotz hohem Bewehrungsgrad bestimmt werden.

8. Remanenzmagnetismus zur Spanndrahtortung an der Husberg Brücke Werdohl

Aufgabenstellung: Aufgrund von Schädigungen an einer Spannbetonbrücke bestand die Befürchtung, dass es zu Brüchen einzelner Spannglieder kam.

Lösungsansatz: Mit dem Remanenzmagnetismusverfahren sollte die Lage und der Zustand der vorhandenen Spannglieder bestimmt werden.

Messung und Ergebnis:



Abbildung 10: Husberg Brücke in Werdohl

Für die Sanierungsplanung der Widerlager war von entscheidender Bedeutung, ob die Brückenkonstruktionen Schäden aufweist und diese auch instandgesetzt werden müssen. In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Dr. Taffe, wurde die Brückenkonstruktion auf Schäden untersucht. Mit Hilfe des Kleinmagneten wurde entlang der Längsspannbewehrung diese auf mögliche Bruchstellen untersucht (Abb. 11).

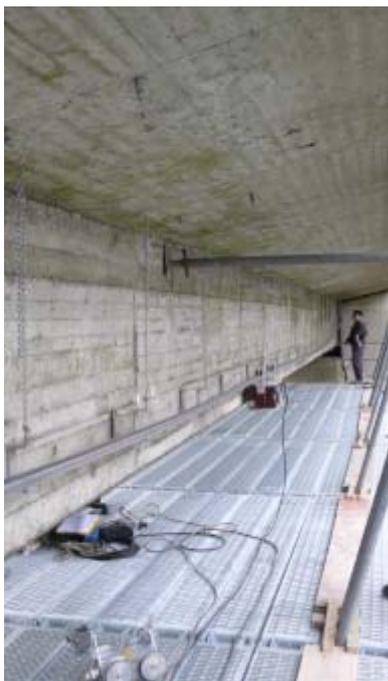


Abbildung 11: Abhangsystem zur Untersuchung der Längsspannbewehrung mittels magnetischer Streufeldmethode

Nach eingehender Untersuchung der Konstruktion wurden Schäden dokumentiert (Abb. 12) und ein Tragwerksplaner konnte die verbleibende Sicherheit der Konstruktion sowie nötige Instandsetzungsmaßnahmen abschätzen.

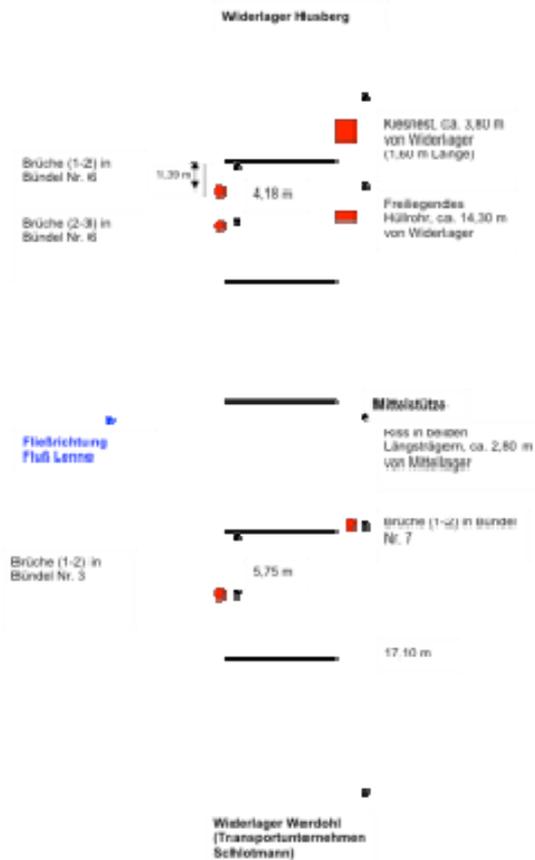


Abbildung 12: Schadenskartierung der Brücke nach eingehender Untersuchung

9. Remanenzmagnetismus zur Spanndrahtortung an der Champlain Bridge, Montreal

Die Champlain Bridge in Montreal, Kanada ist eine Verbundbrücke aus Spannbetonfertigteilen sowie vor Ort gegossener Betonplatte. Die Brücke wurde 1960 eingeweiht und überquert mit einer Länge von ca. 2,1 km den St. Laurent Strom. Sie ist eine der befahrensten Brücken Nordamerikas (ca. 50 Millionen Fahrzeuge pro Jahr) (Abb. 13). Die Brücke weist bereits über Jahre massive Schäden im Stützbereich sowie Korrosion von Bewehrungen in der Betonplatte auf. Daher wird Sie in ca. 10 Jahren durch einen Neubau ersetzt. In den nächsten 10 Jahren muss somit die Standsicherheit der Brücke noch gewährleistet werden.



Abbildung 13: Champlain Bridge, Montreal

Aufgabenstellung: Nach visuellen Prüfungen bestand der Verdacht, dass Querspannglieder der Brückenplatte gerissen waren und eine Gefährdung der Standsicherheit vorliegt.

Lösungsansatz: Es wurde der Auftrag erteilt ca. 50% der Querspannglieder zu untersuchen. Die Untersuchungen fanden im Oktober 2009 statt. (Abb. 14) Es erfolgte die Sperrung von jeweils einer Spur und mittels Großmagnet und Rotationssensor wurden die Querspannglieder der Brücke auf Brüche untersucht. Zur Auswertung der Daten wurde eine Analysesoftware an der TU Berlin, durch Dipl.-Ing. Chol I Pak, programmiert, die eine schnelle Auswertung ermöglichte. In Abb. 15 wird ein grauskaliertes Bild des Streufeldes eines Bereichs der Brücke mit Bruch gezeigt.



Abbildung 14: Der Großmagnet mit Rotationssensor bei dem Einsatz auf der Champlain Bridge in Montreal

Messung und Ergebnis:

Als Resultat wurde ermittelt, dass bereichsweise keine Vorspannung von Querspanngliedern vorhanden ist und das auch vereinzelt Brüche der Querspannglieder zu verzeichnen sind (Abb. 15). An Hand der Ergebnisse kann nun der tatsächliche Schädigungsgrad aufgezeigt und notwendige Sanierungen auf Teilbereiche beschränkt werden.

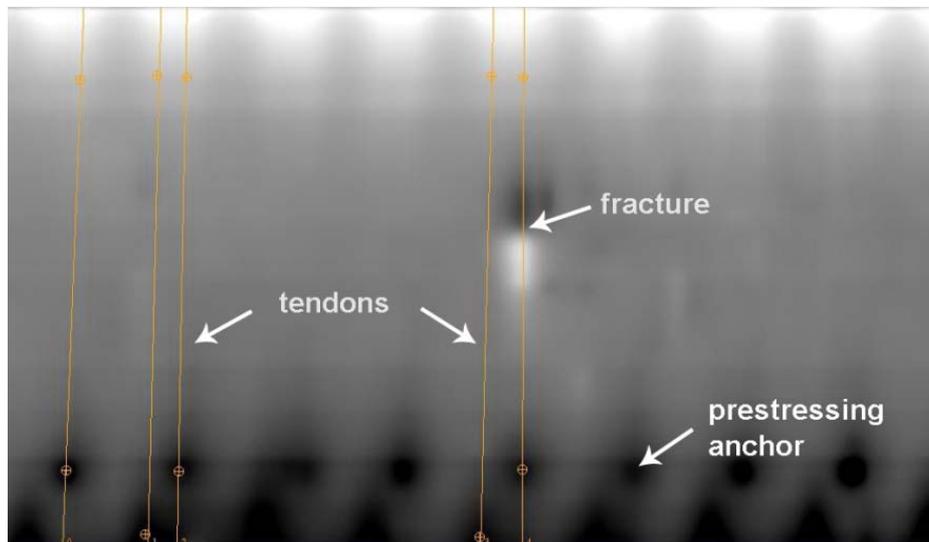


Abbildung 15: Grauskalierter Darstellung des magnetischen Streufeldes eines Teilbereiches einer Brückenplatte (3,5 m x 7 m). Detektiert wurde der Bruch eines Spanngliedes

10. Zusammenfassung

An Hand der Fragestellungen zur Untersuchungen an vielen verschiedenen Spannbetonbrücken konnte die Leistungsfähigkeit der zerstörungsfreien Prüfverfahren Ultraschallecho, Radar und Remanenzmagnetismus gezeigt werden.

Weiter ist ein Zusammenspiel dieser zerstörungsfreien Prüfverfahren möglich um die Aussage über den Zustand der Spannbewehrung bzw. der Baukonstruktion noch gezielter treffen zu können.

So kann mit der Radartechnik bei trockenem Beton und Abdichtung ohne Metallkaschierung die Lage der Spannglieder gut bestimmt werden. An unterschiedlichen Bauwerken konnte mit der Ultraschallechotechnik der Zustand des Betons um die Spannglieder (Kiesnester, Risse) besonders im Druckbereich überprüft und Schäden ausgeschlossen werden.

Ein in der Anwendung im Bauwesen noch zu selten eingesetztes Verfahren ist das Remanenzmagnetismus Verfahren mit dem eine Ortung von Spanndrahtbrüchen möglich ist. Dies ist von besonderer Bedeutung, da so der Verdacht auf Schäden ausgeschlossen werden könnte.

Es ist durch die Anwendung der beschriebenen Verfahren eine genaue und gezielte Untersuchung von Spannbetonbrücken möglich, und nach Schadensfällen (Anprall, Überlastung) bzw. Alterungsschäden oder bei "unüblichen Verformungen" kann eine fundierte Aussage über das Bauwerk getroffen werden. Ein Tragwerksplaner kann durch die Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfung des Bauwerks die Traglastreserven der Konstruktion zuverlässig abschätzen. Damit kann eine gezielte kostengünstige Sanierung bzw. wirtschaftliche Weiternutzung des Bauwerks erreicht werden.

11. Referenzen

- [1] Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM): ZfPBau-Kompodium, <http://www.bam.de/zfpbau-kompodium.htm> (2004)
- [2] Walther, A. und A. Hasenstab: Zerstörungsfreie Prüfverfahren zur Bestimmung von Materialparametern im Stahl- und Spannbetonbau in: Fouad N. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2012, Berlin: Ernst und Sohn (2012)
- [3] Hasenstab, A., Jost, G., Taffe, A., Wiggenhauser, H.: Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – angewandte Forschung und Praxis. Jahrestagung DGZfP DACH, St. Gallen 2008
- [4] Straußberger, D., Hartmann, I., Hasenstab, A.: Straßenuntersuchungen mit Radar, Ultraschallecho und FWD. Bauwerksdiagnose Berlin, 21.-22.02.2008, Poster 13, Berlin
- [5] Hasenstab A., Steiger A., Hunkeler F., Schiegg Y.: Zerstörungsfreie Prüfung an Tiefbauten in der Schweiz mit Ultraschallecho und Radar Tagungsband der DGZfP Fachtagung Bauwerksdiagnose, 23.-24. Februar 2012, Berlin
- [6] Hasenstab, A., Baron, T., Frühwald, K.: Kombinierte Anwendung von Ultraschallecho und Bohrwiderstand bei der Prüfung von Holzkonstruktionen. Der Bausachverständige, Jahrgang 7, Heft 1 (Februar) 2011, S. 20-26
- [7] Hasenstab, A., Homburg, S., Maierhofer, C., Arndt, R.: Holzkonstruktionen mit Radar und Thermografie zerstörungsfrei untersuchen Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 2007, Poster 14, 14.-16.05.2007 Fürth
- [8] Flohrer, C. (1990), Zerstörungsfreie Ortung von Spanndrahtbrüchen in Spannbeton-Deckenträgern, VDI-Berichte 1990, S. 425-433
- [9] Walther A.; Ortung von Brüchen der Spannbewehrung in Spannbetonbauteilen - schnell, innovativ und in hoher Qualität - ; Fachtagung Moderne Bauwerksprüfung, Technische und rechtliche Aspekte, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2010; DGZfP Berichtsband BB 123-CD
- [10] Taffe A., Hillemeier B., Walther A.; Verifizierung moderner zerstörungsfreier Prüfverfahren an einem Abbruchbauwerk -Zustandsermittlung, Untersuchung und Verifizierung von Messergebnissen an einem 45 Jahre alten Spannbetonbauwerk-, Beton- und Stahlbetonbau 105 (2010), Heft 12, Ernst und Sohn Berlin 2010