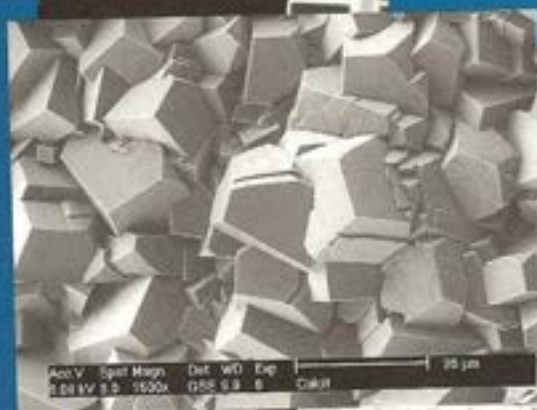


F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde

Beiträge zur Baustoffforschung 1998



Thesis, Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Universität Weimar

Die Zeitschrift veröffentlicht wissenschaftliche Arbeiten zu allen an der Bauhaus-Universität Weimar vertretenen Fachgebieten. Der Vertrieb erfolgt in mehr als 40 Länder. Die Verlagsrechte liegen bei der Bauhaus-Universität Weimar

Verlag:

Bauhaus-Universität Weimar, Universitätsverlag
Coudraystraße 7
D-99421 Weimar
Telefon +49 (0) 36 43/58 11 50
Telefax +49 (0) 36 43/58 11 56

Redaktion:

Dr. phil. Heidemarie Schirmer, v. l. S. d. P.,
Dipl.-Ing. Bernd Wicht

Herausgeber:

Der Rektor der Bauhaus-Universität Weimar
Prof. Dr.-Ing. Gerd Zimmermann
Der Referent für Öffentlichkeit und Medien
Reiner Bensch, M. A.

Bezugsmöglichkeiten:

Die Zeitschrift ist käuflich oder über den internationalen Schriftentausch zu erwerben. Anträge auf Tauschbezug sind an die Bibliothek der Bauhaus-Universität Weimar, D-99421 Weimar Carl-August-Allee 2, zu richten. Abonnement- oder Einzelbezug besteht über den Verlag.

Erscheinungsweise:

6 Hefte im Jahr

Druck:

Gutenberg Druckerei Weimar

Basislayout und Umschlag:

Pieter Dompeling, Grafikdesignbüro „Hinter-dem-Van-de-
Velde-Bau“, Bauwagen AG

Satz und Gestaltung:

Dr. phil. Heidemarie Schirmer, Universitätsverlag

Redaktionsschluß:

Januar 1998

Abbildungen auf 1. Umschlagseite: atw-Aufnahme Calcit;
Johannes Brus, Tibetischer Reiter, Betonguß 1990

These „aufgestellter [Lehr-, Leit]satz; (zu beweisende) Behauptung“. Das Fremdwort wurde im 16. Jh. aus griech.-lat. *thesis* „das Setzen, das [Auf]stellen; aufgestellter Satz; Behauptung“ entlehnt (vgl. den Artikel *Thema*). – Das griech. Wort erscheint auch als Hinterglied in verschiedenen Präfixbildungen. Siehe hierzu im einzelnen die Fremdwörter Hypothese, Prothese und Synthese.

Homogenitätsuntersuchungen an Betonbauwerken mittels Ultraschall, Teil I

Wolfgang Erfurt, Wolfram Köhler

Homogeneity analyses to concrete structure by means of ultrasonic waves, part I

By application of the explained method of measurement the required statement to the homogeneity of the reinforced concrete of the Vorpommern Bridge in Rostock was obtained by ultrasonic analyses. Heterogeneous areas of the bridge webs were detected. Areas of unequivocal lower ultrasonic velocities were found, and in some areas extreme low individual values were detected. By means of carefully directed endoscopic examinations in two cases cavities were diagnosed as the cause of these extreme low ultrasonic velocities. Because of the narrow placing of the reinforcement the performance of the endoscopic examination was limited.

By means of concrete investigations on cores, taken from areas of mean ultrasonic velocities, a dense concrete structure was proved. Due to the dense concrete structure high compressive strengths were recorded. Significant differences in concrete quality of the bridge webs between the west- and the east bank were not to ascertain.

To schedule a restoration concept, an improvement of the concrete in detected critical areas by means of appropriate grouts is to take into account. A control of the result after the restoration is recommended. On the basis of the investigation results obtained, the arrangement of additional external tendons can be projected for the improvement of the required bridge safety.

1 Problemstellungen in der Praxis

Die Anwendung zerstörungsfreier Prüfverfahren gewinnt vor dem Hintergrund der Alterung unserer Infrastruktur weiter an Bedeutung. Die Nutzungsdauer dieser Bauten zu verlängern muß die Herausforderung für die Zukunft sein [1]. Diese abzusehende Verschiebung der Schwerpunkte im Bauwesen führt dazu, daß die Erhaltung und Sanierung bestehender Bauwerke zunehmend in den Mittelpunkt rückt. Dadurch entsteht auch für Betonbauwerke die Forderung nach zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden, die durch ihre beliebige Wiederholbarkeit eine langfristige Zustandskontrolle von Bauwerken ebenso zulassen wie eine genaue Bauwerksdiagnostik vor notwendigen Erhaltungsmaßnahmen.

Die Bauwerksdiagnostik soll vor geplanten Erhaltungsmaßnahmen an einem Bauwerk folgende Aussagen liefern:

- Erfassung und Darstellung des allgemeinen Erhaltungszustandes
- Aussagen zu speziellen Problembereichen
- Hinweise für gezielte Sanierungsmaßnahmen.

Am Anfang aller Untersuchungen an einem Bauwerk steht das Erkennen eines Untersuchungsbedarfes durch den Besitzer oder Verwalter des jeweiligen Objektes. Dieser Untersuchungsbedarf kann entweder aus der Erkenntnis oder Vermutung von Bauschäden oder aus geplanten Nutzungserweiterungen oder -änderungen des Objektes resultieren. In vielen Fällen sind die ersten Aufgabenstellungen an den Untersuchenden sehr unkonkret, da einerseits der Gesamtumfang der notwendigen Untersuchungen in diesem Stadium kaum zu erkennen ist und andererseits die aktuelle Leistungsfähigkeit der möglichen Untersuchungsmethoden ebensowenig wie die entsprechenden Kosten bekannt sind. Möglichst schnell sollte daher der materielle, zeitliche und inhaltliche Rahmen für die Aufgabenstellung abgesteckt werden.

Große Bauwerke haben ihren ganz speziellen Charakter, der oft nicht sofort sichtbar ist. Daher sind Umfang und Art der Schäden ebenfalls nicht im vollen Maße erkennbar. Um die Effektivität der Untersuchungen zu steigern, bedarf es daher nicht selten einer mehrstufigen Untersuchungsstrategie. Es ist in diesen Fällen empfehlenswert, durch Probenmessungen an augenscheinlich geschädigten Bereichen und typischen konstruktiven Details die Grenzen und Möglichkeiten der gewählten Untersuchungsmethoden zu testen. Aufbauend auf den Erfahrungen der ersten Probemessung kann die Untersuchungsmethode auf die jeweiligen Fragestellungen besser eingestellt werden. Es zeigen sich technische und logistische Probleme, die dann bei den Messungen an großen Meßflächen zu kaum bezahlbaren Verzögerungen führen würden. Nach der Auswertung dieser Probemessungen sollten die eigentlichen Untersuchungsflächen festgelegt werden. Die Meßflächenauswahl muß, ausgehend von der konkreten

Problemstellung, sowohl den Erhaltungszustand als auch die konstruktiven Besonderheiten des Bauwerkes berücksichtigen. In dieser Phase fallen Entscheidungen für die Durchführung der Hauptmessung und möglicher Nachmessungen, die bei laufenden Messungen nur mit großem Aufwand und Qualitätsverlust korrigiert werden können.

Alle Messungen erfolgen an eindeutig bestimmbareren Meßpunkten und zu einem definierten Zeitpunkt. Beide müssen möglichst genau dokumentiert werden, um eine Reproduzierbarkeit der Untersuchungen zu gewährleisten. Die Feststellung der Meßpunktkoordinaten ist oft Inhalt des eigentlichen Meßvorganges. Dies kann jedoch in sehr unterschiedlichen Bezugssystemen realisiert werden. Häufig hat jede Meßfläche ihr eigenes Koordinatensystem. Dies kann zur Doppelung von Ergebnissen und zu erheblichen Fehlern bei der Datenauswertung und -darstellung vor allem bei Bearbeitern führen, die unterschiedliche Untersuchungsprogramme und Gutachten zusammenführen müssen. Daher sollte von Anfang an darauf geachtet werden, daß alle Meß- und Probeentnahmepunkte in einem einheitlichen Bezugssystem vermerkt werden. In den meisten Fällen wird dies das Bezugssystem der Baupläne sein, das schon vorhanden ist oder erstellt wird. Ausnahmen können bei kleinen und transportablen Objekten auftreten, die nicht im zwingenden Zusammenhang mit einem größeren Bauwerk oder Bauwerksensemble zu sehen sind.

Von besonderer Bedeutung ist die Form der Ergebnisverwertung und -darstellung. Nicht selten sind die Ergebnisse der zerstörungsfreien Untersuchungen die Basis für gezielte Probenentnahmen an repräsentativen und kritischen Bauwerksbereichen. Da alle Untersuchungen oft nur einen kurzen Zeitversatz haben, müssen die ersten verwertbaren Ergebnisse der zerstörungsfreien Messungen möglichst noch auf der Baustelle vorliegen. Dies ist oft nur durch die Vorbereitung spezieller Auswertungsprogramme möglich, die mit Hilfe der Probemessungen getestet werden müssen. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Auswahl der Darstellungsform der Untersuchungsergebnisse, da z. B. viele Grafikprogramme erhöhte Anforderungen an die Vor- und Aufbereitung des Datenmaterials stellen. Daher sollte die Gewinnung der Meßdaten auch ihre spätere Darstellung und Archivierung berücksichtigen, um zeitaufwendige nachträgliche Datenkonvertierungen zu vermeiden.

Zerstörungsfreie Untersuchungen bringen häufig nur indirekte Meßergebnisse, deren Korrelation über Regressionsanalysen mit zerstörenden direkten Messungen an Probekörpern oder entnommenen Proben nachzuweisen ist, ehe sie auf alle Meßflächen übertragen werden können. So ist die Bestimmung der Betondruckfestigkeit allein aus Schallgeschwindigkeitsmessungen aufgrund unterschiedlicher Nachhydratisierungsbedingungen (Feuchtigkeitsangebot) während der Nutzung des Bauwerkes nicht möglich.

Ähnliche Differenzen treten durch rezepturbedingte Besonderheiten auf. Alle Versuche, hier verallgemeinerbare Gesetzmäßigkeiten zu finden, waren bisher erfolglos. Die Kombination flächendeckender zerstörungsfreier Untersuchungen und gezielter punktueller Bohrkernentnahmen für zerstörende Struktur- und Festigkeitsuntersuchungen ist daher die einzige sichere Möglichkeit zur Feststellung des Erhaltungszustandes von Betonbauwerken. Dieses Programm kann durch gezielte Endoskopieuntersuchungen an kritischen Punkten, die nach den zerstörungsfreien Untersuchungen lokalisierbar sind, ergänzt werden.

An dieser Stelle muß auch auf die Problematik der Sondierung von Bewehrungs- und Spannstählen hingewiesen werden. Ihre Lage sollte nach Möglichkeit bekannt oder festgestellt werden, um sie einerseits bei den Probenentnahmen nicht unnötig zu beschädigen und andererseits mit anderen Methoden gezielt zu untersuchen. Die Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse durch Bewehrungsstähe muß durch Anwendung anderer zerstörungsfreier Prüfverfahren (Radar, elektromagnetische Verfahren) minimiert werden.

Die Aufgabenstellung beinhaltet als Ziel der Untersuchungen oft ein bevorzugtes Sanierungskonzept, so daß mit den Messungen die Fragen der generellen Realisierbarkeit dieser Vorstellungen und die Realisierungsbedingungen geklärt werden müssen. Die Untersuchungsergebnisse sollen daher die Voraussetzungen für die Erstellungen eines Sanierungskonzeptes liefern. Dies betrifft neben der Lokalisierung und Quantifizierung der Schäden auch ihre Qualifizierung, um die unterschiedlichen Sanierungsmethoden gezielt einsetzen zu können. Als Konsequenz stellt sich dann die Frage der Erfolgskontrolle der eingeleiteten Maßnahmen. Hier ist es oft notwendig, eine oder mehrere favorisierte Sanierungsmethoden an Probeflächen zu testen und einer Erfolgskontrolle zu unterwerfen, die methodisch eng an die vorangegangenen Untersuchungen angelehnt ist. Von Fall zu Fall muß entschieden werden, ob nach erfolgter Gesamtanierung das Gesamtobjekt nachuntersucht werden muß. Bei Änderungen der statischen Verhältnisse eines Objektes sollte auch eine Probelastung diskutiert werden, die z. B. mit Messungen der akustischen Emissionen begleitet werden. Mit dieser Methode können beginnende Rißbildungen im Mikrobereich schon in der Entstehungsphase diagnostiziert werden.

Es ist aber unumgänglich, jede Untersuchungsmethode als Teil eines Gesamtuntersuchungskonzeptes zu sehen, das in seinen konkreten Teilen durch die jeweilige individuelle Aufgabenstellung bestimmt ist. Langjährige Erfahrungen bei der Lösung komplexer Untersuchungsprobleme haben jedoch zu einer Vorgehensweise für den Baustelleneinsatz geführt, die kurz vorgestellt und an Beispielen diskutiert werden soll.

2 Baustellenmessungen

2.1 „Vorpommernbrücke“ in Rostock

2.1.1 Aufgabenstellung und Probemessungen

Die „Vorpommernbrücke“ in Rostock führt über die Warnow und wurde 1983 bis 1985 als zweizellige Hohlkörperkonstruktion in Spannbetonausführung errichtet (Abb. 1). Die Stützweiten betragen 35,5 m – 74 m – 35,5 m.

In den letzten Jahren ist die Verkehrsbelastung dieser Brücke stark gewachsen. Dies betrifft sowohl Einzel- als auch Dauerbelastungen. Statische Nachberechnungen ergaben, daß die Brücke mit einer zu geringen Anzahl von Kontinuitätsspanngliedern vorgespannt wurde, um die erhöhten Verkehrslasten aufnehmen zu können. Die daraufhin durchgeführten Planungsarbeiten für eine *Ertüchtigung mit externen Spanngliedern* erforderte die Überprüfung der Qualität des Überbaubetons.

Bekannt war, daß während der Bauphase der Brücke Verdichtungsprobleme in den Brückenstegen aufgetreten waren, die teilweise im Sichtbereich lagen. Bereits durchgeführte Bohrkernentnahmen und Festigkeitsuntersuchungen mit dem Rückprallhammer führten zu widersprüchlichen Ergebnissen. Es bestand somit die Notwendigkeit, im Vorfeld der Planungsarbeiten Sicherheit über die Belastbarkeit des Betons in den Bereichen der Brückenkonstruktion zu erhalten, die bei einer externen Ertüchtigung primär beansprucht werden.

Im Mai 1997 wurden Probemessungen durchgeführt, die die Eignung der Ultraschallmethode als Transmissionsmessung zur Lösung des anstehenden Problems klären sollten.

Die Eignung der Untersuchungsmethode konnte bewiesen werden. Dabei zeigte sich, daß die Betonqualität der Vorpommernbrücke durch Inhomogenitäten gekennzeichnet ist. Mit Hilfe systematischer Ultraschallmessungen und einzelnen begleitenden



1 | Gesamtansicht der „Vorpommernbrücke“ in Rostock

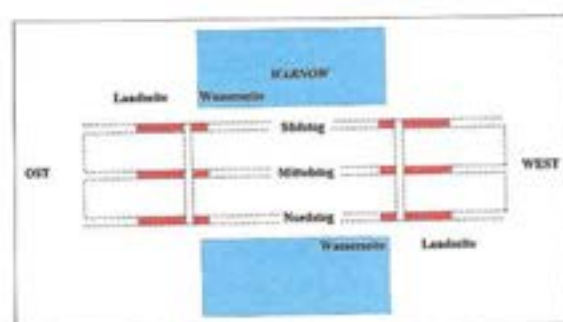
Bohrkernuntersuchungen sollte der Gesamtumfang der meßtechnisch erfaßbaren Inhomogenitäten im Betongefüge ermittelt werden. Dafür muß in den Problemzonen eine zusammenhängende Untersuchung größerer Flächen erfolgen. Ziel der Untersuchungen war es, ein Bild von der Betonhomogenität zu erhalten, kritische Bereiche zu erkennen und Hinweise für die Wahl der Entnahmepunkte der Bohrkerns und die Platzierung der Endoskopuntersuchungen zu geben.

2. 1. 2 Untersuchungsmethode, -strategie und -bereiche

Ultraschall ist eine mikromechanische Schwingung, die nach einer gezielten Anregung den Prüfkörper durchläuft. Die Geschwindigkeit des Schalls ist ein Maß für den Gefügezustand des Untersuchungsmaterials. Die Schallgeschwindigkeit V_p der Stoßwelle in Transmission errechnet sich aus dem Quotienten der durchschallten Streckenlänge und der Schalllaufzeit. Sie wird in m/s oder km/s angegeben. Die verwendete Meßfrequenz betrug 20 kHz. Zu jedem Meß-

punkt wurde das Schwingungsbild der Ultraschallkurve ausgewertet, um den Einfluß der Stahlbewehrung und der Schwingungen des Fahrverkehrs auf die Signalreproduzierbarkeit zu erkennen und somit ausschließen zu können.

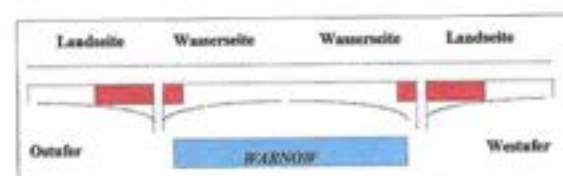
Nach Vorgaben des Auftraggebers sollten sechs mal zwei Untersuchungsflächen durchschallt werden (Abb. 2). Die Fläche eines Meßfeldes und die Gesamtfläche der Meßfelder einschließlich der dazugehörigen Meßpunkte werden in Tabelle 1 dargestellt. Die Untersuchungsflächen liegen auf beiden Ufern im Bereich der Lager (Abb. 3). Der Nord-, Mittel- und Südsteig wurde jeweils gesondert untersucht. Daraus ergaben sich insgesamt 12 einzelne Untersuchungsflächen. Die Koordinaten der Meßpunkte in den Untersuchungsflächen waren durch die Brückenlänge (Meßstationen) und die Höhe über NN eindeutig festgelegt (Abb. 4). In den Untersuchungsbereichen war der Meßpunktabstand vertikal und horizontal 0,25 m. Meßpunkte, die sich in unzugänglichen Bereichen befanden, wurden ausgelassen und in der grafischen Ergebnisdarstellung interpoliert.



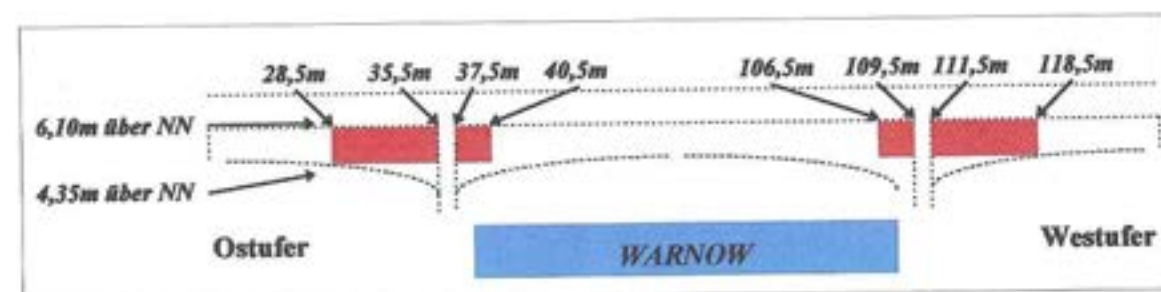
Abmessungen pro Untersuchungsfläche	Höhe [m]	Länge [m]	Fläche [m ²]	maximale Meßpunktzahl
Wassereite	1,75	3,00	5,25	104
Landseite	1,75	7,00	12,25	232
Gesamt	1,75	60,00	105,00	2016

Tabelle 1: Angaben zu den Untersuchungsflächen

2 | Schematische Darstellung der rot markierten Untersuchungsbereiche in einem Horizontalschnitt der Brücke



3 | Schematische Darstellung der rot markierten Untersuchungsbereiche in einem Vertikalschnitt der Brücke



4 | Schematische Darstellung der Begrenzungspunkte der Untersuchungsbereiche in einem Vertikalschnitt der Brücke

2. 2 Darstellung der Ergebnisse und Bewertung

2. 2. 1 Ultraschall

Die erforderlichen Aussagen zur Homogenität des Stahlbetons in den untersuchten Stegbereichen konnten aufgrund des angewendeten Meßrasters, der Genauigkeit im Versatz gegenüberliegender Meßraster in der entsprechenden Untersuchungsfläche und der zu jedem Meßpunkt durchgeführten Auswertung des Schwingungsbildes der Ultraschallkurve erfolgreich durchgeführt werden.

Eine Zusammenfassung aller Meßergebnisse verdeutlicht Tabelle 2. Die Abbildungen 5, 6, 7, 8 und 9 bringen durch die Darstellung der Verteilung der integralen Schallgeschwindigkeiten von untersuchten Stegbereiche die Homogenität des Stahlbetons zum Ausdruck.

Die Bewertung der Meßergebnisse aller Untersuchungsflächen führt zu folgenden Aussagen:

- Die berechneten Gesamtmittelwerte der Schallgeschwindigkeiten der jeweiligen Brückenstege des West- und des Ostufers zeigen gute Übereinstimmung, die Meßwerte der Westseite streuen jedoch stärker als die der Ostseite.
- Beide Uferseiten zeigen extreme Minima an einzelnen Meßpunkten.
- Die gemessenen Unterschiede der Schallgeschwindigkeit können in drei Kategorien eingeteilt werden:

a) Homogene Bereiche; Beispiel Ostufer – Mittelsteg – Landseite, Meßstationen: 29,25 m bis 35,50 m über die gesamte Höhe (Abb. 6).

b) Großflächige Unterschiede mit relativ geringen Differenzen der gemessenen Schallgeschwindigkeiten; Beispiel Ostufer – Nordsteg – Landseite, Meßstationen: 31,25 m bis 32,50 m, Höhe: 4,60 m bis 6,10 m (Abb. 8).

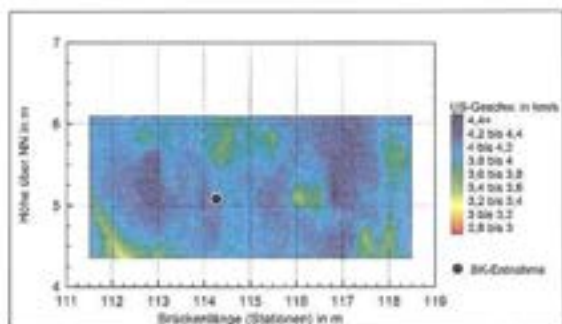
c) Begrenzte Bereiche mit niedrigen Schallgeschwindigkeiten und punktuell extreme Minima, die auf vorhandene Hohlräume schließen lassen; Beispiel Westufer – Nordsteg – Wasserseite, Meßstationen: 108,0 m bis 109,0 m, Höhe: 5,10 m (Abb. 7).

2. 2. 2 Bohrkernuntersuchungen und Endoskopie

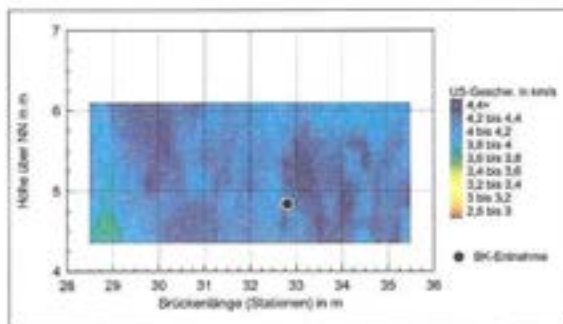
Begleitend zu den Ultraschallmessungen wurden aus den Brückenmittelstegen des Ost- und Westufers an Meßpunkten mittlerer Schallgeschwindigkeit (V_p) jeweils ein Bohrkern (BK-Nr. 1, Kennzeichnung der Lage in Abb. 5 und BK-Nr. 2, Kennzeichnung der Lage in Abb. 6, $\varnothing = 100$ mm) durch Kernbohrung über die gesamte Stegbreite entnommen, die im Labor zusätzlich in Transmission durchschallt und danach zur Durchführung der Betonuntersuchungen verwendet wurden. Die Durchschallung der Bohrkern im Labor wurde mit einem 45 kHz-Schallkopf durchgeführt. Die Messungen erfolgten im Originalzustand (Tab. 3). Hervorzuheben ist die gute Übereinstimmung der elastischen Eigenschaften beider

Untersuchungsfläche	Anzahl Meßpunkte	Mittelwert V_p [m/s]	Maximalwert V_p [m/s]	Minimalwert V_p [m/s]	Standardabw. [m/s]
Westufer					
Nordsteg – Land	188	4249	4618	3389	0,166
Nordsteg – Wasser	91	4083	4411	2796	0,220
Mittelsteg – Land	186	4042	4413	3307	0,196
Mittelsteg – Wasser	95	4083	4439	2915	0,296
Südsteg – Land	190	4166	4527	3307	0,163
Südsteg – Wasser	91	4202	4497	3679	0,149
Gesamt	841	4138	4618	2796	0,198
Ostufers					
Nordsteg – Land	181	4070	4382	3673	0,158
Nordsteg – Wasser	91	4195	4411	3822	0,113
Mittelsteg – Land	172	4209	4497	3706	0,159
Mittelsteg – Wasser	82	4147	4468	3323	0,184
Südsteg – Land	184	4181	4412	3843	0,107
Südsteg – Wasser	84	4074	4327	3719	0,115
Gesamt	794	4146	4497	3323	0,139

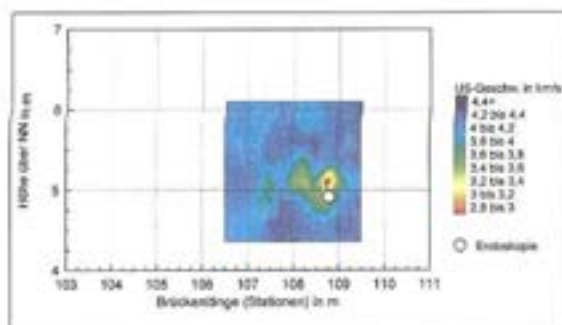
Tabelle 2: Übersicht Meßwerte „Vorpommernbrücke“ Rostock



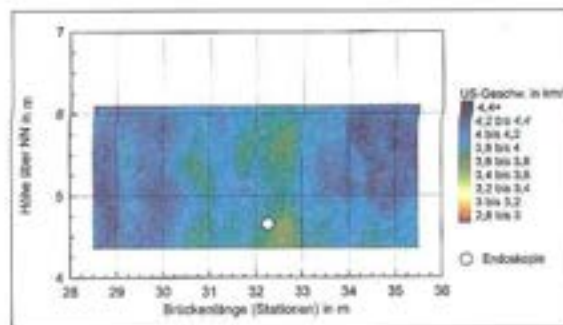
5 | Verteilung der Schallgeschwindigkeiten Westufer: Mittelsteg – Landseite; Bohrkernentnahme an der Meßstation 114,25 m; $h = 5,1$ m



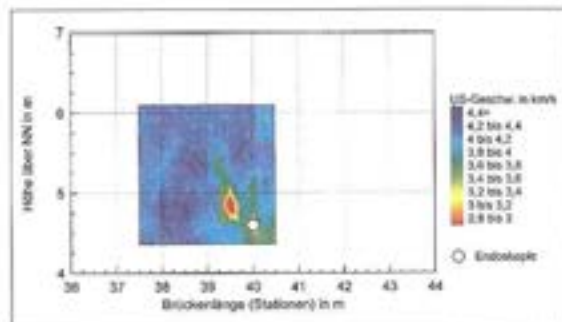
6 | Verteilung der Schallgeschwindigkeiten Ostufer: Mittelsteg – Landseite; Bohrkernentnahme an der Meßstation 32,75 m; $h = 4,85$ m



7 | Verteilung der Schallgeschwindigkeiten Westufer: Nordsteg – Wasserseite; Endoskopiebohrung an der Station 108,75 m; $h = 4,87$ m



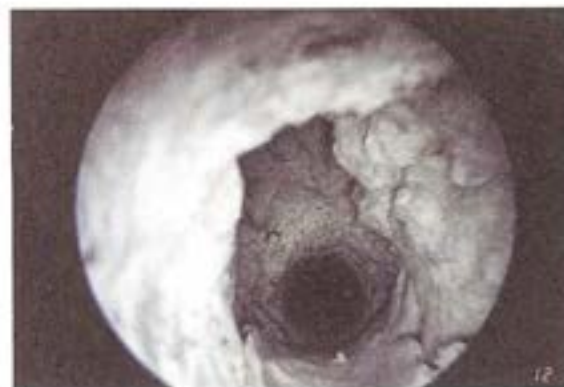
8 | Verteilung der Schallgeschwindigkeiten Ostufer: Nordsteg – Landseite; Endoskopiebohrung an der Station 32,25 m; $h = 4,6$ m



9 | Verteilung der Schallgeschwindigkeiten Ostufer: Mittelsteg – Wasserseite; Endoskopiebohrung an der Station 40,0 m; $h = 4,6$ m

10 | Endoskopie – Beprobungsstelle A: Hohlraum in einer Bohrtiefe ab ca. 6 cm, der sich nach oben fortsetzt [2]

11 | Endoskopie – Beprobungsstelle B: faserähnliches Material in einer Tiefe von ca. 10 bis 25 cm [2]



Bohrkerne. Der etwas größere Meßwertunterschied zwischen der Ausgangsmessung an der Brücke und der Labormessung bei Bohrkern-Nr. 1 ist auf die schlechte Oberflächenstruktur dieses Beprobungspunktes zurückzuführen. Dieser Effekt konnte im Labor kompensiert werden.

Anschließend wurden beide Bohrkerne zu jeweils drei Zylinderprüfkörpern segmentiert. Die an den Bohrkerne ermittelten Druckfestigkeiten β_{W200} ($\beta_{C100} = \beta_{W200}$) ergaben für BK-Nr. 1 Werte von 72 bis 79 N/mm² und für BK-Nr. 2 Werte von 76 bis 77 N/mm² [2]. Die Druckfestigkeiten liegen, im Vergleich zu den gemessenen Schallgeschwindigkeiten, sehr hoch, sie zeigen jedoch eine gute Übereinstimmung zwischen der Betonqualität des West- und des Ostufers. Die gewollt geringe Probenanzahl läßt eine mathematische Verknüpfung von Schallgeschwindigkeit und Druckfestigkeit nicht zu.

Bohrkern-Nr.	V_p Meßstation Brücke [m/s]	V_p Bohrkern Labor [m/s]	Dynamischer E-Modul [kN/mm ²]
1	4047	4368	39,4 ¹
2	4355	4342	39,6 ¹

1) Berechnungsgrundlage für E-Modul: V_p -Labor

Tabelle 3: Vergleich Meßwerte Labor – Baustelle

Die Bohrungen (Beprobungsstellen a, b und c) $\varnothing = 20$ mm zur Durchführung der endoskopischen Untersuchungen konnten aufgrund der Lage der Bewehrung nur in drei kritischen Bereichen ausgeführt werden.

Die Beprobungsstellen a (Abb. 7, 10) und b (Abb. 8, 11) ergaben eindeutige Hohlräume, die auf Verdichtungsfehler während der Betonierarbeiten schließen lassen. Zusätzlich wurden in der Beprobungsstelle b im detektierten Hohlraum Fremdmaterialien gefunden, die im Ergebnis analytischer Untersuchungen als elastisches Fasermaterial identifiziert wurden (Abb. 11). Die Beprobungsstelle c (Abb. 9) zeigte bis zu einer Gesamtsondierungstiefe von 38 cm entgegen den Erwartungen eine dichte Betonstruktur [2]. Zu begründen ist dieser Sachverhalt

damit, daß die Platzierung der Beprobungsstelle für das Endoskop aufgrund der Lage der Bewehrung nicht optimal gewählt werden konnte und noch vorhandene Verdichtungsfehler analog a und b nicht auszuschließen sind, da nicht über die gesamte Stegbreite untersucht werden konnte.

3 Schlußbetrachtungen

Die Ultraschallmessungen ergaben durch Anwendung der vorgestellten Meßmethodik die erforderliche Aussage zur Homogenität des Stahlbetons der Vorpommernbrücke in Rostock. Inhomogene Bereiche in den Brückenstegen konnten detektiert werden. Es wurden Bereiche mit deutlich niedrigeren und punktuell extrem niedrigen Schallgeschwindigkeiten gefunden. Durch gezielte endoskopische Untersuchungen konnten in zwei Fällen Hohlräume als Ursache für die geringen Schallgeschwindigkeiten diagnostiziert werden. Durch die dichte Lage der Bewehrung war die Durchführung der endoskopischen Untersuchungen nur begrenzt möglich.

Die Betonuntersuchungen an den Bohrkerne ergab eine dichte Betonstruktur, die im Ergebnis der Druckfestigkeitsprüfung zu hohen Festigkeiten führte. Signifikante Unterschiede in der Betonqualität zwischen dem West- und Ostufer waren nicht feststellbar.

Für die Erstellung eines Sanierungskonzeptes sollte in Betracht gezogen werden, den Beton in den detektierten kritischen Bereichen durch entsprechende Injektagen zu ertüchtigen. Eine Erfolgskontrolle nach der Sanierung ist empfehlenswert.

Aufgrund der erzielten Untersuchungsergebnisse kann die Anordnung der zusätzlichen externen Spannglieder zur Ertüchtigung der Brücke mit der notwendigen Sicherheit geplant werden.

Verfasser:

Dipl.-Ing. Wolfgang Erfurt
F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde
Fakultät Bauingenieurwesen
Bauhaus-Universität Weimar

Dipl.-Phys. Wolfram Köhler
Labor für Bauwerksdiagnose, Archäometrie und Geophysik
Potsdam

Literatur

- Wiggenhauser, H., *Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen – Anwendungen bei Stahlbeton im Überblick*. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton, 33. Forschungskolloquium Oktober 1996, ausgerichtet von der BAM Berlin
- Tribius, W., *Betonuntersuchungen an der Vorpommernbrücke Rostock*, Prüfbericht Nr. B 11/878-97 der MFA Weimar, August 1997