

Überwachung von Stahlbetonbrücken – Ein Modellprojekt

Stephan PIRSKAWETZ¹, Klaus-Peter GRÜNDER¹, Daniel KADOKE¹, Jörg F. UNGER¹
¹ Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin

Kontakt E-Mail: stephan.pirskawetz@bam.de

Kurzfassung. Die Brücken im Netz der Bundesverkehrswege sind überwiegend in einem ausreichenden bis guten Zustand. Allerdings steigt der Unterhalts- und Sanierungsaufwand aufgrund des inzwischen hohen Alters vieler Brücken sowie des ständig wachsenden Schwerlastverkehrs. Techniken zur Einschätzung der verbleibenden Lebensdauer von Brücken sowie zur dauerhaften Beobachtung des Tragverhaltens bzw. des Erfolges von Sanierungsmaßnahmen werden daher für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb dringend benötigt. Zur Evaluierung dafür geeigneter holistischer Ansätze wurde in der BAM das Projekt BLEIB - Bewertung, Lebensdauerprognose und Instandsetzung von Brückenbauwerken - ins Leben gerufen.

Ein zentrales Ergebnis des Projektes ist eine extern vorgespannte Stahlbetonbrücke als Zweifeldträger mit einer Gesamtlänge von 24 m, die für den Test verschiedenster Sensorsysteme, zur Validierung numerischer Modelle und zur Erprobung von Sanierungs- und Verstärkungsmaßnahmen entwickelt wurde. Für die Simulation unterschiedlicher Schädigungsgrade kann die Vorspannung der Brücke variiert werden. Die Brücke wird mit beweglichen Gewichten belastet und über einen Shaker zum Schwingen angeregt.

Das Brückenmodell wurde bewusst geschädigt, indem die Vorspannung der Struktur erstmalig schrittweise bis auf null reduziert wurde. Unter der Eigenlast verformte sich die Brücke, wodurch eine Rissbildung im Beton einsetzte. Die Zugspannung, die zuvor durch die Vorspannung aufgenommen wurde, übernahm Schritt für Schritt der Beton. Als die Zugspannungen die relativ geringe Zugfestigkeit des Betons überstiegen, begann dieser zu reißen und die schlaffe Bewehrung der Struktur nahm die Spannungen auf. Dieser Versuch wurde unter anderem von Schallemissionsmessungen begleitet. Der Rissbildungsprozess konnte damit, bei gleichzeitiger Aufzeichnung der Vorspannung, früh detektiert und die Risse geortet werden. Die Ergebnisse korrelieren gut mit den Ergebnissen der stereophotogrammetrischen Verformungsmessungen der Struktur.

Einführung

Im Bundesverkehrswegeplan 2030 [1] liegt der Fokus auf dem Erhalt und Ersatzneubau der Verkehrsinfrastruktur. Hierfür sind 69 % der insgesamt 270 Mrd. € eingeplant, während 31 % auf den Ausbau der Infrastruktur entfallen. Der errechnete durchschnittliche Erhaltungsbedarf der Fahrbahn- und Brückensubstanz bis 2030 liegt bei jährlich rund 4,5 Mrd. €. Auf die Erhaltung und Ertüchtigung der Ingenieurbauwerke entfallen davon rund 37 %. Neben der Tatsache, dass die Infrastruktur einen hohen Ausbaugrad erreicht hat, sind das Alter der Infrastruktur und der hohe Zuwachs an Transportaufkommen für den hohen Erhaltungsbedarf verantwortlich. Grundlage für Entscheidungen über Erhalt, Sanierung oder Ersatz ist die Beurteilung und Bewertung des Zustandes der vorhandenen



Ingenieurbauwerke. Künftig werden dabei die automatische Erfassung und Analyse von Zustandskenngrößen an Bedeutung gewinnen. Vor diesem Hintergrund werden im derzeit in der BAM laufenden Themenfeldprojekt „BLEIB - Bewertung, Lebensdauerprognose und Instandsetzung von Brückenbauwerken“ Methoden und Techniken zur Zustandsanalyse und -überwachung von Betonbrücken entwickelt und an einer Referenzstruktur getestet [2].

1. Experimentelle Arbeiten

1.1 Die Versuchsbrücke

Die im Rahmen des Projektes BLEIB entwickelte Modellbrücke wurde im Dezember 2016 auf dem Testgelände Technische Sicherheit (TTS) der BAM errichtet. Die als Zweifeldträger konzipierte Stahlbetonkonstruktion ist insgesamt 24 m lang (Abb. 1).



Abb. 1. Gesamtansicht der Modellbrücke auf dem Testgelände der BAM.

Abb. 2 zeigt den Querschnitt in der Mitte eines Feldes. Die Struktur kann mit zwei Stabstählen mit jeweils bis zu 600 kN vorgespannt werden (Abb. 2). Durch eine Änderung der Vorspannkraft kann eine Rissbildung im Beton initiiert bzw. überdrückt und somit die Steifigkeit und das Eigenschwingverhalten der Modellbrücke variiert werden. Damit werden verschiedene Erhaltungszustände von Brücken simuliert. Weiterhin kann die Struktur mit zwei beweglichen Gewichten von jeweils 2 t belastet werden. Die Bewehrung der Struktur ist so dimensioniert, dass es auch ohne Vorspannung und mit einer Belastung von bis zu 2 t in Feldmitte nicht zu einem Fließen der Bewehrung bzw. einem finalen Versagen kommt. Für eine Zustandsbewertung mit schwingungsbasierten Messverfahren kann die Brücke mittels eines Shakers zum Schwingen angeregt werden.

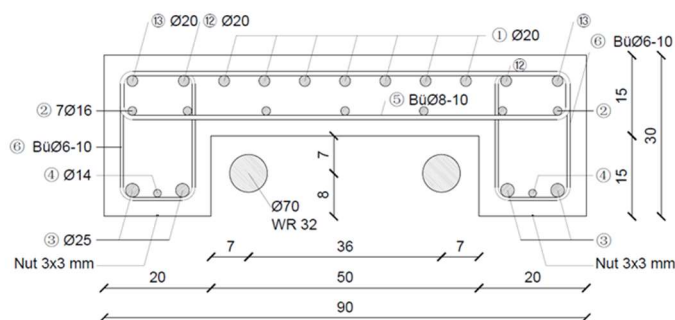


Abb. 2. Links: U-förmiger Querschnitt der Modellbrücke. Rechts: Hydraulisches System zur Änderung der Vorspannung.

Auf dem Weg zur Konzeption einer automatisierten Bauwerksüberwachung wurden verschiedene Messverfahren zur Analyse unterschiedlicher Belastungssituationen kombiniert und an der Modellbrücke getestet. Zu den eingesetzten Verfahren gehören dynamische optische 3D-Messverfahren sowie verschiedene faseroptische Verfahren zur Dehnungsmessung, klassische Verfahren zur Dehnungs- und Neigungsmessung sowie zur

Schwingungsanalyse, Ultraschallmessung mittels eingebetteter Sensoren und auch Schallemissionsmessungen.

2.2 Versuchsprogramm

Die Vorspannung der Stahlbetonstruktur mit den zwei außerhalb angeordneten Spannstäben spielt eine zentrale Rolle im Tragverhalten. Aufgebracht wurde die volle Vorspannkraft von 600 kN pro Spannstab bevor die Struktur ausgeschalt und die Stützkonstruktion entfernt wurde. Der Beton war zu diesem Zeitpunkt 30 Tage alt und hatte mit 61 N/mm² eine ausreichende Druckfestigkeit erreicht. Während des im Folgenden beschriebenen Versuchs wurde die Vorspannung erstmalig wieder auf null reduziert. Unter der Eigenlast verformte sich die Modellbrücke, wodurch Risse im Beton auftraten. Das Ablassen der Vorspannung von insgesamt 1200 kN auf 0 kN erfolgte in fünf Stufen von jeweils 240 kN. Während der Haltephasen wurde die Modellbrücke mit dem Shaker für die dynamischen Schwingungsuntersuchungen angeregt. Die Schallemissionen wurden während des gesamten Versuchs aufgezeichnet.

2. Ergebnisse und Diskussion

Unabhängig von den Schallemissionsmessungen wurden mit in den Beton eingebetteten Ultraschallprüfköpfen [3] Schallgeschwindigkeitsmessungen in Abhängigkeit von der Vorspannung durchgeführt. Die von den Prüfköpfen ausgesandten, sehr kräftigen Pulse konnten von allen Schallemissionssensoren empfangen und so auch geortet werden. Abb. 3 zeigt die anhand dieser Pulse gemessenen Laufzeiten und die daraus resultierenden Schallgeschwindigkeit bei voller Vorspannung der Modellbrücke. Die aus einem automatischen Sensortest ermittelte Schallgeschwindigkeit beträgt 4400 m/s.

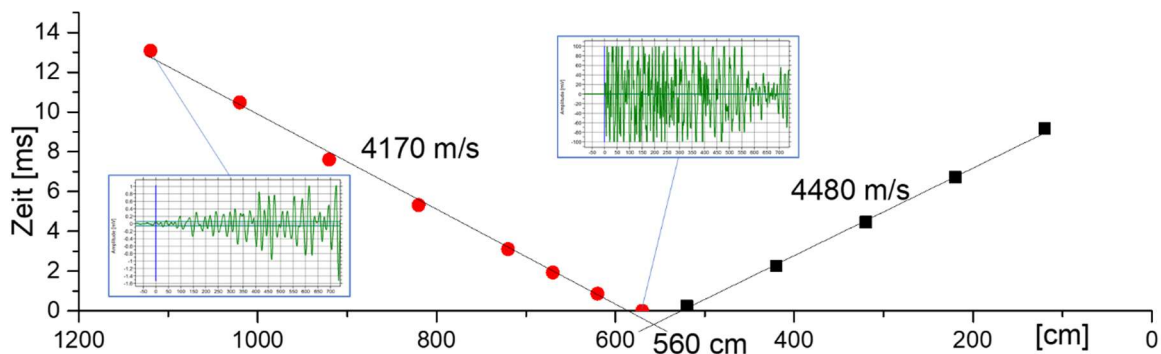


Abb. 3. Laufzeiten eines von einem eingebetteten Ultraschallprüfkopf gesendeten und verschiedenen Schallemissionssensoren empfangenen Pulses.

Abb. 4 zeigt die aus dem vollständigen Ablassen der Vorspannung resultierenden Verformungen der gesamten Struktur.

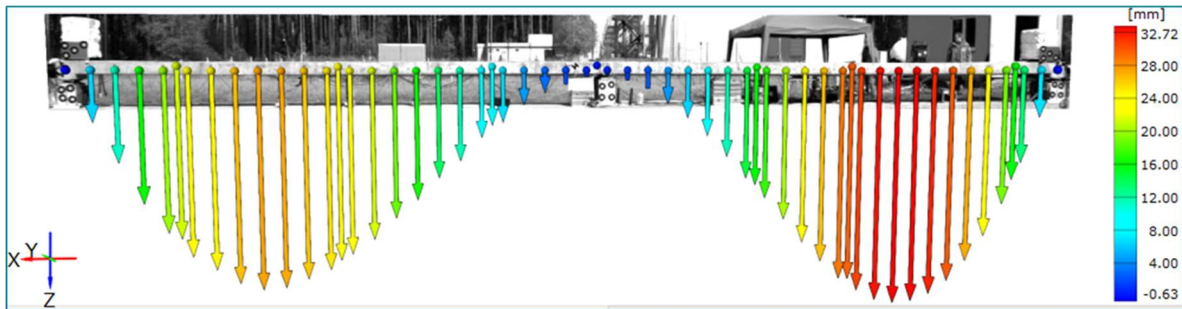


Abb. 4. Verformung der Modellbrücke unter Eigenlast ohne Vorspannung.

Die während des Versuchs über die Länge des rechten Feldes der Brücke georteten Schallereignisse zeigt Abb. 5. Die Änderungen der Vorspannung der Brücke sind durch die gestrichelten Linien markiert. Sehr gut lassen sich die in jeder Vorspannstufe wiederkehrenden Pulse der eingebetteten Prüfköpfe lokalisieren. Solange die Vorspannung 720 kN nicht unterschreitet, ist die Schallemissionsaktivität sehr gering. Die wenigen Ereignisse können auf Arbeiten an der Brücke und der Spannvorrichtung zurückgeführt werden. Die Anregung der Brücke mit dem Shaker ist in diesen Vorspannstufen mit der Schallemissionsanalyse nicht zu detektieren. Erst beim Übergang von 720 kN Vorspannung auf 480 kN steigt die Schallemissionsaktivität deutlich an. Die Ortung zeigt deutlich abgegrenzte Bereiche mit hoher Aktivität, die auf eine Rissbildung auf der Unterseite hindeuten. Der größte Teil der Ereignisse wird zwischen dem rechten Auflager und der Mitte des Feldes geortet. Hier sind auch die Verformungen am größten. Erst nach dem vollständigen Ablassen der Vorspannung werden Ereignisse in der Nähe des mittleren Auflagers geortet. Diese sind auf Risse an der Oberseite der Struktur zurückzuführen. Durch die Anregung mit dem Shaker wurde die Schallemissionsaktivität in den Vorspannstufen 480 kN bis 0 kN verstärkt.

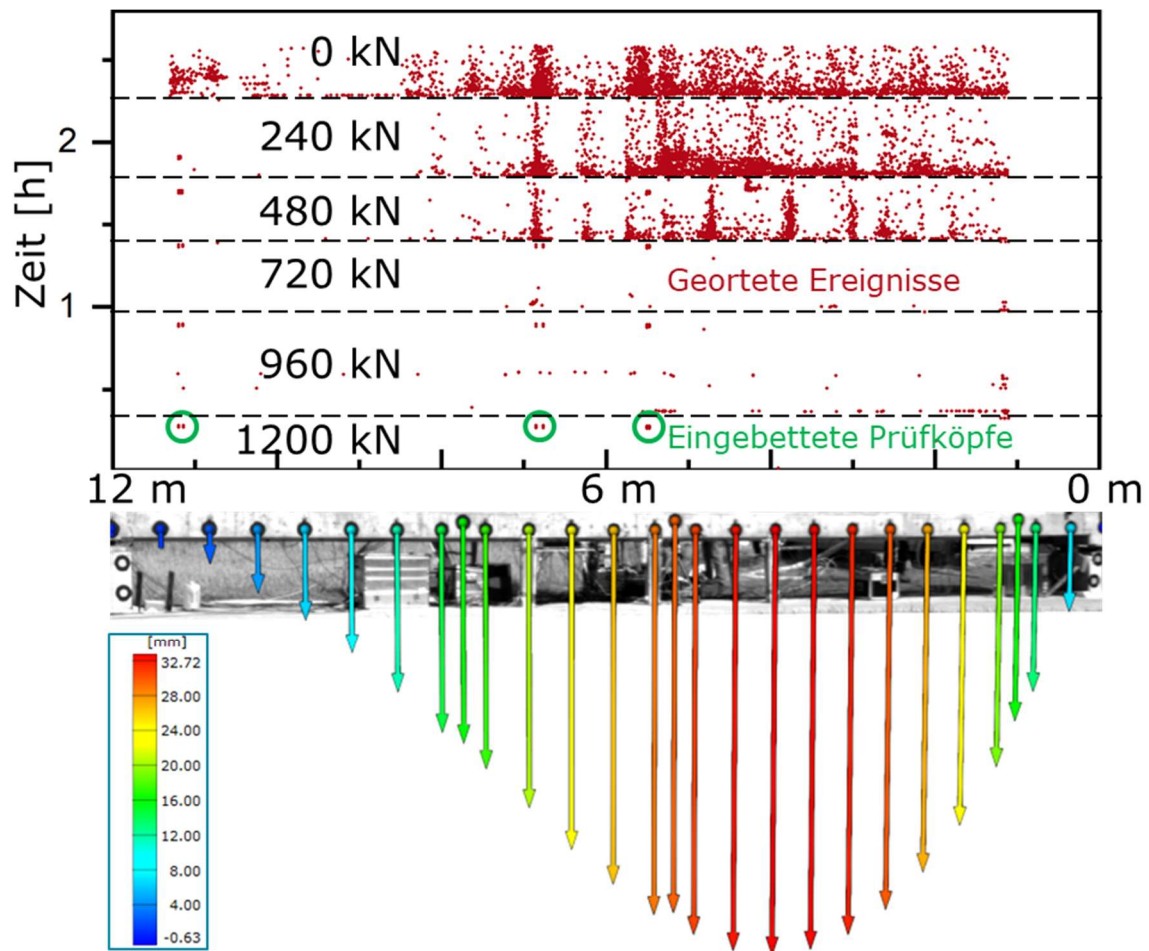


Abb. 5. Ergebnisse der Schallemissionsmessungen

3. Zusammenfassung

Der derzeitige Zustand der Verkehrsinfrastruktur in Verbindung mit Verkehrsprognosen lassen künftig einen hohen Bedarf an Erhaltungs- und Ertüchtigungsmaßnahmen an Infrastrukturbawerken erwarten. Davon sind insbesondere Brücken betroffen. Vor diesem Hintergrund wurde in der BAM das Projekt „BLEIB - Bewertung, Lebensdauerprognose und Instandsetzung von Brückenbauwerken“ ins Leben gerufen. An einem im Rahmen dieses Projektes errichteten großformatigen Brückenmodells wurde unter anderem die Schallemissionsanalyse zur Detektion der Rissbildung in Stahlbetonstrukturen getestet. Es konnte gezeigt werden, dass sich Risszonen auch an dieser großen Struktur orten lassen und die Risse durch Schwingungen der Brücke akustisch aktiviert werden.

Referenzen

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI): Bundesverkehrswegeplan 2030, Stand August 2016, www.bvwp2030.de (Januar 2019)
- [2] Unger, J.F., Gründer, K.-P., Hille, F., Liehr, S., Maack, S., Niederleithinger, E., Pirskawetz, S., Rogge, A., Said, S., Viefhues, E., Zorn, S.: Innovative Messsysteme zum Brückenmonitoring am Beispiel einer Versuchsbrücke - vom Sensor bis zur Zustandsprognose, Messen im Bauwesen 2017, Berlin, Editor: Baeßler, M., Möller, G., Rogge, A., Schiefelbein, N., S. 7 - 19, (2017)
- [3] Niederleithinger E., Wolf, J., Mielentz, F., Wiggenhauser, H. and Pirskawetz, S.: Embedded ultrasonic transducers for active and passive concrete monitoring, Sensors 15 (5), p. 9756 - 9772, doi 10.3390/s150509756, (2015)