Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 133 (2007)
Heft: 27-28: Im Soussol

Artikel: Mit Reibung Brücken überprüfen
Autor: Nussbaumer, Alain / Thomann, Michel / Hirt, Manfred A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108144

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

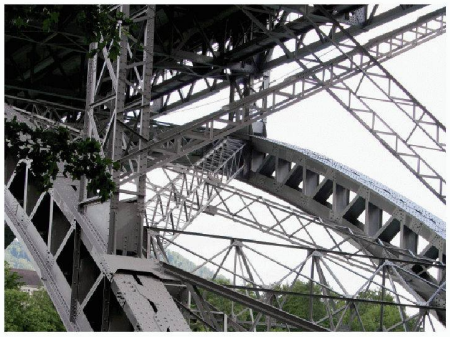
Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

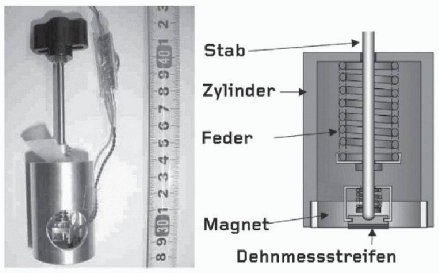
Download PDF: 07.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

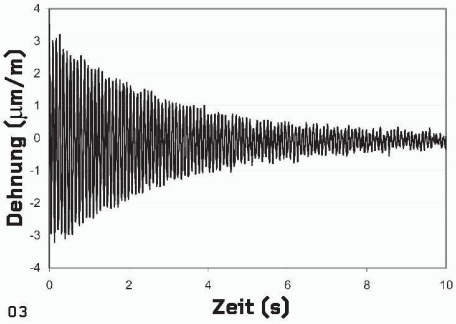
MIT REIBUNG BRÜCKEN ÜBERPRÜFEN



01



02



03

01 Detailansicht des genieteten Stahltragwerks im südlichen Bogen der Kirchenfeldbrücke in Bern. Aufnahme im Juni 2007
(Bild: Anna Röthlisberger / Red.)
02 Aufbau eines Reibungsmessstreifens[2]
(Bilder: Autoren)
03 An einem Verbundträger mit Reibungsmessstreifen gemessene Vibrationen (Übertragungsfrequenz: 200 Hz)[4]

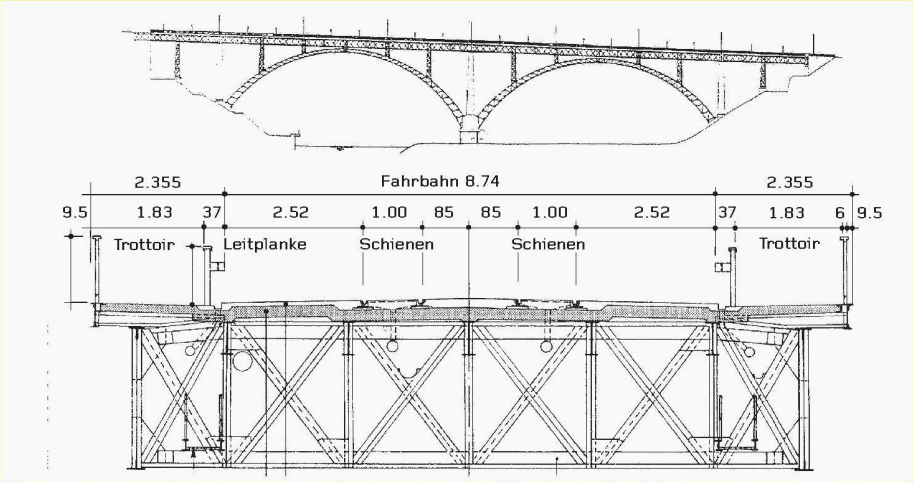
Bei der Überprüfung der Tragsicherheit von bestehenden Brücken können die zur Berechnung der Beanspruchung entwickelten Modelle mit Hilfe von Messungen am Bauwerk kalibriert werden. Ein neues System von Dehnmessstreifen reduziert den dafür erforderlichn Zeitaufwand erheblich.

Viele Brücken, wie etwa die 1883 in Betrieb genommene Kirchenfeldbrücke in Bern (Bilder 1 und 4), aber auch andere Kunstbauten müssen gegenwärtig bezüglich Tragsicherheit und Ermüdungsverhalten überprüft werden. Diese Überprüfungen sind insbesondere erforderlich, wenn die Nutzungsdauer verlängert oder die zulässigen Strassenlasten erhöht werden sollen. Im Gegensatz zu neuen Bauwerken ist es bei bestehenden möglich, die Ergebnisse aus den Berechnungsmodellen mit gemessenen Werten an der Brücke zu vergleichen. Diese Vergleiche ermöglichen eine Verfeinerung der Modelle und können oft verhindern, dass aufwändige und teure Eingriffe am Bauwerk erfolgen müssen. Grundlage dazu ist die Messung der Verformungen der Brücke bzw. bestimmter Bauteile, was häufig mittels aufgeklebter Dehnmessstreifen vorgenommen wird. Das Anwenden herkömmlicher Dehnmessstreifen ist aber zeitaufwändig und somit auch teuer, was die Eigentümer häufig davon abhält, solche Messungen anzuordnen.
Ein neues, in Japan entwickeltes System von Dehnmessstreifen, das nicht mehr geklebt werden muss, sondern über Reibung funktioniert, ermöglicht eine bedeutende Verminderung des Messaufwandes. Deshalb können mit diesem neuen System grosse finanzielle Einsparungen bei den Messungen gemacht werden, was dessen Anwendung beim Überprüfen der Tragsicherheit bestehender Bauten bedeutend interessanter macht.

EIN NEUES MESSSYSTEM

Bild 2 zeigt das neue, von der Tokioter Gesellschaft Tokyo Sokki Kenkyijo zusammen mit der Nagoya-Universität in Japan entwickelte Messsystem[1, 2]. In einem kleinen Stahlzylinder von ungefähr 6 cm Länge befindet sich ein Stempel, an dem ein Dehnmessstreifen angebracht ist. Der am unteren Ende mit einem Magneten versehene Zylinder kann problemlos an einem Stahlelement befestigt werden. Der Stempel wird danach durch eine Feder an die Stahlkonstruktion gepresst und misst die Dehnung über die dadurch entstandene Haftreibung. Dadurch entfällt die aufwändige Arbeit des Aufklebens auf den Stahl, wie es bei den herkömmlichen Messstreifen der Fall ist. Es genügt, den Magneten an der gewünschten Messstelle zu fixieren, und die Messung kann beginnen.
Durch das Institut für Stahlbau (ICOM) der ETH Lausanne durchgeführte Versuchsmessungen[3] bestätigen die Angaben des Herstellers[1], dass die gemessenen Verformungen unabhängig vom Vorhandensein eines Anstrichs auf einem Stahlelement sind. Dank diesen Ergebnissen entfällt das Abschleifen der Farbe an den Messstellen, und somit muss nach Beenden der Messungen der Anstrich auch nicht mehr nachgebessert werden. Weitere Versuche am ICOM[4] haben gezeigt, dass mit diesen Messstreifen mit guter Genauigkeit die Schwingungen eines Trägers (Bild 3) gemessen und daraus dessen Eigenfrequenz und Dämpfungsrate abgeleitet werden können.

04

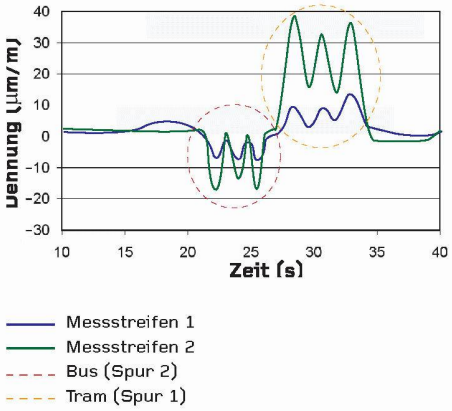


05

Um Verformungen auf einem Betonelement zu messen, muss lediglich ein dünnes Stahlblech auf die Betonoberfläche geklebt werden, auf dem anschliessend der Dehnmessstreifen mit dem Magneten angebracht werden kann. Die Befestigung des Bleches kann beispielsweise mit Hilfe eines Schnellklebers erfolgen. Die Ergebnisse dieser Messmethode wurden mit den Resultaten aus Omega-Messstreifen, die normalerweise für Verformungsmessungen an Betonelementen eingesetzt werden, verglichen. Die Resultate zeigen, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Messmethoden besteht. Die Reibungsmessstreifen liefern sowohl für gestrichene als auch für ungestrichene Stahloberflächen und auch für Betonoberflächen zuverlässige Resultate. Ausserdem können mit den Messstreifen statische und dynamische Messungen durchgeführt werden. Dank diesen Eigenschaften und der problemlosen Montage konnte an der Kirchenfeldbrücke in Bern ein Pilotprojekt erfolgreich durchgeführt werden.

04 Die 1883 in Betrieb genommene Kirchenfeldbrücke in Bern vom südlichen Widerlager aus gesehen. Aufnahme im Juni 2007 (Bild: Anna Röthlisberger / Red.)
05 Längsschnitt und Querschnitt mit Querträger der Kirchenfeldbrücke in Bern (Bild: Autoren)

06



07

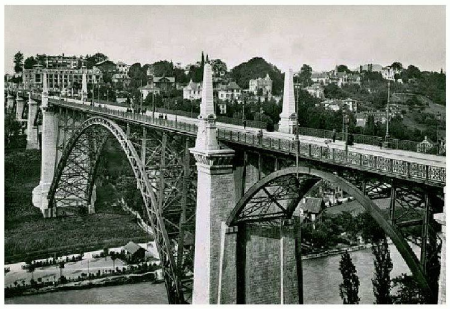
06 Bergführer beim Anbringen der Reibungsmessstreifen an einem Querträger der Kirchenfeldbrücke (vergleiche Bild 05) (Bilder: Autoren)
07 Messergebnisse von Verformungen (mit zwei Messstreifen) an der Diagonale eines Querträgers der Kirchenfeldbrücke während der Überfahrt zweier sich kreuzender Fahrzeuge (Bus und Tram)

PILOTPROJEKT KIRCHENFELDBRÜCKE

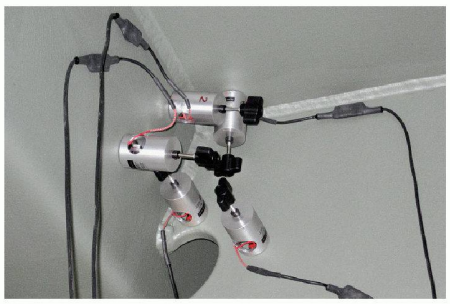
Bild 5 zeigt Ansicht und Querschnitt der Kirchenfeldbrücke in Bern, eines genieteten Stahltragwerks im Verbund mit einer Beton-Fahrbahnplatte. Trotz verschiedenen Inspektionen und Eingriffen stellte sich immer wieder die Frage nach der Tragsicherheit und dem Ermüdungswiderstand in Bezug auf die im Verlauf der Jahre erhöhten Verkehrslasten (Tram). Bisher wurde die Nutzungsdauer immer wieder verlängert.
Die Verkehrsbetriebe Bern, BERNMOBIL, veranlassten letztes Jahr die Überprüfung des Grenzzustandes der Tragsicherheit des Bauwerks. Ausserdem wurde das ICOM sowohl als Experte beigezogen als auch mit der Überprüfung der Berechnungsmodelle anhand einer Messreihe an kritischen Tragelementen beauftragt.[3]
Im Verlaufe eines Tages wurden an zehn Messstellen, davon sieben auf der Stahlstruktur des Brückenträgers und drei auf der Unterseite der Betonfahrbahnplatte, jeweils zwei Reibungsmessstreifen angebracht (Bild 6). Die Befestigung der Messstreifen erfolgte ohne Gerüst durch Bergführer. Pro Messstelle erfolgten anschliessend drei bis fünf Messungen. Die im Bespiel in Bild 7 dargestellten Dehnungen wurden von zwei Messstreifen im selben Abschnitt gemessen. Die Überfahrt von zwei Fahrzeugen, einem Bus auf der einen und einem Tram auf der anderen Fahrspur, ist klar erkennbar. Der Vergleich zwischen den Messungen und den Resultaten aus der Berechnung hat gezeigt, dass die wirklichen Dehnungen kleiner sind als die berechneten. Um diese Beobachtung in der Berechnung zu berücksichtigen, kann ein Modellfaktor zur Reduktion der berechneten Beanspruchung eingeführt werden. Für die Stahlkonstruktion der Kirchenfeldbrücke beträgt dieser Modellfaktor 0.80. Ausserdem konnte mit den Messungen gezeigt werden, dass die vorhandene Biegung in den Diagonalen der Querträger (Winkelbleche) aufgrund der Exzentrizität der Stabachse zur Fachwerksebene kleiner ist als die theoretische Biegung (berechnet mit der Stabnormalkraft mal deren Exzentrizität). Für dieses Verhalten wurde in den Berechnungen noch ein weiterer Reduktionsfaktor eingeführt, der im Beispiel der Kirchenfeldbrücke rund 0.75 beträgt.
Aufgrund der Messungen konnten die berechneten Beanspruchungen in der Stahlstruktur auf 80 % reduziert werden, und zwar sowohl für den Grenzzustand der Tragsicherheit als auch für die Ermüdung. Die Biegemomente in den Diagonalen konnten sogar auf 60 % (= 0.80 · 0.75) des berechneten Wertes minimiert werden. Dank diesen Erkenntnissen konnte ein grosser Eingriff – das Ersetzen mehrerer Diagonalen des Brückenträgers sowie die Verstärkung mehrerer Gurte des Fachwerkquerträgers – vermieden werden.
Da der Zugang zu den Messstellen relativ schwierig ist, benötigte es zum Durchführen dieser Messungen etwa drei bis fünf Personen auf dem Bauwerk. Jede Messstelle beanspruchte 30 bis 40 Minuten Arbeitszeit. Darin sind der Zugang zur Messstelle, das Anbringen und Verkabeln der zwei Messstreifen, die Messung selbst (für jede Messstelle drei bis fünf Messungen von je einer Minute Dauer) und die Demontage der Messstreifen enthalten. Es ist somit möglich, die Verformungen an einem Dutzend Messstellen innerhalb eines Arbeitstages zu messen. Je nach Wunsch des Auftraggebers können die gemessenen Daten ausgewertet oder in unverarbeitetem Zustand übergeben werden. Beim herkömmlichen System der Dehnmessstreifen wären nur schon zum Aufbau des Gerüsts, zum Abschleifen des Anstrichs und zum Aufkleben der Messstreifen 100 Arbeitsstunden nötig gewesen. Ausserdem kämen noch 100 Stunden für die Messungen, das Nachbessern des Oberflächenschutzes, das Entfernen des Gerüsts und die Datenauswertung dazu. Offensichtlich sind die Reibungsmessstreifen wirtschaftlich interessant, denn es können sowohl grössere Eingriffe an der Struktur vermieden als auch wesentliche Messkosten eingespart werden.

WEITERE ANWENDUNGEN

In Bern wurde mit der Kornhausbrücke (Bild 8), die ebenfalls ein genietetes Stahltragwerk aufweist, eine weitere über 100-jährige Brücke auf ihren Grenzzustand der Tragfähigkeit



08



09

getestet. Anhand der Messungen mit den Reibungsmessstreifen konnte, wie schon bei der Kirchenfeldbrücke, ein Modellfaktor zur Reduktion der berechneten Beanspruchung und die effektive Exzentrizität der gemessenen Elemente definiert werden.
An der Aarebrücke zwischen Leuggern / Felsenau und Koblenz (Kanton Aargau) wurden ebenfalls Messungen mit Reibungsmessstreifen durchgeführt[5]. Vor kurzem wurden an dieser Brücke Renovationsarbeiten durchgeführt. Die Fahrbahn war sehr weich, was grosse Spannungsdifferenzen in den Bogendiagonalen zur Folge hatte. Um die globale Steifigkeit des Systems zu erhöhen, wurde beidseits der Fahrbahn je ein Versteifungsfachwerk eingebaut und ausserdem die schmale Fahrbahn durch eine breitere, nun symmetrische, orthotrope Platte ersetzt. Mit den Messungen wird das reale Tragverhalten sowohl mit den Berechnungen des Ingenieurs als auch mit den Messungen an der früheren Brücke verglichen. Dafür wurden an einigen ausgewählten Elementen wie Bogendiagonalen, Hängern, Querträgenr und orthotropen Platten (Bild 9) Reibungsmessstreifen angebracht. Dieses einfache Hilfsmittel liefert mit geringem Aufwand wichtige Erkenntnisse über das Bauwerk. Dank diesen Messungen kann der dynamische Beiwert ebenfalls bestimmt werden. Die gewonnenen Messdaten können auch in Zukunft zur Bestimmung der Schadensakkumulation und der Restnutzungsdauer der Brücke benutzt werden.
Die wesentlichen Anwendungsbereiche der Reibungsmessstreifen zur Überprüfung bestehender Tragwerke sind gegenwärtig:
– Eichen und Kalibrieren von Berechnungsmodellen für den Nachweis der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und des Ermüdungswiderstandes (Beispiel Kirchenfeldbrücke)
– Bestimmen der wirklichen Amplitude der Spannungswechsel und Bestimmen der Schadensakkumulation, mit der anschliessend die Restnutzungsdauer der Stahlstruktur auf Ermüdung ermittelt werden kann (Möglichkeit für das Beispiel der Aarebrücke zwischen Felsenau und Koblenz)
– Messen der Eigenfrequenz und der Dämpfungsrate eines Bauwerkes (zum Beispiel einer schwingungsanfälligen Fussgängerbrücke)
Die Anwendung dieser vereinfacht als «Stethoskop zum Überprüfen von Brücken» bezeichneten Messmethodik erlaubt es den Ingenieuren, in gewissen Fällen für eine bestehende Brücke eine längere Nutzungsdauer anzuordnen, ohne dass die Kosten dieser «Geriatrie» unkontrolliert anwachsen.

Alain Nussbaumer, Michel Thomann, Manfred A. Hirt, Prof. Dr., dipl. Bauing. ETH / SIA, Laboratoire de la construction métallique (ICOM), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2007, manfred.hirt@epfl.ch

Der vorliegende Beitrag ist erstmals in etwas ausführlicherer Fassung in «Stahlbau» 76 (2007), H. 5, S. 343–346, erschienen.

Literatur:

1 Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd.: Strain Checker FGMH-1, Product documentation, 2005.
2 Ojio, T., Yamada, K., Saito, Y., Shiina, S.: Strain Checker: Stethoscope for bridge engineers, in: Proceedings of IABMAS 06, Third International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, Porto, July 2006.
3 Rey, Y., Thomann, M., Nussbaumer, A.: Mesures sur le pont de Kirchenfeld. Rapport de mandat IC 934-1, Laboratoire de la construction métallique, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2006.
4 Chou, D., Poutre Rolex, Jauges FGMH-1: Système porteur mixte avec sous-tirant. Projet de semestre. Laboratoire de la construction métallique, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2006.
5 Sommerstein, T., Hirt, M.A.: Messungen an der Aarebrücke Leuggern / Felsenau–Koblenz, Bericht Nr. IC 667-8. Laboratoire de la construction métallique, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 2007.

08 Die Kornhausbrücke in Bern auf einer Fotografie von 1914
09 Reibungsmessstreifen an der orthotropen Platte der Aarebrücke Leuggern / Felsenau (Kanton Aargau)