Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 114 (1996)

Heft: 39

Artikel: Bestehende Strassenbrücken: neue Möglichkeiten zur Ermittlung von Lasten und Beanspruchungen

Autor: Bez, Rolf / Bailey, Simon F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79041

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: 06.01.2026

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

Rolf Bez, Simon F. Bailey, Lausanne

Bestehende Strassenbrücken

Neue Möglichkeiten zur Ermittlung von Lasten und Beanspruchungen

Seit einigen Jahren verfügen wir in der Schweiz über ein Normenwerk für die Dimensionierung, welches auf einem modernen Nachweiskonzept basiert. Diese Normen sind, ebenso wie die in Entwicklung stehenden Eurocodes, ausschliesslich für die Bemessung neuer Tragwerke ausgelegt. Für bestehende Tragwerke legt die Richtlinie SIA 462 die Grundsätze für die Beurteilung der Tragsicherheit fest. In diesem Bericht werden die vor kurzem am Institut für Stahlbau ICOM der EPF Lausanne erworbenen Messgeräte vorgestellt. Diese sollen den Bauherren und den Bauingenieuren zur Verfügung gestellt werden, die eine Beurteilung der Tragsicherheit einer bestehenden Brücke gemäss der Richtlinie SIA 462 durchführen möchten.

Das in der Richtlinie SIA 462 [1] für die Beurteilung der Tragsicherheit eines bestehenden Tragwerks verwendete Nachweiskonzept basiert auf den Normen SIA 160, 161 und 162, die ausschliesslich zur Dimensionierung von Tragwerken bestimmt sind. Bei einer Brücke mit Leiteinwirkung Verkehr ohne variable Begleiteinwirkung und einer dem Eigengewicht zugeordneten Auflast gilt demnach die Tragsicherheit als nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$S_d = S(\gamma_G G_m, \gamma_Q Q_r) \leq \frac{R}{\gamma_R}$$

S_d Bemessungswert der Beanspruchung
γ_G Lastfaktor für Eigenlasten des Tragwerks
G_m Mittelwert der Eigenlast des Tragwerks
γ_Q Lastfaktor für die Leiteinwirkung
Q_r Kennwert der Einwirkung
R Tragwiderstand
γ_R Widerstandsbeiwert

Laut der Richtlinie SIA 462 dürfen von den geltenden Normen des SIA abweichende Einwirkungs- und Widerstandsmodelle angewendet werden, sofern dies im Einzelfall durch Theorie oder Versuche begründet werden kann. Man spricht vom Aktualisieren des Tragwiderstandes und der Kennwerte der Einwirkungen [2]. Dadurch kann die Bedingung von oben wie folgt geschrieben werden:

$$S_{act} = S(\gamma_G G_{act}, \gamma_Q Q_{act}) \leq \frac{R_{act}}{\gamma_R}$$

S_{act} aktualisierter Bemessungswert der Beanspruchung
G_{act} aktualisierter Wert der Eigenlasten des Tragwerks
Q_{act} aktualisierter Kennwert der Einwirkung
R_{act} aktualisierter Tragwiderstand

In der erwähnten Richtlinie SIA 462 sind Angaben zur Reduzierung des Widerstandsbeiwertes und einiger Lastfaktoren enthalten. Die Festlegung aktualisierter Werte bleibt hingegen dem Bauherrn oder seinem Beauftragten überlassen. Die dazu erforderlichen Grundlagen [3] müssen aber noch weiter ausgearbeitet werden, wozu dieser Bericht beitragen soll, indem im Bereich bestehender Brücken Möglichkeiten zur Bestimmung von Einwirkungen und Beanspruchungen aufgezeigt werden. Zwei Messmethoden werden im folgenden vorgestellt:

- Lastmessung des Strassenverkehrs
- Messung der Beanspruchungen bei Strassen- und Bahnbrücken

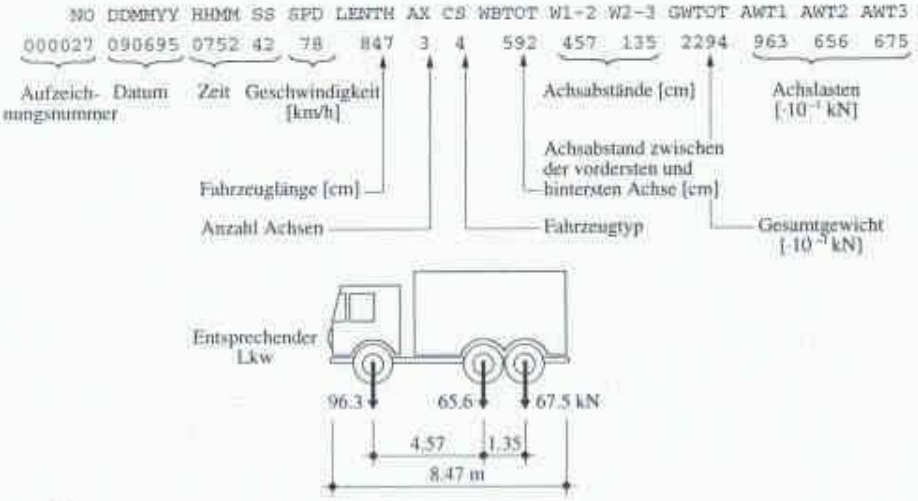
Lastmessung des Strassenverkehrs

Arbeiten der letzten Jahre im Bereich der Forschung und der Normierung weisen insbesondere ausserhalb des Autobahnnetzes auf mangelnde Kenntnisse hinsichtlich der Charakteristiken (Abmessungen und Gewichte) des schweizerischen Schwerverkehrs hin. Diese können je nach Ort in Funktion des Strassentyps (z.B. Haupt- oder Sammelstrasse) und der Verkehrsbedingungen (gesetzlich zugelassenes Maximalgewicht, Überholverbot, Anzahl der Spuren) variieren. Dieser Mangel gab dem ICOM den Anstoss zur Anschaffung des «mobilen dynamischen Gewichtserfassungssystems Golden River». Diese Messeinrichtung setzt sich zusammen aus Induktionsschleifen, WimStrip-Sensoren (WimStrip = «Weigh-In-Motion Strip») und einem Datenerfassungsgerät (Bild 1).

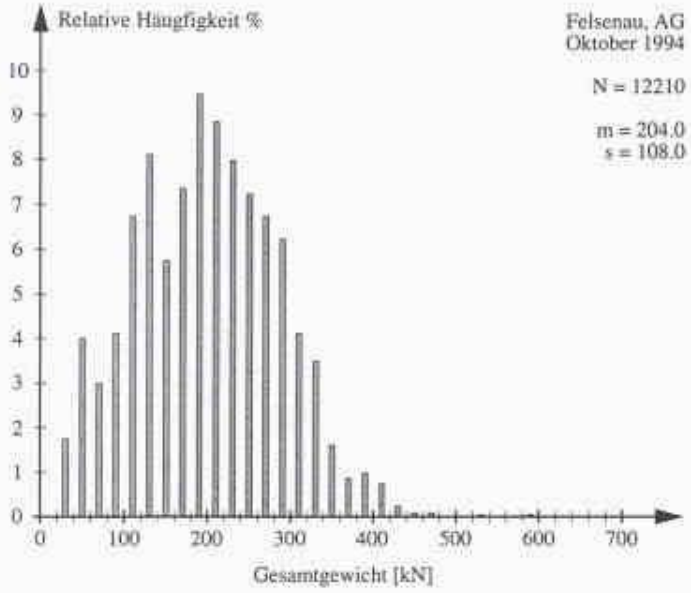
Diese Ausstattung ermöglicht die Messung folgender Verkehrscharakteristiken, ohne dabei den Verkehrsfluss zu beeinträchtigen (Bild 2):

- Achslasten, Achsabstände und Anzahl der Achsen mittels der WimStrip-Sensoren

1
Gewichtserfassungssystem im Einsatz



2
Messresultate am Beispiel der Überfahrt eines dreiachsigen Lastwagens



3
Histogramm der Gesamtlasten des Schwerverkehrs

- Geschwindigkeit, Gesamtlänge des Fahrzeugs und Fahrzeugtyp (PW, LKW mit oder ohne Anhänger, Sattelschlepper usw.) mittels der Induktionsschleifen.

Um ein einwandfreies Funktionieren des Gewichtserfassungssystems zu gewährleisten, sind bei der Wahl des Standortes folgende Kriterien zu beachten:

- Ebenheit des Strassenbelags
- geradliniger und horizontaler Strassenverlauf 100 m vor und 50 m nach der Messstelle
- maximale Geschwindigkeit der Fahrzeuge von 80 km/h

Für die Installation der Messeinrichtung muss jede Fahrspur einzeln während etwa drei Stunden gesperrt werden. Eine manuelle Verkehrsregelung mit Signaltafeln ist dazu ausreichend. Selbst der Installationsvorgang ist relativ einfach:

- Strassenoberfläche reinigen und Induktionsschleifen aufkleben (kein Fräsen nötig)
- WimStrip-Sensoren auf bituminöser Pappe verlegen und beidseitig mit rostfreien in der Fahrbahn verankerten Stahlplatten sichern
- Sensoren an das Datenerfassungsgerät anschliessen und kontrollieren

Nach der Installation ist für jede Fahrspur eine Kalibrierung anhand mehrerer Überfahrten eines Lastwagens, dessen Achslasten und Achsabstände genau bekannt sind, durchzuführen. Durch geeignete Wahl des Kalibrationsfaktors kann erreicht werden, dass der Mittelwert der gemessenen Lasten mit der effektiven statischen Last übereinstimmt.

Um genügend Aufzeichnungen zu erzielen, ist je nach Verkehrsmenge mit einer Messdauer von rund drei bis vier Wochen zu rechnen. Nach den Messungen lassen sich die Induktionsschleifen und WimStrip-Sensoren mühelos entfernen. Letztere können unter Umständen wiederverwendet werden. Solche Lastmessungen sind somit weder zeitraubend noch kostenintensiv. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass diese Messeinrichtung schon im ersten Betriebsjahr an zahlreichen Standorten mit zum Teil stark unterschiedlichem Verkehrstyp (Strassen mit auf 16 t oder 28 t Maximalgewicht beschränktem Verkehr und Strassen im grenznahen Raum mit Lastwagen von 40 t) eingesetzt werden konnte. Die Gesamtkosten einer Messkampagne belaufen sich je nach Fall auf rund 20 000 bis 30 000 Franken. Dieser Betrag umfasst sowohl die Installation, die Entfernung und die Abschreibung der Messeinrichtung als auch die Durchführung und Auswertung der Messungen inklusive Bericht. Folgende Präzisierungen zum oben beschriebenen Gewichtserfassungssystem dürften von Interesse sein:

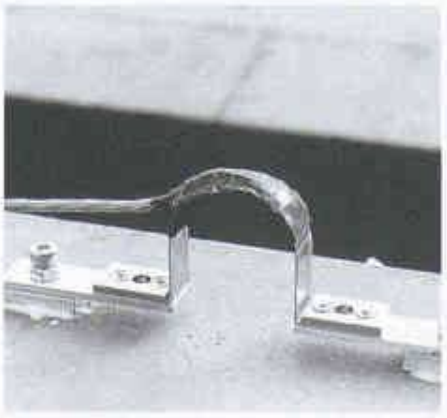
- Das netzunabhängige Datenerfassungsgerät wird von einer aufladbaren Batterie gespeist, die je nach Temperatur eine Autonomie von rund 15 Tagen gewährleistet
- Das Datenerfassungsgerät vermag bis zu 50 000 Fahrzeuge aufzuzeichnen; eine Speicherkapazität, die für mehrere Messwochen ausreicht
- Der Variationskoeffizient als Mass der Messgenauigkeit beträgt nach Angaben des Herstellers maximal 15% bei Achslasten, 10% beim Gesamtgewicht und Gesamtlänge der Fahrzeuge, und 5% beim Achsabstand, was für die Auswertung der Resultate genügend ist

Durch eine statistische Auswertung der Messresultate können Informationen zu Verkehrstyp und Verkehrscharakteristiken erhalten werden. In Bild 3 ist am Beispiel von Messungen im grenznahen Raum (gesetzlich zulässiges Maximalgewicht 40 t) die Verteilung der Gesamtlasten des Schwerverkehrs in Form eines Histogramms dargestellt.

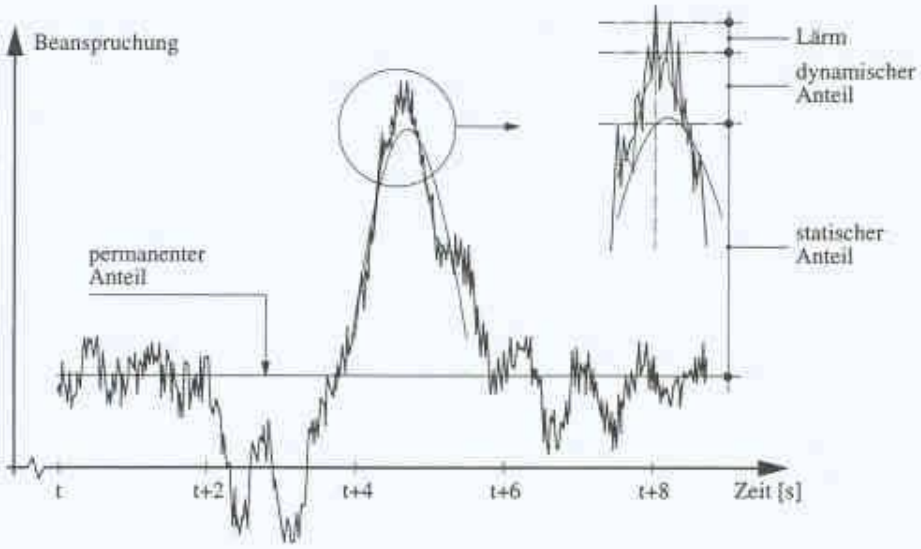
Messung der Beanspruchungen

Das Messsystem MC-HDR (HDR = «Harddisk Recorder») ermöglicht kontinuierliche Messungen an Tragwerken. Bei bestehenden Brücken können so die effektiven Beanspruchungen ermittelt und mit dem effektiven Verkehr in Beziehung gesetzt werden. Dies war ausschlaggebend für den Erwerb des Messsystems MC-HDR am ICOM. Die wichtigsten technischen Daten, detailliert aufgeführt in [4], sind nachstehend aufgeführt:

- Insgesamt 16 Sensoren können angeschlossen werden, wie z.B. Dehnmessstreifen (womit sich indirekt auf Spannungen schliessen lässt), induktive Weggeber (Messung von Deformationen) oder Sensoren zur Messung der Beschleunigung und der Schwingungsfrequenzen
- Eine Autonomie von rund 7 Tagen wird durch zwei Autobatterien gewährleistet
- Die Messfrequenz ist zwischen 0 und 50 kHz festgelegt worden; durch die Wahl einer hohen Frequenz kann auch der dynamische Anteil der Beanspruchung identifiziert werden
- Eine Festplatte von 500 MB ermöglicht Aufzeichnungen bis zu mehreren Wochen
- Über eine SCSI-Schnittstelle kann ein PC angeschlossen werden; der Festplatteninhalt von 500 MB lässt sich so in weniger als einer halben Stunde übertragen
- Eine Sechsleitertechnik eliminiert Messungenauigkeiten infolge des elektrischen Widerstands der Kabel, der von ihrer Länge und ihrer Tempe-



4
DMS vom Typ Omega



5
Messwerte während der Überfahrt eines Lastwagens

Literatur

[1]
Richtlinie SIA 462, Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1994

[2]
Kunz, P., Bez, R., Hirt, M.A., L'évaluation des structures existantes - Un nouveau défi pour l'ingénieur civil, Ingénieurs et architectes suisses, n° 5/1994, pp. 66-73

[3]
Bez, R., Bailey, S.F., Haesler, V., Modèles de charge actualisés pour l'évaluation de la sécurité structurale de ponts-routes existants, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich, 1995 (mandat de recherche OFR 90/90, rapport final 515)

[4]
BMC Dr. Schetter GmbH, MC-HDR Hinweise zur Bedienung, Puchheim (D), 1995

[5]
Bailey, S.F., Basic Principles and Load Models for the Structural Safety Evaluation of Existing Road Bridges, EPFL, Lausanne, 1996 (thèse n° 1467)

ratur abhängt. Die Kabel können daher bis zu 100 m lang sein

Spannungen lassen sich nicht messen. Sie können aber anhand von Dehnungsmessungen ermittelt werden. Dazu verwenden wir zurzeit - in Erwartung der sogenannten intelligenten Dehnmessstreifen, die noch in Entwicklung sind - vor allem Dehnmessstreifen (DMS) vom Typ Omega (Bild 4), die folgende Vorteile aufweisen:

- Temperatureinflüsse werden direkt im DMS kompensiert
- Die DMS werden an Trägerplättchen geschraubt, die vorgängig auf das Tragwerk geklebt werden; dies ermöglicht eine einfache Installation und die Wiederverwendung der DMS

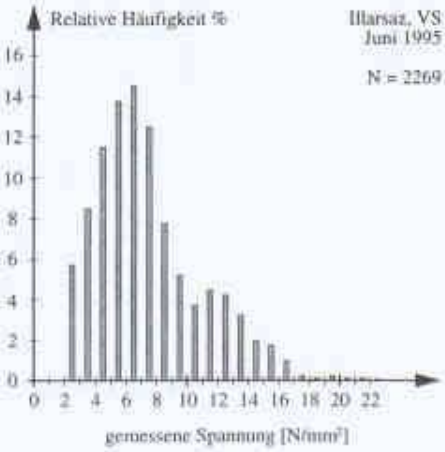
Bild 5 zeigt am Beispiel einer dreifeldrigen, durchlaufenden Kastenträgerbrücke in Verbundbauweise die Messwerte eines DMS während der Überfahrt eines Lastwagens in der Innenfeldmitte. Die Messwerte werden nachträglich mit verschiedenen Techniken gefiltert, um das Signalrauschen zu eliminieren und um zwischen Langzeiteinwirkungen (vorwiegend Temperatureinflüsse), statischen und dynamischen Einwirkungen unterscheiden zu können. Nur so können Informationen, z.B. über Extremalwerte der Beanspruchung und dynamische Beiwerte, gewonnen werden. In Bild 6 ist die Verteilung der 2269 Extremalwerte der statischen Beanspruchung infolge der Überfahrt von rund 75 000 Fahrzeugen in Form eines Histogramms dargestellt.

Eine gezielte Auswertung der Messwerte gibt somit Aufschluss über die effektive Beanspruchung (Spannungen) einer bestehenden Brücke. Beim Vergleich zwischen diesen und den Bemessungswerten der Beanspruchung stellt man fest [5], dass erstere in der Regel deutlich tiefer liegen, was bei der Beurteilung eines Tragwerks von grossem Nutzen sein kann. Ferner können die effektiven Beanspruchungen mit dem Verkehrstyp auf der Brücke in Beziehung gesetzt oder für die Beurteilung der Ermüdungssicherheit des Tragwerks hinzugezogen werden. Selbstverständlich gelten diese Ausführungen nicht nur für Strassenbrücken, sondern auch für Bahnbrücken.

Folgerungen

Mit den zwei in diesem Bericht vorgestellten Messmethoden sind bei Brücken Aussagen über die Einwirkungen und die Beanspruchungen infolge Verkehr möglich, welche bei deren Beurteilung von grossem Nutzen sein können:

- Der Verkehrstyp (auf 16, 28 oder 40 t Gesamtgewicht beschränkter Verkehr) kann anhand der Verkehrscharakteristiken (z.B. Abmessungen, Gewicht und Typ der Fahrzeuge) identifiziert werden
- Aktualisierte Lastmodelle für die Beurteilung der Tragsicherheit können ermittelt werden [5]
- Ungewissheiten bei der Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassen- und Bahnbrücken lassen sich beseitigen. Manchmal kann dadurch auf Verstärkungsarbeiten oder gar auf einen Ersatz verzichtet werden
- Die Unterhaltsarbeiten an einer Brücke lassen sich anhand der aus den Spannungsmessungen gewonnen Informationen planen. Der Bauherr kann zudem für die unterhaltsbedürftigen Bauwerke eine Prioritätenliste erstellen



6
Histogramm der Extremwerte

Adresse der Verfasser:
Dr. *Rolf Bez*, dipl. Bauing. EPFL/SIA; Dr. *Simon F. Bailey*, dipl. Bauing. BSc/SIA, EPF Lausanne, ICOM - Construction métallique, 1015 Lausanne