

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 114 (1996)  
**Heft:** 25

**Artikel:** Bestehende Strassenbrücken: aktualisierte Lastmodelle zur Beurteilung der Tragsicherheit  
**Autor:** Bez, Rolf / Bailey, Simon E. / Hirt, Manfred A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78992>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 24.04.2025

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

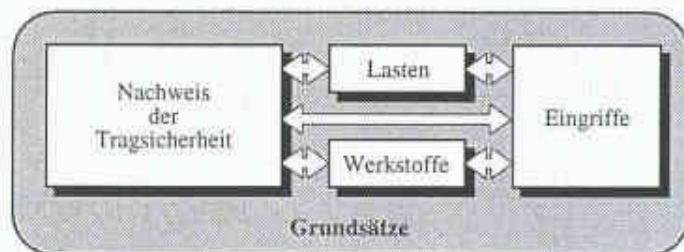
Rolf Bez, Simon F. Bailey und Manfred A. Hirt, Lausanne

## Bestehende Strassenbrücken

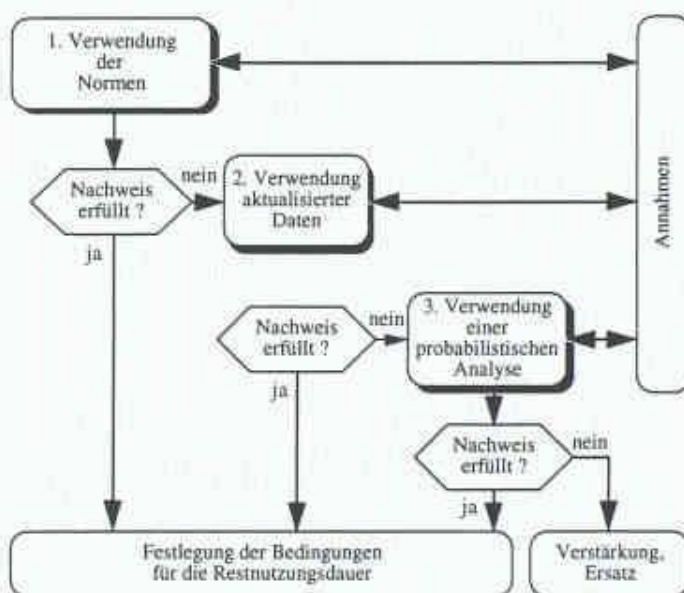
### Aktualisierte Lastmodelle zur Beurteilung ihrer Tragsicherheit

Die stete Entwicklung der Konstruktionsnormen, die Veränderung der Lasten im Lauf der Zeit und das wachsende Alter der Strassenbrücken zwingen die Bauherren dazu, sich mit der Beurteilung bestehender Strassenbrücken auseinanderzusetzen. Mangels nicht vorhandener oder nur unvollständiger Grundlagen fehlt aber den zuständigen Organen das notwendige Wissen, um für die Beurteilung bestehender Bauwerke ein geeignetes Vorgehen mit den entsprechenden Kriterien festlegen zu können. Dieser Bericht präsentiert die Resultate des am Institut für Stahlbau (ICOM) der EPFL in Auftrag gegebenen Mandates des Bundesamtes für Strassenbau, dessen Ziel die Festlegung von Lastmodellen zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken mittels probabilistischer Näherung war. Es handelt sich um eine leicht überarbeitete Version des an der FBH/FEB/ASB-Studientagung vom 14.3.1996 in Bern (Thema: Erhaltung von Brücken/ Aktuelle Forschungsergebnisse) veröffentlichten Textes (siehe SIA-Dokumentation D 0129).

1  
Prozess zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken



2  
Prinzip der Beurteilung in Etappen



Die Zielsetzungen dieser Studie waren die folgenden:

- Erarbeiten der Grundsätze zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken
- Festlegen der entsprechenden Lastmodelle
- Untersuchen des Einflusses allfälliger Eingriffe im Strassenverkehr auf die Lastmodelle

Diese drei Punkte sind Teile des Prozesses zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken, wie dies (1) illustriert. Die Resultate dieser Untersuchung ermöglichten einen ersten Vorschlag für die Festlegung aktualisierter Lastmodelle. Zur Verfeinerung der bis anhin erhaltenen Resultate wurden diese Studien am ICOM im Rahmen einer Dissertation fortgesetzt.

Der Umfang dieser Untersuchung beschränkt sich auf den Nachweis der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken,

wobei nach folgenden Kriterien unterschieden wird:

- nach Strassenklasse (Autobahn, Hauptstrasse oder Sammelstrasse)
- nach Gewicht (unbeschränkter Verkehr, d.h. gesetzlich zugelassenes Maximalgewicht 28 t) oder für einen auf 16 t Maximalgewicht beschränkten Verkehr

Das gesetzlich zulässige Maximalgewicht zweiaxiger Lastwagen wurde vor kurzem von 16 t auf 18 t erhöht. Eine ergänzende Studie kommt jedoch zum Schluss, dass dies keinen Einfluss auf die hier präsentierten Resultate hat.

Aus Gründen der begrenzt zur Verfügung stehenden Mittel und Zeit konnten ferner einige, teils wichtige Aspekte nicht behandelt werden:

- Gebrauchstauglichkeit
- Ermüdungssicherheit
- Querschnittswiderstand
- Sondertransporte

Für alle Brücken wurde nur der Lastfall 'Leiteinwirkung Verkehr ohne variable Begleiteinwirkung' berücksichtigt.

### Grundsätze

Bei der Ermittlung der Grundsätze zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken gilt es folgende Randbedingungen zu beachten:

- Die Grundsätze zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken sollen so wenig wie möglich von jenen abweichen, die bei der Bemessung neuer Brücken angewendet werden. Dies berechtigt den Ingenieur, bei einer Beurteilung das gleiche Vorgehen wie bei einer Bemessung anzuwenden.

- Anfang der neunziger Jahre hat die Kommission SIA 462 die ersten Arbeiten betreffend die Beurteilung der Tragsicherheit



bestehender Tragwerke aufgenommen. Die resultierenden Schlussfolgerungen wurden 1994 in der Richtlinie SIA 462 [1] veröffentlicht. Sie enthält die wesentlichen Grundsätze zur Beurteilung der Tragsicherheit. Da uns diese Definitionen vernünftig erscheinen, haben wir nicht nach weiteren Grundsätzen geforscht, sondern versucht, ergänzende Informationen zu liefern. Deshalb werden in diesem Bericht vor allem konkrete Elemente vorgeschlagen, die es erlauben, die aktualisierten Lastmodelle zur Beurteilung bestehender Strassenbrücken zu definieren.

Für die Leiteinwirkung Verkehr (ohne variable Begleiteinwirkung) und einer dem Eigengewicht zugeordneten Auflast gilt nach den heutigen SIA-Normen die Tragsicherheit nachgewiesen, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$S_d = S(\gamma_G G_m + \gamma_Q Q_e) \leq \frac{R}{\gamma_R} \quad \text{Gl. 1}$$

- $S_d$  Bemessungswert der Beanspruchung  
 $\gamma_G$  Lastfaktor für Eigenlast des Tragwerks  
 $G_m$  Mittelwert der Eigenlast des Tragwerks  
 $\gamma_Q$  Lastfaktor für die Leiteinwirkung  
 $Q_e$  Kennwert der Einwirkung  
 $R$  Tragwiderstand  
 $\gamma_R$  Widerstandsbeiwert

Bedingung (1) gilt allgemein für die Bemessung neuer Tragwerke. Bei bestehenden Tragwerken stellen sich folgende Fragen:

- Darf das gleiche Konzept verwendet werden?
- Darf das bestehende Konzept beibehalten werden, jedoch mit veränderten Lastfaktoren und/oder Widerstandsbeiwerten?
- Darf das bestehende Konzept beibehalten werden, jedoch mit teilweise veränderten Kennwerten?

Betreffend Einwirkungen durch Verkehr lassen sich zwei wesentliche Gründe nennen, die ein anderes Vorgehen bei der Beurteilung einer bestehenden Brücke bezüglich ihrer Bemessung rechtfertigen:

- Der zu modellierende Verkehr ist kein extremer Verkehr für die gesamte Lebensdauer des Bauwerks, sondern nur für die geplante Restnutzungsdauer.
- Der Charakteristik des effektiven Verkehrs, abhängig von der Lage im Strassennetz, ist Rechnung zu tragen.

Betreffend Eigengewicht oder Tragwiderstand können a priori folgende Gründe ein anderes Vorgehen rechtfertigen:

- Das Eigengewicht einer bestehenden Brücke lässt sich mit guter Genauigkeit bestimmen.

- Die verwendeten Baustoffe weisen häufig eine bessere Qualität auf, als dies von den Konstruktionsnormen gefordert wird. Zudem lassen sich Materialkennwerte anhand von Proben am Bauwerk ermitteln.

Angesichts dieser wesentlichen Unterschiede empfiehlt es sich, für die Beurteilung der Tragsicherheit von bestehenden Strassenbrücken gezielte Anpassungen vorzunehmen.

### Beurteilung in Etappen

Unserer Ansicht nach eignet sich für die Beurteilung bestehender Tragwerke ein Vorgehen in Etappen. Dies ermöglicht es, die Annahmen bei jeder Etappe so weit als nötig zu verfeinern. Zudem findet man dieses Prinzip in der Literatur, wie [1], [2] und [3]. Die wichtigsten Etappen einer solchen Beurteilung sind in (2) illustriert (vgl. [4], wo dieses Vorgehen schon präsentiert wurde). Vor jeder Etappe sind Annahmen zu treffen (z.B. Materialkennwerte, Lasten usw.). Diese hängen vom Nachweiskonzept der entsprechenden Etappe ab. Lässt sich damit nachfolgend der geforderte Nachweis erbringen, so sind für die Restnutzungsdauer die entsprechenden Bedingungen (Inspektionsintervalle, Beschränkungen usw.) festzulegen. Lässt sich der Nachweis jedoch nicht erbringen, geht man eine Stufe bzw. Etappe weiter:

#### Etappe 1: Verwendung der Normen

Anhand der Normen erhält der Ingenieur einen ersten Eindruck des zu beurteilenden Tragwerks. Ein solches Vorgehen ermöglicht ein relativ rasches Auffinden der kritischen Bauteile oder Querschnitte. Erfüllen diese die Bedingung (1) nicht, so ist die Verwendung aktualisierter Daten berechtigt.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Norm SIA 160 [5] bei Brücken mit einer Verkehrsfläche von maximal 6 m für die Kennwerte der Lastmodelle 1, 2 und 3 eine Reduktion bis zu 25% erlaubt. Im weiteren können gemäss [6] zwei weitere Änderungen vorgenommen werden:

- Reduktion des Kennwertes des Lastmodells 1 auf 65 kN/Rad, wenn nicht die Fahrbahnplatte nachgewiesen werden soll
- Reduktion des dynamischen Beiwertes  $\Phi$ , entsprechend der Grundfrequenz des Tragwerks

#### Etappe 2: Verwendung aktualisierter Daten

Das nach der Norm SIA 462 vorgeschlagene Prinzip zur Beurteilung der

Tragsicherheit bestehender Tragwerke unter Verwendung aktualisierter Daten ist auch bei Strassenbrücken anwendbar. Die aktualisierten Daten betreffend Einwirkungen, Widerstand und Verhalten des Tragwerks müssen anhand der mit dem Bauherrn vereinbarten Anforderungen definiert werden. Die Verwendung dieses hier vorgeschlagenen Prinzips hat den grossen Vorteil, dass es dem Konzept der Normen ähnelt. In der Tat schreibt sich der Nachweis zu:

$$S_d = S(\gamma_G G_m + \gamma_Q Q_{akt}) \leq \frac{R}{\gamma_R} \quad \text{Gl. 2}$$

$Q_{akt}$ : aktualisierter Kennwert der Einwirkung aus Verkehr

Die restlichen Parameter der Bedingung (2) entsprechen den Definitionen von Bedingung (1), jedoch handelt es sich hierbei um aktualisierte Kennwerte. Hinweise dazu findet der interessierte Leser in der Norm SIA 462.

Zu den aktualisierten Kennwerten der Einwirkung aus Verkehr  $Q_{akt}$  gibt die Norm SIA 462 aber keine Angaben. Um die Bedingung (2) gleichwohl gebrauchen zu können, müssen einige dieser Kennwerte noch definiert werden. Dies geschieht im folgenden nach probabilistischen Grundsätzen.

#### Etappe 3: Verwendung einer probabilistischen Analyse

Die Verwendung einer probabilistischen Analyse ist bei Forschungsarbeiten [8], [9] oder der Ausarbeitung von Normen unerlässlich. Nur sie ermöglicht sowohl die Quantifizierung der Zuverlässigkeit von Tragwerken als auch die Festlegung der Lastfaktoren, Widerstandsbeiwerte und Kennwerte der Einwirkungen [7].

Bei der rechnerischen Beurteilung von bestehenden Tragwerken ist eine probabilistische Analyse nur in seltenen Fällen nötig. Sie kann sich als geeignet erweisen, wenn z.B. die Verwendung aktualisierter Daten für das Erbringen des Nachweises noch nicht ausreicht. Die für solche Analysen notwendigen Annahmen sind aufwendig, da sie auf umfangreichen Messungen am Bauwerk basieren; ein solches Vorgehen bleibt dem Experten vorbehalten.

Ist auch mit einer solchen Analyse der Nachweis nicht zu erbringen, so muss das Tragwerk verstärkt oder ersetzt werden.

#### Aktualisierte Lastmodelle: Probabilistische Untersuchung

##### Simulation der Beanspruchungen infolge Verkehr

Bei einer probabilistischen Analyse werden die das Bemessungsproblem be-



3

Prinzipielles Vorgehen zur Festsetzung der aktualisierten Lastmodelle zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken

einflussenden Grössen als Variable eingeführt und mit entsprechenden Verteilungsformen und Parametern (z.B. Mittelwert  $m$  und Standardabweichung  $\sigma$ ) erfasst. Die Beanspruchung infolge Verkehr ist eine solche Grösse. Die Erfassung ihrer Verteilungsform und ihrer Parameter in Funktion des Brückentyps, des Strassentyps und allfälliger Eingriffe im Verkehr (Gewichtslimiten, Minimalabstände zwischen Fahrzeugen, Überholverbot usw.) wird mit einer Simulation der Beanspruchungen infolge Verkehr ermittelt. Dazu bildet man zufällige Achsfolgen aufgrund der Charakteristiken des Verkehrs, d.h. Abstand zwischen den Fahrzeugen, Geometrie der Fahrzeuge, Achslasten, deren Verteilungsformen und Parameter aus Verkehrsmessungen bekannt sind. Führt man mit diesen Achsfolgen über die Einflussflächen der untersuchten Brückentypen, so lassen sich Histogramme der maximalen Beanspruchungen erstellen. Daraus leiten sich dann deren Verteilungsformen und Parameter ab.

### Festlegung der Lastmodelle

Das in diesem Kapitel angewendete prinzipielle Vorgehen zur Festlegung der Lastmodelle für die Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken wird in (3) illustriert. Die wichtigsten Etappen dieses Vorgehens werden nachfolgend für ein Gefährdungsbild mit dem Verkehr als einzig variabler Einwirkung kommentiert:

$$G + Q \leq R \quad (\text{Grenzstandsbed.}) \quad \text{Gl. 3}$$

Bemessungsvariablen:

$G$ : Beanspruchung infolge Eigengewicht

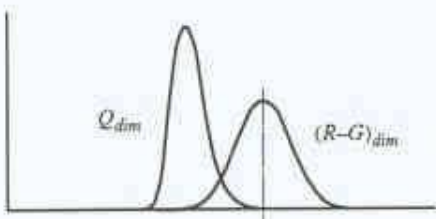
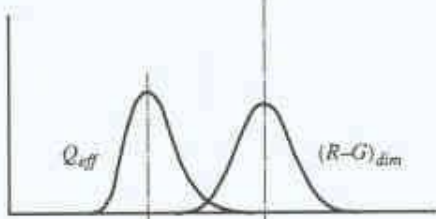
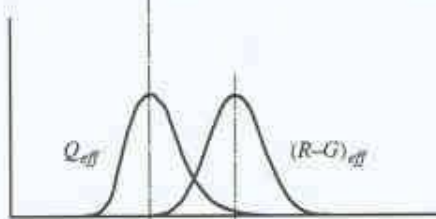
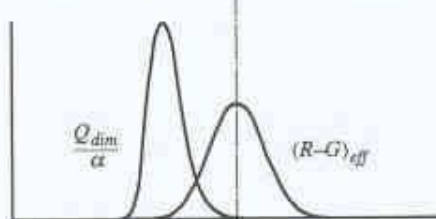
$Q$ : Beanspruchung infolge Verkehr

$R$ : Tragwiderstand

Will man die Beanspruchungen infolge Verkehr  $Q$  mit der 'Tragfähigkeit'  $(R-G)$  vergleichen, so lässt sich die Grenzstandsbedingung (3) umschreiben zu:

$$Q \leq R - G \quad \text{Gl. 4}$$

1. Die probabilistische Analyse einer Brücke mit der Beanspruchung  $Q_{dim}$  infolge des Dimensionierungsverkehrs (dem die Lastmodelle der Norm SIA 160 zugrunde liegen), unter Berücksichtigung der 'Tragfähigkeit'  $(R-G)_{dim}$  führt zu einem Sicherheitsindex  $\beta_{dim}$ . Der Tragwiderstand  $R_{dim}$  respektive die 'Tragfähigkeit'  $(R-G)_{dim}$  liefert eine vorgängig durchgeführte

1.		Bemessung mit $Q_{dim}$ und $(R-G)_{dim}$ → $\beta_{dim}$
2.		Beurteilung mit $Q_{eff}$ und $(R-G)_{dim}$ → $\beta_{eff} > \beta_{dim}$
3a.		Bedingung: $\beta_{eff} = \beta_{dim}$ → Beurteilung mit $Q_{eff}$ und $(R-G)_{eff}$ wobei $Q_{eff}$ folgenderweise definiert werden kann:
3b.		$Q_{eff} = \frac{Q_{dim}}{\alpha}$

Bemessung der verschiedenen Querschnitte anhand der SIA-Normen.

2. Die auf bestehende Strassenbrücken wirkenden, effektiven Beanspruchungen  $Q_{eff}$  sind in Wirklichkeit aber kleiner als die bei der Bemessung verwendeten 'Dimensionierungswerte'  $Q_{dim}$ . Dies weil der effektive Verkehr generell weniger 'aggressiv' ist als der Dimensionierungsverkehr. Geht man wiederum von einer effektiven 'Tragfähigkeit'  $(R-G)_{dim}$  aus, so erhält man mit einer probabilistischen Analyse einen Sicherheitsindex  $\beta_{eff}$ , der grösser ist als  $\beta_{dim}$ . Die Zuverlässigkeit einer bestehenden Brücke ist somit höher als jene, die bei der Bemessung einer neuen Brücke gefordert wird.

Das Ziel ist es aber, dass die Zuverlässigkeit der bestehenden Brücken derjenigen einer mit aktuellen SIA-Normen bemessenen neuen Brücke entspricht, respektive:

$$\beta_{eff} = \beta_{dim} \quad \text{Gl. 5}$$

Um dies zu erreichen, gibt es zwei Möglichkeiten:

3a. Wenn man bei der Beurteilung einer bestehenden Brücke die effektiven Beanspruchungen  $Q_{eff}$  infolge Verkehr benutzt, so kann der effektive Tragwiderstand  $R_{eff}$  bzw.  $(R-G)_{eff}$  zur Erzielung von  $\beta_{eff} = \beta_{dim}$  kleiner ausfallen als  $R_{dim}$  bzw.  $(R-G)_{dim}$ .

3b. Die Arbeit des Ingenieurs in der Praxis bei der Beurteilung einer bestehenden Brücke wird aber erleichtert, wenn für  $Q_{eff}$  statt der effektiven Beanspruchung, der Bemessungswert der Beanspruchung dividiert durch einen Reduktionsfaktor  $\alpha$  verwendet wird:

$$Q_{eff} = \frac{Q_{dim}}{\alpha} \quad \text{Gl. 6}$$

Das Hauptziel der probabilistischen Studie besteht in der Festlegung dieser Reduktionsfaktoren  $\alpha$ . Verwendet man das Konzept der Beurteilung bestehender Trag-



werke unter Verwendung aktualisierter Kennwerte, lässt sich der aktualisierte Kennwert  $Q_{akt}$  der Verkehrslasten gleichsetzen mit dem Kennwert  $Q$  (gemäss SIA Norm 160) dividiert durch den Reduktionsfaktor  $\alpha$ :

$$Q_{akt} = \frac{Q}{\alpha} \quad \text{Gl. 7}$$

Eingesetzt in Bedingung (2) erhält man somit:

$$S_{\sigma} = S \left( \gamma_G G_m + \gamma_Q \frac{Q}{\alpha} \right) \leq \frac{R}{\gamma_R} \quad \text{Gl. 8}$$

Der Reduktionsfaktor  $\alpha$  ist ein wichtiger Parameter, denn er ermöglicht die Festlegung aktualisierter Lastmodelle zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken mit den in der Norm SIA 160 für die Bemessung neuer Brücken aufgeführten Lastmodellen.

### Resultate

Ermittelt man die Reduktionsfaktoren  $\alpha$  für die verschiedenen Kombinationen der Parameter: Brückentyp (Stahlbeton-, Spannbeton- oder Verbundbauweise; offener oder geschlossener Querschnitt), Brückenlänge, Strassenklasse (Sammelstrasse, Hauptstrasse oder Autobahn), Anzahl der Fahrspuren, Eingriffe in den Strassenverkehr (auf 16 oder 28 t Maximalgewicht beschränkter Verkehr; Überholverbot usw.), so stellt man folgendes fest:

- Strassentyp, Anzahl der Fahrstreifen und Gewichtsbeschränkung beeinflussen den Reduktionsfaktor, wie dies aus (4) ersichtlich wird.
- Geschlossene Brückenquerschnitte weisen gegenüber offenen einen grösseren Reduktionsfaktor  $\alpha$  auf; der Unterschied ist aber klein.
- Der Einfluss der Spannweite auf den Reduktionsfaktor  $\alpha$  ist gering.

### Bemerkungen

- Der in der Norm SIA 160 für die Bemessung definierte dynamische Beiwert  $\phi$  ist bei einer Beurteilung auch anzuwenden. Die aktualisierten Kennwerte des Lastmodells 1 der Norm SIA 160 sind ebenso mit dem dynamischen Beiwert  $\phi$  zu multiplizieren.
- Die bei Haupt- und Sammelstrassen für zwei Fahrstreifen ermittelten Reduktionsfaktoren  $\alpha$  sind auch bei einer höheren Anzahl von Fahrstreifen anwendbar, was die entsprechenden Simulationen bestätigen.
- Die Reduktionsfaktoren  $\alpha$  basieren auf einer Zeitspanne von:
  - einem Jahr bei Autobahnen mit zeitweilig einspurig rollendem Verkehr (z.B. infolge Unterhaltsarbeiten)
  - fünfzig Jahren in allen anderen Fällen.
- Die Zeitspanne von 50 Jahren scheint lang, aber deren Einfluss auf den Reduktionsfaktor ist nicht sehr gross. Betrachtet man die in (4) aufgeführten Werte als von der Restnutzungsdauer der untersuchten Strassenbrücke unabhängig, so führt dies zu einer konservativen Beurteilung.
- Die erhaltenen Resultate sind nur bei der Ermittlung der Beanspruchungen in Brückenlängsrichtung anwendbar. Die Nachweise der lokalen Tragsicherheit oder diejenigen in Querrichtung müssen mit Lastmodellen durchgeführt werden, die anhand des auf der Brücke wirkenden, effektiven Verkehrs ermittelt werden. Das deterministische Vorgehen schlägt für den lokalen und transversalen Nachweis die in (5) definierten Lastmodelle vor. Die erwähnten Kennwerte sind mit einem dynamischen Beiwert  $\phi = 1.4$  zu multiplizieren [10] [11].

### Literatur:

- [1] SIA 462, Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1994
- [2] IP Bau, Die Erhaltung der Tragsicherheit, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1992
- [3] *Schneider, J.*, Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen, Verlag der Fachvereine, Zürich, 1994
- [4] *Kienz, 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)
- [5] SIA 160, Einwirkungen auf Tragwerke, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1989
- [6] *Bez, R., Bailey, S.F., Hoesler, V.*, Modèles de charge actualisés pour l'évaluation de la sécurité structurale de ponts-routes existants, Union des professionnels suisses de la route (VSS), Zurich, 1995 (mandat de recherche OFR 90/90, rapport final 515)
- [7] *Bez, R.*, Modélisation des charges dues au trafic routier, EPFL, Lausanne, 1989 (thèse n° 795)
- [8] *Kienz, P.*, Probabilistisches Verfahren zur Beurteilung der Ermüdungssicherheit bestehender Brücken aus Stahl, EPFL, Lausanne, 1992 (thèse n° 1023)
- [9] *Petschauer, M.*, Zuverlässigkeit technischer Systeme, ETHZ, Institut für Baustatik und Konstruktion, Zürich, 1993 (Bericht Nr. 199)
- [10] *Cantieni, R.*, Dynamische Belastungsversuche an Strassenbrücken in der Schweiz / 60 Jahre Erfahrung der EMPA, EMPA, Dübendorf, 1983 (Bericht Nr. 116/1)
- [11] *Cantieni, R.*, Beitrag zur Dynamik von Strassenbrücken unter der Überfahrt schwerer Fahrzeuge, ETHZ, Zürich, 1991 (Diss. ETH Nr. 9505)
- [12] *Hoesler, V., Bez, R.*, Modèles de charge actualisés du trafic routier pour l'évaluation de ponts existants, EPFL, ICOM, Lausanne, décembre 1994 (mandat du Département des travaux publics du canton du Valais, rapport ICOM n° 643)
- [13] *Bailey, S.F.*, Basic Principles and Load Models for the Structural Safety Evaluation of Existing Road Bridges, EPFL, Lausanne 1996 (thèse n° 1467)

Strassklassen	Anzahl der Fahrstreifen	Unbeschränkter Verkehr	Auf 16 t beschränkter Verkehr
Autobahn	2 Fahrstreifen	$\alpha = 1.00$	-
	1 Fahrstreifen	$\alpha = 1.20$	-
Haupt- oder Sammelstrasse	2 Fahrstreifen	$\alpha = 1.10$	$\alpha = 1.80$
	1 Fahrstreifen	$\alpha = 1.35$	$\alpha = 2.00$



4  
Werte des Reduktionsfaktors  $\alpha$  in Funktion der wichtigsten Parameter

5  
Lastmodelle für den lokalen und transversalen Nachweis der Tragsicherheit. (a) Unbeschränkter Verkehr (mit  $Q = 65$  kN). (b) Auf 16 t beschränkter Verkehr (mit  $Q = 75$  kN)



**Verdankung:**

Die Verfasser danken dem Bundesamt für Strassenbau (ASB) für die finanzielle Unterstützung der in den vergangenen Jahren am ICOM durchgeführten Forschungsarbeiten im Bereich der Beurteilung bestehender Strassenbrücken. Unsere Anerkennung richtet sich im weiteren an alle Mitarbeiter am ICOM, die sich in irgendeiner Weise bei der Ausarbeitung dieser Forschung beteiligt haben.

Die hier präsentierten Resultate wurden am Institut für Stahlbau (ICOM) der EPFL im Rahmen einer Doktorarbeit [13] fortgesetzt. Sie liefert die Grundlage zur Ermittlung eines präziseren Reduktionsfaktors  $\alpha$  im Vergleich zu den Werten der Tabelle von [4], vorausgesetzt man kennt für den konkreten Fall folgende Charakteristiken des Verkehrs:

- Mittelwert, Standardabweichung und Maximalwert der Meterlast des Schwerverkehrs

- Anteil des Schwerverkehrs am Gesamtverkehr
  - Verkehrsvolumen
  - Verkehrsfluss
- Mit diesem Vorgehen werden Reduktionsfaktoren bis zu 2.5 erzielt.

**Folgerungen**

Anhand der Untersuchungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Bei der Beurteilung bestehender Strassenbrücken ist für den Nachweis der Tragsicherheit dasselbe Vorgehen wie bei einer Bemessung anwendbar. Dabei werden die Lastmodelle anhand des effektiven Verkehrs aktualisiert.
- Die erhaltenen Resultate ergänzen die SIA 462 [1], denn sie ermöglichen die Bestimmung aktualisierter Kennwerte des Verkehrs zur Beurteilung be-

stehender Strassenbrücken, indem die Kennwerte des Verkehrs gemäss SIA 160 durch einen Reduktionsfaktor  $\alpha$  dividiert wird. Der Reduktionsfaktor  $\alpha$  ist von der Anzahl Fahrspuren, des Strassentyps und der Gewichtslimite abhängig.

- Die Untersuchungen im Rahmen einer Doktorarbeit [13] zeigen, dass dieser Reduktionsfaktor  $\alpha$  genauer festgelegt werden kann, vorausgesetzt, man kennt im konkreten Fall die wichtigsten Charakteristiken des Verkehrs.

**Adresse der Verfasser:**

Dr. Rolf Bez, dipl. Bauing. EPFL/SIA, Dr. Simon F. Bailey, dipl. Bauing. BSc/SIA, und Prof. Dr. Manfred A. Hirt, dipl. Bauing. ETH/SIA, EPFL, ICOM - Construction métallique, 1015 Lausanne

Hans D. Halter, Windisch

## Algenbewuchs an hochisolierten Fassaden

**Stark wärmegeämmte Nord- und Westfassaden zeigen oft schon wenige Jahre nach ihrer Erstellung einen Algenbelag. Besonders bei Kompaktisolationen mit mineralischem Verputz ist dieser Belag schon nach kurzer Zeit sichtbar. Warum das? Die klare Atmosphäre ist im Bereich des thermischen Infrarots partiell durchlässig. In der Nacht strahlt bei klarem Himmel die Erde Wärme gegen den Weltraum ab.**

Sicher haben Sie auch schon einen Effekt dieses Phänomens beobachtet. Der Tau entsteht durch eine stärkere Abkühlung von allem was «den Himmel sieht» gegenüber der Luft. Da die Luft durchsichtig ist, lässt sie die Wärmeabstrahlung einer Pflanze durch, ohne sich dabei selbst zu erwärmen. Sie selbst strahlt weniger Wärme als die Pflanze ab. Die Pflanze verliert mehr Wärme, die sie umgebene Luft weniger. An der kälteren Pflanze kondensiert Wasserdampf, der in der wärmeren Luft enthalten war. Nur was den «kalten Nachthimmel sieht» wird taunass, unter Bäumen bleibt es beispielsweise trocken.

An Gebäuden konnte man bis heute selten diese Taubildung beobachten. Allenfalls auf Dächern lag am Morgen Tauwasser. Die durch Transmission aus dem Gebäudeinnern verlorene Wärme versorgte die Fassade von innen her genügend mit Wärme, so dass die Fassadenoberfläche trotz Strahlungsverlust wärmer als die umgebende Luft war. An stärker wärmegeämmten Fassaden ( $k$ -Wert  $> 0.3$   $W/m^2 K$ ) kann an ihrer Oberfläche Tauwasser entstehen, da die Fassade kälter wird als die Umgebungsluft. Diese Fassaden sind nach klaren Nächten feucht. Im Winter ist eine Reifbildung möglich.

Bei Fassaden mit glatten, wasserabweisenden Oberflächen ist der mögliche Schaden klein. Bei Fassaden mit rauen wasseraufnehmenden Oberflächen, wie mineralischen Verputzen, sägerotem Holz usw. kann sich das Wasser gut halten. Hier sind grössere Schäden möglich. Frostschäden entstehen, wenn Wasser in Spalten gefrieren kann und Strukturen zerstört. Ständige Feuchte und Licht sind Voraussetzungen, dass Algen zu wachsen beginnen.

Verputzte Fassaden sind nur sinnvoll, wenn sie an ihrer Oberfläche genügend Wärme zum Kompensieren des Taugeffekts

erhalten. Stark wärmegeämmte Nordfassaden sind gefährdet. Hinterlüftete Fassaden sollen eine Regenhaut aufweisen, die zumindest sichtsseitig eine glatte und wasserabweisende Oberfläche hat. Dächer sind am stärksten belastet. Die Eindeckungen müssen stärksten Wärme- und Feuchtigkeitsschwankungen standhalten. Vordächer sind sinnvoll, wenn sie der Fassade «helfen weniger Himmel zu zeigen».

Die Grössenordnung der Wärmeabstrahlung eines Gebäudes durch das «offene Fenster» in der Atmosphäre ist seit längerer Zeit bekannt. Sie liegt zwischen 10 und 15% des Gesamtwärmebedarfs. In Normen und Vorschriften wird dieser Effekt bisher noch immer nicht berücksichtigt.

**Adresse des Verfassers**

Hans D. Halter, Architekt HTL/SIA, 5210 Windisch

**Literatur**

- [1] F. Kienhübl, Ch. Zürcher und G. Finger, ETHZ, NFP Strahlungshaushalt der Gebäudehülle, 1980.