

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 117 (1999)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken: Beurteilung mit aktualisierten Lastfaktoren  
**Autor:** Banz, André / Bassetti, Andrea / Bailey, Simon F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-79692>

### **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**

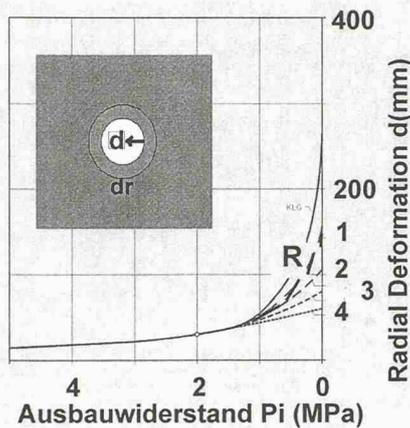
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées 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:** 30.07.2025

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



5  
Erforderlicher Ausbauwiderstand als Funktion der radialen Deformationen

nahmen die entstehenden Deformationen erheblich reduzieren. Bei einer gegebenen maximalen zulässigen Deformation, die sich aus Ausbruchquerschnitt abzüglich Ausbaustärke und gefordertem Lichtraumprofil ergibt, kann der Ausbauwiderstand und -aufwand reduziert werden.

#### Am Projekt Beteiligte

- Amberg Ingenieurbüro AG, Regensdorf
- Sika AG, Zürich
- Versuchs Stollen Hagerbach AG, Sargans

Der Verlauf dieser Kurven ist von den jeweiligen gebirgsmechanischen Kennziffern abhängig. Im Rahmen eines wirtschaftlichen Optimierungsprozesses sind Injektionsaufwand sowie Ausbauwiderstand und Ausbruchquerschnitt im Sinne einer Kostenminimierung aufeinander abzustimmen.

#### Ausblick

Die ausgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass auch in dichtgelagerten Untergründen ein Injektionserfolg mit entsprechenden Injektionsmitteln erreichbar ist. Dieser Erfolg kann mit geeigneten Methoden qualitativ und quantitativ nachgewiesen werden.

Modellrechnungen zeigen, dass sich die quantitativ nachweisbaren Injektionserfolge auch in wirtschaftlicher Hinsicht positiv auf ein Tunnelbauwerk auswirken und nachweisen lassen. Voraussetzung ist aber in jedem Fall eine seriöse und geeignete Messung des Injektionserfolgs, z.B. durch die beschriebenen Dilatometermessungen im Injektionskörper.

Bei den beschriebenen Arbeiten handelt es sich um versuchstechnische Ansätze, den Injektionserfolg im Gebirge qualitativ zu erfassen. Mit Sicherheit sind wei-

tere theoretische und praktische Untersuchungen in diesem Zusammenhang erforderlich.

Adresse des Verfassers:

Volker Wetzig, Dipl.-Ing., Versuchs Stollen Hagerbach AG, Rheinstr. 4, 7320 Sargans

#### Literatur

- [1] Kutzner Christian: Injektionen im Baugrund. F. Enke Verlag, Stuttgart 1991
- [2] Untersuchungsprogramm Felsinjektionen, unveröffentlicht, Versuchs Stollen Hagerbach AG, Sargans 1996
- [3] Untersuchungsbericht Felsinjektionen, unveröffentlicht, Versuchs Stollen Hagerbach AG, Sargans 1997/1998
- [4] Widmann R.: Injektionen von der Erfahrung zur Theorie. TAE-Lehrgang, Stuttgart 1993
- [5] Wittke Walter: Felsmechanik. Springer Verlag, Berlin 1984
- [6] Hagedorn Heinz: Die Bedeutung von Injektionen aus felsmechanischer und statischer Sicht. IUT-Fachveranstaltung, Sargans 1997

André Banz, Andrea Bassetti, Simon F. Bailey und Manfred A. Hirt, Lausanne

## Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken

### Beurteilung mit aktualisierten Lastfaktoren

**Anzahl und Alter der bestehenden Strassenbrücken erhöhen sich stetig, die Lasten nehmen zu und die Konstruktionsnormen entwickeln sich. Dies zwingt die Bauherren dazu, sich mit der Beurteilung bestehender Strassenbrücken auseinanderzusetzen. Dieser Bericht präsentiert die Resultate zweier vom Bundesamt für Strassenbau am Institut für Stahlbau (ICOM) der ETH-Lausanne in Auftrag gegebener Forschungsaufträge, deren Ziel die Festlegung aktualisierter Lastfaktoren für Eigen- und Auflasten war.**

Bereits im Rahmen eines früheren Forschungsauftrags wurden die Grundsätze

zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken erarbeitet [1], vorgestellt im SI+A vom Juni 1996 [2]. Dabei hatte sich herausgestellt, dass eine genauere Ermittlung der Lastfaktoren zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Tragwerke von grossem Nutzen sein kann.

Die am Ende der achtziger Jahre eingeführten Schweizer Tragwerksnormen - SIA 160, 161 und 162 - basieren auf einem einheitlichen Nachweiskonzept. Es wird klar zwischen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit unterschieden. Die Lastmodelle für Verkehrslasten der Norm SIA 160 basieren auf Verkehrsmessungen und wurden mit probabilistischen Methoden festgelegt. Diese Tragwerksnormen sind für die Bemessung von Tragwerken be-

stimmt; der *Nachweis* bestehender Tragwerke ist darin nicht explizit geregelt. Aus diesem Grunde wurde 1994 die Richtlinie SIA 462 [3] zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke eingeführt. Diese Richtlinie enthält Grundsätze für das Vorgehen und numerische Werte für den Hochbau; für den Brückenbau fehlen aber die notwendigen Angaben beispielsweise bezüglich Lastmodellen und -faktoren.

Im Rahmen eines am Institut für Stahlbau (ICOM) der ETH-Lausanne vom Bundesamt für Strassenbau in Auftrag gegebenen Forschungsauftrages wurden aktualisierte Lastmodelle ermittelt [1]. Das Nachweiskonzept der Tragwerksbemessung bleibt dabei bestehen, doch können jetzt die Lastmodelle dem Verkehr angepasst werden. Möglichkeiten zur Messung von Verkehrslasten und den daraus resultierenden Beanspruchungen wurden im SI+A vom September 1996 vorgestellt [4]. Auch Tragwerksabmessungen und Materialdichten können durch Messungen erhoben werden, was eine genauere Bestimmung der Eigen- und Auflasten ermög-

licht. Die damit verbundene Beseitigung der Unsicherheiten bezüglich Eigenlast und Auflast rechtfertigt die Definition der aktualisierten Lastfaktoren  $\gamma_{G,akt}$  und  $\psi_{akt}$ .

Die ursprünglich bei der Bemessung definierten Lastfaktoren werden somit dem Zeitpunkt der Beurteilung angepasst, wobei aber der gleiche Zuverlässigkeitsgrad wie bei der Bemessung angestrebt wird (Bild 1). Zusammenfassend bedeutet dies, dass versteckte Tragreserven durch das Aktualisieren von Daten erkannt und durch die Verwendung von aktualisierten Lastfaktoren ausgeschöpft werden können. Die aktualisierten Lastfaktoren wurden in zwei Etappen festgelegt. Beide Etappen waren vom ICOM durchgeführte Forschungsaufträge:

- Etappe 1: Bereitstellen der theoretischen Grundlagen mit Hilfe von probabilistischen Methoden
- Etappe 2: Prüfung der in Etappe 1 ermittelten aktualisierten Lastfaktoren auf ihre Praxistauglichkeit anhand von Messungen an einer bestehenden Strassenbrücke

Beide Forschungsarbeiten wurden von der Vereinigung der Schweizerischen Strassenfachleute VSS (Zürich) publiziert [5],[6]. Im nachstehenden Text werden die wichtigsten Erkenntnisse und Resultate präsentiert und durch Folgerungen aus beiden Etappen ergänzt.

**Etappe 1: Grundlagen**

Die Zielsetzungen der ersten Etappe waren:

- Ermitteln der Versagenswahrscheinlichkeiten sowie der Lastfaktoren  $\gamma_G$  und  $\psi$  an mit aktuellen Tragwerksnormen bemessenen Strassenbrücken
- Festlegen von aktualisierten Lastfaktoren  $\gamma_{G,akt}$  und  $\psi_{akt}$
- Überprüfen der in Richtlinie SIA 462 vorgeschlagenen Lastfaktoren bei Eigenlasten für den Spezialfall der Strassenbrücken

Der Umfang der Studie beschränkte sich auf den Nachweis der Tragsicherheit an bestehenden Strassenbrücken. Aus Gründen der begrenzt zur Verfügung stehenden Mittel und Zeit konnten ferner einige wichtige Aspekte wie beispielsweise die Ermüdungssicherheit und die örtlichen Beanspruchungen des Tragwerks nicht behandelt werden. Es wurde angenommen, dass sich das massgebende Gefährdungsbild aus dem Verkehr als Leiteinwirkung sowie aus Eigen- und Auflast als Begleiteinwirkungen zusammensetzt. Bei der Bestimmung der Tragwerkszuverlässigkeit wurde der Querschnittswiderstand mit Hilfe von Grenzzustandsgleichungen

der auf Biegung und Querkraft beanspruchten Querschnitte in Feldmitte und bei der Stütze betrachtet. Um eine möglichst grosse Vielfalt von Brückenquerschnitten durch die Untersuchung abzudecken, wurden sowohl schlaff bewehrte Stahlbeton- und Verbundbrücken mit offenem und geschlossenem Querschnitt als auch vorgespannte Stahlbetonbrücken mit Kastenquerschnitt untersucht. Sämtliche untersuchten Brücken weisen ein identisches statisches System mit drei Feldern und einem Spannweitenverhältnis von 0,75:1,0:0,75 auf.

**Probabilistische Analyse**

Bei einer probabilistischen Analyse werden die das Bemessungsproblem beeinflussenden Grössen - die sogenannten Basisvariablen - als Zufallsvariablen X eingeführt und mit entsprechenden Verteilungsformen und Parametern, beispielsweise dem Kennwert und dem Variations-

koeffizienten  $V_X$ , erfasst. Letzterer berechnet sich wie folgt:

$$V_X = \frac{\sigma_X}{\mu_X}$$

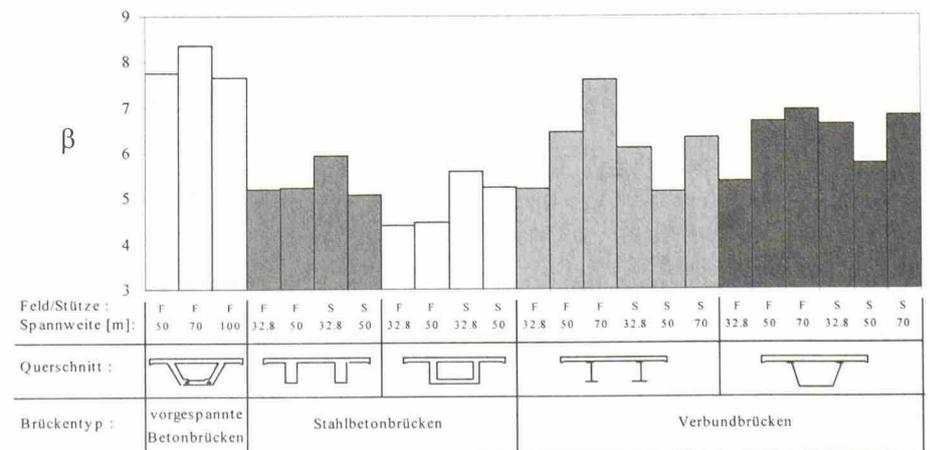
$\sigma_X$ : Standardabweichung der Basisvariable  
 $\mu_X$ : Mittelwert der Basisvariable

Als Basisvariablen kommen Baustoffeigenschaften (Fließgrenze des Stahls  $f_s$ , Betondruckfestigkeit  $f_c$  usw.), geometrische Querschnittsmerkmale (Bewehrungsquerschnitt  $A_s$ , statische Höhe  $d$  usw.) oder Lasten (Eigenlast  $G$ , Auflast  $q$  usw.) in Frage. Da die Basisvariablen als stochastische Grössen definiert sind, ist die Ermittlung des wahrscheinlichsten Versagenspunkts des Systems möglich. Als Schätzwert für die Versagenswahrscheinlichkeit  $p_f$  lässt sich der Sicherheitsindex  $\beta$  bestimmen. Für eine normalverteilte Grenzzustandsfunktion beispielsweise ist dieser wie folgt definiert:

Bemessung	Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken
	
Lastfaktoren $\gamma_G, \psi$ $\beta_{SIA160}$	aktualisierte Lastfaktoren $\gamma_{G,akt}, \psi_{akt}$ $\beta_{Beurteilung} = \beta_{SIA160}$

1 Unterschied Bemessung - Beurteilung

2 Typische  $\beta$ -Werte ausgewählter, nach Norm SIA 160 bemessener Brücken



$\beta$	Geschätzte Versagenswahrscheinlichkeit $p_f$	Anzahl Versagen pro $10^9$ Brücken
4	$0,3 \cdot 10^{-4}$	31 000
6	$0,1 \cdot 10^{-8}$	1,0
8	$0,6 \cdot 10^{-15}$	0,000001

3  
 $\beta$ -Werte und entsprechende Versagenswahrscheinlichkeiten

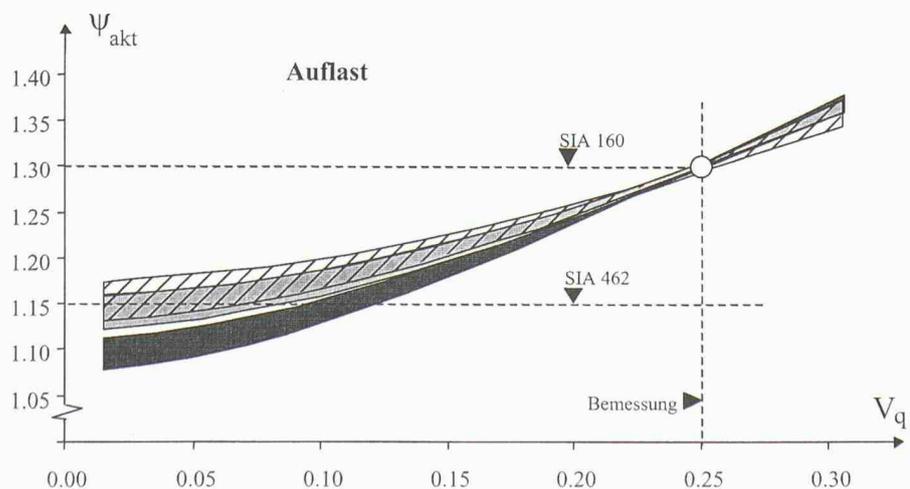
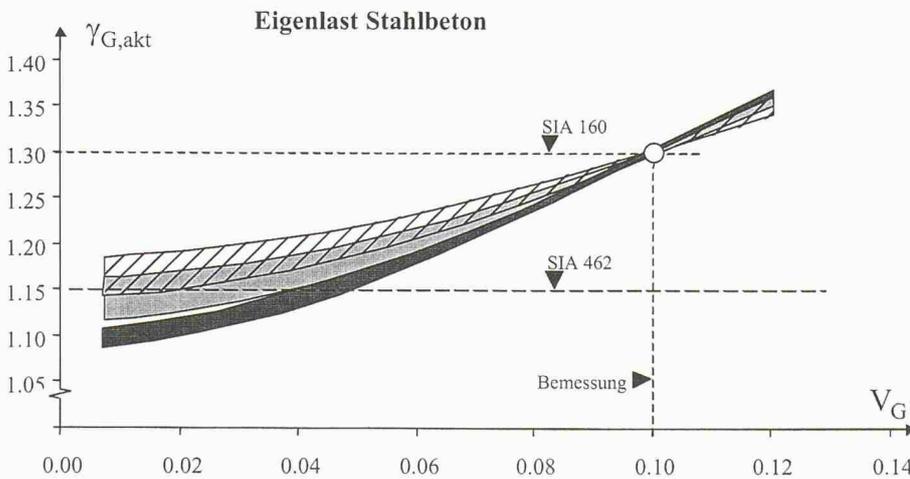
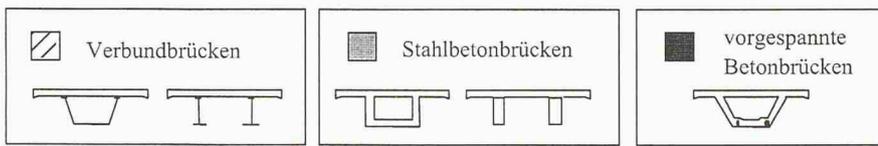
$p_f = \Phi(-\beta)$

- $p_f$ : Versagenswahrscheinlichkeit
- $\beta$ : Sicherheitsindex, Schätzwert für die Versagenswahrscheinlichkeit
- $\Phi$ : Standardisierte Normalverteilung

Anhand der vorstehend beschriebenen Methode wurde an dreizehn, nach den aktuellen Tragwerksnormen bemessenen Strassenbrücken, der Sicherheitsindex  $\beta$  ermittelt. Bild 2 zeigt eine schematische

Darstellung der untersuchten Brücken und die zugehörigen Sicherheitsindizes. Diese  $\beta$ -Werte reflektieren das «Sicherheitsniveau», das mit der Bemessung anhand der in der Norm SIA 160 vorgeschriebenen Lastfaktoren erreicht wird. Um die Bedeutung des Sicherheitsindex zu verdeutlichen, ist in Bild 3 für verschiedene  $\beta$ -Werte die geschätzte Versagenswahrscheinlichkeit und die entsprechende Anzahl der Versagen pro Milliarde Brücken

4  
 Aktualisierte Lastfaktoren für die Eigenlast von Beton und Stahl sowie für Auflasten



dargestellt. Bei der Betrachtung von Bild 2 fällt auf, dass die verschiedenen Brückentypen deutlich unterschiedliche Sicherheitsindizes  $\beta$  aufweisen; sie streuen sogar für den gleichen Brückentyp erheblich. Eine gewisse Streuung der  $\beta$ -Werte ist unvermeidlich, da die in den Normen definierten einheitlichen Lastfaktoren eine Vielzahl von Bemessungsfällen für verschiedene Brückentypen abdecken. Allzu grosse Unterschiede sind jedoch nicht gerechtfertigt, da dadurch die Bemessung mit einheitlichen Lastfaktoren zur Bildung von versteckten Tragreserven und damit zu unnötigen Mehrkosten führen kann. In der Norm SIA 160 ist beispielsweise nur ein einziger Lastfaktor für die Eigenlasten definiert, obwohl die Kennwerte der Eigenlast von Stahl und Stahlbeton unterschiedlich stark streuen.

Die durch den Bemessungsfall vorgegebenen Sicherheitsindizes  $\beta$  wurden herangezogen, um aktualisierte Lastfaktoren für die Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken zu kalibrieren. Dies erfolgte mit Hilfe der in [7] beschriebenen FOSM-Methode (First Order Second Moment), die eine Bestimmung der Bemessungswerte der Basisvariablen für einen vorgegebenen Sicherheitsindex erlaubt:

$X_i^* = \mu_{X_i} - \alpha_i \cdot \sigma_{X_i} \cdot \beta$

- $X_i^*$ : Bemessungswert der Basisvariable  $X_i$
- $\alpha_i$ : Wichtungsfaktor der Basisvariable  $X_i$

Die Lastfaktoren können daraus wie folgt ermittelt werden:

$\gamma_i = \frac{X_i^*}{\mu_{X_i}} = 1 - \alpha_i \cdot \beta \cdot V_{X_i}$

$\gamma_i$ : Lastfaktor der Basisvariable  $X_i$

**Resultate**

Um den verschiedenen Brückentypen gerecht zu werden, wurden die Lastfaktoren für die Eigenlast nach Brückentypen getrennt untersucht. Die aktualisierten Lastfaktoren für eine gegebene Brücke wurden auf die gleichen  $\beta$ -Werte, die durch die Bemessung nach Norm SIA 160 gewährleistet werden (Bild 2), kalibriert. Dies bedeutet, dass eine bestehende Brücke, deren Tragsicherheit durch die Anwendung von aktualisierten Lastfaktoren nachgewiesen ist, dieselbe Versagenswahrscheinlichkeit aufweist wie eine neue, nach Norm SIA 160 bemessene Brücke. Bild 4 stellt die aktualisierten Lastfaktoren für die Eigenlast von Stahlbeton und für die Auflast in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten dar. Dazu ist folgendes anzumerken:

- Wenn der Variationskoeffizient  $V_G$  gleich 0,1 bzw.  $V_q$  gleich 0,25 ist (für den Bemessungsfall angenommene Ausgangswerte) entspricht der Lastfaktor dem in Norm SIA 160 festgelegten Wert von 1,3.
- Mit abnehmenden Variationskoeffizienten verkleinert sich der aktualisierte Lastfaktor. Falls somit am Bauwerk vorgenommene Messungen eine genauere Kenntnis über die effektive Grösse und Verteilung des Eigengewichts erlauben, kann der aktualisierte Lastfaktor für das Eigengewicht tiefer angesetzt werden. Dasselbe gilt für die Auflast.
- Die aktualisierten Lastfaktoren variieren in Abhängigkeit von der Spannweite, dem Brückenquerschnitt (offen/geschlossen) und dem betrachteten Querschnitt (im Feld/über Stütze). Folglich liegen die zu den verschiedenen Brückentypen gehörigen Werte von  $\gamma_{G,akt}$  und  $\psi_{akt}$  in einem bestimmten Streubereich.

**Etappe 2: Messen in der Praxis**

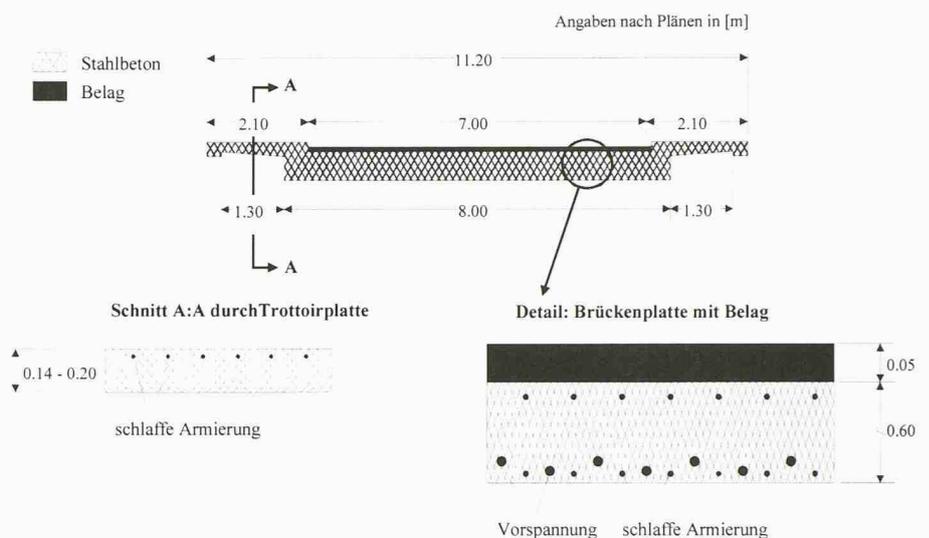
Die praktische Durchführung von Messungen an einer bestehenden Strassenbrücke zur Ermittlung von aktualisierten Kennwerten und Lastfaktoren von Eigenlast und Auflast war Gegenstand der zweiten Etappe [6]. Die Zielsetzungen waren:

- Untersuchung über Datenerhebung, insbesondere der Art, des Umfangs und der Positionen der durchzuführenden Messungen am Bauwerk.
- Auswerten der erhobenen Messdaten und Ermitteln der aktualisierten Kennwerte  $G_{akt}$  und  $q_{akt}$  und der Lastfaktoren  $\gamma_{G,akt}$  und  $\psi_{akt}$ .

Im Sinne einer Standortbestimmung über die technischen Grenzen beim Erheben von Daten an Strassenbrücken wurde eine Messkampagne an der Überführung der Horwerstrasse über die Autobahn A2 bei Kriens durchgeführt. Das Messobjekt war eine dreifeldrige, vorgespannte Brücke in Stahlbeton. Bild 5 zeigt die schematische Darstellung des Brückenquerschnitts in Feldmitte. Beim Abbruch der Brücke im Oktober 1997 bot sich die Gelegenheit, sowohl die Abmessungen des Brückenoberbaus zu erheben, als auch die Genauigkeit und Zuverlässigkeit von zerstörungsfreien Messverfahren durch genauere, zerstörende Verfahren zu überprüfen.

**Messkonzept**

Die relevanten Basisvariablen waren die Eigenlast  $G$  der Fahrbahn- und Trottoirplatten und die Auflast  $q$  (Schwarzbelag). Die Basisvariablen sind entsprechend



5 Schematische Darstellung des Brückenquerschnitts in Feldmitte

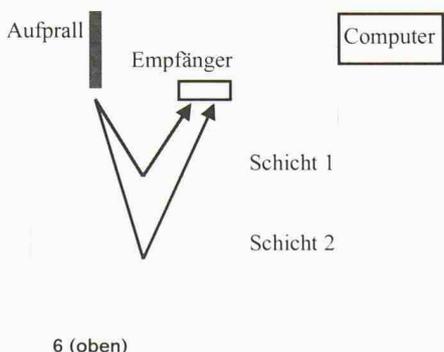
ihrer Modellfunktionen als Produkt verschiedener messbarer physikalischer Grössen, im vorliegenden Fall der Bauteildicke und der Materialdichte, definiert. Die Messgrössen waren an den Brückenteilen zu erheben und der Kennwert und der Variationskoeffizient der Basisvariable aus den Messdaten zu ermitteln. Als aktualisierter Kennwert wurde der Mittelwert der Messungen verwendet. Bei der Ermittlung des Variationskoeffizienten waren die nachstehenden vier Komponenten zu berücksichtigen:

- Natürliche Zufallsstreuung; Naturzustand der Messgrösse
- Schätzvariation; Verwendung von unvollständigem und nicht exaktem Datenmaterial

- Modellunschärfe; ungenaue mathematische Modelle (Modellfunktion), die die Wirklichkeit abbilden
- Menschliche Fehler

Der Einfluss der zweiten Komponente kann durch das Erheben von grossen Datenmengen und die Verwendung von genaueren Messgeräten, derjenige der vierten durch sorgfältiges Arbeiten und durch Kontrollen verkleinert werden.

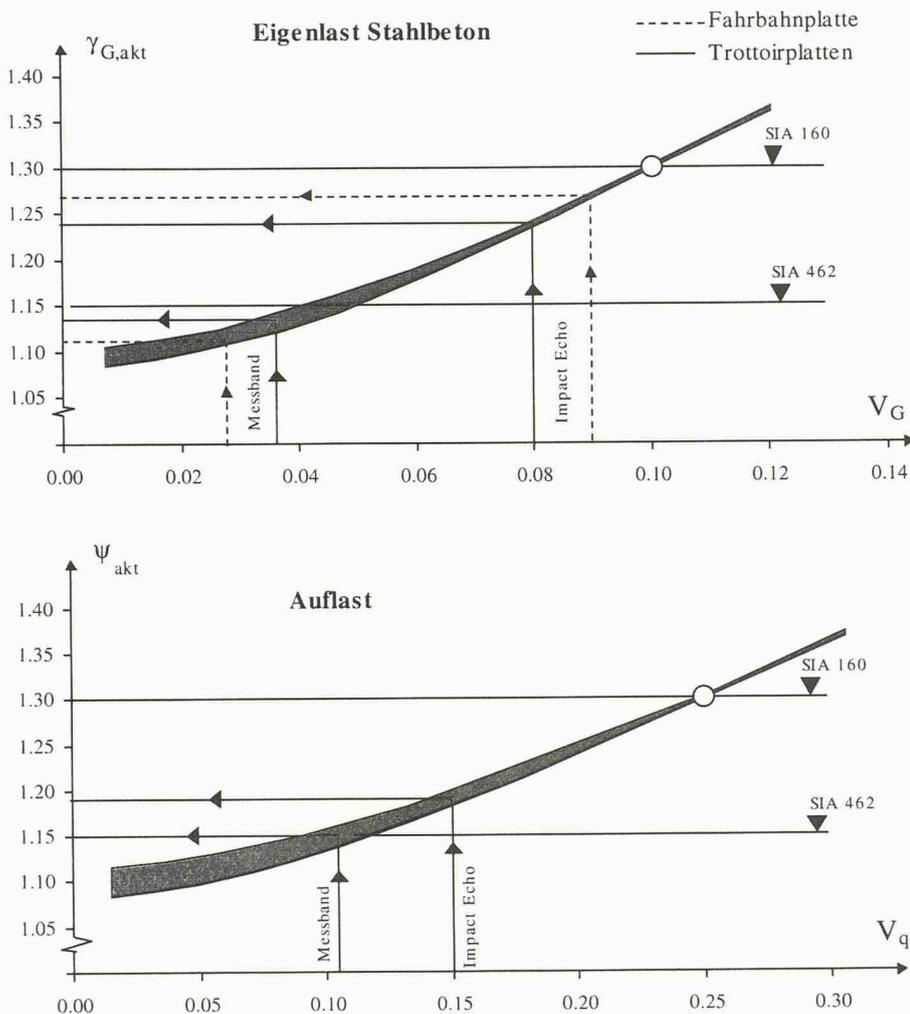
Das Messverfahren sollte möglichst wenig Zerstörung am Bauteil verursachen und für verschiedene Brückentypen, beispielsweise auch Kastenträger, verwendbar sein. Die Dicken des Schwarzbelags und der darunterliegenden Fahrbahnplatte waren getrennt zu erheben. Es kam das folgende Messkonzept zur Anwendung,



6 (oben) Messprinzip des Impact-Echo-Verfahrens

7 (rechts) Impact-Echo-Messgerät in der praktischen Anwendung





8

Aktualisierte Lastfaktoren für die Eigenlast von Stahlbetonteilen und die Auflast (Schwarzbelag) anhand von Messungen (Impact Echo, Messband)

d.h. eine Kombination aus zerstörenden und zerstörungsfreien Verfahren:

- Messen der Bauteildicke: Impact-Echo-Verfahren
- Überprüfen der Bauteildicke: Messen mit Band an Schnitträndern
- Materialdichte: Tauchen und Wägen von Bohrkernen

Die Schichtdicken von Stahlbetonteilen und Schwarzbelag wurden mit dem Impact-Echo-Verfahren erhoben. Nach dem Abbruch der Brücke wurden diese Messungen an den frei zugänglichen Schnittflächen der herausgetrennten Plattenstreifen mit dem Messband überprüft. Das Impact-Echo-Verfahren beruht auf der Fortpflanzung und Reflexion von Druckwellen im untersuchten Bauteil. Mit Hilfe eines geeigneten mechanischen Impulses (Sender) wird eine elastische Schwingung auf das Bauteil übertragen. Diese Schwingungen werden an Schichtwechseln oder an der Rückfläche des Bauteils reflektiert und durch einen Beschleunigungsaufnehmer, der unmittelbar neben dem Sender

angebracht ist, erfasst. Bild 6 zeigt eine schematische Darstellung des Messprinzips und Bild 7 das Messgerät in der praktischen Anwendung. Mit Hilfe eines tragbaren Computers kann der Experte ein Amplituden-Frequenz-Diagramm der empfangenen Wellen aufzeichnen und daraus die Bauteildicke ablesen. Bei diesem Messverfahren muss die Wellenausbreitungsgeschwindigkeit im untersuchten Medium kalibriert werden, wozu Ultraschall-Messungen an Bohrkernen durchgeführt wurden.

Die Materialdichten von Stahlbeton und Schwarzbelag wurden an Bohrkernen bestimmt, die aus Fahrbahn- und Trottoirplatte entnommen wurden. Dabei kam ein Tauchverfahren zur Anwendung, bei dem die Probestücke über und unter Wasser gewogen wurden.

#### Resultate der Messkampagne

Die Resultate der durchgeführten Messkampagne lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die aktualisierten Kennwerte für die Materialdichten wichen nur gering von den nominellen Werten ab; sie lagen beim Schwarzbelag 5% darunter, beim Stahlbeton 1% darüber.
- Der aktualisierte Kennwert der Eigenlast der Trottoirplatten stimmt mit dem Nominalwert überein, derjenige der Fahrbahnplatte lag 4% über dem Nominalwert.
- Der aktualisierte Kennwert der Auflast lag jedoch um 57% über der nominellen Auflast, wahrscheinlich aufgrund von zusätzlich aufgetragenem Schwarzbelag.

Die aktualisierten Lastfaktoren wurden sowohl mit den Impact-Echo-Messwerten als auch mit den Messband-Daten ermittelt, wozu die Diagramme aus Bild 4 verwendet wurden. Die daraus abgeleiteten aktualisierten Lastfaktoren für Eigen- und Auflast sind in Bild 8 dargestellt. Es soll an dieser Stelle noch einmal betont werden, dass der von der SIA-Norm vorgegebene Sicherheitsindex unverändert bleibt. Zu Bild 8 ist folgendes anzumerken:

- Anhand der Messband-Daten wurde für die Auflast (Schwarzbelag)  $\psi_{akt} = 1,15$  und für die Eigenlasten von Fahrbahnplatte und Trottoirplatten  $\gamma_{G,akt} = 1,12$  bzw.  $1,14$  ermittelt
- Mit Hilfe der Impact-Echo-Messwerte ermittelte aktualisierte Lastfaktoren lagen deutlich höher; für die Auflast ergab sich  $\psi_{akt} = 1,19$  und für die Eigenlasten von Trottoir- und Fahrbahnplatte  $\gamma_{G,akt} = 1,24$  bzw.  $1,27$ .

Die Streuung der systematischen Messabweichung des Impact-Echo-Verfahrens, die anhand der Messbandwerte überprüft werden konnte, war mit 6% bei den Stahlbetonteilen und 11% beim Schwarzbelag verhältnismässig gross, was hohe aktualisierte Lastfaktoren nach sich zog.

Das vielversprechende durchschallende Impact-Echo-Verfahren ist beim jetzigen Stand der Messtechnik (noch) als zu ungenau für die Bestimmung der Bauteildicken im Sinne der Problemstellung zu bewerten.

Die anhand der Messband-Daten ermittelten aktualisierten Lastfaktoren stimmen gut mit dem in der Richtlinie SIA 462 vorgeschlagenen einheitlichen Lastfaktor von  $\gamma_{G,SIA462} = 1,15$  überein.

#### Weitere Erkenntnisse

Die volumetrische Form des untersuchten Bauteils sowie dessen Anteil an der gesamten Eigenlast sind bei der Aktualisierung der Tragwerksabmessungen zu berücksichtigen. Für eine Aktualisierung kommen vorwiegend schwere planparallele Bauteile in Frage. Für leichte Bauteile

mit gekrümmten Oberflächen ist diese wenig sinnvoll.

Als Messverfahren für die Materialdichte ist das Wägen von an den Strukturelementen entnommenen Prüfkörpern unter und über Wasser geeignet. Für die räumlichen Abmessungen kommen je nach Lage des Bauteils innerhalb der gesamten Tragstruktur verschiedene Verfahren in Frage. Als schwierig stellte sich die getrennte Erfassung von Belags- und Betonbauteildicken heraus.

Die Modellfunktion, mit deren Hilfe die Basisvariable berechnet wird, gibt einen ersten Anhaltspunkt über den Stichprobenumfang. Grundsätzlich gilt, dass die Messgrösse mit der grössten Streuung - in der Regel die transversalen Bauteilabmessungen - vorrangig ins Gewicht fällt. Bei mehr als 10 bis 15 Messungen pro Messgrösse wird aber das Resultat nur noch geringfügig verbessert.

Der Messraster sollte ein möglichst repräsentatives Abbild der Wirklichkeit erlauben. Für die Dichtemessungen eignet sich beispielsweise die feldweise Ermittlung und für die räumlichen Abmessungen ein Raster mit regelmässigen Messabständen pro Messgrösse und Bauteil.

## Folgerungen

Die mit Hilfe einer probabilistischen Untersuchung ermittelten  $\beta$ -Werte von dreizehn nach Norm SIA 160 bemessenen Brücken weisen eine grosse Streuung auf. Dies verdeutlicht, dass durch die normgemässe Anwendung von Lastfaktoren keine einheitliche Zuverlässigkeit bzw. keine einheitliche Versagenswahrscheinlichkeit für Brücken erreicht wird.

## Dank

Ohne die Vorarbeit im Rahmen von Dissertationen und in Normenkommissionen hätte der vorliegende Bericht nicht entstehen können; all den beteiligten Mitarbeitern sei hier bestens gedankt.

Unser Dank richtet sich an das Bundesamt für Strassen (Astra), vormalig Bundesamt für Strassenbau, für die finanzielle Unterstützung der Forschungsprojekte. Im weiteren danken wir den Mitgliedern der Arbeitsgruppe Brückenforschung des Astra, Begleitkommission C unter der Leitung von P. Matt für die konstruktiven Hinweise. Hilfreich bei der Durchführung der zweiten Forschungsarbeit waren die Geotest SA, Zollikofen, die die Impact-Echo-Messungen vornahm, und die Andreas Steiger & Partner AG, Luzern, die den Abbruch der Brücke leitete und einen Teil der Messarbeiten ausführte.

Durch genaueres Kalibrieren der Lastfaktoren und die Einführung von Lastfaktoren, die die Merkmale der verschiedenen Brückentypen eingehender berücksichtigen, könnte ein teilweise ungerechtfertigt hoher Zuverlässigkeitsgrad vermieden und damit eine wirtschaftlichere Bemessung gefördert werden.

Es ist möglich, falls Messungen eine bessere Kenntnis des zu beurteilenden Bauwerks erlauben, aktualisierte Lastfaktoren anzugeben, wobei diese vorderhand nach der Bedingung  $\beta_{\text{Beurteilung}} = \beta_{\text{SIA 160}}$  kalibriert werden.

Die berechneten aktualisierten Lastfaktoren zeigen, dass die Richtlinie SIA 462 im spezifischen Fall der bestehenden Strassenbrücken nur anwendbar ist, wenn durch Messungen am Tragwerk feststeht, dass die Streuung der Eigenlast vorgegebene Grenzen nicht überschreitet. Eine unbegründete Anwendung des in [3] aufgeführten Lastfaktors von 1,15 kann eine Verminderung des Zuverlässigkeitsgrades bewirken.

Durch das Aktualisieren von Daten an Strassenbrücken sind aktualisierte Lastfaktoren für Eigenlasten und Auflasten von ungefähr 1,15 möglich. Allerdings kann dieses Potential beim heutigen Stand der Messtechnik noch nicht ausgeschöpft werden.

Der nächste Schritt wäre die Beantwortung der Frage, ob bei bestehenden Tragwerken nicht eine kleinere Tragsicherheit verantwortbar wäre. Eine Anpassung der Zielwerte von  $\beta$  zum Beispiel auf 4,5 ( $\beta$ -Werte von Stahlbetonbrücken in Bild 2) würde die Anwendung von kleineren aktualisierten Lastfaktoren erlauben. Dazu müssten auch Kosten-Nutzen-Analysen angestellt werden, insbesondere im Hinblick auf die zunehmenden Aufwendungen für Unterhalt und Verstärkungen.

Adresse der Verfasser:

André Banz, dipl. Bauing. ETH/SIA, Andrea Bassetti, dipl. Bauing. ETH/SIA, Dr. Simon F. Bailey, dipl. Bauing. BSc/SIA, Prof. Dr. Manfred A. Hirt, dipl. Bauing. ETH/SIA, ICOM - Construction métallique, EPF Lausanne, 1015 Lausanne

## Literatur

- [1] Bez R., Bailey S.F., Haesler 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)
- [2] Bez R., Bailey S.F. und Hirt M.A.: Bestehende Strassenbrücken - Aktualisierte Lastmodelle zur Beurteilung ihrer Tragsicherheit. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 25, Zürich 1996
- [3] Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein: Richtlinie SIA 462, Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke, Zürich 1994
- [4] Bez R., Bailey S.F.: Bestehende Strassenbrücken - Neue Möglichkeiten zur Ermittlung von Lasten und Beanspruchungen. Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 39, Zürich 1996
- [5] Bassetti A., Bailey S.F., Banz A.: Lastfaktoren für Eigenlast und Auflast zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich 1998 (Forschungsauftrag Astra 86/94, Schlussbericht 530)
- [6] Banz A., Bailey S.F.: Erhebung von Daten an Strassenbrücken zur Festlegung von aktualisierten Lastfaktoren. Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Zürich 1998 (Forschungsauftrag Astra 86/96, Schlussbericht 533)
- [7] Ang A.M.S., Tang W.H.: Probability Concepts in Engineering Planning and Design; Volume II - Decision, Risk and Reliability. John Wiley & Sons, New York 1975