Kann Tragwerksicherheit gemessen werden?

Autor(en): **Bosshard, Walter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 51-52

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74292

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

die Lieferung von Erkenntnissen für den Ingenieur in der Praxis. In diesem Sinne werden zwei Arbeiten aus dem ICOM vorgestellt. Beide befassen sich mit effektiven Lasten an Strassenbrükken in Verbundbauweise Stahl-Beton.

Die eine Arbeit untersucht den Schwerverkehr in der Schweiz. Daraus werden effektive Verkehrslasten bestimmt und in einem weiteren Schritt in wirklichkeitsnahe Modellasten umgesetzt. Ein Koeffizient wird eingeführt, der die Radlastverteilung bezüglich der als Einzellast angenommenen Fahrzeuge berücksichtigt. Damit werden Verbundbrücken auf ihr Verhalten hinsichtlich Ermüdung und Lebensdauer untersucht. Dabei werden verschiedene Aspekte wie Spannweite, Ort der betrachteten Querschnitte, statisches System, Fahrbahnplatte, dynamische Effekte, Stahlsorte behandelt. Eng damit verknüpft sind Versuche unter statischer-, dynamischer Last und im Verkehr auf einer Autobahnbrücke. Es hat sich gezeigt, dass sich Verbundbrücken grundsätzlich befriedigend gegenüber der Ermüdung und der Lebensdauer verhalten.

Die zweite Arbeit befasst sich mit zwei ganz anderen Verbundbrücken. Ihr Ziel war es, Versuche an Ort unter effektiver Last durchzuführen. Untersucht wurde das Verhalten der Querverteilung von Lasten im Feldquerschnitt, der Auflagerzone mit und ohne Längsvorspannung, der Relativbewegung zwischen Stahlträger und Betonplatte. Besonders erwähnt werden Temperaturmessungen, da sie einen extremen Temperaturgradienten über den Querschnitt zeigen, der im Widerspruch zu dem üblichen Temperaturnachweis steht.

Alle diese Forschungsaktivitäten haben den Sinn, Resultate zu liefern, die für jemanden, der sich mit Konstruktion befasst, nützlich sein können, letztlich auch, um Brücken zu bewerkstelligen, die mehr Sicherheit, grössere Lebensdauer und vermehrte Wirtschaftlichkeit aufweisen.

Verdankung

An der Stelle möchte ich *Joseph Jacquemoud*, Dr.-Ing., zu seiner ausgezeichneten Doktorarbeit gratulieren und für die umfangreiche Arbeit danken. Für die gründlichen Untersuchungen möchte ich ebenso *Jean-Paul Lebet*, dipl.-Bauing. EPFL, danken, der zur Zeit an einer Dissertation arbeitet. Gedankt sei auch *Urs Läderach*, dipl.-Bauing. ETHZ, für die Übersetzung und Durchsicht des Textes.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *J.-C. Badoux*, Institut de la construction métallique (ICOM), ETH Lausanne, 1015 Lausanne.

Kann Tragwerksicherheit gemessen werden?

Von Walter Bosshard, Dübendorf

Vor 20 Jahren hat *Fritz Stüssi* in den Spalten dieser Zeitung gegen das Traglastverfahren gekämpft [1]. Fachlicher Streit hat dann seinen Sinn, wenn Unbeteiligte davon zum Nachdenken angeregt werden. Ein solcher Gedankengang sei hier dargestellt.

Vorerst wird ein Argument *Thürlimanns* am selben Ort als Kritik am Gültigkeitsbereich einer Masszahl für die Tragreserven gedeutet. Dann wird gezeigt, wie derselbe kritische Ansatz auf Bemessungsverfahren mit pauschalen Sicherheitsfaktoren und auf den baustatischen Sicherheitsbegriff insgesamt angewendet werden kann.

Die Vergleichbarkeit von Masszahlen; ein Erklärungsbeispiel

Ein Flüssigkeitsbehälter sei bis zu einer gewissen Höhe gefüllt. Wir können das Volumen der Flüssigkeit kennzeichnen durch diese Höhenmasszahl. Sie ist ein Ordnungsmass für den Behälterinhalt (Bild 1a). Wenn

$$h_B > h_A$$

so ist das Volumen B grösser als das Volumen A. Wir können unseren Massstab M auch an andere Gefässe anlegen. Sofern diese kongruent zum ersten sind oder wenigstens parallel zur Grundfläche flächengleiche Schnitte haben (Bild 1b), bleibt die Ordnungsrelation gewahrt. Die Familie dieser Gefässe wird als Reichweite des Massstabs M bezeichnet.

Für Gefässe beliebiger Form versagt unser Massstab (Bild 1c). Wenn wir die Volumina hier vergleichen wollen, müssen wir ein besseres Messverfahren entwickeln: zum Beispiel Umgiessen in ein Standardgefäss, also direkte Volumenbestimmung.

Die Suche nach Masszahlen grosser Reichweite ist ein Grundzug unserer Vernunft und eine Voraussetzung zur Gewinnung, Verwertung und Mitteilung von quantitativer Erfahrung. Umgekehrt ist in der Regel das Bedürfnis nach Masszahlen von grösserer Reichgekehrt ist in der Regel das Bedürfnis nach Masszahlen von grösserer Reich weite eine Folge einer qualitativen Erweiterung des Erfahrungsbereichs. Wer nur einen Einheitstyp von Gefässen hat, braucht keine Volumenbestimmung. Wer nur das elastische Materialverhalten betrachten will, braucht die Bemessung mit zulässigen Spannungen nicht zu bemängeln. In der Tragfähigkeitsforschung ist keine Differenzierung des Sicherheitsbegriffs auf der Lastseite nötig, und wer den weiten

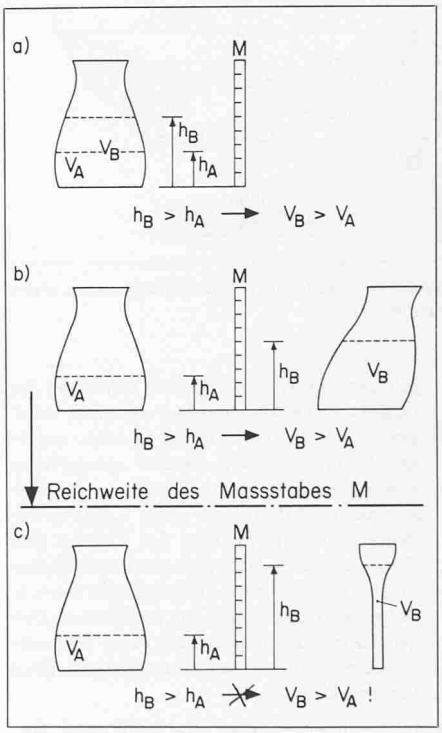


Bild 1. Reichweite eines Massstabes

Weg vom Projekt zum realisierten Tragwerk nicht gehen muss, wird nichts einwenden gegen einen Sicherheitsbegriff, der sich auf die Denkschablonen von Statik und Festigkeitslehre beschränkt.

Kritik der Bemessung mit zulässigen Spannungen

Mit [1] sei als erstes Beispiel der *Zweifeldträger mit konstanter Biegefestigkeit* EI nach Bild 2 betrachtet:

«Im Fall (a) verursacht die gleichmässig verteilte Belastung q ein massgebendes Stützenmoment M_{s1}. Anderseits ist durch geschickte Wahl eines Gelenkes im Fall (b) ein natürlicher Momentenausgleich zwischen Stützenmoment M_{s2} und Feldmoment erreicht worden. Nach der elastischen Theorie ist die Beanspruchung eines Tragwerkes durch das Eintreten von Fliessen in der höchst beanspruchten Faser begrenzt. Ist nun der Biegewiderstand der Träger in beiden Fällen gleich, d.h. $M_{s1} = M_{s2}$, so ergibt sich für den Fall (b) eine Erhöhung der rechnerischen Maximallast um nicht weniger als 46 Prozent. Dieses Resultat widerspricht offensichtlich unserer unvoreingenommenen Erwartung. Erstens ist der Balken mit Gelenk weniger steif. Zweitens bedeutet das Zerschneiden des Trägers und Einsetzen eines Gelenkes doch unzweideutig eine Schwächung. Die elastische Berechnung führt uns daher zur paradoxen Antwort, dass eine Schwächung eines Tragwerkes zu einer Erhöhung seiner Tragfähigkeit führen soll.»

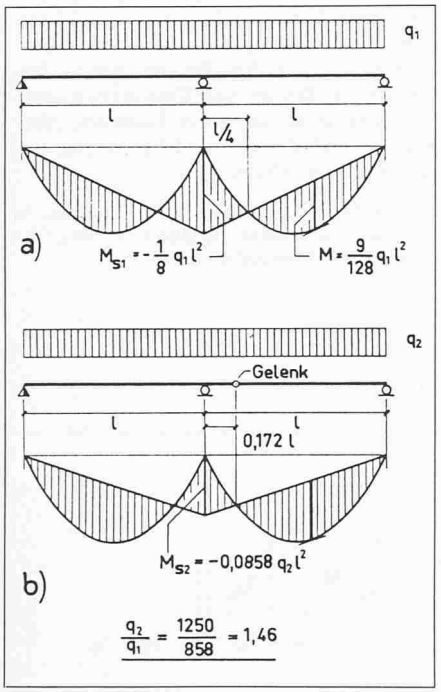


Bild 2. Vergleich eines Zweifeldträgers mit einem Gerber-Träger

Das Argument zeigt die typischen Bestandteile einer *Kritik an der Reichweite einer Masszahl.* Bei elastisch-sprödem Materialverhalten gibt uns die maximale elastisch ermittelte Spannung unter den gegebenen Gebrauchslasten ein befriedigendes Mass für die Tragreserven. In diesem Fall ist am Beispiel nichts paradox, und solange wir über die «Schlauheit des Materials» wenig wissen, werden wir mit diesem Mass zufrieden sein. Auf Grund experimenteller Erfahrung im plastischen Bereich des Bauteilverhaltens entsteht eine qualitativ erweiterte Vorstellung von Tragfähigkeit. Für zähe Baustoffe werden dann die elastisch ermittelten Spannungen als Massstab von begrenzter Reichweite für die Tragreserven erkennbar. An ihre Stelle tritt im einfachsten Fall der Lastfaktor des Traglastverfahrens: die Zahl, mit der alle gegebenen Gebrauchslasten proportional zu vervielfachen sind, um den Bruchzustand zu erreichen.

Kritik der Bemessung mit pauschalen Faktoren

Am Nutzen des Traglastverfahrens und anderer Bruchtheorien für unser Ingenieurdenken und unsere Konstruktionspraxis zweifelt heute wohl niemand mehr. Der pauschale Lastfaktor dagegen erweist sich als ebenso beschränktes Mass für die Tragreserven wie zuvor die zulässige Spannung. Beide Massstäbe haben einen gemeinsamen grundsätzlichen Mangel: Sie sind allein vom Tragwiderstand her definiert. Tragreserven kann man aber erst dann wirklich beziffern, wenn man weiss, wozu der Tragwiderstand dienen soll.

Häufig ist beispielsweise die Situation, in der Widerstandsgrössen wie die Traglast q_{ult} sowie Eigenlasten g genau vorhersehbar sind, während man gewisse andere Lasten p... (Nutzlast, Erdbebenlast, Windlast...) wenig unter Kontrolle hat. Anstelle der im Projekt angenommenen Bemessungslast p könnte eine Überlast $p_{ü}$ eintreten, und die Tragreserven dienen vor allem dazu, dieser Gefahr einer Überlastung zu begegnen. Das sinnvollste Mass für die Tragreserven ist unter diesen Umständen ein *Überlastfaktor*

$$\alpha_p = \frac{p_{ü}}{p}$$

Bei Bemessung mit einem pauschalen Lastfaktor γ folgt die aufnehmbare Überlast aus

$$(p + g)\,\gamma \leqq q_{ult} = g + p_{ü}$$

womit

$$\alpha_p = \gamma + \frac{g}{p}\,(\gamma - 1)$$

Bei $g/p = 0{,}1$ und $\gamma = 1{,}8$ wird $\alpha_p = 1{,}88$, bei $g/p = 10$ und demselben Lastfaktor ergibt sich $\alpha_p = 9{,}8$. Das ist eine Variation der Überlastbarkeit von über 500 Prozent bei gleichem Lastfaktor. Schon bei diesem einfachsten Ansatz zur Ausgestaltung der Lastseite erweist sich der pauschale Lastfaktor somit als Vergleichsmass sehr geringer Reichweite für die Tragreserven: er ist nur bei konstantem Verhältnis g/p ein brauchbares Vergleichsmass. Die praktischen Folgen dieser Tatsache zeigen sich am deutlichsten dort, wo extreme Verhältnisse von Eigenlast zu Nutzlast möglich sind, z.B. im Grundbau bei der Stabilität von Böschungen. Die einheitliche Festlegung eines pauschalen Sicherheitsfaktors ist dann nicht mehr möglich [3].

Der naheliegende Ausweg liegt in der Verwendung des Überlastfaktors als Sicherheitselement, mit der Bemessungsbedingung

$$q_{ult} \geqq g + \alpha_p p$$

In allgemeineren Fällen sind auch die anderen Grössen in der Bemessungsbedingung mit Unsicherheiten behaftet. Durch analoge Überlegungen gelangt man zum Partialfaktorkonzept von *Brinch Hansen* [4]

$$\frac{q_{ult}}{\alpha_q} \geqq \alpha_g g + \alpha_p p$$

Das Wesentliche an solchen *konkreten* Sicherheitskonzepten im Sinne von *J. Schneider* [5] sind nicht die Partialfaktoren, sondern

- das Denken in konkreten Bemessungssituationen: «Gefährdungsbilder» in der Begriffsbildung von [2].
- die Berücksichtigung von Unsicherheiten an ihrer Quelle. Wenn eine Last p besonders unsicher ist, wird ihr Bemessungswert p^* besonders vorsichtig angesetzt. Die Schreibweise

$$p^* = \alpha_p\, p$$

mit einem Partialfaktor deutet nur an, dass eine nicht für den Sicherheitsnachweis geeignete Vorgabe erst noch zurechtgebogen werden muss.

Die besten konkreten Sicherheitskonzepte kommen *ohne* Sicherheitsfaktoren aus. Ein Beispiel sind die Weisungen für den Schutzraumbau in der Schweiz. [6]. Der Verfasser ist überzeugt, dass die Einführung pauschaler Faktoren und die ganze nachfolgende Koeffizientenflut in den Normen ein *Irrweg* ist. Nur konkrete Sicherheitskonzepte bringen das Traglastverfahren und die allgemeineren Bruchtheorien auf sinnvolle Weise in die Praxis.

Die Frage der Messung von Tragreserven ist mit der Definition konkreter Sicherheitsbegriffe nicht gelöst, aber sie wird so durch sinnvolle Fragestellung lösbar. Für die konkrete Bemessungssituation müssen zwei Dinge quantifiziert werden: die Empfindlichkeit der Bemessungsbedingung für Änderungen an den einzelnen Variablen und die Unsicherheit dieser Variablen selbst. Ein vertrautes Instrument für die Verarbeitung solcher Informationen ist das *Fehlerfortpflanzungsgesetz* von *Gauss*. Die Zuverlässigkeitsindizes der Tragwerksicherheitstheorie stützen sich denn auch auf Weiterentwicklungen des Fehlerfortpflanzungsgesetzes [7]. Sie sind Masszahlen für Tragreserven von

grösstmöglicher Reichweite in den Grenzen der verfügbaren Information über die konkrete Bemessungssituation. In jüngster Zeit setzt sich die Einsicht durch, dass der Sinn solcher Masszahlen nicht in Aussagen über die «Versagenswahrscheinlichkeit» von Tragwerken liegt, sondern einzig in der Definition von möglichst universell vergleichbaren Masszahlen für die Tragreserven [8]. So gesehen sind die Zuverlässigkeitsindizes der Schlussstein über der baumechanischen Tragfähigkeits- und Lastforschung: Man kann Tragreserven in einem Projekt messen und universell vergleichen.

Kritik des baustatischen Sicherheitsbegriffs

Bauingenieure neigen gelegentlich dazu, Tragreserven in statischen Berechnungen mit Tragwerksicherheit gleichzusetzen. Im Wortsinn der Umgangssprache sind Tragwerke sicher, wenn niemand durch ihr Versagen zu Schaden kommt. Man könnte die Sicherheit der Tragwerke in einem abgegrenzten Bereich an der Zahl der Todesfälle aus Tragwerksversagen messen. Eine solche Definition realer Tragwerksicherheit wird z.B. in [2] für die Erfolgskontrolle vorgeschlagen.

Es ist offensichtlich, dass keine Masszahl für Tragreserven im Projekt – wie universell sie auch sei – ein Vergleichsmass für die reale Tragwerksicherheit sein kann. Die Indizes der Tragwerkszuverlässigkeit können so wenig über den Schatten ihres Unterbaus springen wie alle anderen Masszahlen kleinerer Reichweite. Dieser Unterbau besteht aus abstrakten Modellen für das Tragverhalten projektierter Tragwerke. Dagegen ist die reale Sicherheit das Ergebnis von Planungs-, Bau- und Nutzungsvorgängen, welche neben der Tragwerksprojektierung mindestens umfassen:

- Die *Gefahrenerkennung*. Sie entscheidet darüber, ob die wichtigsten Einflüsse auf die reale Sicherheit im Tragwerksprojekt beachtet werden.
- Die *Kontrolle* bei der Bauausführung. Sie entscheidet darüber, ob die Absichten des Projektverfassers verwirklicht werden.
- Die *Überwachung* und den *Unterhalt* im Gebrauch. Sie entscheiden darüber, ob die Voraussetzungen des Tragwerksprojektes über die Lebensdauer des Tragwerkes gewahrt bleiben.

Ein Gedankenexperiment mag die Verhältnisse veranschaulichen: In einem abgegrenzten Bereich werden die Sicherheitsfaktoren für die Tragwerksbemessung um 20 Prozent gesenkt. Dieser mögliche Entschluss einer Normkommission wird allgemein bekanntgemacht. Beim heutigen Stand der Sicherheitsfaktoren könnte die Folge durchaus eine höhere reale Tragwerksicherheit sein. Man weiss, dass die überwiegende Zahl der Tragwerksunfälle auf Fehler der Gefahrenerkennung, der Kontrolle und des Unterhalts zurückgehen. Die Nachricht von der Senkung der Tragreserven könnte der verbreiteten Sorglosigkeit in diesen Bereichen – mindestens für einen gewissen Zeitraum – entgegenwirken und so zu einer Erhöhung der realen Sicherheit führen. Das Gedankenexperiment sei keineswegs zur Ausführung empfohlen; es soll lediglich andeuten, in welche umfassenderen Systemzusammenhänge uns die Beschäftigung mit realer Tragwerksicherheit führt.

Der Verfasser dankt *J. Schneider* für die kritische Durchsicht eines Entwurfs zu diesem Aufsatz.

Literatur

[1] *Thürliman, B.* (1961): «Grundsätzliches zu den plastischen Berechnungsverfahren.» Schweizerische Bauzeitung 79, Seiten 863–869 und 877–881.
Stüssi, F. (1962): «Gegen das Traglastverfahren.» Schweizerische Bauzeitung 80, Seiten 53–57.
Replik und Duplik: Schweizerische Bauzeitung 80, Seiten 123 bis 126 und 136

[2] SIA 260 (1980): «Sicherheit und Gebrauchsfähigkeit von Tragwerken.» Weisungen des SIA an seine Kommissionen für die Koordination des Normenwerks. 5. Fassung (Vernehmlassungsentwurf) Mai 1980

[3] *Huder, J.* und *Lang, H-J.* (1980): «Zur Frage der Sicherheitsüberlegungen im Grundbau.» Schweizer Ing. und Architekt 43, Seiten 1071–1076.

[4] *Brinch Hansen/Lundgren* (1960): «Hauptprobleme der Bodenmechanik» Springer Verlag

[5] *Schneider, J.* (1971): «Überlegungen zu einem konkreten Sicherheitsbegriff...» Schweizerische Bauzeitung 89, Heft 29, 731–736

[6] TWP 1966: «Technische Weisungen für den privaten Schutzraumbau.» Bundesamt für Zivilschutz

[7] *Hasofer, A.M.*, and *Lind, N.C.* (1974): «An Exact and Invariant First-order Reliability Format.» J. Eng. Mech. ASCE 100 (EM 1): 111–121

[8] *Ditlevsen, O.* (1979): «Generalized Second Moment Reliability Index.» J. Struct. Mech., 7 (4), 435–451

Adresse des Verfassers: *W. Bosshard*, Dr. sc. techn., Bosshard Bauingenieure, Postfach 676, 8600 Dübendorf

Quelques réflexions sur la conduite d'une entreprise moyenne de matériels lourds à la demande

par Charles Dubas, La Tour-de-Peilz

La formation générale du chef d'entreprise et l'influence des professeurs

Si l'on parle tout d'abord de la formation du chef d'entreprise, c'est pour constater en premier lieu que les maîtres[1], depuis l'école primaire jusqu'aux plus hautes études universitaires, exercent une influence profonde, durable et parfois décisive sur leurs élèves, cela déjà par la matière enseignée, mais encore et surtout par leur personnalité et leur manière d'enseigner. Certaines de leurs paroles restent même gravées pour toujours dans la mémoire de leurs élèves.

Peut-on oublier, par exemple, les paroles d'un vénérable ecclésiastique, excellent connaisseur du Coran et ancien élève de l'Ecole Biblique de Jérusalem, à propos du conflit en train de naître, il y a cinquante ans déjà, entre les Arabes établis en Palestine depuis un millénaire et les immigrants juifs qui s'établissaient après deux mille ans dans la patrie de leurs lointains ancêtres, alors sous mandat britannique? L'entente entre les deux communautés ne lui paraissait pas possible, chacune s'estimant chez elle, alors qu'à l'époque on ne parlait guère de sionisme, ni d'antisémitisme[2] et de racisme.

Par ailleurs, les élèves du professeur *M. Roš* oublieront-ils jamais son «Messieurs, les normes sont faites pour les imbéciles» («Meine Herren, die Normen sind für die Dummen»), alors qu'il était l'auteur de nombreuses prescriptions techniques?

Que dire maintenant de l'apparition, lors de son premier cours, du professeur *F. Stüssi*, à qui cette revue est aujourd'hui dédiée à l'occasion de ses quatre-vingts ans?[3] Quelle impression fit ce jeune professeur de trente-cinq ans, totalement inconnu de ses nouveaux élèves, avec sa haute stature, sa démarche mesurée et sa voix grave, lorsqu'il exposa, clairement et sans hâte, pour le cas du flambement des barres