

Zeitschrift: IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen

Band: 21 (1975)

Artikel: Einsatz experimenteller Verfahren beim Nachweis der Funktions- und Tragsicherheit

Autor: Lutteroth, Ascan / Riedeburg, Klaus

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-18788>

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: 30.01.2026

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

II

Einsatz experimenteller Verfahren beim Nachweis der Funktions- und Tragsicherheit

Use of Tests for Controlling the Safety in relation with Use and Failure

Utilisation d'essais pour le contrôle de la serviciabilité et de la sécurité à la ruine

Ascan LUTTEROTH

Dr.-Ing.

Klaus RIEDEBURG

Dr.-Ing.

VEB Metalleichtbaukombinat, Forschungsinstitut
Leipzig, DDR

Die wichtigste Funktion eines Tragwerkes ist, die ihm zugewiesenen Lasten sicher aufzunehmen, ohne sich dabei übermäßig zu verformen. Die Tragsicherheit wird im allgemeinen durch Berechnung nachgewiesen, die sich auf jahrzehntelange Erfahrung und auf theoretische Überlegungen stützt. Dieses Verfahren bewährt sich gut bei üblichen Tragwerken, für die ausreichende Erfahrungen vorliegen, und bei relativ einfach gestalteten Tragwerken, die ohne zu große Fehler zu einem Modell vereinfacht werden können, das der Berechnung nach den Gesetzen der Mechanik und Festigkeitslehre zugänglich ist.

Bei einigen Tragwerken ist die Auffindung eines geeigneten Modells und damit die theoretische Berechnung gar nicht oder nicht in ausreichendem Maße möglich. In diesen Fällen wird die Tragfähigkeit durch Versuche bestimmt und mit der planmäßig auftretenden Belastung oder mit dem Ergebnis einer groben Näherungsberechnung verglichen. Mitunter müssen auch nur die für eine genauere Berechnung erforderlichen Parameter durch Versuche gefunden oder eine Hypothese bestätigt werden.

Die Versuche werden bei kleineren Bauteilen meist an Original-Teilen ausgeführt, bei größeren Bauteilen meist aus ökonomischen oder versuchstechnischen Gründen an verkleinerten und vereinfachten Modellen. Dabei ist darauf zu achten, daß die wesentlichen Eigenschaften des Tragwerks auch bei den Prüfkörpern vorhanden sind. Die Festigkeitseigenschaften müssen bekannt sein, um die wirklichen Werte in die Berechnung einzuführen und um gegebenenfalls die versuchsmäßig gefundenen Traglasten entsprechend den Normwerten der Originalausführung umzurechnen. Wesentliche Details z. B. hinsichtlich Exzentrizitäten, Kraftumlenkungen, Kerbwirkungen, Steifigkeitsverhältnissen müssen mit dem Original übereinstimmen, und der Maßstab darf nicht so weit abweichen, daß er Einfluß hat.

In schwierigen Fällen oder bei sehr hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit werden die theoretischen Annahmen durch Ver-

suche überprüft. Dabei können theoretisch nicht bestimmbare Parameter gewonnen werden. Ein Beispiel dafür sind die Kontrollversuche an mittig und außermittig gedrückten Stäben, die vor Einführung der neuen Stabilitätsvorschrift TGL 13503 gemacht worden sind. Die Stäbe bestanden aus ∇ 60 x 6 mit vier unterschiedlichen Längen, die den gesamten Schlankheitsbereich erfassen. Sie waren mit verschiedenen Exzentrizitäten gelenkig gelagert oder mit rohen Schrauben angeschlossen. Die Abweichung der Ergebnisse an den jeweils 5 gleichartigen Proben betrug ca. 2 bis ca. 12 % des Mittelwertes.

Die Berechnung nach Theorie II. Ordnung hinsichtlich Verformungs- und Tragverhalten und das zunächst willkürlich angenommene Gesetz für die ungewollte Außermittigkeit sowie die festgelegten Sicherheitszahlen gegen Erreichen der Euler-Knicklast sind als sicher bestätigt worden. Auch die Auswertung aller in anderem Zusammenhang durchgeführten Versuche, bei denen ein Stab durch Knicken versagte, hat die Festlegungen der Vorschrift als auf der sicheren Seite liegend bestätigt.

Nicht für so allgemeine Anwendung, sondern nur auf ein bestimmtes Erzeugnis bezogen waren die Versuche an dem neu entwickelten plastbeschichteten Stahltrapezprofilblech EKOTAL.

Bei diesem Bauteil handelt es sich praktisch um ein großflächiges Falwerk, das von dünnen Blechen gebildet wird. Diese Profilbleche haben im allgemeinen die Funktion eines Trag- und Hüllelementes zu erfüllen.

Die Ermittlung der Tragfähigkeit ist nur für wenige Beanspruchungszustände theoretisch möglich, z. B. für den durch reine Biegung beanspruchten Querschnitt. Hier brachten die Versuche nur geringfügige Korrekturen der berechneten Tragfähigkeiten. Bei den häufigsten Beanspruchungen, z. B. aus Biegung und Schub und örtlich konzentrierten Lasten im Auflagerbereich durchlaufender Profilbleche oder aus der Einleitung von Torsionsmomenten aus der Stabilisierung der Unterkonstruktion (Torsionsbettung), führten die theoretischen Untersuchungen zu keinen brauchbaren Ergebnissen hinsichtlich Tragfähigkeit und Verformungen. Möglicherweise läßt sich aus einer Vielzahl von Versuchen ein Modell entwickeln, das der Berechnung zugrunde gelegt werden kann. Außerdem mußten Verformungsgrenzen definiert werden, die zur Erreichung der Funktionstüchtigkeit des Hüllelementes gegebenenfalls im Zusammenwirken mit den anderen Teilen der Hülle eingehalten werden müssen, z. B. die Durchbiegung oder die Beulen in den Druckgurten der Profilbleche im Zusammenwirken mit Dämmschichten oder die Neigung der Stege der Profilbleche bei Schubbeanspruchung.

Die Ermittlung von Parametern der Schubsteifigkeit der aus Profilblechen gebildeten Scheiben, war bei Anwendung einer Schraubverbindung nur experimentell möglich. Diese Experimente mußten an Scheiben geführt werden, die aus mehreren Profilblechen bestehen, wobei bei der Herstellung der Verbindung Baustellenbedingungen angestrebt werden mußten. Die im Einzelversuch an Verbindungen gemessenen Verformungen waren so unterschiedlich und nichtlinear, daß eine Übertragbarkeit auf Scheiben mit einer Vielzahl von Verbindungen nicht zuverlässig erschien. Im Großversuch ergab sich mit ausreichender Genauigkeit ein lineares Verhalten.

Durch die Versuche war eine wirtschaftliche Auslastung der Profilbleche möglich, was bei der großen Einsatzmenge erheblichen Nutzen bringt. Ferner konnten neben der unmittelbaren Verwendung bei dem untersuchten Erzeugnis allgemeingültige Erkenntnisse über das Tragverhalten von Dünnblechbauteilen gewonnen werden. Diese sind u. a. Voraussetzung für eine Weiterentwicklung derartiger Erzeugnisse.

Auf ein ganz spezielles Bauteil beziehen sich die Untersuchungen an schweren geschweißten Trägern im Hochbau, die aus funktionellen Gründen (Durchführung von Klimatisierungsleitungen) eine große Anzahl von Aussparungen im Steg erhalten mußten. Bisher war es üblich, bei hochbeanspruchten Trägern diese Aussparungen mit einem Flachstahl einzufassen. Bei einem großen Bauvorhaben wären davon etwa 1000 Aussparungen betroffen gewesen. Theoretische Untersuchungen dieses Problems lieferten unterschiedliche Werte und Spannungen über der Fließgrenze, deren Auswirkungen schwer abzuschätzen waren. Bei Belastungsversuchen an Trägermodellen im Maßstab etwa 1 : 2 an Trägern mit und solchen ohne Einfassung der kreisförmigen Aussparungen war das Trag- und Verformungsverhalten der beiden Gruppen von je drei gleichartigen Trägern annähernd gleich. Der Verformungsanteil aus Schub im Stegblech und die Schubspannung sind bei den Trägern ohne Einfassung mit einer entsprechend Lochdurchmesser und Lochabstand verminderten Stegfläche zu berechnen, während bei den Trägern mit Einfassung mit der vollen Stegfläche gerechnet werden darf. Maßstabs-Einflüsse sind bei den gewählten Verhältnissen nicht zu befürchten, da die Versuchsträger unter den gleichen Werkstatt-Bedingungen gefertigt wurden wie die Originalträger und ebenfalls aus verhältnismäßig dicken Blechen bestanden.

Damit konnte nachgewiesen werden, daß unter den vorliegenden Verhältnissen die Einfassung nicht erforderlich ist. Verallgemeinern läßt sich diese Erkenntnis auf Träger mit relativ großer Stegdicke, bei denen keine Beulgefahr besteht, mit kreisförmigen Aussparungen, deren Durchmesser nicht mehr als 40 % der Steghöhe beträgt. Ermüdungsbeanspruchung muß ausgeschlossen sein, weil bei den mittels mechanischer und elektrischer Verfahren durchgeführten Dehnungsmessungen den theoretischen Annahmen entsprechend örtliche Plastizierungen am Lochrand festgestellt worden sind, die bei statischer Beanspruchung keinen Einfluß auf die Tragfähigkeit und fast keinen auf das Verformungsverhalten haben, aber bei Ermüdungsbeanspruchung ähnlich wie Kerben wirken können.

Durch die Versuche konnte somit nachgewiesen werden, daß auch bei geringerem Herstellungsaufwand und Materialeinsatz die Funktionsfähigkeit der Träger gewährleistet ist. Der wirtschaftliche Nutzen dieser Versuche war so bedeutend, daß der Aufwand gerechtfertigt war.

Eine Zulassung von Bauteilen für eine bestimmte Last nur auf Grund von Versuchen ohne jegliche theoretische Auswertung sollte auf Sonderfälle beschränkt bleiben. Bei auch nur geringfügigen Veränderungen der Bauteile muß neu geprüft werden, weil der Einfluß der Veränderung im allgemeinen nicht abgeschätzt werden kann. Diese Art der Prüfung wird im wesentlichen bei solchen Bauteilen angewandt; die einer sinnvollen Berechnung nicht zugänglich sind und die in großen Stückzahlen ohne Veränderung gefertigt werden. Die gleichmäßige Qualität der Bauteile muß gegebenenfalls durch stichprobenweise Prüfungen kontrolliert werden.

Als Beispiel seien die Überwachungsprüfungen an Kupplungen für Stahlrohrgerüste genannt. Dabei handelt es sich um eine reine Funktionsprüfung. Die Kupplungen werden wie im Originalzustand an die Gerüstrohre angeklemt, deren Durchmesser und Oberfläche den ungünstigsten in Wirklichkeit zu erwartenden Bedingungen entspricht. In einer hydraulischen Prüfmaschine wird so belastet, daß die Kupplung auf dem Rohr gleitet. Die Gleitlast ist das maßgebende Kriterium für die Funktion der Kupplung. Mit Meßuhren wird der Beginn des Gleitens festgestellt.

Ein weiteres Beispiel ist die Material-Überwachung der Gerüstrohre. Aus Gründen der Ökonomie und Liefermöglichkeit werden Rohre aus St R ohne gewährleistete Festigkeitseigenschaften verwendet. An 10 Proben je angefangene 20 t einer jeden Rohrlieferung, die stichprobenartig zu entnehmen sind, werden Streckgrenze und Bruchfestigkeit bestimmt und statistisch ausgewertet. Bei annähernd symmetrischer Verteilung wird mit Gaußscher Normalverteilung gerechnet. Als zu erwartender Mindestwert ist der Mittelwert minus $3 \times$ Standardabweichung festgelegt. Schiefe Verteilungen werden nach Weibull ausgewertet. Wenn der Mindestwert oberhalb einer festgelegten Streckgrenze liegt, von der die zulässigen Spannungen abhängen, wird der Wareneingang zugelassen. In über zehnjähriger Praxis hat sich dieses Verfahren bewährt. Unter den gegebenen Verhältnissen ist es wirtschaftlich, auch wenn ein Teil der Wareneingänge für Tragwerke verworfen werden muß.

Durch experimentelle Untersuchungen an serienmäßig hergestellten geschoßhohen Fassadenelementen, bestehend aus Stahl- oder Aluminiumträgern, Faserbaustoffen, Gipskartonplatten, Plasteteilen, Glas und Metallblechen, sollte das Trag- und Verformungsverhalten überprüft werden. Das Zusammenwirken aller an der Übertragung der Lasten (Windlasten) beteiligten Elemente und der Einfluß ihrer Verformungen auf die Funktionstüchtigkeit der Fassade als Wetterschale konnte nur im Versuch festgestellt werden. Dabei war es auch hier erforderlich, Verformungsgrenzen zu definieren. Die Experimente wurden an zwei bzw. drei nebeneinander angeordneten Elementen einschließlich kompletter Fugengestaltung durchgeführt. Die Belastung wurde durch ein Luftpolster erzeugt, wobei der Druck auf die einzelnen Elemente auch unterschiedlich eingestellt werden konnte. Daraus konnten Rückschlüsse auf die Nachgiebigkeit der Fuge und die damit verbundene Dichtheit bei unterschiedlicher Verformung gezogen werden. Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen führten zu konstruktiven Änderungen, die die Gebrauchseigenschaften des Serienerzeugnisses verbesserten. Sie sind allerdings in den wesentlichen Punkten nicht verallgemeinerungsfähig, da die konstruktive Gestaltung von Fassadenelementen unterschiedlich sein wird.

Allgemein vertreten wir die Meinung, daß Versuche wegen des großen Aufwandes nur dann gemacht werden sollten, wenn die Funktions- oder Tragsicherheit eines Bauteiles nicht nach bewährten Vorschriften nachgewiesen werden kann, wenn neue Theorien bestätigt werden müssen oder wenn die begründete Annahme besteht, daß sich das Tragwerk merklich anders verhält als die nur näherungsweise mögliche Berechnung ausweist. Bei zu erwartendem ungünstigerem Verhalten sind Versuche aus Sicherheitsgründen notwendig; bei günstigerem Verhalten dienen sie der Ökonomie.

Bei Vorbereitung und Auswertung der Versuche sollte darauf geachtet werden, daß die Ergebnisse möglichst verallgemeinert werden können, um weiteren Nutzen aus dem Versuchsaufwand zu ziehen. Dazu müssen im allgemeinen die Versuchsergebnisse mit theoretisch berechneten Werten verglichen werden.

Wenn Tragwerke nur nach Versuchsergebnissen zugelassen werden sollen, was in solchen Fällen notwendig ist, in denen keine ausreichend zutreffende Berechnung möglich ist, muß der erforderliche Sicherheitsabstand zwischen zulässiger Gebrauchslast und Versagenslast überlegt werden. Eine einfache Übernahme der Sicherheitszahlen, die für die statische Berechnung vorgeschrieben sind, ist nicht immer sinnvoll. Wenn die Versuchswerte auf einen zu erwartenden Mindestwert der Tragfähigkeit - aus mehreren gleichartigen Versuchen gewonnen - sowie auf die Normwerte der Festigkeit und der wirksamen Querschnitte umgerechnet sind, kann gegebenenfalls die Sicherheitszahl kleiner gewählt werden, weil die Unsicherheiten in der Wirkungsweise des Tragwerks durch die Versuche bereits erfaßt sind. Eine Auswertung mit Teilsicherheitsfaktoren im Sinne der Bemessung nach Grenzzuständen kann zweckmäßig sein, wobei die Einflüsse aus Abweichungen der Lasten, der Festigkeit und des statischen Systems getrennt berücksichtigt werden und auch die Bedeutung des Bauteils mit eingehen kann.

Die Versuche an Bauteilen stellen neben den theoretischen Untersuchungen einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung der Technik, zur Erhöhung der Funktionssicherheit der Bauteile und zur Materialökonomie dar.

ZUSAMMENFASSUNG

Unbedingte Voraussetzungen für die Nutzung ist die Tragsicherheit. Wenn sie wegen der Kompliziertheit des Bauteils und fehlender Erfahrungen nicht durch Berechnung nachgewiesen werden kann oder wenn neue Theorien zu bestätigen sind, werden Versuche gemacht. Bei der Versuchsauswertung sind besondere Überlegungen hinsichtlich der anzusetzenden Sicherheitszahlen erforderlich.

SUMMARY

An absolute condition for the use is the load safety. Wherever impossible to check in computation - due to construction's components very complicate or due to a lack of experiences, or in case of new theories which need to be controlled - it is necessary to proceed with tests. In the evaluation of results, particular attention shall be given to the safety factor.

RESUME

Une condition indispensable pour l'usage d'un ouvrage est la sécurité à la ruine. Lorsqu'elle ne peut être contrôlée par le calcul, par suite d'éléments de construction compliqués, par manque d'expériences, ou lorsque de nouvelles théories doivent être vérifiées, il y a lieu de procéder à des essais. Dans l'analyse des résultats d'essais, on accordera une attention particulière aux facteurs de sécurité à introduire.

Leere Seite
Blank page
Page vide