

# Geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Bemessungsverfahren im Bauwesen

Autor(en): **Stüssi, F.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **3 (1969)**

PDF erstellt am: **26.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-5004>

## **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.

## **Geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Bemessungsverfahren im Bauwesen**

Historical review of the development of design methods in construction

Historique du développement des méthodes de dimensionnement dans la construction

**F. STÜSSI**

Prof. Dr.

Ehrenpräsident der IVBH

1. Bei der Bemessung von Tragwerken lassen sich deutlich zwei Wege unterscheiden: die handwerklich-empirische Bemessung, die auf der Erfahrung beruht, und die wissenschaftlich fundierte Berechnung mit Hilfe der Baustatik, d.h. der angewandten Mechanik. Dieser zweite Weg wird eröffnet durch Louis Navier (1785 - 1836), der 1826 in seinem grundlegenden und heute noch faszinierenden Werk "Résumé des leçons sur l'application de la Mécanique à l'établissement des constructions et des Machines" (1) die Grundlagen der heutigen Baustatik in einem den Bedürfnissen der damaligen Zeit genügenden Umfang aufgestellt hat. Dieses Werk stellt den Uebergang vom handwerklich-empirischen Bauen zum wissenschaftlich fundierten Konstruieren dar und bedeutet somit den Beginn der Neuzeit im konstruktiven Ingenieurbauwesen. Durch die Einführung rechnerischer Bemessungsmethoden wird allerdings die Erfahrung nicht überflüssig; vor allem grosse und richtungsweisende Ingenieurbauwerke können nur durch eine harmonische Synthese von Theorie, Erfahrung und künstlerischem Gestaltungsvermögen geschaffen werden.

2. In der handwerklich-empirischen Periode des Bauwesens, die wir als die Periode "vor Navier" bezeichnen können, wurden die Tragwerke auf Grund der Erfahrung, d.h. nach dem Vorbild bestehender Bauwerke, die sich bewährt haben, bemessen. So haben sich im Laufe der Zeit praktische Bemessungsregeln oder Rezepte herausgebildet, die den angehenden Fachleuten in der Berufslehre oder auch in einzelnen Fachbüchern vermittelt wurden. Ein recht instruktives Beispiel einer solchen empirischen Anweisung findet sich im Brückenbaubuche des Mechanicus Jakob Leupold, 1726 (2), in Form einer Tabelle über die erforderliche Stärke von Holzbalken, die Leupold von de la Hire übernommen hat. Diese Tabelle über die "Dicke, so das Holz nach seiner Länge haben soll", ist nachstehend wiedergegeben.

Länge	Breite	Höhe	Länge	Breite	Höhe
12 Fuss	10 Zoll	12 Zoll	30 Fuss	16 Zoll	21 Zoll
15	11	13	33	17	22
18	12	15	36	18	23
21	13	16	39	19	24
24	13½	18	42	20	25
27	15	19			

Wenn wir diese Zahlenwerte etwas näher untersuchen, so finden wir unter Umrechnung auf das metrische System (1 Zoll  $\approx$  2.5 cm, 1 Fuss  $\approx$  30 cm), dass ein Balken der Länge bzw. Stützweite  $\ell$  mit den angegebenen Querschnittsabmessungen  $b$  und  $h$  bei einer zulässigen Bieungsbeanspruchung  $\sigma_{zul.} = 60 \text{ kg/cm}^2$  neben einer gleichmäßig verteilten Belastung  $q = 0.90 \text{ t/m}^1$  noch eine Einzellast  $P = 0.55 \text{ t}$  aufnehmen kann. In Abbildung 1 ist das "vorhandene Moment",

$$M_{\text{vorh.}} = \frac{q \cdot \ell^2}{8} + \frac{P \cdot \ell}{4},$$

dem "zulässigen Moment",

$$M_{\text{zul.}} = W \cdot \sigma_{\text{zul.}} = \frac{b \cdot h^2}{6} \cdot \sigma_{\text{zul.}},$$

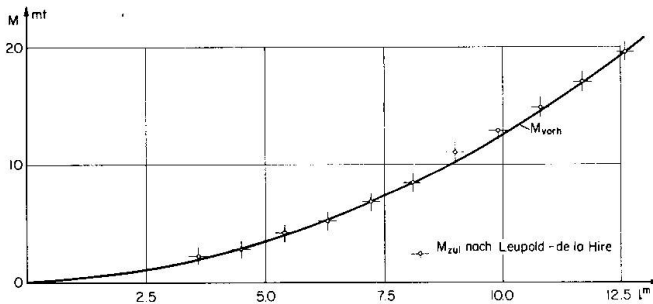


Abb. 1 Tragfähigkeit von Holzbalken

Balkens sind nur von seiner Länge oder Stützweite, nicht aber von der wirklichen Belastung abhängig. Es wird nicht unterschieden, ob es sich um Balken für einen leichten Fussgängersteg oder eine (relativ) schwere Strassenbrücke oder ob es sich um Längs- oder Querträger usw. handelt. Auch ist eine Extrapolation solcher Anweisungen

gegenübergestellt. Auffallend ist zunächst die gute Übereinstimmung zwischen vorhandenen und zulässigen Momenten; der Tabelle nach Leupold - de la Hire muss somit, neben einem grossen Erfahrungsmaterial, eine gesunde Konzeption über das Verhältnis von Belastung und Tragfähigkeit zu Grunde gelegen haben. Andererseits werden jedoch auch die Nachteile einer solchen rezeptartigen Anweisung deutlich: Die erforderlichen Querschnittsabmessungen eines

über den bisher beherrschten Anwendungsbereich hinaus mit dem Risiko eines Misserfolges verbunden; die Entwicklungsmöglichkeiten sind bei handwerklich-empirischer Bemessung von Tragwerken begrenzt.

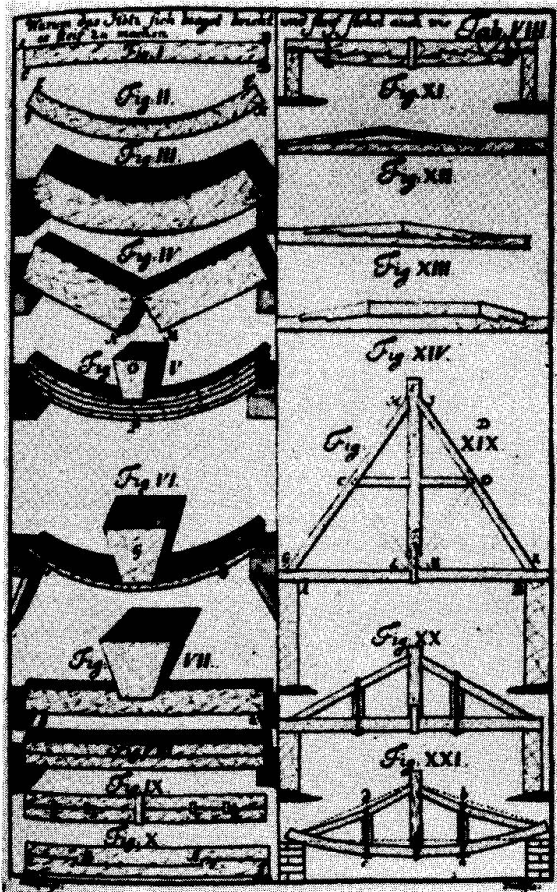


Abb. 2 Tragfähigkeit von Holzbalken nach J. Leupold

Auch Thomas Telford (1757 - 1834), der Erbauer der berühmten Menai-Hängebrücke, verwendete den Modellversuch, um sich die erforderlichen Bemessungsgrundlagen zu beschaffen. Ueber die Versuche, die er im Zusammenhang mit dem Entwurf der Runcorn Bridge, die allerdings nicht ausgeführt wurde, durchgeführt hat, schreibt er selber (nach J. Rickman (3)):

"A bar of good English malleable iron, one inch square, will suspend from twenty-seven to thirty tons before it breaks, and it bears from fifteen to sixteen tons before it begins to be extended in length. By my experiments, it was ascertained that with a curvature of one-twentieth of the length, malleable iron, besides its own weight, sustained one-third of what broke it perpendicularly. An inch bar would therefore bear one-third of fifteen tons, without deranging its parts; but in order to be considerably within its power, I have only assumed that one inch square of section

Die in Abbildung 2 wiedergegebene Tafel aus dem Brückenbau-buche von Jakob Leupold zeigt, dass doch schon damals über die Arbeitsweise auch von zusammengesetzten oder verstärkten Balken recht brauchbare Vorstellungen vorhanden waren. Solche Kenntnisse haben es besonders begabten Baumeistern wohl erlaubt, neuartige Tragwerke für grössere als bisher beherrschte Spannweiten zu entwickeln. Wir wissen auch, dass auch Modelle von neuartigen Bauwerken hergestellt worden sind. So hat Johann Ulrich Grubenmann (1709 - 1783) ein Brückenmodell hergestellt, um dem Stadtrat von Schaffhausen die Tragfähigkeit der von ihm vorgeschlagenen Brücke über den Rhein von rd. 120 Metern Spannweite zu demonstrieren; Grubenmann drang allerdings mit seinem Vorschlag nicht durch, sondern wurde gezwungen, für die ausgeführte Brücke einen Mittelpfeiler, der von der durch Hochwasser zerstörten früheren Steinbrücke stehen geblieben war, als Abstützung zu verwenden.

shall be loaded with four tons."

Die Idee, die diesen Versuchen zu Grunde liegt, ist sehr einfach; sie beschränkt sich auf die Hauptfrage, die auch durch eine einfache Rechnung hätte beantwortet werden können. Die Interpretation der Versuchsergebnisse ist als sehr vorsichtig zu bewerten.

Es ist immerhin bemerkenswert, dass eine Reihe von hervorragenden Vertretern der theoretischen Mechanik zu dieser Zeit schon eine ganze Reihe von zur Festigkeitslehre gehörenden Problemen gelöst oder doch einer Lösung entgegengeführt hatten, wie etwa die Kettenlinie, Teilfragen der Balkenbiegung oder das elastische Knicken. Die Baupraxis nahm von diesen, in der Formulierung allerdings vorwiegend mathematisch orientierten Ergebnissen keine Kenntnis. So bestand zwischen Theorie und Praxis ein unüberbrückbar scheinender Gegensatz, der sehr drastisch zum Ausdruck kommt in einem vom bedeutenden englischen Ingenieur Thomas Tredgold (1788 - 1829) überlieferten boshaften Spruch (4): "The stability of a building is inversely proportional to the science of the builder."

3. Hier setzt nun die grosse und unvergängliche Leistung von Louis Navier ein; er hat in seinem "Résumé des leçons" die alte Forderung von Leonardo da Vinci (1452 - 1519) "Studia prima la scienza e poi séguita la pratica nata da essa scienza" verwirklicht und damit die angewandte Wissenschaft der Baustatik geschaffen. Er hat alle ihm zugänglichen Erfahrungen und Erkenntnisse früherer Baumeister und Forscher gesammelt, verarbeitet, durch wesentliche eigene Untersuchungen und Ueberlegungen erweitert und ergänzt und damit seine neue Baukonstruktionslehre aufgestellt, mit der er den Uebergang vom handwerklich-empirischen Bauen zum wissenschaftlich fundierten Konstruieren vollzogen hat.

Die Aufgabe, die Navier sich gestellt hat, umschreibt er selber im Vorwort des "Résumé des leçons" wie folgt:

"L'objet de ces résumés est d'exposer les conditions de l'établissement des constructions que les ingénieurs dirigent, et de mettre à même de vérifier le degré de résistance de chacune de leurs parties".

Diese Aufgabe zerfällt in zwei Teile: Erstens müssen für eine gegebene Belastung die inneren Kräfte oder Beanspruchungen berechnet werden und zweitens muss aus diesen Beanspruchungen und aus der Kenntnis der Eigenschaften des verwendeten Baustoffes, seiner Elastizität ("force d'élasticité") und seiner Festigkeit ("résistance à la rupture"), untersucht werden, ob das Tragwerk genügend tragfähig ist. Die Lösung der ersten Teilaufgabe beruht auf den theoretisch ableitbaren Berechnungsverfahren der Baustatik. Die von Navier hier gegebene Untersuchung der Balkenbiegung trägt noch heute seinen Namen ("Biegungslehre von Navier"). Die zweite Teilaufgabe gehört zur Materialprüfung. Navier schreibt dazu:

"La force d'élasticité et la résistance à la rupture doivent être recherchées par l'expérience, pour les diverses espèces de matériaux, et l'on s'est efforcé de rassembler tous les résultats

de ce genre qui ont paru de quelque utilité.

La connaissance de la force d'élasticité donne les moyens de calculer la quantité dont une pièce de charpente peut se comprimer, s'allonger, ou fléchir sous une charge donnée. La connaissance de la résistance à la rupture permet de déterminer la limite des poids qu'une pièce peut supporter. Mais cela ne suffit pas pour l'établissement des constructions, parce qu'il s'agit de connaître, non pas le poids qui rompt une pièce, mais le poids dont on peut la charger sans que l'altération qu'elle subit augmente avec le temps. La recherche de cette dernière limite, qui est de la plus grande importance, peut être rarement l'objet d'expériences directes; mais on peut ici se servir avec avantage des exemples fournis par les constructions existantes."

Navier stellt hier die wesentliche Forderung auf, dass die Beanspruchungsgrenzen, die bei Tragwerken eingehalten werden müssen, aus der Erfahrung, d.h. aus der Beobachtung und Untersuchung von bestehenden Tragwerken, zu bestimmen sind. Er fügt darüber noch bei:

"L'élément principal des calculs est l'évaluation des limites des efforts que l'on peut faire supporter aux parties des divers matériaux. Cette évaluation, établie d'après l'expérience des constructions existantes, n'est pas susceptible d'une rigoureuse exactitude. Il pourra donc exister quelques différences dans les nombres qui seront adoptés par diverses personnes. Le temps, et la réunion d'un grand nombre de comparaisons, peuvent seuls fixer les idées sur ce sujet."

Das Vorwort schliesst mit den folgenden Sätzen:

"Il ne faudrait pas conclure, d'ailleurs, que l'on doit toujours, pour avoir égard à l'économie, se placer tout près de ces limites. Les différences que l'on trouve dans les qualités des matériaux, et plusieurs autres motifs s'y opposent; l'art consiste principalement à juger jusqu'à quel point il est permis de s'en approcher".

Damit ist die Verantwortung des konstruierenden Ingenieurs für das Verhalten seiner Bauwerke eindeutig festgelegt. Die Durchführung von Festigkeitsversuchen an Baustoffen ist wohl in erster Linie Aufgabe der Materialprüfer, aber die Interpretation der Versuchsergebnisse und die daraus zu ziehenden Folgerungen für die Bemessung von Tragwerken gehören zum Verantwortungsbereich des konstruierenden Ingenieurs.

Das erste Kapitel ("première section") des "Résumé des leçons" schliesst mit einem Abschnitt ("Article VII") mit dem Titel "Des plus grands efforts auxquels les matériaux employés dans les constructions peuvent être exposés avec sécurité".

Navier legt hier die Beanspruchungsgrenzen fest, für die sich dann bald die Bezeichnung "zulässige Spannungen" einbürgern sollte. Er schreibt hier:

"Il faut en effet que l'on puisse être assuré, non seulement que les forces agissant sur chaque pièce n'en causeront point im-



médiatement la rupture; mais même que l'action permanente, ou fréquemment répétée, de ces forces, ne produira point dans les parties des édifices des altérations qui puissent faire avec le temps des progrès et amener la destruction."

Es wird hier noch kein Sicherheitsgrad zahlenmässig definiert, sondern der Sicherheitsbegriff wird rein qualitativ, "avec sécurité", umschrieben. Man spürt immer wieder, dass Navier die Schwierigkeiten deutlich erkennt, die sich einer quantitativen Festlegung der Sicherheit entgegenstellen; die "Sicherheit" hat ja nicht nur einen Bruch durch Ueberschreiten der Bruchfestigkeit auszuschliessen, sondern sie hat ganz allgemein die Brauchbarkeit des Tragwerkes während langer Zeit zu gewährleisten. Dass Navier dabei auch schon die Ermüdungsgefahr erkennt und erwähnt, ist besonders bemerkenswert, denn die ersten systematischen Untersuchungen über die Ermüdung von Metallen durch August Wöhler (1819 - 1914) wurden ja erst 1870, also fast ein halbes Jahrhundert nach dem Erscheinen des "Résumé des leçons" zusammenfassend veröffentlicht.

Nachstehend sind die Empfehlungen Naviers für die "zulässigen Spannungen" zusammengestellt:

Baustoff	Beanspruchungsart	Bruchfestigkeit	Zulässige Beanspruchung
Naturstein	Druck	$\sigma_D$	$0.10 \cdot \sigma_D$
Holz	Druck	300 kg/cm <sup>2</sup>	60 kg/cm <sup>2</sup>
	Zug	800 kg/cm <sup>2</sup>	60 kg/cm <sup>2</sup>
	Biegung	600 kg/cm <sup>2</sup>	60 kg/cm <sup>2</sup>
Schmiedeeisen	Zug	4.0 t/cm <sup>2</sup>	0.8-1.0 t/cm <sup>2</sup>
	Biegung		1.0 t/cm <sup>2</sup>
Gusseisen	Druck	10.0 t/cm <sup>2</sup>	2.5 t/cm <sup>2</sup>
	Zug	1.3-1.4 t/cm <sup>2</sup>	0.35 t/cm <sup>2</sup>
	Biegung	2.8 t/cm <sup>2</sup>	0.7 t/cm <sup>2</sup>

Es ist noch festzuhalten, dass Navier die Gültigkeitsgrenze des elastischen Knickens nach Euler deutlich erkannt hat und eine überraschend zutreffende Erkenntnis des unelastischen Knickbereiches besass.

Der Uebergang zum Berechnen der Tragwerke ist offenbar zunächst den Fachleuten nicht einfach erschienen. So schreibt G.-H. Dufour in seinem Bericht über eine kleine von ihm konstruierte Drahtkabelhängebrücke in Genf, 1824 (5): "Mais il y a loin de la simple théorie à la pratique, et du projet à l'exécution dans les choses nouvelles. On marche à tâtons quand on n'a pas l'expérience pour guide; le moindre oubli peut devenir fatal, et il suffit d'une seule circonstance imprévue ou mal calculée pour échouer." G.-H. Dufour war ein ausgezeichneter Ingenieur, und sein Bericht ist bemerkenswert, einmal wegen der grossen Sorgfalt, mit der er

vor der Bauausführung eingehende Versuche über die Festigkeit der verwendeten Drähte und ihre Verbindungen durchgeführt hatte, und dann besonders auch, weil er die Kräfte in seinen Drahtkabeln berechnete und zwar drei Jahre vor dem Erscheinen des "Résumé des leçons" und ohne das grosse Werk Naviers über Hängebrücken (6) zu kennen.

Nach Navier ist in der Entwicklung des Ingenieurbauwesens vor allem der Ausbau der Berechnungsmethoden festzustellen und zwar besonders durch Karl Culmann (Graphische Statik), Wilhem Ritter (Anwendungen der graphischen Statik), Otto Mohr (Beiträge zur Technischen Mechanik) und Friedrich Engesser (Unelastisches Knicken, Zusatzkräfte und Nebenspannungen in eisernen Brücken). Ziel dieser Entwicklung muss sein, eigene baustatische Berechnungsmethoden aufzustellen, die dem Konstrukteur erlauben sollen, auch kompliziertere und schwierigere Tragwerke übersichtlich und zuverlässig zu berechnen.

4. In bezug auf die zulässigen Spannungen oder, allgemeiner, den Sicherheitsgrad ist wohl der wichtigste Schritt seit Navier die Einführung von Bauwerksklassen zur Differenzierung der zulässigen Spannungen nach der Art der Belastung. So kann man, wie dies heute verschiedene Bauvorschriften tun, etwa die folgenden Hauptklassen unterscheiden:

Hochbauten oder vorwiegend ruhend belastete  
Tragwerke,

Strassenbrücken als Mittelklasse,

Eisenbahnbrücken oder durch oft wiederholte  
Belastungen beanspruchte Tragwerke.

Auch ist es wohl zweckmässig, bei den zulässigen Spannungen zwischen den normalen Hauptlasten und den nur selten auftretenden Zusatzlasten zu unterscheiden.

Es ist heute wohl anerkannt, dass bei der Bemessung von Brückenbauten die Ermüdungsgefahr berücksichtigt werden muss. Dazu ist es notwendig, dass die vorliegenden Versuchsergebnisse systematisch geordnet und interpretiert werden; wir benötigen somit eine Theorie der Ermüdungsfestigkeit. Wir kennen allerdings heute die physikalischen Grundlagen noch nicht, aus denen eine quantitative Lösung des Ermüdungsproblems abgeleitet werden könnte; wir müssen deshalb die Lösung auf phänomenologischem Wege durch sorgfältige Interpretation zweckmässig angelegter Versuchsreihen suchen (7). Verschiedene der heutigen Bauvorschriften stellen beispielsweise bei der Ermüdung von Baustahl auf eine konventionelle Lastwechselzahl von zwei Millionen ab; dies kann zu einer ungenügenden Sicherheit besonders von Eisenbahnbrücken führen. Es wird notwendig sein, die Sicherheit auf die wirkliche Arbeitsfestigkeit von Baustahl bei beliebig vielen Lastwechseln zu orientieren, um den irreversibeln Schädigungsvorgang, den die Ermüdung darstellt, zutreffend zu erfassen; die entsprechenden Bauvorschriften sind zu revidieren.



Die Zahlenwerte für Belastungen und Materialeigenschaften, die die Sicherheit eines Bauwerkes bestimmen, sind unvermeidlichen Unsicherheiten und Streuungen unterworfen. Es ist deshalb nur natürlich, dass man die Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung beizieht, um, wenn möglich, den Begriff der Sicherheit schärfer zu erfassen als bisher. Die I.V.B.H. hat sich an ihren Kongressen wiederholt mit dem wahrscheinlichkeitstheoretischen Aspekt des Sicherheitsbegriffes beschäftigt. So lesen wir in den Schlussfolgerungen zu Thema V (Begriff der Sicherheit und dynamische Beanspruchung von Bauwerken) im Schlussbericht des dritten Kongresses in Lüttich 1948: "Die Sicherheit eines Bauwerkes entspricht einem geringen Einsturzrisiko, das grundsätzlich durch eine Wahrscheinlichkeit ausgedrückt wird."

Diese Vorstellung, dass jedes Bauwerk, das wir erstellen, von vornherein mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit des Einsturzes belastet sein soll, ist nicht vereinbar mit dem Verantwortungsbewusstsein des Ingenieurs und sie ist deshalb untragbar. Wenn wir etwas genauer zusehen, so erkennen wir, dass eine solche Einsturzwahrscheinlichkeit nicht zu bestehen braucht, denn sie ist nicht die Folge der wirklichen Verhältnisse, sondern die Folge einer mathematischen Idealisierung. Für die Häufigkeitsverteilung bestimmter Werte, beispielsweise der Festigkeit des Baustoffes wird ein mathematisches Gesetz eingeführt, im Falle der Normalverteilung die Gauss'sche Glockenkurve, die nach beiden Seiten asymptotisch an die Abszissenaxe verläuft. Abbildung 3 zeigt die wirkliche Häufigkeitsverteilung von 78 Stichproben über die Zugfestigkeit eines hochwertigsten naturharten Rippenstahles mit Durchmessern von  $\phi = 14$  mm bis  $\phi = 36$  mm; es existiert sowohl ein Mindestwert wie auch ein Höchstwert dieser Festigkeit, die nicht unter- bzw. überschritten werden dürfen. Die laufende Qualitätskontrolle bei der Stahlherstellung hat die Einhaltung dieser Forderung zu gewährleisten; sollte einmal infolge menschlicher Unzulänglichkeit eine ungenügende Charge vorkommen, so ist sie nicht weiter zu verarbeiten, sondern wieder einzuschmelzen. Ebenso haben geeignete Kontrollen bei allen andern Phasen der Herstellung und des Betriebes von Bauwerken dafür zu sorgen, dass keine auch noch so geringe Wahrscheinlichkeit eines Einsturzes möglich ist. Der Bezug wahrscheinlichkeitstheoretischer Untersuchungen bei der Formulierung des Sicherheitsbegriffes ist erwünscht und zweckmässig, doch ist dabei dafür zu sorgen, dass keine wirklichkeitsfremden und für den konstruierenden Ingenieur untragbaren Vorstellungen daraus resultieren.

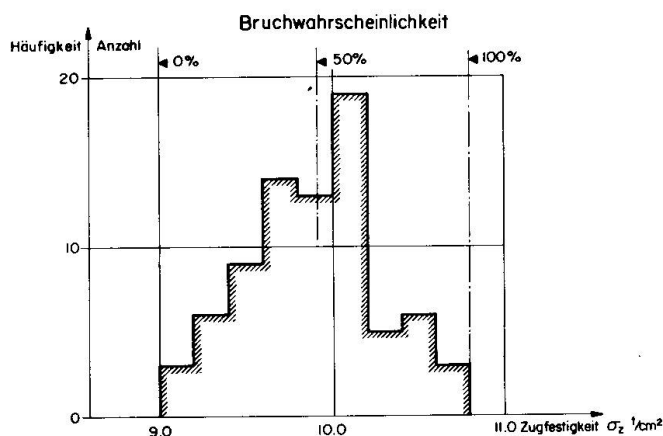


Abb. 3 Verteilung der Zugfestigkeit eines naturharten Rippenstahles  $\phi = 14$  bis  $\phi = 36$  mm; 78 Stichproben

Bruchwahrscheinlichkeit

Häufigkeit

Anzahl

0%

50%

100%

9,0 10,0 11,0 Zugfestigkeit  $\sigma_z$  /cm<sup>2</sup>

20

10

0

es existiert sowohl ein Mindestwert wie auch ein Höchstwert dieser Festigkeit, die nicht unter- bzw. überschritten werden dürfen. Die laufende Qualitätskontrolle bei der Stahlherstellung hat die Einhaltung dieser Forderung zu gewährleisten; sollte einmal infolge menschlicher Unzulänglichkeit eine ungenügende Charge vorkommen, so ist sie nicht weiter zu verarbeiten, sondern wieder einzuschmelzen.

Ebenso haben geeignete Kontrollen bei allen andern Phasen der Herstellung und des Betriebes von Bauwerken dafür zu sorgen, dass keine auch noch so geringe Wahrscheinlichkeit eines Einsturzes möglich ist. Der Bezug wahrscheinlichkeitstheoretischer Untersuchungen bei der Formulierung des Sicherheitsbegriffes ist erwünscht und zweckmässig, doch ist dabei dafür zu sorgen, dass keine wirklichkeitsfremden und für den konstruierenden Ingenieur untragbaren Vorstellungen daraus resultieren.

Literaturangaben:

- (1) Louis Navier: Résumé des leçons données à l'Ecole Royale des Ponts et Chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines. Paris 1826.
- (2) Jacob Leupold: Theatrum Pontificiale oder Schau-Platz der Brücken und Brücken-Baues. Leipzig 1726.
- (3) John Rickman: Life of Thomas Telford. London 1838.
- (4) Thomas Tredgold: Practical Essay on the Strength of Cast Iron and other Metals. London 1822.
- (5) Guilleaume-Henri Dufour: Description du pont suspendu en fil de fer, construit à Genève. Genève 1824.
- (6) Louis Navier: Rapport et Mémoire sur les ponts suspendus. Paris 1823.
- (7) F. Stüssi: Die Ermüdung von Eisen und Stahl und anderen Metallen. Nachrichten aus der Eisen-Bibliothek der Georg Fischer Aktiengesellschaft. Schaffhausen 1965.

## ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Entwicklung der Bemessungsverfahren lassen sich deutlich zwei Perioden unterscheiden. Die erste dieser Perioden, von den Anfängen des Bauwesens bis zum beginnenden neunzehnten Jahrhundert, ist gekennzeichnet durch handwerklich-empirisches Bauen, das sich auf die Vorbilder von ausgeführten Bauwerken, die sich bewährt haben, stützt. Die Entwicklungsmöglichkeiten sind begrenzt. Die zweite Periode, die heute noch andauert, wird eingeleitet durch Louis Navier (1785 - 1836), der mit seinem Hauptwerk "Résumé des leçons" (1826) den Uebergang zum wissenschaftlich fundierten Konstruieren herstellt und damit grundsätzlich die angewandte Wissenschaft der Baustatik geschaffen hat.

## SUMMARY

Two distinct periods can be recognized in the development of design methods. The first of these periods, from the beginning of construction until the first part of the nineteenth century, is distinguished by manual and empirical construction, based on the example of previous structures which had proved their worth. The second period, which still continues, was introduced by Louis Navier (1785 - 1836) who provided the transition to scientifically based construction with his principle work, "Résumé des leçons" (1826) and thereby fundamentally created the applied science of statics.

## RESUME

On reconnaît deux périodes distinctes dans le développement des méthodes de dimensionnement. La première de ces périodes, qui s'étend des débuts de la construction jusqu'au commencement du XIXe siècle, est caractérisée par le travail empirique et manuel des constructions existantes qui ont fait leurs preuves. Les possibilités de progrès sont donc limitées. La deuxième période, qui n'est pas encore terminée, est inaugurée par Louis Navier (1785 - 1836), qui, avec son "Résumé des leçons" (1826), marque le passage à une méthode scientifique de construction et ainsi a jeté les bases de la statique appliquée.