

Die Dauerfestigkeit der Werkstoffe und der Konstruktionselemente.

Elastizität und Festigkeit von Stahl, Stahlguß, Gußeisen,
Nichteisenmetall, Stein, Beton, Holz und Glas bei
oftmaliger Belastung und Entlastung
sowie bei ruhender Belastung.

Von

Otto Graf.

Mit 166 Abbildungen im Text.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1929.

ISBN-13: 978-3-642-98634-5 e-ISBN-13: 978-3-642-99449-4
DOI: 10.1007/978-3-642-99449-4

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1929 by Julius Springer in Berlin.
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1929

Herrn
Ingenieur Dr. P. Ludwik,
Professor an der Technischen Hochschule Wien,
gewidmet.

Vorwort.

Die Kenntnis der Eigenschaften der Werkstoffe im Dienst bildet eine wesentliche Grundlage für das technische Schaffen. Deshalb muß die Übertragung der Erkenntnisse über das Verhalten der Werkstoffe bei oftmaligem Lastwechsel, bei langdauernder Belastung usw. auf die werdenden Ingenieure gepflegt werden. Die Zusammenfassung der Versuchsergebnisse, auch die Beurteilung von Schadenfällen, ist nötig als Grundlage für die weitere Forschung und für die Arbeit des in der Industrie wirkenden Ingenieurs. Der Verfasser hat diese Aufgabe in den letzten zwei Jahrzehnten verfolgen können durch eigene Versuchsarbeiten und durch ausführliche Behandlung der Dauerfestigkeit der Werkstoffe im Unterricht für Studierende des Bauingenieur- und des Maschineningenieurwesens. Die vorliegende Schrift ging vor allem aus den Unterlagen für den Unterricht hervor. Sie enthält ferner bisher nicht bekanntgegebene Feststellungen mit Stahl, Stein, Holz und Glas, auch Angaben über neuere Versuchseinrichtungen. Diese Arbeiten sind durch die Hilfe der Helmholtz-Gesellschaft und der Vereinigung der Freunde der Technischen Hochschule Stuttgart möglich geworden.

Die Darlegungen erstrecken sich vornehmlich auf Beobachtungen, für die eine Verwertung durch die ausführenden Ingenieure erwartet werden kann. Von den Erkenntnissen, welche zunächst nur wissenschaftliche Bedeutung haben dürften, werden kennzeichnende erörtert und diese so gedrängt behandelt, daß die wissenschaftlichen Unterlagen noch zusammenhängend verfolgt sein dürften.

Selbstverständlich ist es schwierig, aus der Fülle der bis jetzt durchgeführten Versuche in dem bezeichneten Rahmen das Wesentliche zu sammeln und zu erörtern; der Verfasser wird deshalb jede Anregung für die spätere Gestaltung des Buchs gerne verfolgen.

Im allgemeinen sei noch folgendes bemerkt.

Die Sicherheitszahl gibt nach der heutigen Gepflogenheit ein Maß des Unterschiedes U der in unsern Rechnungen angewandten zulässigen Anstrengung und einer Festigkeitszahl. Die Festigkeitszahl wird mit dem heute üblichen Abnahmeverfahren unter Verhältnissen ermittelt, die den wirklichen keineswegs nahekommen. Der Unterschied U deckt die Unvollkommenheiten unserer Erkenntnisse über die tatsächlichen Anstrengungen und über die Widerstandsfähigkeit des Materials im Dienst. Statt Sicherheitszahl sollten wir besser Unsicherheitszahl sagen.

In bezug auf die Eigenschaften des Stahls bedeutet die höchstmögliche zulässige Anstrengung im engeren Sinn die Belastung, welche die vorgesehene Benutzung der Maschine oder des Bauwerks eben noch hinreichend lang ermöglicht; sie ist durch Dauerversuche für die wichtigsten Belastungsfälle zu erkunden. Soweit dies bis jetzt geschehen ist, zeigt sich, daß das Verhältnis der Dauerfestigkeit zur Zugfestigkeit oder zur Streckgrenze aus dem heute als Abnahmeversuch allgemein angewandten Zugversuch in weiten Grenzen schwankt. Das Verhältnis der Schwingungsfestigkeit zur Zugfestigkeit beträgt bei Kohlenstoffstählen und bei legierten Stählen rd. 0,35 bis 0,7. Wir sehen hieraus, daß die Basis für die Wahl der zulässigen Anstrengung auch vom Standpunkt des Materialkundigen noch recht lückenhaft ist. Was heute zur Beurteilung des Materials im Dienst herangezogen wird, ist noch ein Notbehelf. Wir werden anzustreben haben, daß an Stelle der heute üblichen Festigkeiten u. a. die Feststellung der Ursprungsfestigkeit und der Schwingungsfestigkeit tritt, festgestellt mit Maschinen, die das Material entsprechend den wirklichen Verhältnissen beanspruchen, und nach einer Behandlung des Materials, die bei Ausführung der zugehörigen Konstruktionselemente stattfindet.

Stuttgart, Ende 1928.

Otto Graf,

a. o. Professor der Technischen Hochschule Stuttgart,
stellv. Vorstand der Materialprüfungsanstalt.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
A. Die Dauerfestigkeit des Stahls	1
I. Einführung	1
II. Aus den Versuchen vor Wöhler	3
III. Wöhlers Versuche	4
IV. Die neueren Versuche über die Größe der Schwingungsfestigkeit des Stahls im Vergleich mit der Streckgrenze und Zugfestigkeit des Stahls beim gewöhnlichen Zugversuch. Einfluß der Oberflächenbeschaffenheit der Proben	8
V. Widerstandsfähigkeit des Stahls bei oftmals wiederkehrender Anstrengung, die vorwiegend oder nur nach einer Richtung ausgeübt wird, ferner bei ruhender Belastung. Bedeutung der Art der Lastwechsel auf die Dauerfestigkeit und auf die verhältnismäßige Größe der zulässigen Anstrengung	18
VI. Bilder von Maschinenteilen aus Stahl, die nach oftmaliger Belastung und Entlastung gebrochen sind	23
VII. Art der Untersuchungen über das Verhalten des Stahls bei oftmaliger Belastung	25
VIII. Elastizität des Stahls bei oftmaliger Belastung und Entlastung	27
IX. Veränderlichkeit der Festigkeitseigenschaften des Stahls (Streckgrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Bruchquerschnittsverminderung) durch langdauernde und oftmalige Beanspruchung	30
X. Vorgänge in den Kristalliten des Stahls bei einmaliger und bei oftmals wiederholter Anstrengung	32
XI. Einfluß von Fehlstellen im Stahl	37
XII. Temperatur des Stahlstabs bei oftmals wiederholter Belastung	37
XIII. Ermittlung der Arbeit, welche ein Stahlstab bei oftmaliger Belastung und Entlastung aufnimmt	39
XIV. Einfluß ein- oder mehrmaliger Überlastung auf die Schwingungsfestigkeit des Stahls	40
XV. Einfluß oftmaliger Belastung und Entlastung unterhalb der Dauerfestigkeit	43
XVI. Einfluß von Vorspannungen auf die Dauerfestigkeit des Stahls	44
XVII. Über Maßnahmen zum Auffinden etwaiger Anrisse	44
XVIII. Einfluß der Stabform. Versuche mit Stäben, die örtliche Spannungserhöhungen aufweisen	45
XIX. Dauerfestigkeit des Stahls bei erhöhten Temperaturen	55
XX. Veränderlichkeit der Dauerfestigkeit des Stahls durch Glühen, Härten und Anlassen	63
XXI. Über Schlagversuche mit Stahl	64
XXII. Über Torsionsversuche mit Stahl	68
XXIII. Verringerung der Dauerfestigkeit des Stahls durch Korrosion. Wirkung von Laugen	70
XXIV. Versuche mit Konstruktionselementen (Schrauben, Federn, Seile, Nietverbindungen usf.)	75
B. Aus Dauerversuchen mit Stahlguß	84

	Seite
C. Aus Dauerversuchen mit Gußeisen	85
I. Schwingungsfestigkeit bei Biegebelastung	85
II. Beziehung zwischen der Biegefestigkeit und der Zahl der Lastwechsel	87
III. Ursprungsfestigkeit D_u des Gußeisens bei Zug- und bei Druckbelastung	87
IV. Einfluß oftmaliger Belastung nahe der Schwingungsfestigkeit auf die statische Zugfestigkeit von Gußeisen	88
V. Vorgänge in den Kristalliten des Gußeisens bei oftmaliger Belastung	88
VI. Ermittlung der Arbeit, welche ein Gußeisenstab bei oftmaliger Belastung und Entlastung aufnimmt	88
VII. Einfluß oftmaliger Belastung und Entlastung unterhalb der Dauerfestigkeit	89
VIII. Versuche mit Stäben, welche die Bedeutung örtlicher Spannungserhöhungen bei Gußeisen erkennen lassen	90
IX. Dauerfestigkeit (Zugfestigkeit und Biegefestigkeit) des Gußeisens bei höherer Temperatur	91
X. Schwingungsfestigkeit D_s des Gußeisens im fließenden Wasser	91
D. Dauerversuche mit Kupfer, Messing (Kupfer mit Zink) und Bronze (Kupfer mit Zinn oder Aluminium)	91
I. Versuche bei ruhender Last	91
II. Schwingungsfestigkeit bei Biegebelastung	92
III. Schwingungsfestigkeit von Kupfer bei Einwirkung von Leitungswasser und Salzwasser	94
IV. Aus Schlagversuchen mit Kupfer, Messing und Bronze	95
E. Dauerversuche mit Nickel und Nickellegierungen	95
F. Dauerversuche mit Aluminium und Aluminiumlegierungen	97
I. Versuche bei ruhender Belastung	97
II. Schwingungsfestigkeit D_s bei Biegebelastung	98
III. Schwingungsfestigkeit von Aluminium und dessen Legierungen bei Einwirkung von Leitungswasser und Salzwasser	99
IV. Widerstandsfähigkeit von Aluminium und dessen Legierungen bei oftmaliger Schlagbeanspruchung	100
V. Versuche mit Konstruktionselementen aus Aluminiumlegierungen	100
G. Dauerversuche mit Magnesiumlegierungen	100
H. Dauerversuche mit natürlichen Steinen	101
J. Aus Versuchen mit Beton	109
I. Allgemeines	109
II. Elastizität des Betons unter oftmals wiederholter Belastung und Entlastung	111
III. Elastizität des Betons unter ruhender Druckbelastung	115
IV. Druckfestigkeit des Betons bei oftmals wiederholter Belastung	116
V. Biegefestigkeit des Betons bei oftmals wiederholter Belastung und Entlastung	117
K. Über Dauerversuche mit Eisenbeton	118
L. Aus Dauerversuchen mit Holz	120
I. Druckelastizität von Tannenholz und Eichenholz	120
II. Druckfestigkeit von Tannenholz und Eichenholz bei oftmaliger Belastung und Entlastung	124
III. Biegeversuche mit Tannenholz bei lang wirkender, ruhender Last	125
IV. Schwingungsfestigkeit verschiedener Hölzer	129
M. Aus Dauerversuchen mit Glas	129