

Springer-Lehrbuch

Herbert Balke

Einführung in die Technische Mechanik

Statik

3. Auflage

 Springer

Prof. Dr.-Ing. habil. Herbert Balke
Technische Universität Dresden
Institut für Festkörpermechanik
01062 Dresden
Herbert.Balke@tu-dresden.de

ISSN 0937-7433
ISBN 978-3-642-10397-1 e-ISBN 978-3-642-10398-8
DOI 10.1007/978-3-642-10398-8
Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, 2007, 2010

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: WMXDesign GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort zur dritten Auflage

Die anhaltende Nachfrage machte eine dritte Auflage des Buches erforderlich. Bei dieser Gelegenheit wurden geringfügige Ergänzungen vorgenommen.

Dresden, im Frühjahr 2010

H. Balke

Vorwort zur ersten Auflage

Die Technische Mechanik vermittelt wesentliche Kenntnisse und Methoden, die der Ingenieur für den Entwurf und die Beurteilung der Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit von Konstruktionen benötigt. Sie ist deshalb Bestandteil der universitären Grundlagenausbildung der Maschinenbau-, Bau-, Mechatronik- und Elektroingenieure sowie weiterer Studiengänge. Wegen ihrer Anforderung, einerseits mittels Abstraktion von den komplexen Konstruktionen zu einfachen Modellen zu gelangen und andererseits die gewonnenen Modelle einer bis zum konkreten Zahlenergebnis führenden Berechnung zu unterwerfen, bereitet die Technische Mechanik den Studierenden erfahrungsgemäß Schwierigkeiten. Über die pädagogischen Wege, diese Schwierigkeiten zu minimieren, existieren unterschiedliche Auffassungen, die letztlich auch die Gliederung des gesamten Lehrstoffes beeinflussen. Eine allgemein bewährte Herangehensweise, die weitestgehend auf die jeweiligen Etappen der Mathematikausbildung Rücksicht nimmt, fußt auf der Reihenfolge der Teildisziplinen Statik, Festigkeitslehre, Kinematik und Kinetik, wobei hier die Technische Strömungslehre als eigene Disziplin angesehen und deshalb ausgelassen wird. Im Fall ausreichender mathematischer Vorkenntnisse sind Kinematik und Kinetik, begrenzt auf starre Körper, auch im Anschluss an die Statik vermittelbar.

Die Konzeption des vorliegenden Buches „Einführung in die Technische Mechanik/Statik“, das mit den beiden Bänden zur Kinematik/Kinetik und Festigkeitslehre fortgesetzt werden soll, schließt sich der genannten Lehrmeinung an. In sie fließen die Erfahrungen der traditionellen Lehre zur Technischen Mechanik im Maschinenbau, in der Mechatronik und Elektrotechnik der Technischen Universität Dresden einschließlich meiner zehnjährigen Vorlesungspraxis an dieser Universität und der Technischen Universität Chemnitz ein. Wichtige Anregungen entsprangen der länger währenden Beschäftigung mit der Kontinuums- und Bruchmechanik sowie mit der elektromechanischen Feldtheorie des deformierbaren Festkörpers. Diese betreffen die unabhängige Gültigkeit der Impulsbilanz und Drehimpulsbilanz für beliebige Körper und Körperteile, eine Forderung, die das Schnittprinzip enthält, sowie die auch

für eine elementare Lehre der Mechanik zweckmäßige Einführung der unabhängigen Lasten Einzelkraft und Einzelmoment. Sie sind seit dem Sommersemester 2000 Bestandteil meiner Grundlagenvorlesungen zur Technischen Mechanik.

Das Buch ist stark am Stoff der einsemestrigen Statik-Vorlesung für Maschinenbauingenieure orientiert und sehr genau mit den anschließenden Lehrinhalten zur Festigkeitslehre, Kinematik und Kinetik abgestimmt. Durch Konzentration auf das Wesentliche wird eine möglichst gute Übersichtlichkeit angestrebt. Es werden aber auch manche Sachverhalte etwas ausführlicher als unter dem Zeitdruck der Vorlesung dargestellt und nahe liegende Ergänzungen einbezogen. Insofern hoffe ich, dass das Buch der Erarbeitung des Vorlesungsstoffes und dem Selbststudium der Statik dienlich sein kann.

Das Verständnis der Technischen Mechanik entwickelt sich hauptsächlich bei ihrer praktischen Umsetzung. Deshalb wird dem Leser empfohlen, Herleitungen und Beispiele eigenständig nachzuvollziehen. Darüber hinaus sollten die gewonnenen Kenntnisse durch die Lösung zusätzlicher Aufgaben, die den zahlreich vorliegenden Aufgabensammlungen entnehmbar sind, überprüft und soweit vertieft werden, bis eine gewisse Routine in den Berechnungsabläufen erreicht wird.

Meinen verehrten Lehrern, den Herren Professoren H. Göldner, F. Holzweißig, G. Landgraf und A. Weigand, bin ich dafür verpflichtet, dass sie meine Begeisterung für das Fach „Technische Mechanik“ geweckt haben. Besonderer Dank gilt den Herren Dr.-Ing. J. Brummund, Prof. P. Haupt (Universität Kassel) und Prof. V. Ulbricht, mit denen die in den einführenden Lehrbüchern zum Teil vorhandenen Widersprüche bei der Darlegung der Grundlagen von Statik und Kinetik ausdiskutiert werden konnten, Herrn Prof. S. Sähn für den Hinweis auf die Bedingtheit der Kraftlinienflüchtigkeit beim starren Körper sowie den Herren Dr.rer.nat. H.-A. Bahr, Dipl.-Ing. C. Häusler, Dr.-Ing. habil. V. Hellmann, apl. Doz. Dr.-Ing. habil. G. Georgi und Dr.rer.nat. H.-J. Weiß (Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik, Dresden) für zahlreiche nützliche Anmerkungen zu einzelnen Details.

Herzlich gedankt sei auch Herrn Prof. K.-H. Modler für die Bereitstellung der Zeichenkapazität, Herrn Dipl.-Ing. G. Haasemann für die Hilfe bei der Textverarbeitung, Frau C. Pellmann für die Computerzeichnung meiner Bildvorlagen und Frau K. Wendt, die mit viel Geduld und Einfühlungsvermögen das Manuskript in eine druckreife Form gebracht hat.

Dem Springer-Verlag danke ich für die schnelle Herausgabe des Buches.

Dresden, im Sommer 2004

H. Balke

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Grundlegende Voraussetzungen	
1.1 Starrer Körper	7
1.2 Lasten	8
1.2.1 Einzelkraft	9
1.2.2 Einzelmoment	11
1.3 Schnittprinzip	13
1.4 Kartesische Bezugssysteme für Vektoren	15
2 Kräfte und Momente in der ebenen Statik	
2.1 Kräfte in der Ebene mit gemeinsamem Schnittpunkt ihrer Wirkungslinien	19
2.1.1 Ermittlung der resultierenden Kraft	19
2.1.2 Gleichgewichtsbedingungen	22
2.2 Beliebige Kräfte in der Ebene und Momente senkrecht zur Ebene	24
2.2.1 Beliebige Kräfte in der Ebene	24
2.2.2 Momente senkrecht zur Ebene	26
2.2.3 Gleichgewichtsbedingungen	32
3 Ebene Tragwerke	
3.1 Geometrische Einteilung der Tragwerke	37
3.2 Lagerarten	39
3.3 Lasten	40
3.4 Bestimmung der Lagerreaktionen	42
3.5 Streckenlasten	47
4 Schnittreaktionen des Balkens in der ebenen Statik	
4.1 Definition der Schnittreaktionen	55
4.2 Berechnung der Schnittreaktionen	57
4.3 Beziehungen zwischen Streckenlast, Querkraft und Biegemoment	60
4.4 Beispiele	61
4.5 Schnittreaktionen gekrümmter Balken	67
5 Zusammengesetzte ebene Tragwerke	
5.1 Statische Bestimmtheit	71
5.2 Berechnung zusammengesetzter Tragwerke	74
5.3 Fachwerke	78

6	Raumstatik	
6.1	Kräfte mit gemeinsamem Schnittpunkt ihrer Wirkungslinien	85
6.2	Beliebige Kräfte und Momente im Raum	87
6.3	Gleichgewichtsbedingungen	89
7	Räumliche Tragwerke	
7.1	Lagerarten	93
7.2	Schnittreaktionen des Balkens	94
7.3	Beispiele	94
8	Reibung	
8.1	Grundlagen	101
8.2	Beispiele	104
8.3	Seilreibung	109
9	Schwerpunkt	
9.1	Körperschwerpunkt	118
9.2	Flächenschwerpunkt	121
9.3	Linien­schwerpunkt	128
10	Flächenmomente zweiter Ordnung	
10.1	Definition der Flächenmomente zweiter Ordnung	133
10.2	Berechnung der Flächenmomente zweiter Ordnung	134
10.3	Transformation bei parallelen Bezugsachsen	138
10.4	Zusammensetzung einfacher Flächen	142
10.5	Hauptträgheitsmomente	145
10.6	Polares Flächenträgheitsmoment	150
	Index	153