
Klausurentainer Technische Mechanik

Andreas Jahr · Joachim Berger

Klausurentainer Technische Mechanik

Aufgaben und ausführliche Lösungen zu
Statik, Festigkeitslehre und Dynamik

4., überarbeitete Auflage

 Springer Vieweg

Andreas Jahr
FB 4 Maschinenbau
Hochschule Düsseldorf
Düsseldorf, Deutschland

Joachim Berger
Mettmann, Deutschland

ISBN 978-3-658-14782-2
DOI 10.1007/978-3-658-14783-9

ISBN 978-3-658-14783-9 (eBook)

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

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2005, 2008, 2013, 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Lektorat: Thomas Zipsner

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Strasse 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Als ich von meinem Lehrer und Freund, Joachim Berger, und dem Verlag gefragt wurde, ob ich Interesse hätte, das Buch Klausurtrainer Technische Mechanik in der nächsten Auflage weiterzuführen, empfand ich dies als Ehre, der ich gern nachkommen wollte. Joachim Berger fühlte sich, gezeichnet durch Krankheit, nicht mehr in der Lage, sein Lieblingswerk weiterzuführen. Einige Diskussionen und Abstimmungen konnte ich noch mit ihm vornehmen, bevor er im Juni 2012 verstarb. Ich bleibe ihm in Dankbarkeit und Zuneigung für immer verbunden.

Hinweise und Tipps

Wie in den vorherigen Auflagen werden insbesondere in der Statik zeichnerische Lösungen der Klausuraufgaben angegeben, aber die rechnerischen Wege vorgezogen. Auch wenn die Zeichnerischen Lösungen für das Verständnis und die Schnelligkeit häufig Vorteile aufweisen, so ist ihre Allgemeingültigkeit eingeschränkt. Heutige leistungsfähige Computer-Programme helfen richtig aufgestellte Gleichungen sicher zu lösen.

Das wesentliche Augenmerk ist daher auf die richtigen Gleichungen und Gleichungssysteme zu richten. Hierzu ist in der Regel eine Skizze notwendig, in der alle bekannten und unbekanntes Größen, wie Kräfte, Momente, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen eingetragen werden sollen. Ihre Richtungen werden am besten durch eine vektorielle Darstellung festgelegt.

Die Skizzen sind zur besseren Übersicht und Platzeinteilung meist nicht maßstäblich, sondern nur qualitativ und teilweise auch plakativ dargestellt, damit die wesentlichen Merkmale möglichst deutlich erkennbar sind. Braucht man konkrete zeichnerische Ergebnisse, so muss eine eigene maßstäbliche Zeichnung angefertigt werden.

Ohne Skizze und die darin festgelegten Richtungen und Vorzeichen ist eine Rechnung wertlos, da die mechanischen Größen im Wesentlichen vorzeichen- sowie richtungsbehaftet oder wirkungsliniengebunden (Kräfte) sind. Besonders wichtig sind die Skizzen der von der Umgebung freigemachten Systeme (Freikörperbild), die zum Aufstellen der Gleichgewichtsbedingungen oder der Bewegungsgleichungen mit Hilfe von d'Alembert notwendig sind.

Eine zeichnerische Lösung kann auch zur Kontrolle und zur Verbesserung der Vorstellung dienen.

Die rechnerische Lösung hat weiterhin den wesentlichen Vorteil, dass sie koordinatenbehaftete Werte liefert, die wiederum an weitere Programme, wie z. B. FEM-Programme übergeben werden können.

In den Klausuren werden teilweise noch Aufgaben gestellt, deren rechnerische Auflösung relativ aufwendig ist. Meist wird dann in einer Klausur nur die Aufstellung der notwendigen Ansätze und Gleichungen für die Unbekannten ohne deren Ausrechnung verlangt.

Aufschlussreich und anschaulich ist es, am Ende einer Rechnung nochmals alle Einzelteile eines Systems in Form einer „Explosionsskizze“ mit sämtlichen wirksamen Kräften und Momenten von Hand herauszuzeichnen. Dann kann man die Funktion der Konstruktion besser erkennen, die Beanspruchung der Bauteile leichter erfassen und die Anschauung kann zur Plausibilitätsprüfung herangezogen werden. Dabei muss jedes einzelne Bauteil für sich im Gleichgewicht sein. Durch das nochmalige Überdenken der Problematik möglichst in Begleitung mit Handskizzen und durch den Vergleich mit ähnlichen technischen Erfahrungen wird das ingenieurmäßige Denken geschult und auch das so wichtige Skizzieren geübt.

Wenn man mit vektoriellen Größen arbeitet, achte man darauf, strikt zu trennen zwischen der symbolischen Rechnung, bei der z. B. die Summe aller Vektoren mit positiven Vorzeichen gleich Null ist (Kräfte und Momente in der Statik) oder gleich der Summe der Trägheitsgrößen (Masse mal Beschleunigung, Massenträgheitsmoment mal Winkelbeschleunigung in der Dynamik). Sobald man die koordinatenbehafteten Werte (Komponenten) einsetzt, müssen diese mit den Vorzeichen versehen werden, die die Vektorkomponenten im gewählten Koordinatensystem besitzen. Die vorzeichenbehafteten Ergebnisse zeigen dann, ob die unbekanntes Vektoren in die skizzierte Richtung zeigen oder entgegengesetzt. Wenn nicht anders angegeben, soll bei ebenen Problemen ein rechtshändiges, kartesisches Koordinatensystem angenommen werden, bei dem die positive y -Achse horizontal nach rechts, die positive y -Achse vertikal nach oben und folgerichtig die z -Achse nach vorne zeigt, aus der Papierebene hinaus.

Die Zahlenrechnungen werden zur Vereinfachung meist (wenn keine Zweifel bestehen) ohne Einheiten durchgeführt und auf 2 Stellen nach dem Komma beschränkt. Sollen Vergleichsrechnungen weitestgehend übereinstimmen, sind manchmal mehr Stellen zur Vermeidung bzw. Reduzierung von Rundungsfehlern nötig. Erst beim Endergebnis wird die Einheit mit dem Zahlenwert angegeben. Um den Einfluss der einzelnen Größen besser zu erkennen und um aus den Endformeln Schlussfolgerungen für die Praxis ziehen zu können, soll die Rechnung möglichst mit allgemeinen Zahlensymbolen (Buchstaben) durchgeführt werden und konkrete Zahlen erst am Schluss eingesetzt werden.

Gewichtskräfte sind nur bei den Körpern zu berücksichtigen, bei denen eigens ein Gewicht angegeben ist. Alle anderen Körper sind als gewichtslos bzw. als vergleichsweise von vernachlässigbarem Gewicht anzusehen. Mit Reibungs- bzw. Haftungskräften in den Berührungsflächen von Körpern soll nur dann gerechnet werden, wenn die entsprechenden

Koeffizienten angegeben sind. Andernfalls sollen die Flächen als glatt, d. h. reibungslos angenommen werden.

Zur Vorbereitung auf eine Klausur rate ich, früh einen Zeitplan zu erstellen, nach dem man in gemischter Reihenfolge eigene Übungs- und Klausuraufgaben sowie die aus diesem Buch, zunächst alleine, dann mit Kommilitonen und dann wieder alleine, zuletzt auf Schnelligkeit, durcharbeitet. Nutzen Sie ihre Sprechstunden zu Rückfragen, dann werden Sie Erfolg haben.

Die 4. Auflage wurde wieder um drei neue Aufgaben ergänzt, zwei aus dem Bereich Festigkeitslehre und eine aus der Dynamik. Ich bedanke mich für die Anregungen und die Betreuung durch Herrn Dipl.-Ing. Thomas Zipsner und den Verlag Springer Vieweg.

Neuss, im Sommer 2016

Andreas Jahr

Inhaltsverzeichnis

1	Statik	1
1.1	Freimachen, Gleichgewichtsbedingungen	1
1.2	Dreigelenkbogen	29
1.3	Fachwerke	46
1.4	Schwerpunkt	60
1.5	Haftung und Reibung an ebenen Flächen	69
1.6	Haftung und Reibung an gekrümmten Flächen (Seilreibung)	100
1.7	Schnittgrößen	116
1.8	Räumliche Systeme	130
1.9	Virtuelle Arbeit	162
1.10	Stabilität von Gleichgewichtslagen	168
1.11	Aufgaben zur Selbstkontrolle	172
2	Festigkeitslehre	181
2.1	Spannung und Verformung bei Längsbeanspruchung, Hookesches Gesetz	181
2.2	Mohrscher Spannungskreis, Spannungen infolge Innendruck	195
2.3	Spannung und Verformung bei Biegung und Torsion	209
2.4	Einfach statisch unbestimmte Balkensysteme	261
2.5	Flächenträgheitsmomente, Steinerscher Satz, schiefe Biegung	291
2.6	Schubspannungen durch Querkräfte bei der Biegung	312
2.7	Torsion dünnwandiger Profile, Bredtsche Formeln	320
2.8	Knicken von Stäben, Stabilität	324
2.9	Aufgaben zur Selbstkontrolle	332
3	Dynamik	341
3.1	Kinematik, geradlinige Bewegung	341
3.2	Krummlinige Bewegung	352
3.3	Eulerscher Geschwindigkeits- und Beschleunigungssatz	361
3.4	Dynamisches Grundgesetz, Prinzip von d'Alembert	369
3.5	Prinzip der virtuellen Arbeit	404
3.6	Arbeitssatz, Impuls- und Drallsatz	412

3.7 Stoßvorgänge	425
3.8 Relativbewegung	441
3.9 Schwingungen	454
3.10 Aufgaben zur Selbstkontrolle	499