

Theodor Lehmann · Elemente der Mechanik III

Elemente der Mechanik

von Theodor Lehmann

Bd. I: Einführung

Bd. II: Elastostatik

Bd. III: Kinetik

Bd. IV: Schwingungen, Variationsprinzipie

Theodor Lehmann

Elemente der Mechanik III: Kinetik

2., durchgesehene Auflage

Mit 133 Abb.



Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden

Prof. Dr.-Ing. *Theodor Lehmann* ist Inhaber des Lehrstuhls für Mechanik I
an der Ruhr-Universität Bochum

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lehmann, Theodor:

Elemente der Mechanik/Theodor Lehmann. –

Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg

Teilw. mit d. Erscheinungsort: Braunschweig. –

Bd. 1 im Bertelsmann-Universitätsverl.,
Düsseldorf

3. → Lehmann, Theodor: Kinetik

Lehmann, Theodor:

Kinetik/Theodor Lehmann. – 2., durchges. Aufl. –

Braunschweig; Wiesbaden: Vieweg, 1983.

(Elemente der Mechanik/Theodor Lehmann; Bd. 3)

ISBN-13: 978-3-528-29197-6

e-ISBN-13: 978-3-322-85793-4

DOI: 10.1007/978-3-322-85793-4

Verlagsredaktion: *Alfred Schubert*

1. Auflage 1977

2. Auflage 1983

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1983

Die Vervielfältigung und Übertragung einzelner Textabschnitte, Zeichnungen oder Bilder, auch für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, gestattet das Urheberrecht nur, wenn sie mit dem Verlag vorher vereinbart wurden. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Das gilt für die Vervielfältigung durch alle Verfahren einschließlich Speicherung und jede Übertragung auf Papier, Transparente, Filme, Bänder, Platten und andere Medien.

Satz: Vieweg, Braunschweig

Druck: C. W. Niemeyer, Hameln

Buchbinder: W. Langelüddecke, Braunschweig

Umschlaggestaltung: Peter Steinthal, Detmold

Vorwort

Der III. Band der *Elemente der Mechanik* enthält im wesentlichen eine Grundlegung der Kinetik des Massen-Mittelpunktes (Punkt-Kinetik) und der Kinetik starrer Körper. Die Darstellung schließt an die in den Bänden I und II erarbeiteten Grundlagen an. Alles Wesentliche wird aber noch einmal kurz zusammengestellt, so daß der vorliegende Band auch selbständig zu gebrauchen ist.

Die im Vorwort zum 1. Band angesprochene didaktische Linie wird weiterverfolgt: Von einfachen Sachverhalten ausgehend wird sorgfältig eine allgemeine Methodik der Beschreibung dieser Sachverhalte entwickelt, die dann auch systematisch auf komplexere Probleme auszudehnen ist. Dieser Linie folgend schreiten die Betrachtungen – nach einer kurzen Erörterung der allgemeinen Grundlagen der klassischen Mechanik – von der Kinetik des Massen-Mittelpunktes über die Kinetik der ebenen Bewegung und danach der räumlichen Bewegung starrer Körper bis zur analytischen Mechanik der Systeme starrer Körper fort.

Eine gesonderte, ausführliche Betrachtung ist dem Übergang zu einem andern Bezugssystem gewidmet. Die über den üblichen Rahmen hinausgehenden Überlegungen sollen zu einem tieferen Verständnis der hier vorliegenden Problematik führen. Auch die Behandlung des Stoßproblems geht über den üblichen Rahmen hinaus. Auf Schwingungsprobleme wird hingegen erst in Band IV näher eingegangen.

Manche Helfer (Kollegen und Mitarbeiter), die schon an der Arbeit für die ersten beiden Bände beteiligt waren, haben auch an diesem Band wieder mitgewirkt. Ich kann hier nur die Hauptbeteiligten nennen:

Zunächst die Herren Kollegen Dr. Bruhns und Dr. Thermann, die bei der Konkretisierung mancher Überlegungen geholfen sowie die Korrekturen kritisch mit gelesen haben; sodann aus dem Kreis der Mitarbeiter die Herren Preuss und Ullenboom, die die Abbildungen und einige Beispiele durchgearbeitet bzw. überprüft haben; Frau Schmidt-Balve und Herr Grundmann, die die Zeichnungen ausgeführt und als Druckvorlagen vorbereitet haben, sowie Frau Wagener, die wiederum – in manchmal abenteuerlicher Sucharbeit – die sorgfältige Reinschrift des Manuskriptes besorgte. Ihnen allen danke ich herzlich für ihre stets einsatzbereite Mitarbeit.

Theodor Lehmann

Inhalt

1.	<i>Allgemeines zur Kinetik</i>	1
1.1.	Vorbemerkungen	1
1.2.	Das Grundgesetz der Mechanik	3
1.3.	Ausdehnung des Grundgesetzes auf Körper	7
1.4.	Allgemeines über Kräfte; Energiebetrachtungen	10
2.	<i>Kinetik des Massen-Mittelpunktes: Punkt-Kinetik</i>	21
2.1.	Allgemeines	21
2.2.	Kinetik der eindimensionalen Bewegung eines Massenpunktes	22
2.2.1.	Kinematik der eindimensionalen Punkt-Bewegung	23
2.2.2.	Beispiele für geradlinige, freie Bewegungen eines Massenpunktes	29
2.2.3.	Beispiele für geführte Bewegungen eines Massenpunktes	37
2.3.	Kinetik der allgemeinen Bewegung eines Massenpunktes	41
2.3.1.	Kinematik der allgemeinen Bewegung eines Massenpunktes	42
2.3.1.1.	Kartesische Koordinaten	42
2.3.1.2.	Zylinder-Koordinaten	45
2.3.1.3.	Kugel-Koordinaten	46
2.3.1.4.	Natürliche Basis	47
2.3.1.5.	Hodograph und Tachograph	50
2.3.2.	Der Flächensatz	50
2.3.3.	Beispiele für freie Bewegungen eines Massenpunktes	52
2.3.4.	Beispiele für geführte Bewegungen eines Massenpunktes	68
2.4.	Punkt-Kinetik eines Körpers veränderlicher Masse	72
3.	<i>Bewegungswiderstände</i>	76
3.1.	Allgemeines	76
3.2.	Bewegung eines festen Körpers durch ein fluides Medium	77
3.2.1.	Allgemeine Grundlagen	77
3.2.2.	Ein Beispiel	79
3.3.	Elementare Theorie der trockenen Reibung zwischen festen Körpern	81
3.3.1.	Allgemeine Grundlagen	81

3.3.2.	Beispiele	83
3.4.	Elementare Theorie des Rollwiderstandes	95
4.	<i>Übergang zu einem andern Bezugssystem</i>	99
4.1.	Allgemeines	99
4.2.	Die Transformation der Zahlenwerte physikalischer Größen	100
4.3.	Die zeitliche Änderung physikalischer Größen	108
4.4.	Änderung der Kinematik und des Grundgesetzes der Mechanik beim Übergang auf ein anderes Bezugssystem	114
4.5.	Das Prinzip von <i>d'Alembert</i>	123
4.6.	Einige Beispiele aus der Punkt-Kinetik	126
5.	<i>Allgemeine Grundlagen der Kinetik starrer Körper</i>	135
5.1.	Allgemeines zur Kinematik starrer Körper	135
5.2.	Massen-Trägheitsmomente	137
5.2.1.	Definitionen und allgemeine Sätze	137
5.2.2.	Beispiele für die Berechnung der Massen-Trägheitsmomente	143
5.3.	Impuls- und Drallsatz für starre Körper	146
5.4.	Energiesatz für starre Körper	152
5.5.	Kinetik der Systeme von starren Körpern	155
6.	<i>Ebene Bewegung starrer Körper</i>	157
6.1.	Kinematik der ebenen Bewegung starrer Körper	157
6.1.1.	Allgemeines	157
6.1.2.	Geschwindigkeitszustand	157
6.1.3.	Beschleunigungszustand	167
6.2.	Grundgleichungen der ebenen Bewegung starrer Körper	168
6.3.	Bewegungen um eine feste Achse	170
6.4.	Allgemeine ebene Bewegung starrer Körper	175
7.	<i>Räumliche Bewegung starrer Körper</i>	184
7.1.	Kinematik der räumlichen Bewegung starrer Körper	184
7.1.1.	Geschwindigkeitszustand	184
7.1.2.	Beschleunigungszustand	190
7.2.	Bewegungen starrer Körper um einen festen Punkt	190
7.2.1.	Grundgleichungen	190
7.2.2.	Beispiele für Bewegungen starrer Körper um einen festen Punkt	193
7.2.2.1.	Der momentenfreie Kreisel	193
7.2.2.2.	Die reguläre Präzession des schweren, symmetrischen Kreisels	199
7.2.2.3.	Geführte Kreiselbewegungen	206
7.2.2.4.	Das rollende Rad	209

7.3.	Allgemeine Bewegungen starrer Körper	212
7.3.1.	Grundgleichungen	212
7.3.2.	Elemente der Theorie der Kreiselgeräte	214
7.3.2.1.	Grundlagen	214
7.3.2.2.	Zwei Beispiele	216
8.	<i>Elementare Theorie des Stoßes</i>	220
8.1.	Allgemeines	220
8.2.	Zentraler Stoß	224
8.2.1.	Zentraler Anstoß eines Körpers	224
8.2.2.	Zentraler Stoß zwischen zwei Körpern	225
8.3.	Allgemeinere Stoßvorgänge	232
8.3.1.	Exzentrischer Anstoß eines Körpers	233
8.3.2.	Exzentrischer, reibungsfreier Stoß zwischen zwei Körpern	237
8.3.3.	Ebener Stoß zwischen zwei Körpern mit Reibung bei zentraler Stoß-Normalen	240
8.3.4.	Einige ergänzende Bemerkungen zu allgemeinen Stoßvorgängen	248
9.	<i>Das Prinzip der virtuellen Arbeit</i>	250
9.1.	Das Prinzip der virtuellen Verschiebungen	250
9.2.	Das Prinzip der virtuellen Arbeit in der Stereo-Statik	251
9.3.	Beispiele für die Anwendungen des Prinzips der virtuellen Arbeit in der Stereo-Statik	255
9.3.1.	Ermittlung unbekannter eingepprägter Kräfte in einem Gleichgewichtssystem	255
9.3.2.	Festlegung freier System-Parameter für ein Gleichgewichtssystem . .	257
9.3.3.	Ermittlung von Reaktionen in einem Gleichgewichtssystem	260
9.3.4.	Ermittlung von Gleichgewichtslagen bei beweglichen Systemen	263
9.4.	Das Prinzip der virtuellen Arbeit in der Statik deformierbarer Körper	267
9.5.	Das Prinzip der virtuellen Arbeit in der Kinetik	267
10.	<i>Elemente der analytischen Mechanik der Systeme starrer Körper</i> . . .	271
10.1.	Kinematik der Systeme starrer Körper	271
10.2.	Die Lagrangeschen Gleichungen	275
10.3.	Beispiele für die Anwendung der Lagrangeschen Gleichungen	281
10.4.	Einige ergänzende Bemerkungen	286
	<i>Ergänzende Literatur</i>	289
	<i>Namen- und Sachregister</i>	290