

# Mechanik



Torsten Fließbach

# Mechanik

Lehrbuch zur Theoretischen Physik I

8. Auflage

Springer Spektrum Berlin Heidelberg

Autor:

Prof. Dr. Torsten Fließbach  
fliessbach@physik.uni-siegen.de

# Vorwort

Das vorliegende Buch ist Teil einer Vorlesungsausarbeitung [1, 2, 3, 4] des Zyklus Theoretische Physik I bis IV. Es gibt den Stoff meiner Vorlesung Theoretische Physik I über die Mechanik Physik wieder. Diese Vorlesung häufig für die Physikstudenten im 3. Semester angeboten.

Die Darstellung bewegt sich auf dem durchschnittlichen Niveau einer Kursvorlesung in Theoretischer Physik. Der Zugang ist eher intuitiv anstelle von deduktiv; formale Ableitungen und Beweise werden ohne besondere mathematische Akribie durchgeführt.

In enger Anlehnung an den Text, teilweise aber auch zu dessen Fortführung und Ergänzung werden über 80 Übungsaufgaben gestellt. Diese Aufgaben erfüllen ihren Zweck nur dann, wenn sie vom Studenten möglichst eigenständig bearbeitet werden. Diese Arbeit sollte unbedingt vor der Lektüre der Musterlösungen liegen, die im *Arbeitsbuch zur Theoretischen Physik* [5] angeboten werden. Neben den Lösungen enthält das Arbeitsbuch ein kompaktes Repetitorium des Stoffs der Lehrbücher [1, 2, 3, 4].

Der Umfang des vorliegenden Buchs geht in einigen Teilen etwas über den Stoff hinaus, der während eines Semesters in einem Physikstudium üblicherweise an deutschen Universitäten behandelt wird. Der Stoff ist in Kapitel gegliedert, die im Durchschnitt etwa einer Vorlesungsdoppelstunde entsprechen. Natürlich bauen verschiedene Kapitel aufeinander auf. Es wurde aber versucht, die einzelnen Kapitel so zu gestalten, dass sie jeweils möglichst abgeschlossen sind. Damit wird einerseits eine Auswahl von Kapiteln für einen bestimmten Kurs (etwa in einem Bachelor-Studiengang) erleichtert, in dem der Stoff stärker begrenzt werden soll. Zum anderen kann der Student leichter die Kapitel nachlesen, die für ihn von Interesse sind.

Es gibt viele gute Darstellungen der Mechanik, die sich für ein vertiefendes Studium eignen. Ich gebe hier nur einige wenige Bücher an, die ich selbst bevorzugt zu Rate gezogen habe und die gelegentlich im Text zitiert werden. Als Standardwerk möchte ich zunächst die *Klassische Mechanik* von Goldstein [6] hervorheben. Für die einführenden Kapitel wurde ein ähnlicher Zugang gewählt wie die *Theoretische Mechanik* von Stephani und Kluge [7]. Schließlich sei noch der Band 1 des Lehrgangs von Landau-Lifschitz [8] erwähnt. Für die relativistische Mechanik benutze ich bevorzugt die einleitenden Kapitel von Weinbergs Buch [9] über die Allgemeine Relativitätstheorie.

Gegenüber der vorhergehenden Auflage dieses Buchs wurden einige Fehler beseitigt, an zahlreichen Stellen wurden kleinere Ergänzungen und Verbesserungen vorgenommen. Neu hinzugekommen ist der Anhang A mit dem Titel *Newtonsche*

*Kraft und Minkowskikraft.* Inhaltlich geht es um die Frage der richtigen Relation zwischen der Newtonschen Kraft und der Minkowskikraft. Hierfür findet man in der Literatur unterschiedliche Angaben. Der Anhang gibt die formale Ableitung der korrekten Relation wieder und diskutiert die praktische und logische Relevanz der differierenden Angaben.

Bei zahlreichen Lesern der früheren Auflagen bedanke ich mich für wertvolle Hinweise. Fehlermeldungen, Bemerkungen und Hinweise sind jederzeit willkommen, etwa über den Kontaktlink auf meiner Homepage [www2.uni-siegen.de/~flieba/](http://www2.uni-siegen.de/~flieba/). Auf dieser Homepage finden sich auch eventuelle Korrekturlisten.

Mai 2020

Torsten Fließbach

## Literaturangaben

- [1] T. Fließbach, *Mechanik*, 8. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2020 (dieses Buch)
- [2] T. Fließbach, *Elektrodynamik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2012
- [3] T. Fließbach, *Quantenmechanik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2018
- [4] T. Fließbach, *Statistische Physik*, 6. Auflage, Springer Spektrum, Heidelberg 2018
- [5] T. Fließbach und H. Walliser, *Arbeitsbuch zur Theoretischen Physik – Repetitorium und Übungsbuch*, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2012
- [6] H. Goldstein, *Klassische Mechanik*, 11. Auflage, Aula Verlag, Wiebelsheim 1991
- [7] H. Stephani, G. Kluge, *Theoretische Mechanik*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1995
- [8] L. D. Landau, E. M. Lifschitz, *Lehrbuch der theoretischen Physik*, Band I, *Mechanik*, 14. Auflage, Deutsch (Harri), Frankfurt am Main 1997
- [9] S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology*, John Wiley & Sons, New York 1972

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>I</b>	<b>Elementare Newtonsche Mechanik</b>	<b>3</b>
1	Bahnkurve . . . . .	3
2	Newtons Axiome . . . . .	9
3	Erhaltungssätze . . . . .	18
4	System von Massenpunkten . . . . .	25
5	Inertialsysteme . . . . .	31
6	Beschleunigte Bezugssysteme . . . . .	40
<b>II</b>	<b>Lagrangeformalismus</b>	<b>49</b>
7	Lagrangegleichungen 1. Art . . . . .	49
8	Anwendungen I . . . . .	56
9	Lagrangegleichungen 2. Art . . . . .	65
10	Anwendungen II . . . . .	76
11	Raum-Zeit-Symmetrien . . . . .	86
<b>III</b>	<b>Variationsprinzipien</b>	<b>95</b>
12	Variation ohne Nebenbedingung . . . . .	95
13	Variation mit Nebenbedingung . . . . .	104
14	Hamiltonsches Prinzip . . . . .	115
15	Noethertheorem . . . . .	121
<b>IV</b>	<b>Zentralpotenzial</b>	<b>131</b>
16	Zweikörperproblem . . . . .	131
17	Keplerproblem . . . . .	141
18	Streuung . . . . .	151
<b>V</b>	<b>Starrer Körper</b>	<b>165</b>
19	Kinematik . . . . .	165
20	Trägheitstensor . . . . .	171

21	Tensoren . . . . .	180
22	Eulersche Gleichungen . . . . .	191
23	Schwerer Kreisel . . . . .	199
<b>VI</b>	<b>Kleine Schwingungen</b>	<b>209</b>
24	Erzwungene Schwingungen . . . . .	209
25	System mit vielen Freiheitsgraden . . . . .	217
26	Anwendungen . . . . .	226
<b>VII</b>	<b>Hamiltonformalismus</b>	<b>235</b>
27	Kanonische Gleichungen . . . . .	235
28	Kanonische Transformationen . . . . .	243
29	Hamilton-Jacobi-Gleichung . . . . .	251
<b>VIII</b>	<b>Kontinuumsmechanik</b>	<b>255</b>
30	Saitenschwingung . . . . .	255
31	Balkenbiegung . . . . .	264
32	Hydrodynamik . . . . .	269
33	Feldtheorien . . . . .	283
<b>IX</b>	<b>Relativistische Mechanik</b>	<b>289</b>
34	Relativitätsprinzip . . . . .	289
35	Längen- und Zeitmessung . . . . .	299
36	Lorentzgruppe . . . . .	312
37	Lorentztensoren . . . . .	318
38	Bewegungsgleichung . . . . .	325
39	Anwendungen . . . . .	335
40	Lagrangefunktion . . . . .	346
<b>A</b>	<b>Newtonsche Kraft und Minkowskikraft</b>	<b>353</b>
	<b>Register</b>	<b>361</b>