

# Wirtschaftswissenschaftliche Bücherei für Schule und Praxis Begründet von Handelsschul-Direktor Dipl.-Hdl. Friedrich Hutkap †

Der Verfasser:

**Dr. Jens Kircher**

Fast alle in diesem Buch erwähnten Hard- und Softwarebezeichnungen sind eingetragene Warenzeichen.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

\* \* \* \* \*

Die in diesem Buch zitierten Internetseiten wurden vor der Veröffentlichung auf rechtswidrige Inhalte untersucht. Rechtswidrige Inhalte wurden nicht gefunden.

Stand: Juli 2013

Für Schäden durch im Buch genannte Softwareinstallationen wird nicht gehaftet.

1. Auflage 2013

© 2013 by MERKUR VERLAG RINTELN

Gesamtherstellung:

MERKUR VERLAG RINTELN Hutkap GmbH & Co. KG, 31735 Rinteln

E-Mail: [info@merkur-verlag.de](mailto:info@merkur-verlag.de)

[lehrer-service@merkur-verlag.de](mailto:lehrer-service@merkur-verlag.de)

Internet: [www.merkur-verlag.de](http://www.merkur-verlag.de)

ISBN 978-3-8120-0348-3

# Inhalt

## **Vorbemerkungen** **11**

Zielsetzung .....	11
Aufbau .....	12
Lernen lernen .....	14
Lesen .....	15

## **1 Einführung** **16**

1.1 Gegenstand der Physik .....	16
1.2 Vorgehensweise der Physik .....	16
1.2.1 Theorie und Experiment .....	16
1.2.2 Reproduzierbarkeit .....	18
1.3 Wie arbeitet ein Physiker? .....	21
1.4 Giving Credit – wie zitiert man richtig? .....	23
1.5 Physikalische Größen und ihre Darstellung .....	27
1.5.1 Größen und Einheiten .....	27
1.5.2 Maßzahlen .....	30
1.5.3 Grafische Darstellung .....	32
1.6 Messfehler .....	35
1.6.1 Statistische Fehler .....	35
1.6.2 Systematische Fehler .....	41

## **2 Kräfte** **43**

2.1 Kräfte und Wechselwirkungen .....	43
2.1.1 Gravitationswechselwirkung .....	43
2.1.2 Coulomb-Wechselwirkung oder elektrische Wechselwirkung .....	45
2.1.3 Starke und schwache Wechselwirkung .....	46
2.1.4 Woher kommen die elementaren Wechselwirkungen? .....	47
2.1.5 Masse und Gewicht .....	47
2.1.6 Kontaktwechselwirkung und Einteilung der Kräfte .....	53
2.2 Kräfte als Vektoren .....	56

2.3	Kräftediagramme .....	63
2.3.1	Die Resultierende zweier Kräfte .....	64
2.3.2	Zerlegung einer Kraft in Komponenten .....	76
2.3.3	Actio – Reactio .....	83
2.3.4	Kräftegleichgewicht .....	84
2.3.5	Statisches Gleichgewicht bei einer Punktmasse .....	86
2.4	Reibungskräfte .....	99
2.4.1	Haftkraft und Gleitreibungskraft .....	99
2.4.2	Antriebs- und Fahrtwiderstandskräfte .....	101
2.5	Hooke'sches Gesetz .....	106

### 3 Bewegungslehre 109

3.1	Einfache Bewegung einer Punktmasse .....	109
3.2	Bewegung in einer Dimension .....	116
3.2.1	Die „kräftefreie Bewegung“ .....	116
3.2.2	Die Bewegung mit gleichbleibender Kraft .....	127
3.2.3	Ortsänderung im $v(t)$ -Diagramm .....	137
3.2.4	Zusammenfassung: Elementare Bewegungen .....	139
3.2.5	Ungleichförmige Bewegung .....	145
3.2.6	Geschwindigkeit und Durchschnittsgeschwindigkeit .....	145
3.2.7	Zusammenhang zwischen Beschleunigung und angreifender Kraft .....	147
3.2.8	Bewegung mit Reibung .....	154
3.2.9	Der freie Fall .....	158
3.2.10	Anfangsbedingungen .....	163
3.3	Überlagerung von Bewegungen (eindimensional) .....	179
3.3.1	Vorbemerkung .....	179
3.3.2	Abbremsen aus gleichförmig geradliniger Bewegung .....	180
3.3.3	Senkrechter Wurf nach oben .....	183
3.3.4	Modellierung von eindimensionalen Bewegungen .....	187
3.4	Überlagerung von Bewegungen (zweidimensional) .....	190
3.4.1	Horizontaler Wurf .....	190
3.4.2	Schiefer Wurf vom Boden aus .....	196
3.4.3	Schiefer Wurf von einer Abschusshöhe $h_0$ aus .....	201

## 4 Erhaltungsgrößen 206

4.1	Erhaltung von physikalischen Größen .....	206
4.2	Arbeit und Energie .....	207
4.2.1	Arbeit .....	207
4.2.2	Energie und Energieerhaltung .....	224
4.2.3	Leistung .....	248
4.2.4	Wirkungsgrad .....	251
4.3	Impuls und Impulserhaltung .....	254
4.3.1	Impuls einer Punktmasse .....	254
4.3.2	Impulserhaltung für ein Teilchen .....	254
4.3.3	Impuls von zwei Teilchen .....	255
4.3.4	Abgeschlossene Systeme .....	256
4.3.5	Warum Impuls? .....	257
4.4	Stoßvorgänge .....	263
4.4.1	Vorbemerkungen .....	263
4.4.2	Vollkommen elastischer gerader Stoß .....	264
4.4.3	Sonderfälle für den elastischen Stoß .....	266
4.4.4	Vollkommen unelastischer Stoß .....	270

## 5 Kreisbewegung 276

5.1	Einführung .....	276
5.1.1	Winkelgeschwindigkeit .....	278
5.1.2	Bahngeschwindigkeit und Geschwindigkeitsvektor bei Kreisbewegungen ..	281
5.2	Zentripetalkraft und Zentripetalbeschleunigung .....	283
5.2.1	Welche Kraft zwingt einen Körper in eine Kreisbahn? .....	283
5.2.2	Gibt es die Zentrifugalkraft? .....	289
5.3	Weitergehende Anwendungen für die Kreisbewegung .....	292
5.3.1	Anwendungsbeispiel: Wann reißt das Seil? .....	292
5.3.2	Anwendungsbeispiel: Ebene Kurvenfahrt .....	293
5.3.3	Anwendungsbeispiel: Kreisfahrt mit dem Motorrad .....	297
5.3.4	Anwendungsbeispiel: Überhöhte Kurve .....	301
5.3.5	Anwendungsbeispiel: Kettenkarussell .....	301
5.3.6	Anwendungsbeispiel: Steilwandfahrt .....	303
5.3.7	Anwendungsbeispiel: Loopingfahrt .....	305
5.3.8	Anwendungsbeispiel: Geostationäre Umlaufbahnen .....	312
5.3.9	Nichtstationäre Satellitenbahnen .....	312
5.3.10	Bewegung im Zentralfeld .....	314
5.3.11	Geschichte der Himmelsmechanik .....	318

**6 Elektrizitätslehre****325**

6.1 Elektrische Ladung .....	325
6.1.1 Eigenschaften der Ladung .....	325
6.1.2 Geladene und ungeladene Teilchen – ein Ausflug in die Mikrowelt .....	326
6.2 Elektrische Kraft und Coulomb-Wechselwirkung .....	330
6.3 Das elektrische Feld .....	336
6.3.1 Definition .....	336
6.3.2 Vergleich Coulomb-Wechselwirkung – Gravitations-Wechselwirkung .....	338
6.3.3 Elektrische Feldlinien .....	339
6.3.4 Berechnung von E-Feldern .....	343
6.3.5 Der (statisch geladene) Kondensator .....	359
6.4 Das elektrische Potential .....	368
6.4.1 Arbeit im elektrischen Feld eines Kondensators .....	368
6.4.2 Spannung .....	370
6.4.3 eV als Einheit der Arbeit .....	371
6.4.4 Spannung: Vergleich Coulomb-Wechselwirkung – Gravitationswechselwirkung .....	371
6.4.5 Das elektrische Potential .....	372
6.4.6 Potential: Vergleich Coulomb-Wechselwirkung – Gravitationswechselwirkung .....	372
6.4.7 Kapazität .....	376
6.4.8 Im Kondensator gespeicherte Arbeit .....	380
6.5 Bewegung im elektrischen Feld – Braun'sche Röhre .....	387
6.5.1 Anfänglich ruhendes Teilchen .....	387
6.5.2 Longitudinales elektrisches Feld: der Beschleunigungskondensator .....	388
6.5.3 Beschleunigungskondensator: Behandlung mit Energiesatz .....	392
6.5.4 Transversales elektrisches Feld: Ablenkkondensator .....	395
6.5.5 Ablenkkondensator mit einem Schirm .....	397
6.6 Ausflug in die Festkörperphysik I .....	404
6.6.1 Einfache Modelle für einen Isolator und ein Metall .....	404
6.6.2 Leiter im elektrischen Feld .....	405
6.6.3 Nichtleiter im elektrischen Feld: Polarisation .....	408
6.6.4 Kapazität eines Plattenkondensators mit Dielektrikum zwischen den Platten .....	409
6.6.5 Leiter im elektrischen Feld: Drude-Theorie der elektrischen Leitfähigkeit ..	411

6.7 Stromkreise I: Gleichstromkreise .....	419
6.7.1 Stromkreise .....	419
6.7.2 Strom und Spannung .....	419
6.7.3 Leistung im Stromkreis .....	420
6.7.4 Ohm'scher Widerstand .....	420

## 7 Harmonische Bewegung 428

7.1 Oszillator, harmonische Bewegungen, harmonischer Oszillator .....	428
7.2 Bedeutung der harmonischen Bewegung .....	435
7.3 Federpendel und Fadenpendel .....	435
7.3.1 Das Federpendel .....	435
7.3.2 Das Fadenpendel .....	436
7.3.3 Mathematische Behandlung von Federpendel und Fadenpendel .....	436
7.4 Geschwindigkeit(Zeit)-Gesetz, Beschleunigung (Zeit)-Gesetz, Kraft (Zeit)-Gesetz .....	444
7.5 Welche Kraft für welche Bewegung? .....	446
7.6 Anfangsbedingungen .....	446
7.7 Energie des harmonischen Oszillators .....	457
7.8 Kreisbewegung als Überlagerung zweier harmonischer Bewegungen .....	460
7.9 Der gedämpfte harmonische Oszillator ohne Antrieb .....	462
7.9.1 Dämpfung .....	462
7.9.2 Gedämpfte Schwingung .....	463
7.9.3 Energie des gedämpften harmonischen Oszillators .....	468
7.10 Der gedämpfte harmonische Oszillator mit Antrieb .....	469

## 8 Wellen 474

8.1 Gekoppelte harmonische Oszillatoren .....	474
8.1.1 Zwei gekoppelte harmonische Oszillatoren .....	474
8.1.2 Viele gekoppelte harmonische Oszillatoren .....	482
8.1.3 Von der Wellenmaschine zum Gummiband .....	484
8.2 Wellen .....	485
8.2.1 Wellen: Kenngrößen .....	485
8.2.2 Einordnung von Wellen .....	490
8.2.3 Wellen im täglichen Leben .....	501
8.2.4 Wellenausbreitung .....	506

## 9 Magnetfeld 537

9.1 Magnetische Teilchen im Magnetfeld .....	537
9.1.1 Phänomenologie .....	537
9.1.2 Speiche folgt dem Magnetfeld .....	537
9.1.3 Magnetische Feldlinien .....	539
9.1.4 Regeln für magnetische Feldlinien .....	540
9.1.5 Es gibt keine magnetischen Monopole: Drehmoment statt Kraft .....	540
9.1.6 Das Magnetfeld der Erde .....	541
9.2 Eine bewegte Ladung erzeugt ein Magnetfeld .....	542
9.2.1 Oersteds Befund .....	542
9.2.2 Das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters .....	542
9.2.3 Das magnetische Feld einer Spule .....	544
9.2.4 Mikroskopischer Ursprung des Magnetismus .....	545
9.3 Eine bewegte Ladung erfährt eine Kraft in einem Magnetfeld .....	548
9.3.1 Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter .....	548
9.3.2 Lorentz-Kraft .....	553
9.3.3 Wirkung der Lorentz-Kraft .....	556
9.3.4 Kreisbahn im Fadenstrahlrohr .....	557
9.3.5 Klassischer Hall-Effekt .....	561
9.3.6 Wirkung auf stromlosen Leiter: Induktion .....	567

## 10 Stromkreise mit nicht stationärem Strom 588

10.1 Was ist nicht stationärer Strom? .....	588
10.2 Nicht stationärer Strom an einem Ohm'schen Widerstand .....	589
10.3 Laden und Entladen eines Kondensators .....	591
10.3.1 Laden .....	591
10.3.2 Entladen .....	594
10.4 Spannungsänderung in einer Spule .....	598
10.4.1 Experiment .....	598
10.4.2 Selbstinduktion in einer Spule .....	598
10.4.3 Zeitlicher Verlauf des Stroms beim Anschalten .....	599
10.4.4 Zeitlicher Verlauf des Stroms beim Ausschalten .....	600
10.5 Kondensator und Spule: Schwingkreis .....	602
10.6 Kondensator in einem Wechselstromkreis .....	604
10.6.1 Mit widerstandslosen Zuleitungen .....	604
10.6.2 Mit widerstandsbehafteten Zuleitungen .....	607

10.7 Spule in einem Wechselstromkreis .....	610
10.8 Spule, Kondensator und Widerstand in einem Wechselstromkreis .....	612
10.9 Zusammenfassung .....	618

## **11 Physik auf zwei Seiten 620**

11.1 Einfache Bewegungen .....	620
11.2 Alle realen Kräfte kommen aus Wechselwirkungen .....	621
11.3 Kräfte und Bewegungen .....	621
11.4 Physikalische Größen als Ableitungen .....	621

## **12 Richtig oder falsch? 622**

## **Anhänge 626**

A Videodaten und VIANA .....	626
B Ein Beispiel für eine Veröffentlichung („Paper“) .....	627
C Auszug aus einem Laborbuch .....	630
Formelsammlung .....	631
Formelzeichen .....	642
Stichwortverzeichnis .....	651
Bildquellen .....	656



## (Mathematische) Exkurse

Exkurs: Anfertigung eines Versuchsprotokolls .....	20
Exkurs: Kurven durch vorgegebene Punkte .....	36
Exkurs: Einführung in die Vektorrechnung .....	58
Exkurs: Trigonometrie .....	70
Exkurs: Arbeiten mit VIANA .....	110
Exkurs: Arbeiten mit einer Tabellenkalkulation .....	113
Exkurs: Umrechnung m/s in km/h und zurück .....	125
Exkurs: Steigung einer Tangente .....	140
Exkurs: Verschieben von Kurven .....	164
Exkurs: Quadratische Ergänzung .....	182
Exkurs: Berechnen von Flächen unter Kurven – Integralrechnung .....	216
Exkurs: Gleichzeitiges Lösen von Impuls- und Energiegleichung .....	265
Exkurs: Winkelmessung im Bogenmaß .....	277
Exkurs: Kleinwinkelnäherung .....	284
Exkurs: Summenzeichen .....	346
Exkurs: Trigonometrische Funktionen .....	430
Exkurs: Quantitative Behandlung von zwei gekoppelten Pendeln .....	477
Exkurs: Mathematische Beschreibung von Wellen .....	496
Exkurs: Die Heaviside-Funktion .....	590
Exkurs: Sinusoid .....	606