

DUDEN

POCKET  
TEACHER  
PHYSIK

Abi

# FAHRPLAN ZUM ABI

## 1. Noch 2 Jahre bis zum Abitur

### **Fächer- bzw. Kurswahl abklären**

Beratung durch Oberstufenbetreuer ♦ Gegen- gewichte zum Lernstress schaffen

### **Zeitplan erstellen**

Klausuren, Prüfungen, ggf. schriftliche Facharbeit

- ♦ Projekte, Präsentationen ♦ Lernzeiten am Nach- mittag festlegen ♦ Ferien, Pausen, Freizeitaktivitäten planen

### **Ablage einrichten**

Schreibtisch: für jedes Fach eine getrennte Ablage

- ♦ Ordnerstruktur im Computer ♦ Internetlinkliste

### **Lernorte klären**

Arbeitsplatz: zu Hause? Schule? Bibliothek?

### **Lerngemeinschaften organisieren**

Unterschiedliche Lerntypen ergänzen sich!

### **Lernstrategie entwickeln**

Persönliche Stärken-/Schwächenanalyse, evtl. mit- hilfe von Fachlehrern, erstellen ♦ Hindernisse benen- nen und Strategien zur Überwindung erproben

## 2. Noch 1½ Jahre bis zum Abitur

### **Zeitpläne kritisch überprüfen**

Wöchentlich: Lernzeiten, Pausen ♦ Monatlich: Stoffverteilung, Wiederholung, Lerngruppentermine  
♦ Klausur- und Referatstermine

### **Ggf. Facharbeit planen und durchführen**

Fach festlegen ♦ Thema suchen und bearbeiten

### **Lernhilfen und Lernmaterial organisieren**

Nachschlagewerke und Trainingsbücher Abitur- wissen ♦ Unterrichtsmitschriften ♦ Abiturvorberei- tungskurse

## 3. Nach dem letzten Halbjahreszeugnis

### **Zeitplan anpassen**

Lernzeiten anpassen ◆ Wiederholungsschritte planen ◆ Klausur- und Referatstermine im Blick behalten ◆ Facharbeits-/Seminararbeitstermine einhalten

### **Lernfortschritte dokumentieren**

Stärken-/Schwächenanalyse anhand alter Klausuren durchführen und konkrete Konsequenzen daraus ableiten ◆ Lerntagebuch führen

### **Motivationsarbeit verstärken**

Gespräche mit Prüflingen des Vorjahrs führen ◆ Beratungsgespräch mit Oberstufenzulassungsbetreuer/Fachlehrkräften führen ◆ Ziele fest ins Auge fassen ◆ regelmäßige Arbeit mit dem Lern- oder Arbeitstagebuch

### **Berufs-/Studienentscheidung vorbereiten**

Studienführer organisieren ◆ Gespräche mit Studien-/Berufsanfängern ◆ Agentur für Arbeit: Beratungstermine wahrnehmen ◆ Abiturmessen besuchen ◆ Tag der offenen Tür in Universitäten nutzen

### **Blocklernen**

Abiturvorbereitungskurs ◆ Lernwochenende(n) mit Lerngruppe ◆ Prüfungsaufgaben des Vorjahrs beschaffen und damit üben

## 4. Zu Beginn des Abiturschuljahres

### **Zeitplan anpassen**

Alle Abiturtermine notieren ◆ Lernzeiten: Wiederholung strukturieren, Schwerpunkte setzen ◆ ggf. Präsentationsprüfung planen und sich mit allen Themen befassen ◆ Freizeit von Arbeitszeit trennen

### **Motivation tanken**

Lern- oder Arbeitstagebuch auswerten ◆ Mut-mach-Gespräche in Lerngruppe, mit Eltern und Freunden führen ◆ Antistresstraining ◆ Belohnung nach dem Abistress planen: Abschlussfeier, Reise u. Ä.

### **Blocklernen**

Klausuren der Vorjahre durcharbeiten ◆ Prüfungssimulation (mit Zeitbegrenzung)

### **Notenverbesserung nach dem schriftlichen Abi**

Evtl. Teilnahme an einer freiwilligen mündlichen Prüfung

*Der Autor*

Hans-Peter Götz unterrichtete Physik und Mathematik an einem Gymnasium. Er hat an zahlreichen Physik-Lehrbüchern mitgearbeitet.

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

Das Wort **Duden** ist für den Verlag Bibliographisches Institut GmbH als Marke geschützt.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nicht gestattet.

© Duden 2018 D C B A

Bibliographisches Institut GmbH, Mecklenburgische Straße 53, 14197 Berlin

Projektleitung: Juliane Maaß

Konzeption der Karteikarten: Martin Radke

Herstellung: Uwe Pahnke

Umschlaggestaltung: Büroeccō, Augsburg

Layout und Satz: LemmeDESIGN, Berlin

Sachzeichnungen: Stefan Giertzsch und Lennart Fischer, beide Berlin

Druck und Bindung: Heenemann GmbH & Co. KG

Bessemerstraße 83–91, 12103 Berlin

Printed in Germany

ISBN 978-3-411-87218-3

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	7
<b>1 Mechanik des Massenpunkts</b>	9
<b>1.1 Bewegung ohne Einwirkung einer Kraft</b>	9
<b>1.2 Bewegungen unter der Einwirkung von Kräften</b>	12
Wenn die Kraft weder ihren Betrag noch ihre Richtung ändert	13
Wenn Kräfte von konstantem Betrag einwirken und ihre Richtung stets rechtwinklig zur augenblicklichen Bewegungsrichtung ist	25
<b>1.3 Erhaltungssätze der Mechanik</b>	34
Energieerhaltung	34
Impulserhaltung	41
<b>2 Thermodynamik</b>	45
<b>2.1 Die Gasgesetze</b>	47
Das Gasthermometer, absolute Temperatur	48
<b>2.2 Thermische Energie, innere Energie</b>	53
<b>2.3 Die Hauptsätze der Wärmelehre</b>	55
<b>2.4 Die Strahlungsgesetze</b>	62
<b>3 Mechanische Schwingungen und Wellen</b>	70
<b>3.1 Schwingungen</b>	70
Charakteristische Größen zur Beschreibung einer Schwingung	70
Die harmonische Schwingung	72
Physikalische Bedingungen für eine harmonische Schwingung	75

<b>3.2 Mechanische Wellen</b>	80
Das Überlagerungsprinzip bei Wellen, Interferenz	83
Reflexion von Wellen, stehende Wellen	86
Brechung und Beugung von Wellen	89
<b>4 Elektrizitätslehre</b>	91
<b>4.1 Die Ursache elektrischer Erscheinungen: Ladungen</b>	91
Die Eigenschaften ruhender elektrischer Ladungen (Elektrostatik)	93
Das elektrische Feld	95
Die elektrische Spannung	98
Der Kondensator	100
<b>4.2 Magnetische und elektrische Felder</b>	104
Das Magnetfeld von Strömen	104
Die magnetische Kraft auf Ströme	106
<b>4.3 Bewegungen geladener, freier Teilchen in Feldern</b>	110
Bewegungen in elektrischen Feldern	110
Bewegungen in magnetischen Feldern	114
Die Messung von Ladung und Masse bei Ionen	116
<b>4.4 Elektromagnetische Induktion</b>	120
Das Induktionsgesetz	120
Die Selbstinduktion	127
<b>4.5 Wechselstrom</b>	132
Der Transformator	132
Größen in Wechselstromkreisen	136
Effektivwerte von Wechselspannungen und Wechselströmen	138
Induktive und kapazitive Widerstände	140

<b>5</b>	<b>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</b>	147
5.1	Wie Wellen entstehen	147
5.2	Schwingungserreger für elektrische Ladungen	150
<b>6</b>	<b>Wellentheorie des Lichts</b>	157
6.1	Historische Vorstellungen von der Natur des Lichts	157
6.2	Die ersten Wellenvorstellungen für Licht	160
6.3	Interferenzerscheinungen bei Licht	165
	Das optische Gitter	169
<b>7</b>	<b>Die Photonentheorie des Lichts, Wahrscheinlichkeitswellen</b>	180
7.1	<b>Lichtquanten</b>	180
	Der äußere Fotoeffekt	180
	Weitere Lichteffekte, die mit einer Photonentheorie gedeutet werden können	187
	Die kurzweilige Grenze der Röntgenbremsstrahlung	189
7.2	<b>Elektronenwellen, Wahrscheinlichkeitswellen</b>	193
<b>8</b>	<b>Atomphysik</b>	197
8.1	<b>Historische Atommodelle</b>	198
	Das Atommodell von RUTHERFORD	198
	Das Atommodell von BOHR	200
	Der FRANCK-HERTZ-Versuch	202
8.2	<b>Das Orbitalmodell</b>	205
8.3	<b>Die Schrödingergleichung</b>	207
	PAULI-Prinzip und Schalenmodell	208

<b>9 Kurze Einblicke in die Physik des 20./21. Jahrhunderts</b>	210
<b>9.1 Relativitätstheorie</b>	211
Zeitdilatation: Bewegte Uhren gehen langsamer	214
Längenkontraktion: Die Länge einer bewegten Strecke erscheint verkürzt	216
Relativistische Masse, Masse-Energie-Äquivalenz	217
<b>9.2 Kernphysik</b>	221
Radioaktivität	221
Kernzerfall	226
Gefahren der Kernstrahlung	231
Energie aus Kernspaltung, Kernfusion	234
<b>9.3 Das Standardmodell der Elementarteilchenphysik</b>	239
Wechselwirkungen und Austauschteilchen	240
<b>10 Größen und Einheiten</b>	242
<b>10.1 Mechanik</b>	242
<b>10.2 Thermodynamik, Wärmelehre</b>	244
<b>10.3 Schwingungen und Wellen</b>	245
<b>10.4 Elektrizitätslehre</b>	245
<b>10.5 Wellentheorie des Lichts</b>	248
<b>10.6 Photonentheorie des Lichts</b>	248
<b>10.7 Spezielle Relativitätstheorie (SRT)</b>	249
<b>10.8 Naturkonstanten</b>	251
<b>Stichwortverzeichnis</b>	252

# Vorwort

## **Liebe Leserin, lieber Leser!**

Der Pocket Teacher Abi Physik eignet sich als Wegbegleiter durch die gesamte Oberstufe bis zum Abitur. Er hilft nicht nur beim Endspurt vor dem Abitur, sondern ebenso gut bei Hausaufgaben und Referaten oder bei der Vorbereitung von Klausuren und Tests. Selbst wer glaubt, schon fit zu sein, kann hier mit Gewinn noch einmal ein Kapitel querlesen und sein Wissen auffrischen. Vor allem aber werden die Zusammenhänge übersichtlich und anschaulich präsentiert. Dazu tragen auch die zahlreichen Grafiken und Schaubilder bei.

Gewünschte Infos können am schnellsten über das Stichwortverzeichnis am Ende des Bandes gefunden werden. Am besten ins Inhaltsverzeichnis schauen und im entsprechenden Kapitel nach dem Begriff suchen! Stichwörter sind hier durch Fettdruck hervorgehoben (z. B. *Wirkungsgrad*, S. 41). Farbige Pfeile ► verweisen auf andere Stellen im Buch zum gleichen Thema.

### **BEISPIEL** Bewegungsenergie (► S. 35)

Geht man den Pfeilen nach, bekommt man zu diesen Fachbegriffen weitere Informationen.

- ◆ Mehrere Beispielaufgaben oder Aufzählungen zu einem Thema sind meist durch kleine farbige Quadrate übersichtlich gegliedert (► S. 49).

Wichtige, wesentliche Informationen sind besonders hervorgehoben:

► **ANMERKUNGEN** (► S. 37)

Auch die folgenden Hervorhebungen verdienen Ihre besondere Aufmerksamkeit:

**MERKE**

In diesen Kästen wird in konzentrierter Form Grundsatzwissen vermittelt

► **ACHTUNG** Hiermit wird auf besondere Aspekte wie leichte Verwechslungen u. Ä. hingewiesen.

**BEACHTE** (► S. 37)

Diese Rubrik kennzeichnet Merksätze und Definitionen (► S. 59).

# Mechanik des Massenpunkts

# 1

Die Mechanik beschreibt den Ablauf verschiedenartiger Bewegungen von Körpern (Kinematik) und stellt Fragen nach der Ursache von Bewegungen (Dynamik). Die Erfahrung zeigt, dass es für die Beantwortung vieler Fragen genügt, den Körper, der sich relativ zu einem ruhenden Beobachter bewegt, als „punktformig“ zu betrachten. In dieser *Punktmechanik* spielt die wirkliche Gestalt des Körpers keine Rolle; man rechnet so, als ob die ganze Masse in seinem Schwerpunkt konzentriert wäre. In dieser Modellvorstellung greifen alle äußeren Kräfte am Schwerpunkt des Körpers an. Verformungen der Körper und Drehbewegungen um Achsen des Körpers treten in diesem Teil der Mechanik nicht auf; Begriffe und Größen wie Drehmasse (= Trägheitsmoment), Drehimpuls, Rotationsenergie ... fehlen deshalb in diesem Band. Je nachdem, ob und in welcher Richtung eine Kraft (oder mehrere Kräfte) auf einen Körper der Masse  $m$  einwirkt, unterscheidet man verschiedene Bewegungsarten.

1

## 1.1 Bewegung ohne Einwirkung einer Kraft

### Die geradlinige Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit

In diesem Fall gilt das *Trägheitsprinzip* (auch 1. Newton'sches Gesetz): Aufgrund seiner Masse (= Trägheit, *Beharrungsvermögen*) ist jeder Körper „von sich aus“ bestrebt, seinen augenblicklichen Bewegungszustand beizubehalten. Ist er momentan in Ruhe, so wird er in diesem Zustand verharren, wenn ihn nicht Kräfte zwingen, dies zu ändern. Aber auch ein schon bewegter Körper behält seine Bewegung bei – selbst ohne weitere Antriebskraft.

Ein kräftefreier Körper bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit längs einer Geraden; diese einfachste Bewegungsart wird auch als **gleichförmige Bewegung** bezeichnet.

Der Quotient aus der Streckenlänge  $\Delta s$ , die ein Körper während der Zeitspanne  $\Delta t$  zurücklegt, und dieser Zeitspanne, wird als Geschwindigkeit bezeichnet:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

und in den Einheiten  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  oder  $\frac{\text{km}}{\text{h}}$  angegeben. Es ist  $1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ;  
 $1 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 0,28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

**(mittlere) Geschwindigkeit:**  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Da bei der **gleichförmigen Bewegung** die Geschwindigkeit konstant ist, spielt es keine Rolle, wie groß oder wie klein die Wegstücke  $\Delta s$  gewählt werden. Für diese Bewegung gilt daher auch  $v = \frac{s}{t}$  oder  $s = v \cdot t$ , wo  $s$  den in der Zeit  $t$  zurückgelegten Gesamtweg bezeichnet.

**BEISPIEL** Fährt ein Auto vom Ort A in  $\Delta t = 30 \text{ min}$  in den  $\Delta s = 9 \text{ km}$  entfernten Ort B, so beträgt seine **mittlere**

$$\text{Geschwindigkeit } v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{9000 \text{ m}}{1800 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

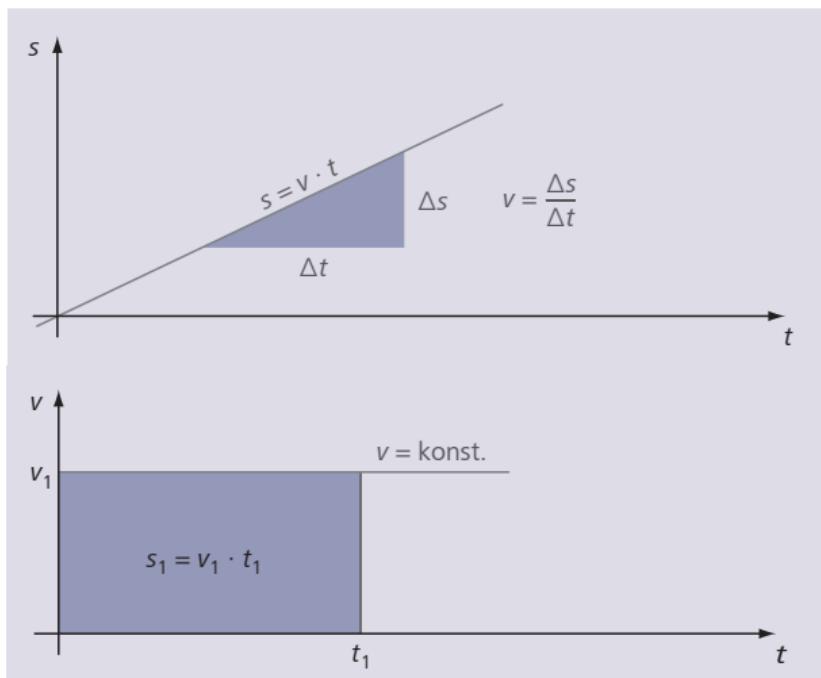
Nehmen wir an, dass dieses Auto stets mit der konstanten Geschwindigkeit  $v = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  fahre (was in Wirklichkeit sicher nicht längere Zeit einzuhalten ist), so bewegt es sich gleichförmig und legt beispielsweise in  $t = 5$  Stunden Fahrzeit den Gesamtweg  $s = v \cdot t = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 18000 \text{ s} = 90000 \text{ m} = 90 \text{ km}$  zurück.

► **ANMERKUNG** Selbstverständlich benötigt das Auto für sein Fortkommen eine ständig einwirkende Kraft. Der Motor übt über das Getriebe und die Räder eine Kraft auf die Straße aus; die Gegenkraft dazu treibt das Auto vorwärts. Im Fall einer gleichförmigen Bewegung ist der Betrag dieser Kraft exakt gleich

der Summe aller Reibungskräfte, die das Auto von der Straße und der Luft erfährt. Da die Reibungskräfte der Antriebskraft entgegengerichtet sind, „kompensieren“ sich die Kräfte und die Physiker bezeichnen auch diesen Zustand als „kräftefrei“.

Trägt man den zurückgelegten Weg  $s$  und die Zeit  $t$  in ein Schaubild ein, so ergibt sich – wenn zum Zeitpunkt  $t = 0$  auch der Weg  $s = 0$  ist – eine Ursprungsgerade. Sie beschreibt das **Weg-Zeit-Gesetz** der gleichförmigen Bewegung. Die Steigung ist ein Maß für die Geschwindigkeit  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ . In das gleiche Schaubild eingetragen, gehört zu einem schnelleren Fahrzeug eine steilere Gerade.

1



Trägt man in ein weiteres Schaubild die Geschwindigkeit  $v$  und die Zeit  $t$  ein, so erhält man eine Parallele zur  $t$ -Achse:  $v = \text{konst.}$  Diese Gerade beschreibt das **Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz**. Der

Flächeninhalt unter dem Schaubild (in diesem Fall ein Rechteck) ist ein Maß für den zurückgelegten Weg.

**Bewegungsgesetze der gleichförmigen Bewegung:**

*Weg-Zeit-Gesetz:  $s = v \cdot t$*

bzw.  $s = v \cdot t + s_0$ , wenn zum Zeitpunkt  $t = 0$  bereits ein Wegvorsprung  $s_0$  besteht.

*Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz:  $v = \text{konst.}$*

## 1.2 Bewegungen unter der Einwirkung von Kräften

Wirkt auf einen (frei beweglichen) Körper eine Kraft ein, so ändert er seinen Bewegungszustand je nach *Betrag* und *Richtung* der Kraft:

- ◆ Seine Geschwindigkeit kann zu- oder abnehmen, man sagt: Der Körper wird beschleunigt oder abgebremst.
- ◆ Er kann aber auch lediglich seine Bewegungsrichtung ändern und den Betrag der Geschwindigkeit beibehalten.
- ◆ Sowohl der Betrag der Geschwindigkeit als auch seine Bewegungsrichtung können sich ändern.

### BEISPIELE

- ◆ Ein 100-m-Läufer beschleunigt auf den ersten 20 m der Strecke nach dem Start. Die Muskeln seiner Beine üben dabei große Kräfte auf die Bahn aus; die Gegenkraft dazu erteilt ihm die Beschleunigung. Auf den restlichen 80 m versuchen die Sprinter, die nach der Beschleunigungsphase erreichte Höchstgeschwindigkeit beizuhalten. Zu dieser eher gleichförmigen Bewegung ist weniger Krafteinsatz erforderlich, lediglich die Reibungskräfte müssen kompensiert werden.
- ◆ Die Erde übt auf den Mond eine ständig einwirkende Kraft aus. Diese Kraft führt dazu, dass der Mond fortwährend zu einer

Richtungsänderung gezwungen wird. Anstatt aufgrund seiner Trägheit geradlinig fortzufliegen, wird er durch die Anziehungs- kraft der Erde auf eine Kreisbahn genötigt. Da die Kraftrichtung immer rechtwinklig zur Bewegungsrichtung einwirkt, ändert diese Kraft den Betrag seiner Geschwindigkeit nicht!

◆ Wirft man einen Ball seinem Mitspieler zu, so wirkt auch während des freien Flugs die Gewichtskraft auf den Ball ein. Sie bewirkt, dass der Ball auf einer gekrümmten Bahn (einem Parabelbogen- stück) fliegt, also ständig seine Richtung ändert, und gleichzeitig, dass sich der Betrag der Geschwindigkeit ändert.

Kräfte, Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen besitzen eine Richtung im Raum. Solche gerichteten Größen – im Gegensatz zu Größen, denen man keine Richtung zuordnen kann, wie beispielsweise der Masse  $m$  – werden in der Physik als *vektorielle Größen* bezeichnet und erhalten zur Kennzeichnung einen Pfeil über das Größensymbol:  $\vec{F}, \vec{s}, \vec{v}, \vec{a} \dots$

In den Fällen, wo es auf die Richtung nicht ankommt, oder wo diese aus der Anschauung her klar ist, verzichtet man häufig auf diese umständliche Schreibweise und versteht unter  $F, s, v, a \dots$  (ohne Pfeil darüber) die Beträge dieser Größen. In diesem Band verwenden wir nur in Ausnahmefällen die vektorielle Schreibweise.

## **Wenn die Kraft weder ihren Betrag noch ihre Richtung ändert**

### **Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung**

Ist ein Körper zuvor in Ruhe oder bereits in Bewegung und wirkt dann eine Kraft parallel zur Bewegungsrichtung ein, so wird der Körper beschleunigt oder – wenn die Kraft entgegenwirkt – abgebremst.

Diesen Sachverhalt kennen wir aus typischen Alltagssituationen: Bei der Anfahrbewegung eines Autos nimmt seine Geschwindigkeit ständig zu. Man meint damit, dass seine Momentangeschwindigkeit wächst.

Unter der **Momentangeschwindigkeit** versteht man den Grenzwert der Durchschnittsgeschwindigkeit  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$  für „unendlich“ kleine Zeitspannen  $\Delta t$  ( $\Delta t \rightarrow 0$ ).

So versucht z. B. die Polizei bei einer Geschwindigkeitskontrolle mit der Lichtschränken-Methode möglichst genau die Momentangeschwindigkeit zu ermitteln, indem sie die Messstrecke  $\Delta s$  sehr klein wählt und damit kleine Zeitspannen  $\Delta t$  misst.

Sind der Betrag und die Richtung der beschleunigenden Kraft konstant, so nimmt die Geschwindigkeit in gleichen Zeitspannen  $\Delta t$  jeweils um den gleichen Betrag  $\Delta v$  zu (oder ab). Diese ebenfalls geradlinig verlaufende Bewegung wird als *gleichmäßig beschleunigte* (bzw. gleichmäßig verzögerte) *Bewegung* bezeichnet. Unter der Beschleunigung (bzw. Verzögerung)  $a$  versteht man den Quotienten  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  aus einer Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  und der Zeitspanne  $\Delta t$ , in der diese stattfindet:

**Beschleunigung:**  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

(Vereinbart man, dass jede Änderung mit dem  $\Delta$ -Zeichen als Differenz „neuer Wert minus altem Wert“ berechnet wird, so können negative Beschleunigungen auftreten; in diesem Fall wird der Betrag  $|a|$  auch als Verzögerung bezeichnet.)

Beschleunigungen und Verzögerungen werden üblicherweise in der Einheit  $\frac{m}{s^2}$  gemessen.

**BEISPIEL** Beschleunigt ein Fahrzeug beim Anfahren aus dem Stand mit einer konstanten Beschleunigung  $a = 3,0 \frac{m}{s^2}$ , so beträgt seine Momentangeschwindigkeit nach der 1. Sekunde  $v_1 = 3,0 \frac{m}{s}$ , nach der 2. Sekunde  $v_2 = 6,0 \frac{m}{s}$ , nach der 3. Sekunde  $v_3 = 9,0 \frac{m}{s}$  usw.

Wirkt auf einen frei beweglichen Körper der Masse  $m$  eine konstante Kraft  $F$  ein, so erfährt er die konstante Beschleunigung:  $a = \frac{F}{m}$  in Richtung der Kraft.

Diese Ursache und Wirkung verknüpfende Beziehung wird als **Newton'sches Grundgesetz der Mechanik** oder auch **2. Newton'sches Gesetz** bezeichnet:

$$a = \frac{F}{m} \text{ bzw. } F = m \cdot a.$$

1

**BEISPIEL** Soll ein Auto der Masse  $m = 1200 \text{ kg}$  mit  $a = 4,0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  beschleunigen, so muss der Motor hierfür die Kraft:

$$F = m \cdot a = 1200 \text{ kg} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4800 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 4800 \text{ N}$$

Für die gleiche Beschleunigung eines Lkw mit  $m = 12000 \text{ kg}$  Masse muss der Motor eine Kraft von  $48000 \text{ N}$  aufbringen. Ist seine Kraft jedoch weiterhin auf  $4800 \text{ N}$  begrenzt, so ist die maximal erreichbare Beschleunigung des Lkw:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{4800 \text{ N}}{12000 \text{ kg}} = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2},$$

d.h., seine Momentangeschwindigkeit beim Startvorgang beträgt nach 1 Sekunde  $0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , nach 2 Sekunden  $0,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , nach 3 Sekunden  $1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  usw.

Bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist das  $v(t)$ -Schaubild eine Ursprungsgerade, wenn zum Zeitpunkt  $t = 0$  die Bewegung beginnt, oder eine „verschobene Gerade“, wenn aus einer Anfangsgeschwindigkeit  $v_0$  heraus beschleunigt wird („fliegender Start“). In jedem Fall ist die Steigung ein Maß für die Beschleunigung  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  und der Flächeninhalt unter dem Schaubild ein Maß für den zurückgelegten Weg. Geschwindigkeits-Zeit-Schaubilder werden auch als Tachogramme bezeichnet.

## Stichwortverzeichnis

- A**Aggregatzustand 54  
 Aktivität 228  
 Amplitude 71  
 Äquivalentdosis 233  
 Atommodelle, historische 198 ff.  
 –, nach Bohr 200 f.  
 –, nach Rutherford 198  
 Atomphysik 197 ff.  
 Ausbreitungsgeschwindigkeit  
     von Wellen 81  
 Auslenkung 71  
 Austauschteilchen 241
- B**Äaüche einer stehenden Welle 87  
 Baryon 240  
 Beharrungsvermögen 9  
 Beschleunigung 14, 242  
 $\beta$ -Zerfall 225  
 Beugung von Wellen 89, 161  
 Bewegungen  
 –, gleichförmige 10 ff.  
 –, gleichmäßig beschleunigte 13 ff.  
 Bewegungsarbeit 39  
 Bewegungsgesetze  
 –, der gleichförmigen Bewegung 12  
 –, der gleichmäßig beschleunigten  
     Bewegung 16  
 –, des freien Falls 16, 20  
 –, des vertikalen Wurfs 20  
 Bohr'sche Quantenbedingung  
     201  
 Braun'sche Röhre 110 ff.  
 Brechung von Wellen 89, 162  
 Brechungsgesetz 159, 164
- C**Compton-Effekt 191

- D**e-Broglie-Wellenlänge 193  
 Dielektrikum 101  
 Dielektrizitätszahl 101  
 Dipol, hertzscher 149  
 Dispersion 159  
 Doppelspalt 165
- E**Edison-Effekt 110  
 Effektivwert einer Wechsel-  
     spannung 138 f.  
 Eigenfrequenz 79  
 Eigenfrequenzen einer Saite  
     89, 245  
 Einstein-Gerade 185  
 Einstein-Gleichung 185  
 Elastischer Stoß 43  
 Elektrische Feldstärke E 97, 245  
 Elektrische Influenz 94  
 Elektrische Ladung 91  
 Elektrische Spannung 98, 246  
 Elektrizitätslehre 91 ff.  
 Elektromagnetische Induktion 120  
 Elektronenwellen 193  
 Elektronenvolt (eV) 183  
 Elektrostatik 93  
 Elementarladung  $e$  118, 251  
 Elementarwelle 162  
 Elongation 71  
 Energie  
 –, Bewegungsenergie (= kinetische  
     Energie) 35, 243  
 –, des elektrischen Felds 102  
 –, des magnetischen Felds 130  
 –, innere 54  
 –, Lageenergie (= potenzielle  
     Energie) 35, 243  
 –, Spann(ungs-)energie  
     einer Feder 35, 243  
 –, thermische 54  
 Energiedosis 232

- Energieerhaltungssatz 34  
Erhaltungssätze der Mechanik 34f.
- F**adenpendel 70, 78  
Fadenstrahlröhre 116  
Farad (F) 100, 246  
Farbe 240  
Federpendel 70, 76  
Feld  
-, elektrisches 91, 93ff., 110ff.  
-, homogenes elektrisches 96f.  
-, magnetisches 104ff., 114ff.  
Flavor 241  
Feldkonstante  
-, elektrische -  $\epsilon_0$  101, 251  
-, magnetische -  $\mu_0$  108, 251  
Fotoeffekt 180  
Fotozelle 181  
Franck-Hertz-Versuch 202  
Frequenz 26, 72
- G**alilei-Transformation 212  
Gangunterschied 85, 175  
Gasgleichung  
-, allgemeine 51  
-, universelle 52  
Generator 60, 120  
Geschwindigkeit  
-, Bahngeschwindigkeit 25  
-, mittlere 10, 239  
-, Momentangeschwindigkeit 14, 242  
Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz 11  
Gesetz von Gay-Lussac 49  
Gitter, optisches 169  
Glühelektrischer Effekt 110  
Gravitationsgesetz 30  
Grundgesetz der Mechanik (Newton)  $F = m \cdot a$  15
- H**albwertszeit 226  
Hadron 240  
Hall-Effekt 114  
Hall-Sonde 114  
Hangabtriebskraft 16  
Harmonischer Oszillator 79  
Hauptquantenzahl 208  
Hauptsatz der Wärmelehre  
-, 1. Hauptsatz 56  
-, 2. Hauptsatz 59  
Heisenberg'sche Unbestimtheitsrelation 196  
Heißluftmotor 58, 60  
Henry (H) 129, 247  
Hertz'scher Dipol 149  
Hubarbeit 39  
Huygens'sches Prinzip 162
- I**deales Gas 49  
Impedanz  $Z$  141  
Impuls 41, 243  
Impulserhaltungssatz 42  
Impulssumme 42  
Induktionsgesetz 122  
-, in der Fluss-Schreibweise 126  
Induktivität  $L$  einer Spule 129f., 247  
Influenz, elektrische 94  
Innere Energie 54  
Interferenz des Lichts 165  
Interferenz von Wellen 83ff.  
-, konstruktive 85  
-, destruktive 85
- J**oule (1 J) 37, 243
- K**apazität  $C$  100, 246  
Kapazität eines Plattenkondensators 100ff., 246  
Kelvin (K) 50f., 244  
Kepler'sche Gesetze 32

- Kernfusion 239 ff.  
 Kernzerfall 226 ff.  
 Knotenstellen einer stehenden Welle 87  
 Kondensator 100 ff.  
 Konstanz der Lichtgeschwindigkeit 213  
 Kraft  
 –, auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld 109, 247  
 –, elektrische Feldkraft 97, 246  
 –, Haftreibungskraft 18  
 –, Hangabtriebskraft 17  
 –, Lorentz-Kraft 114, 247  
 –, nach Newton 15, 242  
 –, Normalkraft 17  
 –, Reibungskraft 17, 242  
 –, Zentrifugalkraft 27  
 –, Zentripetalkraft 25, 243  
 –, Ziehkraft 27  
 Kreisbewegungen,  
 gleichmäßige 25  
 Kreisfrequenz 73, 137
- L**adung, elektrische 91 ff., 245  
 Längenkontraktion 216 ff.  
 Längswelle 81  
 Leistung 40, 243  
 Lenz'sche Regel 123  
 Leptonen 240  
 Lichtquant 184  
 Lichtuhr 214  
 Longitudinalwelle 81  
 Lorentz-Kraft 114 f.
- M**agnetfeld 104 f.  
 Magnetische Flussdichte  $B$  107, 246
- Magnetische Flussdichte im Innern einer Spule 107, 246  
 magnetischer Fluss  $\Phi$  125, 247  
 Masse-Energie-Beziehung 198  
 Masse-Energie-Äquivalenz 217  
 Mechanik 9 ff.  
 Meson 240  
 Messung der Lichtwellenlänge  
 –, beim Doppelspalt 166 ff.  
 –, beim Gitter 169 ff.  
 Millikan-Versuch 118 ff.  
 Modulation 154  
 Myon 216
- N**eutralisation 92  
 Normalkraft 17
- O**rbitalmodell 205 f.  
 Oszillator 150  
 –, harmonischer 79  
 Oszillosgramm 75, 138  
 Oszilloskop 112
- P**auli-Prinzip 209  
 Periode 72  
 Periodendauer 72  
 –, eines Fadenpendels 78, 245  
 –, eines Federschwingers 76, 245  
 –, eines harmonischen Schwingers 79  
 Photon 184  
 Photonentheorie des Lichts 180 ff.  
 Planck'sche Konstante  $h$  185, 251  
 Planetenbewegungen 30 ff.  
 Polarisation 94  
 Polarisation des Lichts 178 f.  
 Potenzialtopf 207  
 Probeladung  $q$  97  
 Punktmechanik 9

**Q**uantenzahl 208

Quarks 240

Querwelle 81, 178

**R**adialfeld 96

Radioaktivität 221 ff.

Reibungsarbeit 39

Reibungskraft 17 f.

Relativistische Masse 217

Relativitätstheorie 211 ff.

Relative Dielektrizitätszahl  $\epsilon_{\text{rel}}$   
101

Relative Permeabilitätszahl  $\mu_{\text{rel}}$   
108

Resonanz 80

Röntgenbremsstrahlung 189

Röntgenstrahlung 178

Ruheenergie 219

Ruhemasse des Elektrons  $m_0$   
119, 251

**S**chalenmodell 209

Scheitelwert einer Wechsel-  
spannung 137

Schrödingergleichung 207 f.

Schwingkreis, elektrischer 150

Schwingungen

–, eines Fadenpendels 78

–, eines Federpendels 76

–, elektromagnetische 147 ff.

–, erzwungene 79

–, harmonische 72

–, mechanische 70 ff.

–, ungedämpfte, elektrische 152

Schwingungsformel,

thomsonsche 151

Selbstinduktion 127 ff.

Selbstinduktionsspannung

129, 247

Solarzelle 188

Spektrometer 173

–, Gitterspektrometer 173

–, Massenspektrometer 118

–, Prismenspektrometer 173

Spektrum 171

–, kontinuierliches 174

–, Linienspektrum 174

Sperrkreis 146

spezifische Ladung des Elektrons  $\frac{e}{m}$

112, 116 f., 251

spezifische Wärmekapazität 54

Standardmodell 239

Stefan-Boltzmannsches

Gesetz 64

Stehende Welle 86 f.

Stirling-Motor 58, 60

Stoß

–, unelastischer 43

–, vollelastisch, zentraler 42

Strahlungsintensität 63 f., 244

**T**emperaturskala

–, absolute 50, 244

–, nach Celsius 47, 244

Tesla (T) 107, 246

Thermische Energie 54

Thermodynamik 45 ff.

Thomson'sche Schwingungs-  
formel 151

Trägheitsprinzip 9

Transformator 132 ff.

–, Transformatorgleichung 133

Transversalwelle 81

Tröpfchenmodell 236

Tunneleffekt 224

**U**mlaufdauer 26

Unbestimmtheitsrelation 196

Unelastischer Stoß 43

- W**ahrscheinlichkeitswellen 193 ff.  
Wärmelehre 45 ff.  
Wärmepumpe 60  
Wärmetransport 62  
Watt (W) 40, 243  
Wechselspannung 132 ff., 247  
Wechselstrom 132 ff.  
Weg-Zeit-Gesetz 11  
Wellen  
–, elektromagnetische 147 ff.  
–, mechanische 80 ff.  
–, stehende 86  
Wellenformel 82  
Wellenfunktion 207  
Wellenlänge  $\lambda$  82  
Wellentheorie des Lichts  
157 ff., 161  
Widerstand  
–, induktiver  $X_L$  141, 247  
–, kapazitiver  $X_C$  144, 247
- W**ien'sches Verschiebungsgesetz 66  
Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  26, 242  
Wirbelfeld, magnetisches 105  
Wirkungsgrad  
–, mechanischer 41, 243  
–, thermodynamischer 59, 244  
Wurf 19 ff.  
–, schiefer 22  
–, vertikaler 20  
–, waagrechter 21
- Z**eitdilatation 214 ff.  
Zentrifugalkraft 27  
Zentripetalkraft 25  
Zerfallsreihe 228

### **Bildnachweis**

S. 1–160 und 162–207: angefertigt von Stefan Giertzsch, bearbeitet durch Lennart Fischer;  
S. 161: Hans-Peter Götz;  
S. 208–256: Lennart Fischer

## Newton'sche Gesetze

### 1. Newton'sches Gesetz

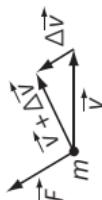
Eine Masse, auf die keine Kraft einwirkt, ruht oder bewegt sich geradlinig mit gleichförmiger, konstanter Geschwindigkeit. Diese Eigenschaft wird als Trägheit der Masse bezeichnet.

### 2. Newton'sches Gesetz

Wirkt eine Kraft  $\vec{F}$  auf eine Masse  $m$ , so ändert sich in der Zeit  $\Delta t$  die Geschwindigkeit  $\vec{v}$  um  $\Delta \vec{v}$ .

Die Änderung  $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{a}$  nennt man Beschleunigung. Sie ist proportional zur Kraft und hat dieselbe Richtung:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \text{ bzw. } \vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

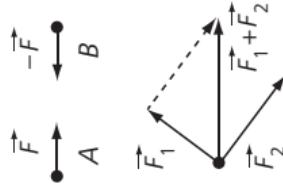


### 3. Newton'sches Gesetz

Jeder Kraft ist eine gleich große Kraft entgegengesetzt: Wirkt Körper A mit einer Kraft  $\vec{F}$  auf Körper B, so wirkt dieser mit der Kraft  $-\vec{F}$  auf den Körper A. Man bezeichnet dies als „*actio gleich reactio*“.

### Superpositionsprinzip

Mehrere Kräfte addieren sich entsprechend der Regeln der Vektoraddition. Eine Kraft kann stets in eine Summe von Kräften zerlegt werden.



--	--	--	--	--	--	--

## Bewegung bei konstanter Krafteinwirkung

### Betrag und Richtung der Kraft konstant, freier Fall

Ist die Kraft konstant – wie im freien Fall ohne Luftreibung –, erhält man im eindimensionalen Fall:

$$\text{Geschwindigkeit: } v = v_0 + at \quad \text{Weg (oder Ort): } s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a t^2$$

Dabei ist  $a$  die Beschleunigung,  $m$  die Masse und  $t$  die Zeit.  $s_0$  ist der Ort und  $v_0$  die Geschwindigkeit bei  $t = 0$ .

Im dreidimensionalen Raum werden die Gleichungen entsprechend mit Vektoren geschrieben.

### Kreisbewegung

Bewegt sich eine Masse auf einer Kreisbahn, so erfährt sie eine konstante Kraft, die stets senkrecht zu der momentanen Bewegung in Richtung des Kreismittelpunkts wirkt (Zentripetalkraft). Dabei ändert sich nicht der Betrag der Geschwindigkeit, sondern nur ihre Richtung. Diese Beschleunigung spürt man z.B. als Zentrifugalkraft in einem Karussell. Die Zentrifugalkraft ist genau entgegengesetzt zur Zentripetalkraft und hat dieselbe Größe.

Als weitere Bewegungsgrößen neben der Bahngeschwindigkeit  $v$  führt man den Radius  $r$  der Kreisbahn, die Umlaufzeit  $T$ , die Frequenz  $f = \frac{1}{T}$  und die Winkelgeschwindigkeit  $\omega = 2\pi f = \frac{v}{r}$  ein. Mit diesen Größen ergeben sich folgende Formeln, um die Zentrifugalkraft  $F_z$  zu berechnen:

$$F_z = m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r = m \cdot 4\pi^2 f^2 \cdot r = m \cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot r$$

--	--	--	--	--	--	--

## Energie und Impuls

### Energie und Energieerhaltung

Die Einheit für Energie ist Joule (J). Es gibt viele verschiedene Formen von Energie. Mechanische Energie wird oft auch als Arbeit bezeichnet. Für diese gilt allgemein:  $W_{\text{mech}} = F \cdot s$  ( $F$  ist die Kraft,  $s$  der Weg).

Typische Energieformen in der Mechanik sind:

die kinetische Energie  $W_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m \cdot v^2$  ( $m$  ist die Masse,  $v$  die Geschwindigkeit), die potentielle Energie  $W_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$  ( $g$  ist die Erdbeschleunigung,  $h$  die Höhe) und die Federenergie  $W_{\text{spann}} = \frac{1}{2}D \cdot s^2$  ( $D$  ist die Federkonstante,  $s$  die Auslenkung der Feder).

Die Summe aller Energien in einem reibungsfreien, abgeschlossenen System ist konstant:

$$W_{\text{gesamt}} = W_{\text{kin}} + W_{\text{pot}} + W_{\text{spann}} = \text{konstant.}$$

### Impuls und Impulserhaltung

Der Impuls  $\vec{p}$  einer Masse  $m$  mit der Geschwindigkeit  $\vec{v}$  ergibt sich zu:  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ . In einem abgeschlossenen System ist die Summe der Impulse aller Massen konstant:  $\vec{p}_{\text{gesamt}} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots = \text{konstant.}$

--	--	--	--	--	--	--

## Gravitationsgesetz und Kepler'sche Gesetze

### Schwerkraft

Zwischen zwei Massen  $m_1$  und  $m_2$  mit dem Abstand  $r$  besteht eine Anziehungs kraft:  $F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ .

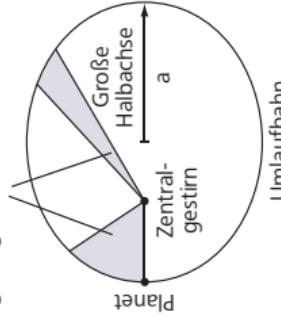
Die Gravitationskonstante ist sehr klein,  $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$ . Da es bei der Gravitation keine Abstoßung gibt und die Kraft nur mit  $\frac{1}{r^2}$  abnimmt, ist sie die einzige Kraft, die über sehr große Entfernungen noch wirken kann. Ganze Galaxienhaufen mit Millionen von Lichtjahren im Durchmesser können gravitativ gebunden sein.

### Kepler'sche Gesetze

Für die Bewegung von Planeten um ein Zentralgestirn hat Kepler folgende Gesetze entdeckt:

1. Alle Planeten laufen um das Gestirn auf einer Ellipse oder einem Kreis. Das Gestirn steht jeweils in einem Brennpunkt der Ellipsen.
2. Die Verbindungs linie Gestirn–Planet überstreich t in gleicher Zeit eine gleich große Fläche.
3. Für die Umlaufzeiten  $T_1$  und  $T_2$  sowie die großen Halbachsen  $a_1$  und  $a_2$  zweier Planeten gilt folgende Beziehung:  $\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ .

In gleicher Zeit werden gleichgroße Flächen überstrichen



--	--	--	--	--	--	--

## Mechanische Schwingungen

### Harmonische Schwingung (Sinusschwingung)

Existiert eine rücktreibende Kraft, die proportional zur Auslenkung  $e$  ist, dann kann eine Masse harmonisch um einen Ruhepunkt schwingen:  $e(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t + \phi)$

Dabei ist  $A$  die Amplitude (maximale Auslenkung),  $f$  die Frequenz der Schwingung (Einheit Hertz,  $1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$ ),  $t$  die Zeit und  $\phi$  die Phase, die bestimmt, in welchem Zustand die Schwingung bei  $t = 0$  ist. Für die Frequenz  $f$  findet man folgende Formeln.

Federpendel:  $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{D}{m}}$  mit Federkonstante  $D$  und Masse  $m$

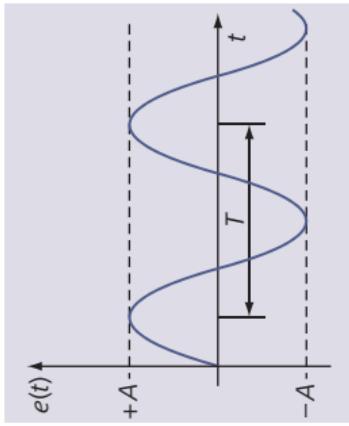
Fadenpendel:  $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$  mit Erdbeschleunigung  $g$  und Fadenlänge  $l$

### Gedämpfte Schwingung

Wegen Reibung kommt jedes freie Pendel früher oder später zur Ruhe. Durch geeignete Anregung von außen kann die Reibung ausgeglichen werden (Beispiel Uhrenpendel).

### Erzwungene Schwingung

Wird ein Pendel periodisch von außen angeregt, so schwingt das Pendel mit der Anregungsfrequenz. Ist diese gleich der Eigenfrequenz, schaukelt sich die Schwingung immer weiter auf.



# DER KLASSEK LERNEN MIT KARTEIKARTEN

Eine effektive Technik, um den nötigen Merkstoff schnell und pointiert in den stressgeplagten Kopf zu bekommen, ist das **Lernen mit Karteikarten**.

Insbesondere für die Vorbereitung auf die mündliche Abi-Prüfung bzw. für Referate ist diese Methode geeignet, weil hierbei die wichtigsten Fakten und Zusammenhänge aufs Kürzeste verdichtet werden.

Eine Auswahl an relevanten Prüfungsthemen finden Sie auf den 20 Karteikarten in diesem Buch. Die jeweiligen Vorderseiten sind dabei von den Autoren des Buches konzipiert und die Rückseiten bewusst frei gelassen worden, damit Sie hier Ihre individuellen Notizen zum Thema aufschreiben können. Ob Sie die Rückseite nutzen, um dort eigene Geschichten, Eselsbrücken oder Abbildungen zu platzieren, bleibt Ihnen überlassen.

Die Karten im Buch sollen Ihnen als Impuls dienen, um sich gegebenenfalls selbst weitere Karteikarten nach eigenen Bedürfnissen zu erstellen. Hier gibt's die entsprechenden Vorlagen zum Ausdrucken: [www.duden.de/pocket-teacher-abi](http://www.duden.de/pocket-teacher-abi)

# Tipps zum Lernen mit Karteikarten

## **Strukturierung und Themenwahl**

- ♦ je nach Sachverhalt sind Karteikarten mit reinem Lernstoff ebenso denkbar wie solche mit Fragen und Abbildungen
- ♦ bei Fragen auf den Karten beschränken Sie sich auf maximal 5
- ♦ das Aufschreiben und Sortieren von Themen führt bereits zu einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Lernstoff

## **Individuelle Komponente**

- ♦ eigene Notizen und Eselsbrücken helfen oftmals, um sich Merkstoff einzuprägen

## **Systematisches Lernen**

- ♦ der Sinn des Lernens mit Karteikarten besteht darin, sich den komprimierten Lernstoff regelmäßig anzuschauen
- ♦ man sorgt dadurch für ein stetiges Auffrischen des Gelernten (bevor es aus dem Kurzzeitgedächtnis verschwindet)
- ♦ der Fokus liegt bei den Themen, die am meisten Schwierigkeiten bereiten

## **Training mit Methode**

- ♦ regelmäßiges Anschauen oder gegenseitiges Abfragen zu bestimmten Tageszeiten
- ♦ gelernte Karten durch ein Häkchen oder Kreuzchen markieren

## **Mobiles Lernen**

- ♦ das handliche Format des Buches und der Karteikarten sind ideal für unterwegs

# POCKET TEACHER PHYSIK

Abi

Dein Lernstoff für die gesamte  
Oberstufe – kurz und knackig:

- › Mechanik des Massenpunkts
- › Thermodynamik, mechanische Schwingungen und Wellen
- › Elektrizitätslehre, elektromagnetische Schwingungen und Wellen
- › Wellen- und Photonentheorie des Lichts
- › Atomphysik und Einblick in die Physik des 20. und 21. Jahrhunderts

Für den optimalen Endspurt vor Prüfungen und Klausuren.

**EXTRA** Mit Do-it-yourself-Lernkarten  
zum Herausnehmen

ISBN 978-3-411-87218-3  
8,99 € (D) · 9,30 € (A)

