



Physik

BOS Technik Bayern Jahrgangsstufe 12

VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL · Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG
Düsselberger Straße 23 · 42781 Haan-Gruiten

Europa-Nr.: 80215

Autoren des Buches „Physik - BOS Technik Bayern Jahrgangsstufe 12“

Patrick Drössler	Amberg
Harald Vogel	Inning a. Ammersee
Dr. Petra Weidenhammer	München

Lektorat: Josef Dillinger

Bildentwürfe: Die Autoren

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

1. Auflage 2020

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Behebung von Druckfehlern untereinander unverändert sind.

ISBN 978-3-7585-8021-5

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag schriftlich genehmigt werden.

© 2020 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern
Umschlagfotos: Tom Hegen, © Science RF-fotolia.com, (c) libor stock.adobe.com
Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09618 Brand-Erbisdorf
Druck: RCOM Print GmbH, 97222 Würzburg-Rimpf

Vorwort

Mit Beginn des Schuljahres 2017/18 trat an den beruflichen Oberschulen in Bayern der LehrplanPLUS in Kraft, zunächst an der Fachoberschule (FOS) in der 11. Jahrgangsstufe, ein Jahr später in der 12. Jahrgangsstufe und an der Berufsoberschule (BOS).

Im LehrplanPLUS sind 7 Lernbereiche (LB) aufgeführt, zur besseren Übersicht haben wir den Stoff auf 9 Kapitel aufgeteilt. In der Übersicht sind die einzelnen Kapitel und die im LehrplanPLUS dafür vorgesehene Stundenzahl aufgeführt:

		FOS 11	FOS 12	BOS 12
LB 1	1. Beschreibung von Bewegungen	20 Std.		18 Std.
LB 2	2. Dynamik, Newton'sche Gesetze	20 Std.		17 Std.
LB 3	3. Arbeit und Energie	16 Std.		14 Std.
	(Physikalisches Praktikum)	(28 Std.)		–
LB 4	4. Kreisbewegung		20 Std.	17 Std.
LB 5	5. Mechanische Schwingungen 6. Wellen		55 Std.	46 Std.
LB 6	7. Elektrisches Feld 8. Magnetfeld		40 Std.	34 Std.
LB 7	9. Elektromagnetische Induktion		25 Std.	22 Std.
	insgesamt	56 Std.	140 Std.	
			196 Std.	168 Std.

Es fällt auf, dass für den gesamten Stoff (ausgenommen das physikalische Praktikum) den Schülern der BOS 28 Stunden weniger Zeit zur Verfügung stehen. Das bedeutet, es wird eine höhere Leistung abverlangt.

Für die Fachoberschule (FOS) erschienen die Lehrbücher für die 11. und 12. Jahrgangsstufe. Dieses Buch für die 12. Jahrgangsstufe der BOS enthält die relevanten Kapitel aus den beiden anderen Büchern, eine der verkürzten Unterrichtszeit entsprechende Reduktion ist nicht sinnvoll, die muss jede Lehrkraft selbst vornehmen.

Arbeiten mit diesem Buch

Das Buch ist sowohl zum Selbststudium als auch zum Nachholen versäumten Unterrichts geeignet. Nutzen Sie die Anregungen zum eigenen Experimentieren – nur so wird die Physik lebendig!

Lehrkräften bieten wir geeignete Unterrichtseinstiege und die Möglichkeit zur Binnendifferenzierung – ein schneller Blick in den Lösungsteil am Ende des Buches, und Sie haben ein Gefühl für die Schwierigkeit der Aufgaben.

Experimente

Das der Physik eigene Wechselspiel von Theorie und Experiment machen wir deutlich, indem wir verschiedene Versuchsstrategien und moderne Messwerterfassungssysteme beschreiben. Dabei haben wir die unterschiedliche Ausstattung der Schulen berücksichtigt, indem wir alternative Experimente anbieten.

Lernen mit Aufgaben

Sie finden typische Fragestellungen und durchgerechnete Aufgabenbeispiele im Lehrtext. Diese können als Leitfaden beim Lösen der Aufgaben am Ende jedes Kapitels dienen. Die Ergebnisse finden Sie im Lösungsteil am Ende des Buches. Viele Aufgaben sind bewusst offen formuliert, um der Kompetenzorientierung des LehrplanPLUS besser Rechnung zu tragen.

Wir wünschen Ihnen viel Freude mit unserem Buch und interessieren uns für Ihre Meinung! Teilen Sie uns Verbesserungsvorschläge, Kritik – gerne auch Lob – mit:

lektorat@europa-lehrmittel.de

München, im Winter 2019/2020
Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

1	Beschreibung von Bewegungen	9
1.1	Grundlagen	9
1.1.1	Aufzeichnung von Bewegungen	9
1.1.2	Geschwindigkeit	10
1.1.3	Geschwindigkeitsänderung und Beschleunigung	14
1.1.4	Exkurs: SI-System	16
1.2	Lineare gleichförmige Bewegung	18
1.2.1	Diagramme der gleichförmigen Bewegung	18
1.2.2	Bewegungsgleichungen der gleichförmigen Bewegung	21
1.3	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	22
1.3.1	Von der Durchschnitts- zur Momentangeschwindigkeit	22
1.3.2	Diagramme der beschleunigten Bewegung	24
1.3.3	Bewegungsgleichungen der beschleunigten Bewegung	26
1.3.4	Linearisierung von Messreihen	29
1.4	Fall- und Wurfbewegungen	30
1.4.1	Freier Fall	30
1.4.2	Senkrechter Wurf	37
1.4.3	Waagrechtlicher Wurf	41
1.4.4	Schiefer Wurf	43
1.5	Aufgaben zur Beschreibung von Bewegungen	46
1.5.1	Aufgaben zum Kapitel Grundlagen	46
1.5.2	Aufgaben zur gleichförmigen Bewegung	48
1.5.3	Aufgaben zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung	49
1.5.4	Aufgaben zu Fall und Wurfbewegungen	51
2	Dynamik, Newton'sche Gesetze	56
2.1	Kräfte und ihre Wirkung	56
2.2	Newtons 1. Gesetz – Das Beharrungsprinzip	58
2.2.1	Trägheitssatz	58
2.2.2	Bezugssysteme	60
2.3	Newtons 2. Gesetz – Die Newton'sche Bewegungsgleichung	60
2.3.1	Grundgesetz der Mechanik	61
2.3.2	Experimenteller Nachweis	61
2.3.3	Folgerungen	64
2.4	Geschwindigkeitsänderung und Kraftstoß	65
2.5	Newtons 3. Gesetz – Das Wechselwirkungsprinzip	67
2.5.1	„actio gleich reactio“	68
2.5.2	Kraft und Gegenkraft	68
2.5.3	Gegenkraft und Kräftegleichgewicht	69
2.6	Arbeiten mit Kräften	70
2.6.1	Kraft als Vektor	70
2.6.2	Messung von Kräften	71
2.7	Anwendungen der Kraftgesetze	73
2.7.1	Gewichtskraft und Gravitation	73
2.7.2	Reibungskräfte	74
2.7.3	Elastische Unterlagenkraft	78
2.7.4	Die vier Grundkräfte und ihre Erscheinungsformen	78
2.7.5	Kräfte wirken zusammen: Kräftepläne	79
2.8	Impuls und Impulserhaltung	88
2.8.1	Der Impuls als vektorielle Bewegungsgröße	89

2.8.2	Der Impuls als Erhaltungsgröße	89
2.8.3	Stoßvorgänge	91
2.8.4	Raketenphysik	96
2.9	Aufgaben zur Dynamik und den Newton'schen Gesetzen	100
2.9.1	Aufgaben zu den Newton'schen Gesetzen	100
2.9.2	Aufgaben zu verschiedenen Kräften	102
2.9.3	Aufgaben zu den Anwendungen der Newton'schen Gesetze	103
2.9.4	Aufgaben zum Impuls und zur Impulserhaltung	106
3	Arbeit und Energie	108
3.1	Gesellschaftliche Bedeutung der Energie	108
3.2	Formen mechanischer Arbeit	109
3.2.1	Hubarbeit	109
3.2.2	Reibungsarbeit	110
3.2.3	Beschleunigungsarbeit	111
3.2.4	Spannarbeit	112
3.3	Allgemeine Definition der Arbeit	113
3.4	Mechanische Energie	114
3.5	Leistung und Wirkungsgrad	118
3.5.1	Leistung	118
3.5.2	Wirkungsgrad	121
3.6	Energie- und Impulserhaltungssatz	122
3.6.1	Die Stoßgesetze	122
3.6.2	Das ballistische Pendel	126
3.7	Aufgaben zu Kapitel 3	127
3.7.1	Aufgaben zu Arbeit und Energie	127
3.7.2	Aufgaben zu Energie- und Impulserhaltung	129
4	Kreisbewegung	131
4.1	Grundlagen der Kreisbewegung	131
4.2	Gesetzmäßigkeiten der Kreisbewegung	134
4.3	Kurvenfahrten	137
4.4	Kreisbewegung am Himmel, Gravitation	140
4.4.1	Die Geschichte der Bewegung von Himmelskörpern	140
4.4.2	Newton'sches Gravitationsgesetz	143
4.5	Aufgaben zur Kreisbewegung	145
4.5.1	Aufgaben zu den Grundlagen der Kreisbewegung	145
4.5.2	Aufgaben zu den Gesetzmäßigkeiten der Kreisbewegung	146
4.5.3	Aufgaben zu Kurvenfahrten	149
4.5.4	Aufgaben zur Kreisbewegung am Himmel	150
5	Mechanische Schwingungen	153
5.1	Beispiele und Beschreibung schwingungsfähiger Systeme	153
5.1.1	Rücktreibende Kräfte	153
5.1.2	Kenngrößen einer Schwingung	155
5.1.3	Äquivalenz zur Kreisbewegung	155
5.1.4	Die Bewegungsgleichung eines Oszillators	156
5.2	Harmonische Schwingungen	157
5.2.1	Lineares Kraftgesetz beim Feder-Schwere-Pendel	157
5.2.2	Die Differenzialgleichung der harmonischen Schwingung	158
5.2.3	Das Fadenpendel	160
5.2.4	Bewegungsgleichungen und Diagramme der harmonischen Schwingung	162
5.2.5	Energie der harmonischen Schwingung	163

5.2.6	Gedämpfte Schwingungen	165
5.2.7	Erzwungene Schwingungen und Resonanz	166
5.3	Aufgaben zu harmonischen Schwingungen	169
6	Mechanische Wellen.....	172
6.1	Erzeugung mechanischer Wellen.....	172
6.2	Beschreibung von Wellen	174
6.2.1	Grundgrößen	174
6.2.2	Zeigerkonzept	176
6.2.3	Die Wellengleichung für die lineare eindimensionale Transversalwelle	177
6.2.4	Energie mechanischer Wellen	180
6.3	Interferenz: Überlagerung von Wellen.....	181
6.3.1	Zwei lineare Wellen überlagern sich	181
6.3.2	Zwei Kreiswellen überlagern sich	182
6.4	Beugung.....	185
6.4.1	Elementarwellen und Superposition	185
6.4.2	Der Einfachspalt	186
6.4.3	Der Doppelspalt	186
6.5	Reflexion und stehende Wellen.....	188
6.5.1	Überlagerung von gegenläufigen Wellen	188
6.5.2	Stehende Wellen	190
6.5.3	Fortschreitende und „stehende Welle“	192
6.6	Aufgaben zu mechanischen Wellen	194
7	Elektrisches Feld.....	197
7.1	Grundbegriffe der Elektrostatik	197
7.2	Elektrische Stromstärke, Ladung und Spannung	203
7.3	Elektrische Feldlinien und Feldstärke.....	206
7.4	Grundgleichung des elektrischen Feldes	209
7.5	Coulomb'sches Kraftgesetz	212
7.6	Feldstärke des radialsymmetrischen Feldes	213
7.7	Elektrische Spannung und Potenzial	216
7.8	Kondensatoren	218
7.9	Aufgaben zum elektrischen Feld.....	230
7.9.1	Aufgaben zu den Grundbegriffen der Elektrostatik	230
7.9.2	Aufgaben zu elektrischer Stromstärke, Ladung und Spannung	230
7.9.3	Aufgaben zu elektrischen Feldlinien und Feldstärke	231
7.9.4	Aufgaben zum elektrischen Feld	232
7.9.5	Aufgaben zum Coulomb'schen Kraftgesetz	232
7.9.6	Aufgaben zur Feldstärke des radialsymmetrischen Feldes	233
7.9.7	Aufgaben zur elektrischen Spannung und Potenzial	234
7.9.8	Aufgaben zu Kondensatoren	235
8	Magnetfeld.....	239
8.1	Grundlagen: Permanentmagnetismus.....	239
8.2	Grundlagen: Elektromagnetismus	243
8.3	Lorentz-Kraft	245
8.4	Magnetische Flussdichte	247
8.5	Flussdichte von Spulen	250
8.6	Aufgaben zum magnetischen Feld.....	255
8.6.1	Aufgaben zum Permanentmagnetismus	255

8.6.2	Aufgaben zum Elektromagnetismus	255
8.6.3	Aufgaben zur Lorentz-Kraft	256
8.6.4	Aufgaben zur magnetischen Flussdichte	257
8.6.5	Aufgaben zur Flussdichte von Spulen	258
9	Elektromagnetische Induktion	260
9.1	Induktion und Lenz'sche Regel	260
9.2	Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz	263
9.2.1	Induktion im bewegten Leiter	264
9.2.2	Induktion im ruhenden Leiter	266
9.3	Selbstinduktion und magnetische Feldenergie	268
9.4	Wechselspannung.....	273
9.5	Aufgaben zur elektromagnetischen Induktion und Wechselspannung.....	277
9.5.1	Aufgaben zur Induktion und Lenz'schen Regel	277
9.5.2	Aufgaben zur Induktion im bewegten Leiter	278
9.5.3	Aufgaben zur Induktion im ruhenden Leiter	279
9.5.4	Aufgaben zur Selbstinduktion und magnetischen Feldenergie	279
9.5.5	Vermischte Aufgaben zu Kap. 9	280
	Lösungen	283
	Bildquellenverzeichnis.....	349
	Sachwortverzeichnis	352

1 Beschreibung von Bewegungen

1.1 Grundlagen

1.1.1 Aufzeichnung von Bewegungen

Satellitennavigation

Ob Sie als Radfahrer mit der Länge Ihrer zurückliegenden Radtour prahlen, im Auto den Satz „Sie haben Ihr Ziel erreicht“ hören oder als Jogger mit der App Ihre neue Laufstrecke ausmessen, die Prozedur ist immer die gleiche: Sie beginnen Ihre Bewegung im Punkt S (Start) und enden irgendwann im Punkt Z (Ziel).

Die bequemste Art, eine Bewegung aufzuzeichnen, nutzt das GPS (*Global Positioning System*¹⁾). Dabei wird mit Hilfe von mindestens vier Satelliten (drei für die Raumkoordinaten, einem für die Zeit) Ihr momentaner Standort ermittelt und die Route bis zum Ziel als Linie dargestellt (**Bild 1**).



Bild 1: GPS-Track auf dem Smartphone

Das GPS wäre nicht möglich gewesen ohne die Raumfahrt, diese wiederum nicht ohne die Physik – nur ein Beispiel von vielen, wie die Physik als „Wissenschaft von der Struktur und der Bewegung der unbelebten Materie“ (so die Definition im Duden) unseren Alltag beeinflusst.

Stroboskopaufnahmen

Schnelle Vorgänge werden einprägsam als Stroboskopbild (**Bild 2**) dargestellt. Dabei beleuchten spezielle Blitzlampen mit fester Frequenz das sich bewegende Objekt in einem abgedunkelten Raum. Die Folge der Einzelbilder vermittelt den Eindruck von Bewegung.



Bild 2: Stroboskopbild eines Turners am Hochreck

Videoanalyse

Spätestens bei der nächsten Fußballweltmeisterschaft rückt die Videoanalyse wieder ins öffentliche Bewusstsein, wenn Sportkommentatoren die Laufwege der Nationalspieler als gezackte Linien auf dem Spielfeld zeigen. Mit spezieller Software können die Positionsdaten einer Videosequenz ausgelesen werden. Dabei werden die Pixel auf dem Bildschirm in wahre Längen umgerechnet, wenn der Software die wahre Länge einer Referenzstrecke (z. B. bekannte Körpergröße, Breite eines Fensters, realer Maßstab) mitgeteilt wird (**Bild 3**).

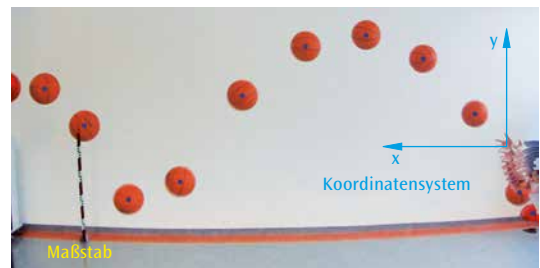


Bild 3: Videoanalyse am Beispiel eines geworfenen Basketballs (aufgenommen mit 6 fps)

Die Bildrate

Ein geflügeltes Wort bei der Videoanalyse ist die Bildrate (engl. *frame rate*). Darunter versteht man den zeitlichen Abstand zweier Einzelbilder einer Videosequenz.

Das menschliche Gehirn ist in der Lage, etwa 20 Bilder pro Sekunde noch als Einzelbilder getrennt wahrzunehmen. Filme werden daher (je nach Format) mit 25 fps oder 30 fps (*frames per second*; zu deutsch: Bilder pro Sekunde, BPS) aufgenommen und abgespielt.



Bild 4: Hochgeschwindigkeitsaufnahme beim Crashtest

¹⁾ Das russische Pendant zum US-amerikanischen GPS nennt sich GLONASS, das System Galileo der Europäischen Union befindet sich derzeit noch im Aufbau.

Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

Bei der Analyse von Crashtests (**Bild 4**, vorherige Seite) werden Kameras mit extrem kurzer Belichtungszeit eingesetzt, um Hochgeschwindigkeitsaufnahmen mit bis zu 25 Millionen Bildern pro Sekunde zu machen. Derartige Kameras kommen auch bei der Fehlersuche in schnell ablaufenden Fertigungsprozessen (z. B. in der Verpackungsindustrie) zum Einsatz.

1.1.2 Geschwindigkeit

Geschwindigkeitsvektor

Bild 1 zeigt das Stroboskopbild eines schwingenden Pendels. In der Nähe der Umkehrpunkte ist das Pendel am langsamsten, in der Nähe des Nulldurchgangs am schnellsten.

Mit *Geschwindigkeit* ist in der Physik nicht nur das *Tempo* gemeint (gemessen in Kilometer pro Stunde oder Meter pro Sekunde), sondern auch die momentane Bewegungsrichtung (**Bild 1**). Formelzeichen für die Geschwindigkeit ist der Buchstabe \vec{v} (lat. *velocitas* oder engl. *velocity*). Der Pfeil über dem Formelzeichen weist auf den Richtungscharakter der Geschwindigkeit hin. In der Mathematik nennt man gerichtete Größen Vektoren. Auch die Kraft \vec{F} ist ein Vektor. Mit Kräften befasst sich Abschnitt 2.1.

Rückwärtsinterpolation

Geschwindigkeit bedeutet Ortsänderung pro Zeiteinheit. Bei konstanter Bildrate der Stroboskopaufnahme verfährt man nach einer Zwei-Punkt-Methode (**Bild 2**):

Zwei Punkte A und B der Bahnkurve werden geradlinig verbunden (Ortsänderung; grüne Linie). Diese Verbindungslinie wird über den Punkt B hinaus verschoben, und man erhält die Geschwindigkeit \vec{v}_B (roter Pfeil) im Punkt B der Bahn.

Zur Konstruktion von \vec{v}_A , muss der Bahnpunkt *vor* A bekannt sein. Man spricht daher von *Rückwärtsinterpolation*.

Vorwärtsinterpolation

Die *Vorwärtsinterpolation* (**Bild 3**) ist zwar intuitiver, jedoch muss bei Konstruktion von \vec{v}_A der auf A folgende Bahnpunkt bekannt sein. Vorwärtsinterpolation ist also nur möglich, wenn die Bahnkurve bereits bekannt ist – ein Nachteil, wenn Bahnkurven wie im Fall von Kurskorrekturen in der Raumfahrt aus zeitlich zurückliegenden Informationen berechnet werden müssen.

Man kann sich leicht klarmachen, dass es keinen Unterschied zwischen Vorwärts- und Rückwärtsinterpolation mehr gibt, wenn die einzelnen Punkte der Bahnkurve sehr dicht beieinander liegen.

Tempomessung mit Stroboskopaufnahme

Die Länge der Geschwindigkeitspfeile ist ein Maß für das Tempo in den entsprechenden Punkten. Will man einen Wert angeben, dann muss die Bildrate bekannt sein.

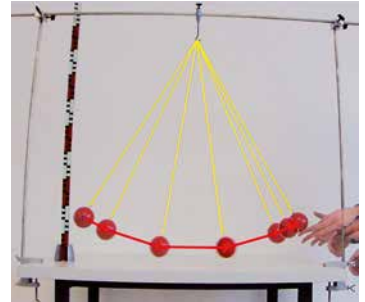


Bild 1: Geschwindigkeitsvektoren stellen Ortsänderungen dar

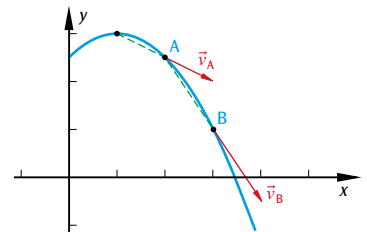


Bild 2: Konstruktion von \vec{v} durch Rückwärtsinterpolation

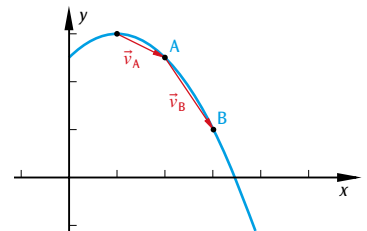


Bild 3: Intuitive Konstruktion von \vec{v} durch Vorwärtsinterpolation

Beispiel (Tempobestimmung):

Bei einer Bildrate von 25 fps beträgt der zeitliche Abstand zweier Einzelbilder $\Delta t = \frac{1}{25} \text{ s} = 0,040 \text{ s} = 40 \text{ ms}$ (Millisekunden), also entspricht einem Meter im Bild ein Tempo von

$$v = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{1 \text{ m}}{0,040 \text{ s}} = 25 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Bei der Angabe des Tempos lässt man den Pfeil über dem Formelzeichen \vec{v} weg und spricht vom Betrag $v = |\vec{v}|$ der Geschwindigkeit.