



Technische Physik

Berufskolleg

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

Europa-Nr.: 80611

Autoren des Buches „Technische Physik - Berufskolleg“

Drössler, Patrick

Schuster, Katharina

Vogel, Harald

Dr. Weidenhammer, Petra

Lektorat: Dillinger, Josef

Bildentwürfe: Die Autoren

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

1. Auflage 2022

Druck 5 4 3 2 1

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-7585-8061-1

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

© 2022 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09212 Limbach-Oberfrohna

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, Radevormwald

Umschlagfotos: © Revilo – stock.adobe.com und © Llepod – iStock

Druck: Plump Druck und Medien GmbH, 53619 Rheinbreitbach

Vorwort

Dieses Buch ist auf den Lehrplan des einjährigen Berufskollegs zum Erwerb der Fachhochschulreife (gewerbliche Richtung) von 2009 im Fach Technische Physik abgestimmt. Am Ende des Schuljahres absolvieren die SchülerInnen eine Abschlussprüfung. Die Prüfungsrelevanten Themen sind mit * gekennzeichnet.

BKFH		
HOT	Handlungsorientierte Themenbearbeitung	10 Std.
LPE 1*	Grundlagen der Mechanik (Kapitel 1, 2 und 3)	44 Std.
LPE 2*	Kreisbewegung (Kapitel 4)	10 Std.
LPE 3*	Impuls und Stoßprozesse (Kapitel 3)	10 Std.
LPE 4*	Elektrische und magnetische Felder (Kapitel 6, 7 und 8)	36 Std.
LPE 5*	Bewegung geladener Teilchen in magnetischen und elektrischen Feldern (Kapitel 7 und 8)	16 Std.
LPE 6*	Elektromagnetische Induktion (Kapitel 9)	18 Std.
LPE 7*	Mechanische Schwingungen (Kapitel 5)	10 Std.
LPE 8	Wahlthemen	56 Std.

Im Technischen Berufskolleg II schreiben die SchülerInnen dieselbe Prüfung in Technischer Physik, weshalb dieses Buch sich auch in dieser Schulart besonders gut eignet. Obwohl das Technische Berufskolleg II unabhängig vom ersten Jahr ist (Technisches Berufskolleg I), beziehen sich die Prüfungsinhalte auch auf den Lehrplan vom Technischen Berufskolleg I.

BK1T		
LPE 1	Technische Systeme	20 Std.
LPE 2*	Entwicklung und Behandlung physikalischer Modelle in der Mechanik	50 Std.
LPE 3*	Entwicklung und Behandlung physikalischer Modelle in der Elektrizitätslehre	20 Std.
LPE 4	Laborübungen	80 Std.

BK2T		
LPE 1*	Kreisbewegung	15 Std.
LPE 2*	Impuls und Stoßprozesse	15 Std.
LPE 3*	Elektrische und magnetische Felder	42 Std.
LPE 4*	Bewegung von Körpern in homogenen Kraftfeldern	25 Std.
LPE 5*	Elektromagnetische Induktion	25 Std.
LPE 6*	Mechanische Schwingungen	18 Std.
LPE 7	Wahlthemen	40 Std.

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.

Hervorhebungen

Formeln und wichtige Zusammenhänge im roten Rechteck

Beispiele und Beispielrechnungen im gelben Rechteck

Zusatzinformationen (nicht prüfungsrelevant) im grünen Rechteck

Simulationen

Um die Forderungen des **Handlungsorientierten Unterrichts (HOT)** zu erfüllen, sind u. a. **Interaktive Simulationen** zu finden, so dass sich die Lernkonzeption in Verbindung mit digitalen Medien im Unterricht umsetzen lässt. Die digitalen Inhalte sind auch zur Darstellung auf kleinen Displays (Smartphone, Tablet) geeignet.

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.

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.

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

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	Waagrechter 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	Träge und schwere Masse	65
2.4	Geschwindigkeitsänderung und Kraftstoß.....	66
2.5	Newtons 3. Gesetz – Das Wechselwirkungsprinzip.....	68
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	Elastische Unterlagenkraft	74
2.7.3	Reibungskräfte	75
2.7.4	Die vier Grundkräfte und ihre Erscheinungsformen	79
2.7.5	Kräfte wirken zusammen: Kräftepläne	80
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	164
5.3	Aufgaben zu harmonischen Schwingungen	166

6	Elektrizitätslehre	169
6.1	Grundlagen.....	169
6.1.1	Ladung und Stromstärke	169
6.1.2	Elektrische Spannung	171
6.1.3	Stromkreis	171
6.2	Messung von Spannung und Stromstärke	172
6.3	Wirkungen des elektrischen Stroms.....	173
6.4	Elektrischer Widerstand	173
6.4.1	Widerstand und Leitwert	173
6.4.2	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands	174
6.4.3	Ohmsches Gesetz	174
6.4.4	Leiterwiderstand	175
6.5	Grundsaltungen	177
6.5.1	Reihenschaltung	177
6.5.2	Parallelschaltung	179
6.5.3	Gemischte Schaltungen	181
6.6	Elektrische Arbeit und Leistung	182
6.6.1	Elektrische Arbeit	182
6.6.2	Elektrische Leistung	183
6.6.3	Wirkungsgrad	184
6.7	Aufgaben zur Elektrizitätslehre	186
6.7.1	Aufgaben zu elektrischer Stromstärke, Ladung und Spannung	186
6.7.2	Aufgaben zu Widerstand und Ohm'schen Gesetz	187
6.7.3	Aufgaben zu Grundsaltungen und gemischten Schaltungen	188
6.7.4	Aufgaben zu elektrischer Arbeit, Leistung und Wirkungsgrad	190
7	Elektrisches Feld.....	191
7.1	Grundbegriffe der Elektrostatik	191
7.2	Elektrische Feldlinien	198
7.3	Elektrische Feldstärke.....	199
7.4	Grundgleichung der Elektrostatik	201
7.5	Coulomb'sches Kraftgesetz	204
7.6	Feldstärke des radialsymmetrischen Feldes	205
7.7	Elektrische Spannung und Potenzial	208
7.8	Kondensatoren	210
7.8.1	Kapazität als Ladungsspeicherfähigkeit	210
7.8.2	Kapazität eines Plattenkondensators	211
7.8.3	Bauformen von Kondensatoren	214
7.8.4	Energie eines geladenen Kondensators	216
7.8.5	Energie des elektrischen Feldes	218
7.8.6	Kondensatorschaltungen	218
7.9	Teilchenbewegung im elektrischen Feld	220
7.9.1	Erzeugung freier Elektronen	220
7.9.2	Geladene Teilchen im elektrischen Längsfeld	221
7.9.3	Geladene Teilchen im elektrischen Quersfeld	222
7.9.4	Anwendungen	224
7.10	Aufgaben zum elektrischen Feld.....	228
7.10.1	Aufgaben zu den Grundbegriffen der Elektrostatik	228
7.10.2	Aufgaben zu elektrischen Feldlinien und Feldstärke	228
7.10.3	Aufgaben zum elektrischen Feld	229
7.10.4	Aufgaben zum Coulomb'schen Kraftgesetz	230

7.10.5	Aufgaben zur Feldstärke des radialsymmetrischen Feldes	231
7.10.6	Aufgaben zur elektrischen Spannung und Potenzial	232
7.10.7	Aufgaben zu Kondensatoren	233
7.10.8	Aufgaben zu Teilchenbewegung im elektrischen Feld	236
8	Magnetfeld.....	239
8.1	Grundlagen: Permanentmagnetismus.....	239
8.2	Magnetische Feldlinien.....	243
8.3	Grundlagen: Elektromagnetismus	243
8.4	Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter	245
8.5	Magnetische Flussdichte	247
8.6	Flussdichte von Spulen	250
8.7	Teilchenbewegung im Magnetfeld.....	254
8.7.1	Lorentz-Kraft	254
8.7.2	Teilchenbahn im Magnetfeld	255
8.7.3	Fadenstrahlrohr	256
8.7.4	Geschwindigkeitsfilter	257
8.7.5	Massenspektrometer	257
8.8	Aufgaben zum magnetischen Feld.....	258
8.8.1	Aufgaben zum Permanentmagnetismus	258
8.8.2	Aufgaben zum Elektromagnetismus	258
8.8.3	Aufgaben zur Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter	259
8.8.4	Aufgaben zur magnetischen Flussdichte	260
8.8.5	Aufgaben zur Flussdichte von Spulen	261
8.8.6	Aufgaben zu Teilchenbewegung im Magnetfeld	262
9	Elektromagnetische Induktion	264
9.1	Induktion und Lenz'sche Regel	264
9.2	Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz	267
9.2.1	Induktion im bewegten Leiter	268
9.2.2	Induktion im ruhenden Leiter	270
9.3	Selbstinduktion und magnetische Feldenergie	272
9.4	Wechselspannung.....	277
9.5	Aufgaben zur elektromagnetischen Induktion und Wechselspannung.....	281
9.5.1	Aufgaben zur Induktion und Lenz'schen Regel	281
9.5.2	Aufgaben zur Induktion im bewegten Leiter	282
9.5.3	Aufgaben zur Induktion im ruhenden Leiter	283
9.5.4	Aufgaben zur Selbstinduktion und magnetischen Feldenergie	283
9.5.5	Vermischte Aufgaben zu Kap. 9	284
10	Prüfungsaufgaben.....	287
10.1	Prüfung A	287
10.2	Prüfung B.....	291
	Lösungen	297
	Bildquellenverzeichnis.....	380
	Sachwortverzeichnis	382

1 Beschreibung von Bewegungen

1.1 Grundlagen

1.1.1 Aufzeichnung von Bewegungen

Satellitenavigation

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**).

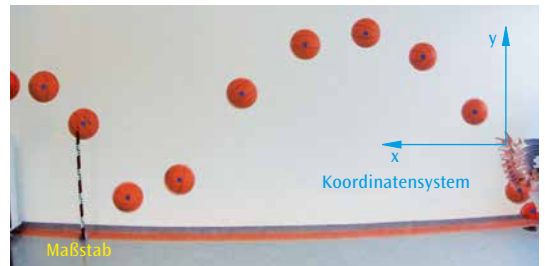


Bild 3: Videoanalyse am Beispiel eines geworfenen Basketballs (aufgenommen mit 6 fps)

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.

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

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

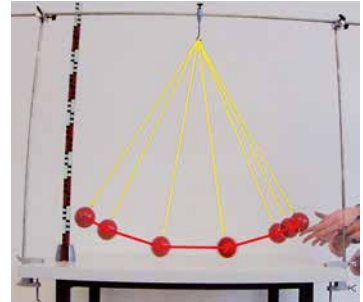


Bild 1: Geschwindigkeitsvektoren stellen Ortsänderungen dar

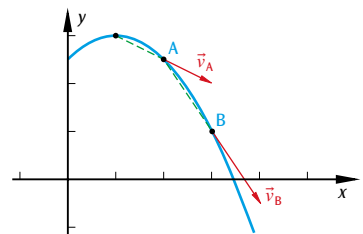


Bild 2: Konstruktion von $\vec{v}$ durch Rückwärtsinterpolation

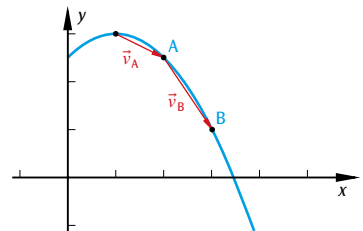


Bild 3: Intuitive Konstruktion von $\vec{v}$ durch Vorwärtsinterpolation

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