



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-Rimpach

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 (Physikalisches Praktikum) | 16 Std. (28 Std.) | | 14 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 Messwertaufzeichnungssysteme 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

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 | Newton's 1. Gesetz – Das Beharrungsprinzip..... | 58 |
| 2.2.1 | Trägheitssatz | 58 |
| 2.2.2 | Bezugssysteme | 60 |
| 2.3 | Newton's 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 | Newton's 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).



Bild 1: GPS-Track auf dem Smartphone

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**).

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**).

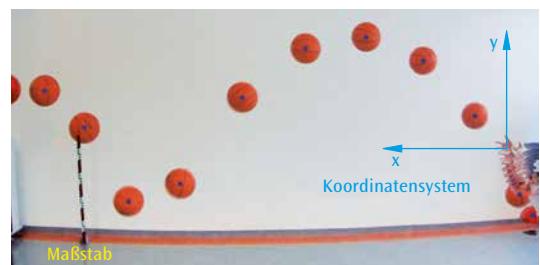


Bild 3: Videoanalyse am Beispiel eines geworfenen Basketballs (aufgenommen mit 6 fps)

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.

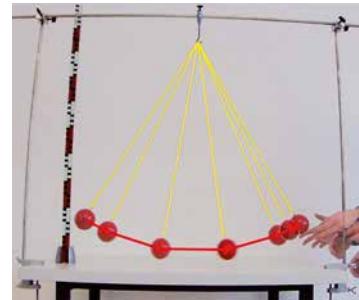


Bild 1: Geschwindigkeitsvektoren stellen Ortsänderungen dar

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**.

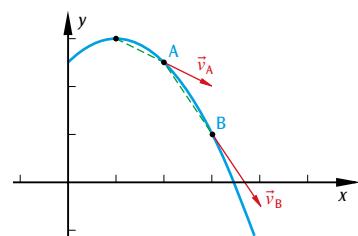


Bild 2: Konstruktion von \vec{v} durch Rückwärtsinterpolation

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.

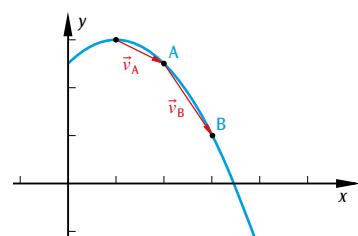


Bild 3: Intuitive Konstruktion von \vec{v} durch Vorwärtsinterpolation

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

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

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