



Physik

FOS Technik Bayern Jahrgangsstufe 11

Mit Physikalischem Praktikum

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

Europa-Nr.: 87591

Autoren des Buches „Physik - FOS Technik Bayern Jahrgangsstufe 11“

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 2017, korrigierter Nachdruck 2021

Druck 5 4 3

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

ISBN 978-3-8085-8759-1

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

© 2017 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Umschlaggestaltung: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald
Umschlagfotos: Tom Hegen, © Science RF-fotolia.com, und Autorenfoto
Satz: Satzherstellung Dr. Naake, 09618 Brand-Erbisdorf
Druck: RCOM Print GmbH, 97222 Würzburg-Rimpar

Vorwort

Mit Beginn des Schuljahres 2017/18 tritt an den beruflichen Oberschulen in Bayern der LehrplanPLUS in Kraft. Mit diesem Buch decken wir inhaltlich für das Fach Physik in der Ausbildungsrichtung Technik die vier Lernbereiche (LB) der 11. Jahrgangsstufe der Fachoberschule (FOS) und damit gleichzeitig einen Teil der 12. Jahrgangsstufe der Berufsoberschule (BOS) ab:

- **Kinematik** (LB 1): Kapitel 1 bis 4
- **Newton'sche Dynamik und Impuls** (LB 2): Kapitel 5 bis 7
- **Arbeit und Energie** (LB 3): Kapitel 8 und 9
- **Physikalisches Praktikum** (LB 4, nur für die Jahrgangsstufe 11 der FOS)

Insbesondere in den beiden ersten Kapiteln finden sich zahlreiche Möglichkeiten, Vorwissen zu aktivieren und Lücken aus der Mittelstufe zu schließen.

Arbeiten mit diesem Buch

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

Den Kollegen 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. Dies gilt für alle Kapitel, insbesondere für das physikalische Praktikum.

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 August 2017
Die Autoren

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen.....	7
1.1	Aufzeichnung von Bewegungen.....	7
1.2	Geschwindigkeit.....	8
1.3	Geschwindigkeitsänderung und Beschleunigung.....	12
1.4	Exkurs: SI-System	14
1.5	Aufgaben zum Kapitel Grundlagen	16
1.5.1	Aufgaben zum Umrechnen von Einheiten	16
1.5.2	Aufgaben zum Auflösen von Formeln	16
1.5.3	Aufgaben zu Geschwindigkeit und Beschleunigung	16
2	Lineare gleichförmige Bewegung	19
2.1	Diagramme der gleichförmigen Bewegung	19
2.2	Bewegungsgleichungen der gleichförmigen Bewegung.....	22
2.3	Aufgaben zur gleichförmigen Bewegung	24
3	Gleichförmig beschleunigte Bewegung	25
3.1	Von der Durchschnitts- zur Momentangeschwindigkeit.....	25
3.2	Diagramme der beschleunigten Bewegung.....	27
3.3	Bewegungsgleichungen der beschleunigten Bewegung	29
3.4	Linearisierung von Messreihen	32
3.5	Aufgaben zur gleichförmig beschleunigten Bewegung	34
3.5.1	Aufgaben mit Schwerpunkt auf Diagrammen	34
3.5.2	Einhol- und Begegnungsaufgaben	35
3.5.3	Aufgaben zur Linearisierung	35
4	Fall- und Wurfbewegungen.....	36
4.1	Der freie Fall	36
4.2	Messung der Fallbeschleunigung.....	38
4.3	Die Fallgesetze	39
4.4	Aufgaben zum freien Fall.....	43
4.5	Der senkrechte Wurf	45
4.6	Aufgaben zum senkrechten Wurf.....	50
4.7	Der waagrechte Wurf	51
4.8	Aufgaben zum waagrechten Wurf.....	54
4.9	Der schiefe Wurf	55
4.10	Aufgaben zum schießen Wurf.....	58
5	Die Kraftgesetze von Newton.....	59
5.1	Kräfte und ihre Wirkung	59
5.1.1	Kräfte und ihre Wirkung im Sport	59
5.1.2	Experimentieren Sie selbst	60
5.2	Newton's 1. Gesetz – Das Beharrungsprinzip.....	61
5.2.1	Formulierung	61
5.2.2	Beispiele	62
5.2.3	Bezugssysteme	63
5.3	Newton's 2. Gesetz – Die Newton'sche Bewegungsgleichung	63
5.3.1	Formulierung	64
5.3.2	Experimenteller Nachweis	64
5.3.3	Folgerungen	67
5.4	Geschwindigkeitsänderung und Kraftstoß	68
5.5	Newton's 3. Gesetz – Das Wechselwirkungsprinzip	70
5.5.1	Formulierung	71
5.5.2	Kraft und Gegenkraft	71
5.5.3	Gegenkraft und Kräftegleichgewicht	72
5.6	Die Kraft als Vektor	73
5.7	Messung von Kräften	74
5.8	Aufgaben zu Kapitel 5.....	77

6	Anwendungen der Kraftgesetze	79
6.1	Die Natur der Kräfte	79
6.1.1	Gewichtskraft und Gravitation	79
6.1.2	Reibungskräfte	79
6.1.3	Elastische Unterlagenkraft	83
6.1.4	Die vier Grundkräfte und ihre Erscheinungsformen	84
6.1.5	Aufgaben zu verschiedenen Kräften	85
6.2	Kräfte wirken zusammen: Kräftepläne	87
6.2.1	Aufzug	87
6.2.2	Atwood'sche Fallmaschine	89
6.2.3	Auf der geneigten Ebene	91
6.2.4	Aufgaben zu Kräfteplänen	96
7	Impuls und Impulserhaltung	99
7.1	Der Impuls als vektorielle Bewegungsgröße	99
7.2	Der Impuls als Erhaltungsgröße	100
7.3	Stoßvorgänge	102
7.4	Raketenphysik	107
7.5	Aufgaben	111
8	Arbeit und Energie	113
8.1	Gesellschaftliche Bedeutung der Energie	113
8.2	Formen mechanischer Arbeit	114
8.2.1	Hubarbeit	114
8.2.2	Reibungsarbeit	115
8.2.3	Beschleunigungsarbeit	116
8.2.4	Spannarbeit	117
8.3	Allgemeine Definition der Arbeit	118
8.4	Mechanische Energie	119
8.5	Leistung	123
8.6	Wirkungsgrad	125
8.7	Aufgaben zu Kapitel 8	127
9	Energie- und Impulserhaltungssatz	129
9.1	Die Stoßgesetze	129
9.2	Das ballistische Pendel	133
9.3	Aufgaben zu Kapitel 9	134
Lösungen		136
Physikalisches Praktikum		167
Bildquellenverzeichnis		221
Sachwortverzeichnis		222

1 Grundlagen

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).

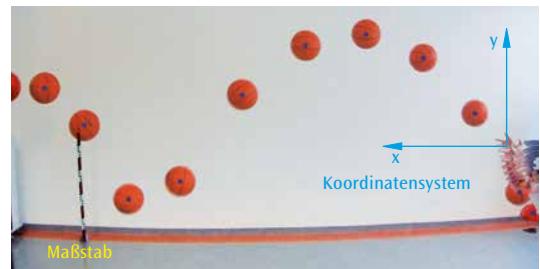


Bild 3: Videoanalyse am Beispiel eines geworfenen Basketballs (aufgenommen mit 6 fps)

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

Bei der Analyse von Crashtests (Bild 4) werden Kameras mit extrem kurzer Belichtungszeit eingesetzt, um Hochgeschwindigkeitsaufnahmen mit bis zu

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

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.

1.2 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 Kapitel 5.

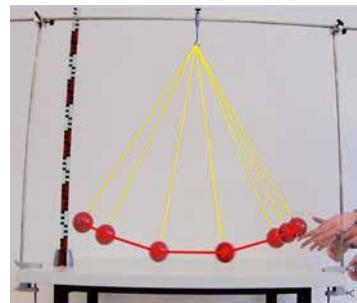


Bild 1: Geschwindigkeitsvektoren stellen Ortsänderungen dar

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 Verbindungsstrecke 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*.

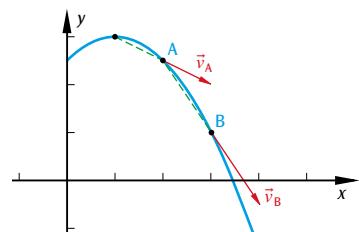


Bild 2: Konstruktion von \vec{v} durch Rückwärtsinterpolation

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.

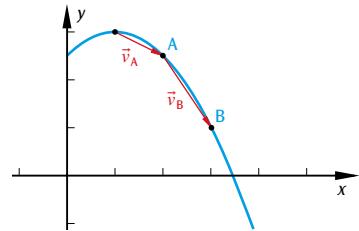


Bild 3: Intuitive Konstruktion von \vec{v} durch Vorwärtsinterpolation

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.

Tempomessung ohne Stroboskopaufnahme

Auch ohne Stroboskopaufnahme lässt sich das Tempo v bestimmen. Hierfür steckt man mit dem Maßstab einfach eine bestimmte Strecke Δs ab und misst die Zeitspanne Δt , die zum Zurücklegen dieser Strecke benötigt wird.

Beispiel (Tempobestimmung):

Legt ein 100-Meter-Läufer einen 10-Meter-Abschnitt in 3,45 s zurück, dann beträgt sein Tempo auf diesem Abschnitt

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10 \text{ m}}{3,45 \text{ s}} = 2,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Merke: Die Geschwindigkeit \vec{v} ist ein Vektor, der in Richtung der Tangente an die Bahnkurve der Bewegung zeigt.

Bei geradliniger Bewegung gilt $v = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Es ist klar, dass die Beziehung $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ nur einen *durchschnittlichen* Geschwindigkeitswert liefert. Dieser nähert sich umso genauer dem *momentanen* Wert an, je kürzer das gemessene Zeitintervall Δt ist. In Abschnitt 3.1 gehen wir näher darauf ein.

Typische Geschwindigkeiten

Tabelle 1 zeigt einige typische Geschwindigkeiten. Dabei stellt die Lichtgeschwindigkeit c im Vakuum die obere Grenze dar. Dies ist eine der Aussagen der Relativitätstheorie Albert Einsteins. Der seltsam anmutende Wert resultiert aus der Tatsache, dass die Lichtgeschwindigkeit lange als *Messwert* galt. Mit der Konstruktion immer genauerer Uhren war man irgendwann in der Lage Zeiten genauer zu messen als Längen, und definiert seit 1983 die Einheit Meter aus dem bis dato genauesten Messwert für die Lichtgeschwindigkeit. Weitere Informationen zum Thema Einheiten finden Sie in Abschnitt 1.4.

Wie tückisch der Begriff der *Durchschnittsgeschwindigkeit* ist, zeigt folgendes

Tabelle 1: Einige typische Geschwindigkeiten

Fingernagel	0,2 bis 0,5 mm/Woche
Weinbergschnecke	ca. 3 $\frac{\text{m}}{\text{h}}$
Fußgänger	ca. 5 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Weltklasse sprinter	bis 12 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Gepard	bis 110 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Richtgeschwindigkeit auf deutschen Autobahnen	130 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
ICE 3 der deutschen Bahn	bis 300 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Wanderfalke im Sturzflug	320 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Verkehrsflugzeug	860 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$
Schall in Luft (Mach 1)	ca. 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Gewehrkugel	800 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Schall in Wasser	1500 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
Licht im Vakuum	299 792 458 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Aufgabenbeispiel (Durchschnittsgeschwindigkeit)

Frau Müller fährt die erste Hälfte einer 600 km langen Strecke mit $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$, die zweite Hälfte mit $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Wie groß ist ihre Durchschnittsgeschwindigkeit?

Lösung:

Für die erste Hälfte ($600 \text{ km} : 2 = 300 \text{ km}$) der Strecke benötigt Frau Müller mit $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ genau 3 h, für die zweite Hälfte nur 2 h.

Insgesamt benötigt sie also 5 h für die 600 km lange Strecke, ihre Durchschnittsgeschwindigkeit beträgt demnach $v = \frac{600 \text{ km}}{5 \text{ h}} = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Dies ist *nicht* das arithmetische Mittel $(100 + 150) : 2 = 125$, weil Frau Müller für die erste Hälfte der Strecke sehr viel länger braucht als für die zweite.

Selbst wenn Frau Müller auf der zweiten Streckenhälfte mit $200 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ unterwegs wäre, würde ihre Durchschnittsgeschwindigkeit nur auf $v = \frac{600 \text{ km}}{3 \text{ h} + 1,5 \text{ h}} = 133 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ steigen – und nicht auf das arithmetische Mittel $(150 \frac{\text{km}}{\text{h}})$.

Umrechnen von Einheiten

Im Straßenverkehr ist die Angabe Kilometer pro Stunde (km/h) üblich, bei vielen anderen Bewegungsvorgängen sind Meter pro Sekunde (m/s) die günstigere Einheit. Wie wird umgerechnet?

Beispiel (Einheitenumrechnung)

Umrechnung von $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ (Richtwert auf deutschen Autobahnen) in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Lösung (ausführlich):

$$\begin{aligned} 130 \frac{\text{km}}{\text{h}} &= 130 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 130 \cdot \frac{1}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ &= \frac{130}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 36,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}. \end{aligned}$$

Eine Kurzfassung dieser sehr wichtigen Umrechnung steht im Kasten rechts.
Bitte gut einprägen!

Regel: $\frac{\text{km}}{\text{h}} \xrightarrow[\cdot 3,6]{: 3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Beispiele:

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{72}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$30 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 30 \cdot 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 108 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Aufgabenbeispiel (Tachometeruhr)

Auf dem äußersten Rand der abgebildeten Armbanduhr (**Bild 1**) befindet sich eine Tachometer-Skala. Wie funktioniert dieser Tacho?

Lösung:

Beim Starten der Uhr läuft der große rote Zeiger. Man stoppt damit die Zeit, die man zum Zurücklegen der festen Strecke 1 km = 1000 m benötigt.

Wenn der Zeiger z. B. bei 30 s stehen bleibt, beträgt die Geschwindigkeit

$$v = \frac{1 \text{ km}}{30 \text{ s}} = \frac{1 \text{ km}}{\frac{1}{2} \text{ min}} = 2 \frac{\text{km}}{\text{min}} = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Dieser Wert ist identisch mit dem Aufdruck auf „6 Uhr“. Bei halber Zeit („3 Uhr“) wäre die Geschwindigkeit doppelt so groß ($240 \frac{\text{km}}{\text{h}}$), bei doppelter Zeit („12 Uhr“) halb so groß ($60 \frac{\text{km}}{\text{h}}$).



Bild 1: Armbanduhr mit Tachometer-Skala (goldene Skala am Außenrand)

Aufgabenbeispiel (Zeitersparnis)

Zwei Familien fahren mit ihren Autos in den Urlaub. Auf der Autobahn sind sie mit durchschnittlich $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ bzw. $150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ unterwegs. Wie lang ist die Strecke, wenn die schnellere Familie 5 min früher am Ziel ankommt?

Lösung:

Beide Familien fahren dieselbe Strecke s , aber mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten $v_1 = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und $v_2 = 150 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Dafür benötigen sie die Zeiten $t_1 = \frac{s}{v_1}$ und $t_2 = \frac{s}{v_2}$. Für die Zeitersparnis $t_1 - t_2$ muss gelten:

$$t_1 - t_2 = 5 \text{ min} \Leftrightarrow \frac{s}{v_1} - \frac{s}{v_2} = 5 \text{ min} \Leftrightarrow s \cdot \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) = 5 \text{ min}$$

$$\Rightarrow s = \frac{5 \text{ min}}{\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2}} = \frac{(1/12) \text{ h}}{\frac{1}{120} \frac{\text{h}}{\text{km}} - \frac{1}{150} \frac{\text{h}}{\text{km}}} = 50 \text{ km}.$$

Genauigkeit physikalischer Größen

Das Alter unserer Erde (**Bild 1**, folgende Seite) wird auf 4,55 Milliarden Jahre geschätzt (ausgeschrieben: 4 550 000 000 Jahre). Niemand wird auf die Idee kommen, nächstes Jahr das Erdalter mit 4 550 000 001 Jahren anzugeben. Warum?