



EUROPA-FACHBUCHREIHE  
für FOS/BOS Bayern

# **Naturwissenschaften**

## **FOS/BOS Bayern**

**Wirtschaft und Verwaltung**

**Internationale Wirtschaft**

**Gestaltung**

**Jahrgangsstufe 12**

**1. Auflage**

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

**Europa-Nr.: 15549**

**Autoren des Buches Naturwissenschaften FOS/BOS Bayern, Jahrgangsstufe 12**

Dillinger, Josef	Hausen
Hensel, Thomas	München
Koch, Matthias	München
Schittenhelm, Michael	Hof
Sickenberger, Erich	Grafrath
Werner, Heinz	Bad Alexandersbad
Werner, Thomas	Bad Alexandersbad
Wirth, Hubert	Buchdorf

**Lektor**

Dillinger, Josef

**Bildbearbeitung**

Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, 73760 Ostfildern  
Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

1. Auflage 2018, zweiter korrigierter Nachdruck 2019

Druck 5 4 (keine Änderungen seit der 3. Druckquote)

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

ISBN 978-3-8085-1554-9

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

© 2018 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten  
<http://www.europa-lehrmittel.de>

Satz und Layout: Grafische Produktionen Jürgen Neumann, 97222 Rimpar

Umschlag: braunwerbeagentur, 42477 Radevormwald

Umschlagfoto: © Bildgigant – stock.adobe.com

Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

## Vorwort

Dieses Lehrbuch setzt das Kompetenzstrukturmodell des ab Schuljahr 2018/19 geltenden Lehrplan-PLUS um.

Die Inhalte sind exakt an den Lehrplan der 12. Jahrgangsstufe der Fachoberschule und Berufsober-schule, Ausbildungsrichtungen Wirtschaft und Verwaltung/Internationale Wirtschaft/Gestaltung ange-passt, enthalten aber auch zu jedem Lernbereich Vertiefungen für besonders interessierte Schüler und Lehrer.

Die Lernbereiche sind in Pflicht- und Wahlmodule aufgeteilt. In der Jahrgangsstufe 12 müssen neben den zwei Pflichtmodulen noch zwei weitere Module (optional) gewählt werden.

### **Pflicht-Lernbereiche:**

- Physikalische Grundlagen
- Chemische Grundlagen

### **Wahl-Lernbereiche (optional):**

- Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften
- Allgemeine Energietechnik
- Erneuerbare Energien
- Umwelttechnik
- Elektrotechnik-Anwendung
- Systeme und Prozesse
- Komplexe technische Systeme
- Technische Mechanik

Die Inhalte werden durch konkrete Beispiele anhand von technischen Systemen dargestellt und veranschaulicht. Alle im Lehrplan geforderten Kompetenzen werden durch entsprechende Aufgaben ge-fördert.

### **Aufbau der Kapitel**

- Jedes Hauptkapitel beginnt mit einer Übersicht, welche Kompetenzen der Leser sich beim Durchar-beiten des Kapitels aneignen wird.
- Nach jedem Teilkapitel oder auch nach einem logischen Lernabschnitt überprüft die Rubrik „Alles verstanden?“, ob der Leser die wesentlichen Fakten des Teilkapitels verstanden hat.
- In unregelmäßigen Abständen fordert die Rubrik „Arbeitsauftrag“ den Leser auf, kleinere Aufgaben zu lösen.
- In jedem Hauptkapitel gibt es ein oder mehrere Teilkapitel mit umfangreicheren Aufgabenstellungen.

### **Arbeiten mit dem Buch**

Das Buch will einen an Technik interessierten, selbstständig und eigenverantwortlich handelnden Leser ansprechen:

- mit der Rubrik „Alles verstanden?“ kann jeder Leser einen kurzen Selbsttest durchführen!
- die Rubrik „Arbeitsauftrag“ fordert zur Umsetzung von gelesenen und gelernten Inhalten auf!
- die Aufgabenstellungen orientieren sich an modernen technischen Systemen und sind interessant, praxisnah und vielseitig!

Ausführliche Lösungen sind auf der Webseite des Verlags unter [www.europa-lehrmittel.de/15549/html](http://www.europa-lehrmittel.de/15549/html) zum kostenpflichtigen Download zu finden.

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](mailto:lektorat@europa-lehrmittel.de)

<b>1</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b>	<b>6</b>	<b>3.6</b>	<b>Chemische Bindungsarten</b>	<b>105</b>
1.1	Physikalische Größen, Einheiten und Genauigkeit	6	3.6.1	Sekundärbindungen	106
1.1.1	Das internationale Einheitensystem	6	3.6.2	Aufgaben zu chemischen Bindungen	107
1.1.2	Die Genauigkeit von physikalischen Größen	7	<b>3.7</b>	<b>Aufbau und Eigenschaften von Metallen</b>	<b>108</b>
<b>1.2</b>	<b>Lineare gleichförmige Bewegungen</b>	<b>9</b>	3.7.1	Eigenschaften von Metallen	109
1.2.1	Bewegung und Geschwindigkeit	9	3.7.2	Elementarzellen	111
1.2.2	Lineare gleichförmige Bewegung	10	3.7.3	Bestimmung der Dichte mithilfe der Elementarzelle	113
1.2.3	Aufgaben zur linearen gleichförmigen Bewegung	15	3.7.4	Das Gefüge eines Metalls	114
<b>1.3</b>	<b>Kräfte und ihre Wirkungen</b>	<b>17</b>	3.7.5	Aufgaben zum Aufbau von Metallen	116
1.3.1	Die Gewichtskraft	17	<b>3.8</b>	<b>Kunststoffe</b>	<b>117</b>
1.3.2	Aufgaben zur Gewichtskraft	19	3.8.1	Chemisches Grundwissen zu Kunststoffen	117
1.3.3	Kraft und Beschleunigung	19	3.8.2	Herstellungsverfahren von Kunststoffen	118
1.3.4	Aufgaben zu Kraft und Beschleunigung	25	3.8.3	Einteilung der Kunststoffe	121
<b>1.4</b>	<b>Die Kraft – eine gerichtete Größe</b>	<b>27</b>	3.8.4	Thermoplaste	121
1.4.1	Zerlegung von Kräften	28	3.8.5	Elastomere	125
1.4.2	Addition von Kräften	30	3.8.6	Duroplaste	126
1.4.3	Kraft und Gegenkraft	32	3.8.7	Aufgaben zu Kunststoffen	127
1.4.4	Aufgaben zur Ermittlung von Kräften	38	<b>3.9</b>	<b>Nachhaltigkeit von Werkstoffen</b>	<b>127</b>
<b>1.5</b>	<b>Einfache mechanische Maschinen</b>	<b>41</b>	<b>3.10</b>	<b>Recycling von Werkstoffen</b>	<b>131</b>
1.5.1	Mechanische Arbeit	42	<b>3.11</b>	<b>Ökonomie und die Wirtschaftlichkeit von Werkstoffen</b>	<b>133</b>
1.5.2	Kraftwandler schiefe Ebene	44			
1.5.3	Kraftwandler Hebel	49	<b>4</b>	<b>Allgemeine Energietechnik</b>	<b>134</b>
1.5.4	Kraftwandler Flaschenzug	50	<b>4.1</b>	<b>Energieformen</b>	<b>134</b>
1.5.5	Aufgaben zu mechanischen Maschinen	52	<b>4.2</b>	<b>Energieumwandlung</b>	<b>136</b>
<b>2</b>	<b>Chemische Grundlagen</b>	<b>54</b>	4.2.1	Energieerhaltung	136
2.1	Grundbegriffe in der Chemie	54	4.2.2	Energiewandlermodell	137
2.1.1	Der Atombau	54	4.2.3	Wirkungsgrad	138
2.1.2	Chemische Formeln	56	4.2.4	Energiewandlungskette	139
2.1.3	Die Reaktionsgleichung	57	4.2.5	Energieflussdiagramm	142
2.1.4	Die absolute Atommasse $m$	59	<b>4.3</b>	<b>Energiewandler</b>	<b>143</b>
2.1.5	Die Stoffmenge $n$ , das Mol	60	4.3.1	Kraftwerke	143
2.1.6	Die molare Masse $M$	60	4.3.2	Antriebssysteme	147
<b>2.2</b>	<b>Das Bohrsche Atommodell</b>	<b>62</b>	<b>4.4</b>	<b>Physikalische Größen</b>	<b>151</b>
<b>2.3</b>	<b>Das Periodensystem der Elemente (PSE)</b>	<b>64</b>	4.4.1	Arbeit	151
2.3.1	Ordnungskriterien der Hauptgruppenelemente	64	4.4.2	Energie	152
2.3.2	Regelmäßigkeiten im Periodensystem	65	4.4.3	Leistung	154
<b>2.4</b>	<b>Bindungsarten</b>	<b>68</b>	4.4.4	Einheiten der Energietechnik	156
2.4.1	Atombindung	68	4.4.5	Aufgaben	157
2.4.2	Elektronegativität	73	<b>4.5</b>	<b>Energieversorgungssysteme</b>	<b>161</b>
2.4.3	Polare Atombindung	73	4.5.1	Arten von Energieträgern	161
2.4.4	Ionenbindung	75	4.5.2	Energieverbrauch	166
2.4.5	Metallbindung	79	4.5.3	Energietransport	168
<b>2.5</b>	<b>Chemische Reaktion</b>	<b>82</b>	4.5.4	Energiespeicherung	174
2.5.1	Aktivierungsenergie	82	4.5.5	Aufgaben	179
2.5.2	Energieumsatz bei chemischen Reaktionen	83	<b>4.6</b>	<b>Energieeffizienz</b>	<b>180</b>
2.5.3	Katalysator	86	4.6.1	Kraft-Wärme-Kopplung	180
<b>3</b>	<b>Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften</b>	<b>89</b>	4.6.2	Energieeffizienz von Gebäuden	182
3.1	Einführung in die Werkstofftechnik	89	4.6.3	Energiesparen – Verbraucherverhalten	185
3.2	Einteilung der Werkstoffe	90	4.6.4	Aufgaben	186
3.3	Eigenschaften von Werkstoffen	92	<b>5</b>	<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>187</b>
3.4	Härte und Härteprüfung	95	<b>5.1</b>	<b>Fossile und atomare Energieträger</b>	<b>187</b>
3.4.1	Härteprüfung nach Vickers	95	5.1.1	Wärme- und Kälteanlagen und ihr technologisches Prinzip	187
3.4.2	Härteprüfung nach Brinell	96	5.1.2	Bedeutung fossiler und atomarer Energieträger	191
3.4.3	Härteprüfung nach Rockwell	97	5.1.3	Ökonomie	192
3.4.4	Mobile Härteprüfung	98	5.1.4	Ökologie	192
3.4.5	Aufgaben zu Härteprüfverfahren	98	5.1.5	Aufgaben zu Fossilen und atomaren Energieträgern	194
<b>3.5</b>	<b>Zugfestigkeit und Zugversuch</b>	<b>98</b>	<b>5.2</b>	<b>Anthropogener Treibhauseffekt und CO<sub>2</sub></b>	<b>195</b>
3.5.1	Mechanische Spannung und Dehnung	98	5.2.1	Treibhauseffekt und CO <sub>2</sub> -Konzentration	195
3.5.2	Beanspruchungsarten	99	5.2.2	Verursacher von CO <sub>2</sub> - und Treibhausgas-Emission	198
3.5.3	Zugversuch	100	5.2.3	Aufgaben zu Anthropogener Treibhauseffekt und CO <sub>2</sub>	201
3.5.4	Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm	102	<b>5.3</b>	<b>Folgen durch den Einsatz fossiler Energieträger und die damit verbundenen Konsequenzen</b>	<b>202</b>
3.5.5	Aufgaben Zugversuch, Streckgrenze, Zugfestigkeit und Spannungs-Dehnungs-Diagramm	104	5.3.1	Regionale und globale Folgen von THG-Emission heute und in naher Zukunft	202

5.3.2 Dekarbonisierung der Weltwirtschaft und nationale Ziele	207
5.3.3 Aufgaben zum Unterthema „Folgen durch den Einsatz fossiler Energieträger und die damit verbundenen Konsequenzen“	209
<b>5.4 Bereiche der erneuerbaren Energien</b>	<b>210</b>
5.4.1 Verfügbarkeit der EE-Quellen	210
5.4.2 Globale und nationale Entwicklung der EE	212
5.4.3 Windkraft	213
5.4.4 Photovoltaik	217
5.4.5 Biomasse	226
5.4.6 Aufgaben zum Unterthema Erneuerbare Energien	230
<b>5.5 Vergleich von konventionellen Energieträgern und erneuerbaren Energien</b>	<b>232</b>
5.5.1 Gesamtwirkungsgrade und Energiebilanz	232
5.5.2 Kosten-Nutzen-Aufwand	235
5.5.3 Ökobilanz, Umweltverträglichkeit und Ökologie	238
5.5.4 Graue Energie und energetische Amortisation	240
5.5.5 Zeitliche Nutzbarkeit	240
5.5.6 Standortwahl von Erneuerbare-Energie-Anlagen	242
5.5.7 Versorgungssicherheit im Stromnetz	243
5.5.8 Konzeptansätze	245
5.5.9 Aufgaben	247
<b>6 Umwelttechnik</b>	<b>248</b>
<b>6.1 Umweltschutz und Umwelttechnik</b>	<b>248</b>
6.1.1 Allgemeine Einführung	248
6.1.2 Umweltkonzepte und Umweltziele	251
6.1.3 Aufgaben	253
<b>6.2 Anthropogene Schadstoffe</b>	<b>253</b>
6.2.1 Die Entwicklung im 20. Jahrhundert	253
6.2.2 Ökosysteme Boden und Wasser	255
6.2.3 Anthropogene Boden- und Wasserschadstoffe	257
6.2.4 Anthropogene Luftschadstoffe	262
6.2.5 Lärmbelastung	268
6.2.6 Aufgaben	272
<b>6.3 Nachweis- und Messverfahren – Analytik</b>	<b>273</b>
6.3.1 Zweck der Nachweis- und Messverfahren	273
6.3.2 Qualitative und halbquantitative Nachweismethoden	274
6.3.3 Instrumentelle Umwelanalytik	277
6.3.4 Aufgaben	284
<b>6.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastungen</b>	<b>285</b>
6.4.1 Vermeidung von Umweltbelastungen	285
6.4.2 Abfallvermeidung durch geschlossene Produktkreisläufe	288
6.4.3 Abfalltrennung und Wiederverwertung	291
6.4.4 Maßnahmen zur Luftreinhaltung	294
6.4.5 Maßnahmen zur Gewässerreinhaltung	299
6.4.6 Aufgaben	305
<b>7 Elektrotechnik-Anwendung</b>	<b>306</b>
<b>7.1 Gleichstromtechnik</b>	<b>306</b>
7.1.1 Der einfache Stromkreis	306
7.1.2 Die elektrische Spannung $U$	308
7.1.3 Der elektrische Strom $I$	309
7.1.4 Das Ohm'sche Gesetz	310
7.1.5 Der elektrische Widerstand $R$	312
7.1.6 Schutzmaßnahmen im Umgang mit elektrischem Strom	314
7.1.7 Aufgaben zu Gleichstromtechnik und Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Strom	316
<b>7.2 Schaltung von Widerständen</b>	<b>318</b>
7.2.1 Reihenschaltung	318
7.2.2 Parallelschaltung	320
7.2.3 Gemischte Schaltungen	322
7.2.4 Aufgaben zu Schaltung von Widerständen	324

<b>7.3 Elektrischer Strom und magnetisches Feld</b>	<b>325</b>
7.3.1 Ferromagnetismus	325
7.3.2 Eigenschaften der Magnete	326
7.3.3 Magnetische Feldlinien	327
7.3.4 Der Elektromagnetismus	328
7.3.5 Stromdurchflossene Spule und Magnetfeld	329
7.3.6 Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld	330
7.3.7 Das Motorenprinzip	332
7.3.8 Der Gleichstrommotor	334
7.3.9 Aufgaben zu elektrischer Strom und magnetisches Feld	335
<b>7.4 Magnetische Induktion</b>	<b>337</b>
7.4.1 Induktion der Bewegung (Generatorprinzip)	337
7.4.2 Wechselstromgenerator	339
7.4.3 Das Transformatorprinzip	341
7.4.4 Aufgaben zur magnetischen Induktion	342
<b>8 Systeme und Prozesse</b>	<b>344</b>
<b>8.1 Grundlagen der Systemtheorie</b>	<b>344</b>
8.1.1 Der Systembegriff	344
8.1.2 System und Prozess	348
8.1.3 Aufgaben	350
<b>8.2 Darstellungsmethoden</b>	<b>352</b>
8.2.1 Kontinuierliche Prozesse	352
8.2.2 Diskrete Prozesse	354
<b>8.3 Modellbildung mit Petri-Netzen</b>	<b>355</b>
8.3.1 Die Struktur von Petri-Netzen	355
8.3.2 Dynamik der Petri-Netze – Schaltregeln	359
8.3.3 Ablaufstrukturen und spezielle Situationen	361
8.3.4 Beispielaufgabe mit Lösung	365
8.3.5 Mathematische Darstellung von Petri-Netzen	367
<b>8.4 Beispielaufgaben, Lösungen und Arbeitsaufträge</b>	<b>369</b>
8.4.1 Netzanalyse	369
8.4.2 Montageroboter	370
8.4.3 Verkehrsampeln	371
8.4.4 Transportprobleme	373
8.4.5 Keksautomaten	375
8.4.6 Glücksspiele	375
<b>8.5 Aufgaben</b>	<b>376</b>
<b>9 Komplexe technische Systeme</b>	<b>378</b>
9.1 Beispiel 1: E-Bike oder Pedelec	378
9.2 Beispiel 2: Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor	381
9.3 Beispiel 3: Windenergieanlagen (WEA)	383
9.4 Beispiel 4: Heizkraftwerk	385
9.5 Beispiel 5: Blockheizkraftwerk (BHKW)	388
9.6 Beispiel 6: Mobile Krane	389
<b>TM Technische Mechanik</b>	<b>391</b>
TM 1 Einführung in die Technische Mechanik	391
TM 2 Kräfte in der Statik	392
TM 3 Drehmomente in der Statik	404
TM 4 Freiheitsgrade eines Körpers	407
TM 5 Zentrale Kräftesysteme	408
TM 6 Allgemeine Kräftesysteme	414
TM 7 Freimachen von Bauteilen	423
TM 8 Musterbeispiele für die Berechnung von äußeren Kräften	432
TM 9 Statische Bestimmtheit	439
TM 10 Schnittgrößen	440
TM 11 Bauteile mit Streckenlasten	448
<b>Bildquellenverzeichnis</b>	<b>454</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>	<b>456</b>

# 1 Physikalische Grundlagen

Beruf und Alltag in der modernen Gesellschaft des 21. Jahrhunderts sind wie in keiner Zeit zuvor geprägt und dominiert von technischen Systemen. Der Umgang mit Smartphone, Tablet oder PC ist für jeden Menschen selbstverständlich geworden und die Wirtschaft der gesamten Welt ist vernetzt durch Kommunikations-, Produktions- und Verkehrssysteme. Deshalb ist eine fundierte Grundbildung von naturwissenschaftlichen und technischen Zusammenhängen auch für Nichttechniker ein unabdingbarer Bestandteil der Allgemeinbildung.

Nach dem Durcharbeiten dieses Kapitels können Sie

- Geschwindigkeiten experimentell und rechnerisch ermitteln und die Genauigkeit der ermittelten Werte beurteilen.
- den Unterschied von Bewegungen mit konstanter Geschwindigkeit und mit konstanter Beschleunigung beschreiben, diese Bewegungsarten in Diagrammen darstellen und Berechnungen an Beispielen aus dem Alltag durchführen.
- anhand der Newtonschen Gesetze den Zusammenhang von Kraft und Beschleunigung sowie das Prinzip von Kraft und Gegenkraft erläutern.
- die Eigenschaften und die Wirkungen von Kräften beschreiben, mehrere Kräfte zeichnerisch und rechnerisch addieren sowie Kräfte in ihre Komponenten zerlegen.
- einfache mechanische Systeme beschreiben, deren Funktionsprinzip erläutern und anhand dieser Systeme Berechnungen durchführen.

## 1.1 Physikalische Größen, Einheiten und Genauigkeit

Die Naturwissenschaften zielen darauf ab, die Erscheinungen und Vorgänge in der Natur möglichst genau zu erfassen, zu beschreiben, zu ordnen und zu verstehen. Physikalisch lässt sich die Natur recht präzise beschreiben, weil sich die Naturwissenschaften darauf beschränken, messbare Natureigenschaften durch exakt definierte und weltweit gültige physikalische Größen zu untersuchen.

### 1.1.1 Das internationale Einheitensystem

Jeder Mensch geht im Alltag mit physikalischen Größen und Einheiten um. Wir messen unsere zurückgelegten Wege in Meter und Kilometer, wir wiegen unser Gewicht in Kilogramm, bestimmen die Temperaturen in Grad Celsius und berechnen den Kraftstoffverbrauch unserer Autos in Liter pro 100 Kilometer.

Damit man bei dieser großen Zahl von verschiedenen Größen und Einheiten nicht den Überblick verliert, hat man die Einheiten in *Basiseinheiten* und in *abgeleitete Einheiten* eingeteilt.

#### Beispiele:

Basiseinheit Länge:  $l = 1,5 \text{ m}$

Abgeleitete Einheit Fläche:  $A = 2,25 \text{ m}^2$   
 $(\text{m}^2 = \text{m} \cdot \text{m})$

In **Tabelle 1** sind die sieben Basiseinheiten aufgeführt, die im SI-Einheitensystem (frz: *Système International d'Unités*) festgelegt sind. Für den Lernbereich „physikalische Grundlagen“ benötigen wir von diesen sieben Basiseinheiten nur die ersten drei mechanischen Einheiten für Länge, Masse und Zeit.

**Tabelle 1: Basiseinheiten des SI-Systems**

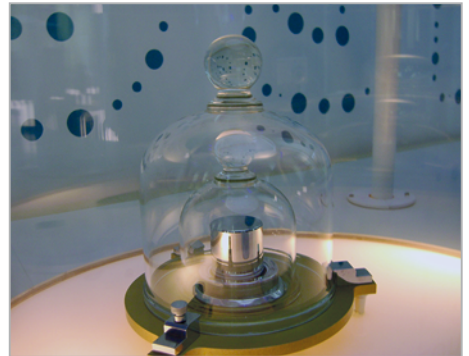
Größe	Formelzeichen	Name	Einheitenzeichen
Länge	$l$	Meter	m
Masse	$m$	Kilogramm	kg
Zeit	$t$	Sekunde	s
Stromstärke	$I$	Ampere	A
Temperatur	$T$	Kelvin	K
Stoffmenge	$n$	Mol	mol
Lichtstärke	$I_v$	Candela	cd

Für jede dieser sieben Größen wurden exakte Definitionen festgelegt, die mit Hilfe von leistungsfähigen Messverfahren überprüft werden können. Für die drei mechanischen SI-Einheiten werden im Folgenden verkürzte und vereinfachte Definitionen angegeben. Die genauen Definitionen können Sie in Formelsammlungen oder im Internet nachschlagen.

**Länge  $l$ :** Ein Meter (1 m) ist die Strecke, die das Licht im Vakuum innerhalb des 299 792 458-sten Teils einer Sekunde zurücklegt.

**Masse  $m$ :** Ein Kilogramm (1 kg) ist die Masse des internationalen Kilogramm-Prototyps (**Bild 1**). Diese Definition aus dem Jahre 1799 ist die älteste, bis heute gültige Einheitsdefinition. Diese Definition soll jedoch im Jahr 2019 geändert werden, wodurch auch das Ur-Kilogramm abgeschafft wird.

**Zeit  $t$ :** Eine Sekunde ist das 9 192 631 770-fache der Periodendauer der Strahlung, die beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids  $^{133}\text{Cs}$  emittiert wird. Die Abweichung beträgt 1 Sekunde in 1 Million Jahren!



**Bild 1: Kopie des Ur-Kilogramms unter zwei Glasglocken**

Eine physikalische Größe besteht aus dem Produkt eines Zahlenwertes mit einer Einheit.

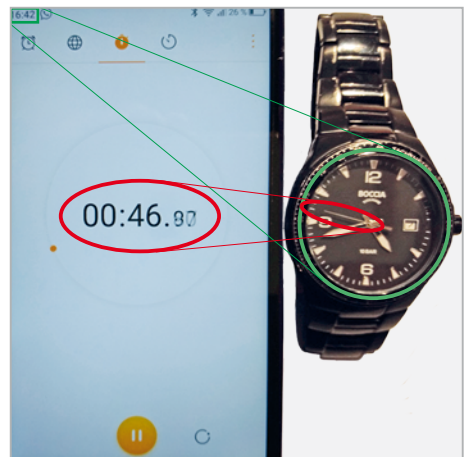
Beispiele: Länge:  $l = 105 \text{ m}$

Geschwindigkeit:  $v = 12,5 \text{ m/s}$

### 1.1.2 Die Genauigkeit von physikalischen Größen

Jede gemessene physikalische Größe hat eine bestimmte Ungenauigkeit. Dies lässt sich anhand verschiedener Methoden der Zeitmessung sehr gut verdeutlichen.

In **Bild 2** ist am Smartphone der Stoppuhrmodus im Vergleich mit dem Sekundenzeiger einer Analoguhr zu sehen. Die Smartphone-Stoppuhr zeigt den genaueren Wert von 46,87 s, während man am Sekundenzeiger der Analoguhr nur den ungefähren Wert von 47 s ablesen kann. Die digitale Stoppuhr des Smartphones misst folglich in der Genauigkeit von  $\pm$  einer halben hundertstel Sekunde. In der Physik schreibt man die Messunsicherheit in diesem Fall mit  $\pm 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ . Im Gegensatz dazu kann man den Sekundenzeiger der Analoguhr nur mit der Genauigkeit von  $\pm$  einer halben Sekunde ablesen, d. h. die Messunsicherheit der Analoguhr beträgt  $\pm 0,5 \text{ s}$ , ist also um den Faktor 100 größer als beim Smartphone.



**Bild 2: Zeitmessung im Vergleich: Smartphone gegen Analoguhr**

Andererseits ist in Bild 2 ebenfalls zu sehen, dass die digitale Uhrzeit am oberen linken Rand des Displays den Wert 16:42 Uhr zeigt, während auf der Analoguhr die genauere Uhrzeit von 16:42 und ca. 47 Sekunden abzulesen ist. Bei dieser Anzeige ist folglich die Analoguhr viel genauer.

Das Beispiel zeigt, dass man in Naturwissenschaft und Technik streng darauf achten muss, welche Genauigkeit die verwendeten Messwerte haben. Gibt man eine zusammengesetzte physikalische Größe wie beispielsweise die Geschwindigkeit an, die sich aus der Division der zurückgelegten Strecke durch die dafür benötigte Zeit berechnet, so darf man nicht einfach alle Stellen abschreiben, die der Taschenrechner anzeigt. Ein solches Ergebnis wäre total unsinnig.



Die einfachste Methode, bei der Genauigkeit von Berechnungen keine Fehler zu machen, ist das Konzept der gültigen Ziffern (g.Z.), nicht zu verwechseln mit den Dezimalstellen (dez.). Die Anzahl der gültigen Ziffern entspricht der Anzahl der Stellen ohne „führende Nullen“. Die Werte in **Tabelle 1** zeigen, dass die Anzahl der gültigen Ziffern nur in der ersten und letzten Zeile übereinstimmen.

Angaben sind nur dann identisch, wenn der Zahlenwert und die Anzahl der gültigen Ziffern übereinstimmen. Das Ergebnis einer Berechnung aus Multiplikation oder Division darf nicht genauer angegeben werden, als die am ungenauesten gemessene Größe.

**Tabelle 1: Gültige Ziffern (g.Z.) und Dezimalstellen (dez.)**

Angabe	g.Z.	dez.
50 m	2	0
50,0 m	3	1
0,05 km	1	2
0,050 km	2	3

### Beispielaufgabe:

Nach den Regeln des Fußball-Weltverbandes (FIFA) muss ein regelgerechter Fußball einige Bedingungen erfüllen. Er muss u. a. kugelförmig sein und in aufgepumptem Zustand muss sein Umfang zwischen den Grenzwerten  $U_{\min} = 68 \text{ cm}$  und  $U_{\max} = 70 \text{ cm}$  liegen.

Berechnen Sie den Mindest- und den Maximaldurchmesser eines regelgerechten Fußballs!

### Lösung:

Die Formel zur Berechnung eines Kreisumfangs lautet:  $U = d \cdot \pi$

Durch Umformung nach  $d$  ergibt sich:  $d = \frac{U}{\pi}$

Beide Umfänge sind mit 2 gültigen Ziffern angegeben, d. h. die Ergebnisse dürfen ebenfalls nur mit einer Genauigkeit von 2 gültigen Ziffern angegeben werden.

Nach Einsetzen der Umfangswerte ergibt sich:

$$d_{\min} = \frac{68 \text{ cm}}{\pi} = 21,64507... \text{ cm} = 22 \text{ cm}$$

$$d_{\max} = \frac{70 \text{ cm}}{\pi} = 22,28169... \text{ cm} = 22 \text{ cm}$$

Antwortsatz:

Berücksichtigt man das Konzept der gültigen Ziffern bei der Berechnung, dann betragen sowohl der Maximal- als auch der Minimaldurchmesser eines regelgerechten Fußballs 22 cm.

### Alles verstanden?

1. Geben Sie an, aus welchen Bestandteilen sich eine physikalische Größe zusammensetzt!
2. Führen Sie mindestens zwei abgeleitete physikalische Größen aus der Mechanik und deren Einheiten an!
3. Geben Sie an, auf welche physikalische Konstante sich die Definition der Basisgröße Länge bezieht!
4. Beschreiben Sie anhand eines selbstgewählten Beispiels, was man unter der Messunsicherheit versteht!
5. Erläutern Sie den Unterschied zwischen der Anzahl der Dezimalstellen und der Anzahl der gültigen Ziffern!
6. Formulieren Sie mit eigenen Worten eine Regel für die Angabe der Genauigkeit von berechneten physikalischen Größen!
7. **Bild 1** zeigt die Geschwindigkeitsmessung an einem Ortseingang. Rechnen Sie die Anzeige in die Einheit m/s um und ermitteln Sie durch eine Internetrecherche, welche Genauigkeit diese Anzeige hat!



**Bild 1: Geschwindigkeitsmessung**



**Arbeitsauftrag**

1. Messen Sie mit Hilfe des Tafellineals die Länge  $l$ , die Breite  $b$  und die Höhe  $h$  Ihres Klassenzimmers aus und notieren Sie Werte unter Beachtung der Regeln für die Genauigkeit von Messwerten! (**Achtung:** Messen Sie die Höhe nur, wenn eine sichere Stehleiter vorhanden ist!)
2. Berechnen Sie aus den gemessenen Werten die Grundfläche  $A$  und das Volumen  $V$  ihres Klassenzimmers! Beachten Sie auch bei der Angabe dieser Ergebnisse die Regeln der Genauigkeit von berechneten physikalischen Größen!
3. Vergleichen und diskutieren Sie die Ergebnisse Ihrer Messungen und Berechnungen mit den Ergebnissen von Mitschülern!

## 1.2 Lineare gleichförmige Bewegungen

Reale Bewegungen im Alltag sind in der Regel nicht linear und gleichförmig, sondern sie variieren sowohl in der Richtung als auch in der Geschwindigkeit. Phasen der Beschleunigung wechseln ab mit Bremsvorgängen und Richtungswechseln. In der Kinematik<sup>1</sup> vernachlässigt man solche Schwankungen und beobachtet idealisierte Bewegungsvorgänge. In diesem Kapitel behandeln wir zunächst die einfachste Bewegungsart, die lineare Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit.

### 1.2.1 Bewegung und Geschwindigkeit

Die physikalische Größe Geschwindigkeit, gemessen in Meter pro Sekunde oder in Kilometer pro Stunde, wird in der Physik mit dem Formelzeichen  $\vec{v}$  bezeichnet. Dies beschreibt, wie schnell und in welche Richtung ein Gegenstand während einer Zeitspanne seinen Ort verändert. Der Pfeil über dem Formelbuchstaben bedeutet, dass die Geschwindigkeit eine gerichtete Größe ist. Zu ihrer vollständigen Beschreibung ist sowohl der Betrag als auch die Richtung der Geschwindigkeit notwendig. Gerichtete Größen nennt man in den Naturwissenschaften vektorielle Größen oder einfach Vektoren.

Aus dieser Erklärung geht hervor, dass zur Ermittlung der Geschwindigkeit eines Körpers die Änderung der Koordinaten des Ortes  $\Delta s$  und die während dieses Ortswechsels vergangene Zeit  $\Delta t$  gemessen werden muss. In den beiden Bezeichnern ist der griechische Großbuchstabe  $\Delta$  (Delta) vorhanden, der immer dann verwendet wird, wenn es sich nicht um absolute Messwerte, sondern um Veränderungen handelt. Aus diesen beiden Werten kann man den Betrag der Geschwindigkeit berechnen. Es gilt:

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{zurückgelegter Weg (Ortsänderung)}}{\text{benötigte Zeit (Zeitänderung)}}$$

In Naturwissenschaft und Technik ist es üblich, statt der vollständigen Begriffe die festgelegten Formelbuchstaben einzusetzen. Bei der Berechnung des Betrags der Geschwindigkeit lässt man den Vektorpfeil über dem Formelzeichen  $\vec{v}$  weg und die Formel lautet somit:

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

Die Einheit, in der man die Geschwindigkeit erhält, ist davon abhängig, in welchen Einheiten man die zurückgelegte Wegstrecke  $\Delta s$  und die benötigte Zeit  $\Delta t$  in diese Formel einträgt. Je nachdem ergibt sich die Einheit der Geschwindigkeit in:

$$[v] = \text{m/s} \quad \text{oder in:} \quad [v] = \text{km/s}$$

Mit der angegebenen Gleichung berechnet man allerdings nur die durchschnittliche Geschwindigkeit während des Zeitintervalls  $\Delta t$ . Je kürzer das gemessene Zeitintervall  $\Delta t$  ist, desto näher kommt man dem Momentanwert der Geschwindigkeit.

<sup>1</sup> Kinematik: Ein Fachgebiet der Mechanik, das die Bewegung von Körpern rein geometrisch durch die Größen Zeit, Ort, Geschwindigkeit und Beschleunigung beschreibt.

**Beispielaufgabe:**

Im Jahr 2009 stellte der Jamaikaner Usain Bolt bei den Leichtathletik-Weltmeisterschaften in Berlin mit einer Zeit von 9,58 Sekunden einen neuen Weltrekord über die 100 Meter-Strecke auf. Genauere Messungen der einzelnen Streckenabschnitte ergaben, dass er zwischen 50 und 60 Meter mit 12,5 m/s seine Höchstgeschwindigkeit erreichte.

- Berechnen Sie die Durchschnittsgeschwindigkeit in m/s und in km/h!
- Welche Zeit benötigte er im Streckenabschnitt zwischen 50 und 60 Meter?
- Geben Sie die Höchstgeschwindigkeit in km/h an!

**Lösung:**

a) Durchschnittsgeschwindigkeit in m/s:  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100 \text{ m}}{9,58 \text{ s}} = 10,44 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Umrechnung in km/h:  $v = 10,44 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{m}}{\text{km}}} = 10,44 \cdot 3,6 \frac{\text{m} \cdot \frac{\text{km}}{\text{m}}}{\text{s} \cdot \frac{\text{h}}{\text{s}}} = 37,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

b) Zeit im Abschnitt 50 – 60 m:  $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{10 \text{ m}}{12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,80 \frac{1}{\frac{1}{\text{s}}} = 0,80 \text{ s}$

c) Höchstgeschwindigkeit in km/h:  $v = 12,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{1000 \frac{\text{m}}{\text{km}}} = 12,5 \cdot 3,60 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{s} \cdot \text{km}}{\text{m} \cdot \text{h}} = 45,0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

**Hinweis:**

Einfache Regel für die Umrechnung von Geschwindigkeitseinheiten:

$$\frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ in } \frac{\text{km}}{\text{h}} \rightarrow \text{Wert in } \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 3,6$$

$$\frac{\text{km}}{\text{h}} \text{ in } \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \text{Wert in } \frac{\text{km}}{\text{h}} : 3,6$$

**1.2.2 Lineare gleichförmige Bewegung**

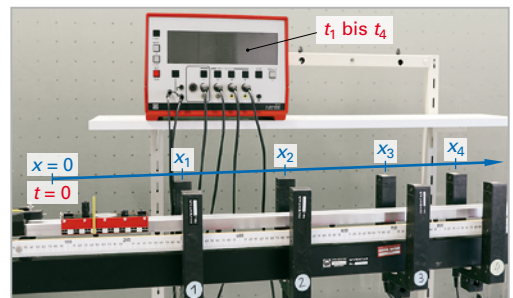
Um Erscheinungen und Vorgänge, die in der Natur ablaufen, zu untersuchen, führen Naturwissenschaftler in der Regel Experimente durch. Die klassische Versuchsanordnung zur Untersuchung von geradlinigen Bewegungsvorgängen ist die Luftkissenbahn (**Bild 1**).

**Versuchsbeschreibung:**

Die Fahrbahn ist mit winzigen Düsen versehen, aus denen Luft herausströmt. Dadurch entsteht unter dem Gleiter ein Luftpolster, auf dem dieser sich nahezu reibungsfrei bewegen kann. Entlang der Bahn sind in exakt ausgemessenen Abständen Lichtschranken montiert. Sobald der Gleiter auf seinem Weg entlang der Fahrbahn eine Lichtschranke unterbricht, wird eine Zeitmessung ausgelöst.

**Versuchsdurchführung:**

Der Gleiter steht am Startpunkt der Luftkissenbahn und die elektronische Stoppuhr steht auf 0,000 Sekunden. Wird der Messvorgang gestartet, so erhält der Gleiter durch einen Metallbolzen einen Stoß und zeitgleich wird die elektronische Stoppuhr gestartet. Die Laufzeit des Gleiters wird gemessen, wenn der Gleiter die jeweilige Lichtschranke unterbricht.



**Bild 1: Experiment Luftkissenbahn**