



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  
Düsselberger 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 Berufsoberschule, Ausbildungsrichtungen Wirtschaft und Verwaltung/Internationale Wirtschaft/Gestaltung angepasst, 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 gefördert.

### Aufbau der Kapitel

- Jedes Hauptkapitel beginnt mit einer Übersicht, welche Kompetenzen der Leser sich beim Durcharbeiten 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 Physikalische Grundlagen . . . . .</b>	<b>6</b>	<b>3.6 Chemische Bindungsarten . . . . .</b>	<b>105</b>
<b>1.1 Physikalische Größen, Einheiten und Genauigkeit . . . . .</b>	<b>6</b>	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 Aufbau und Eigenschaften von Metallen . . . . .</b>	<b>108</b>
<b>1.2 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 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 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 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 Nachhaltigkeit von Werkstoffen . . . . .</b>	<b>127</b>
<b>1.5 Einfache mechanische Maschinen . . . . .</b>	<b>41</b>	<b>3.10 Recycling von Werkstoffen . . . . .</b>	<b>131</b>
1.5.1 Mechanische Arbeit . . . . .	42	<b>3.11 Ökonomie und die Wirtschaftlichkeit von Werkstoffen . . . . .</b>	<b>133</b>
1.5.2 Kraftwandler schiefe Ebene . . . . .	44		
1.5.3 Kraftwandler Hebel . . . . .	49		
1.5.4 Kraftwandler Flaschenzug . . . . .	50		
1.5.5 Aufgaben zu mechanischen Maschinen . . . . .	52		
<b>2 Chemische Grundlagen . . . . .</b>	<b>54</b>	<b>4 Allgemeine Energietechnik . . . . .</b>	<b>134</b>
<b>2.1 Grundbegriffe in der Chemie . . . . .</b>	<b>54</b>	<b>4.1 Energieformen . . . . .</b>	<b>134</b>
2.1.1 Der Atombau . . . . .	54	<b>4.2 Energieumwandlung . . . . .</b>	<b>136</b>
2.1.2 Chemische Formeln . . . . .	56	4.2.1 Energieerhaltung . . . . .	136
2.1.3 Die Reaktionsgleichung . . . . .	57	4.2.2 Energiewandlermodell . . . . .	137
2.1.4 Die absolute Atommasse m . . . . .	59	4.2.3 Wirkungsgrad . . . . .	138
2.1.5 Die Stoffmenge n, das Mol . . . . .	60	4.2.4 Energiewandlungskette . . . . .	139
2.1.6 Die molare Masse M . . . . .	60	4.2.5 Energieflossdiagramm . . . . .	142
<b>2.2 Das Bohrsche Atommodell . . . . .</b>	<b>62</b>	<b>4.3 Energiewandler . . . . .</b>	<b>143</b>
<b>2.3 Das Periodensystem der Elemente (PSE) . . . . .</b>	<b>64</b>	4.3.1 Kraftwerke . . . . .	143
2.3.1 Ordnungskriterien der Hauptgruppenelemente . . . . .	64	4.3.2 Antriebssysteme . . . . .	147
2.3.2 Regelmäßigkeiten im Periodensystem . . . . .	65	<b>4.4 Physikalische Größen . . . . .</b>	<b>151</b>
<b>2.4 Bindungsarten . . . . .</b>	<b>68</b>	4.4.1 Arbeit . . . . .	151
2.4.1 Atombindung . . . . .	68	4.4.2 Energie . . . . .	152
2.4.2 Elektronegativität . . . . .	73	4.4.3 Leistung . . . . .	154
2.4.3 Polare Atombindung . . . . .	73	4.4.4 Einheiten der Energietechnik . . . . .	156
2.4.4 Ionenbindung . . . . .	75	4.4.5 Aufgaben . . . . .	157
2.4.5 Metallbindung . . . . .	79	<b>4.5 Energieversorgungssysteme . . . . .</b>	<b>161</b>
<b>2.5 Chemische Reaktion . . . . .</b>	<b>82</b>	4.5.1 Arten von Energieträgern . . . . .	161
2.5.1 Aktivierungsenergie . . . . .	82	4.5.2 Energieverbrauch . . . . .	166
2.5.2 Energieumsatz bei chemischen Reaktionen . . . . .	83	4.5.3 Energietransport . . . . .	168
2.5.3 Katalysator . . . . .	86	4.5.4 Energiespeicherung . . . . .	174
<b>3 Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften . . . . .</b>	<b>89</b>	4.5.5 Aufgaben . . . . .	179
<b>3.1 Einführung in die Werkstofftechnik . . . . .</b>	<b>89</b>	<b>4.6 Energieeffizienz . . . . .</b>	<b>180</b>
<b>3.2 Einteilung der Werkstoffe . . . . .</b>	<b>90</b>	4.6.1 Kraft-Wärme-Kopplung . . . . .	180
<b>3.3 Eigenschaften von Werkstoffen . . . . .</b>	<b>92</b>	4.6.2 Energieeffizienz von Gebäuden . . . . .	182
<b>3.4 Härte und Härteprüfung . . . . .</b>	<b>95</b>	4.6.3 Energiesparen – Verbraucherverhalten . . . . .	185
3.4.1 Härteprüfung nach Vickers . . . . .	95	4.6.4 Aufgaben . . . . .	186
3.4.2 Härteprüfung nach Brinell . . . . .	96		
3.4.3 Härteprüfung nach Rockwell . . . . .	97		
3.4.4 Mobile Härteprüfung . . . . .	98		
3.4.5 Aufgaben zu Härteprüfverfahren . . . . .	98		
<b>3.5 Zugfestigkeit und Zugversuch . . . . .</b>	<b>98</b>		
3.5.1 Mechanische Spannung und Dehnung . . . . .	98		
3.5.2 Beanspruchungsarten . . . . .	99		
3.5.3 Zugversuch . . . . .	100		
3.5.4 Das Spannungs-Dehnungs-Diagramm . . . . .	102		
3.5.5 Aufgaben Zugversuch, Streckgrenze, Zugfestigkeit und Spannungs-Dehnungs-Diagramm . . . . .	104		
<b>5 Erneuerbare Energien . . . . .</b>	<b>187</b>		
<b>5.1 Fossile und atomare Energieträger . . . . .</b>	<b>187</b>		
5.1.1 Wärmekraftwerke und ihr technologisches Prinzip .	187		
5.1.2 Bedeutung fossiler und atomarer Energieträger .	191		
5.1.3 Ökonomie . . . . .	192		
5.1.4 Ökologie . . . . .	192		
5.1.5 Aufgaben zu Fossile und atomare Energieträger .	194		
<b>5.2 Anthropogener Treibhauseffekt und CO<sub>2</sub> . . . . .</b>	<b>195</b>		
5.2.1 Treibhauseffekt und CO <sub>2</sub> -Konzentration .	195		
5.2.2 Verursacher von CO <sub>2</sub> - und Treibhausgas-Emission .	198		
5.2.3 Aufgaben zu Anthropogener Treibhauseffekt und CO <sub>2</sub> .	201		
<b>5.3 Folgen durch den Einsatz fossiler Energieträger und die damit verbundenen Konsequenzen . . . . .</b>	<b>202</b>		
5.3.1 Regionale und globale Folgen von THG-Emission heute und in naher Zukunft . . . . .	202		

<b>5.3.2 Dekarbonisierung der Weltwirtschaft und nationale Ziele . . . . .</b>	<b>207</b>	<b>7.3 Elektrischer Strom und magnetisches Feld . . . . .</b>	<b>325</b>
<b>5.3.3 Aufgaben zum Unterthema „Folgen durch den Einsatz fossiler Energieträger und die damit verbundenen Konsequenzen“ . . . . .</b>	<b>209</b>	7.3.1 Ferromagnetismus . . . . .	325
<b>5.4 Bereiche der erneuerbaren Energien . . . . .</b>	<b>210</b>	7.3.2 Eigenschaften der Magnete . . . . .	326
5.4.1 Verfügbarkeit der EE-Quellen . . . . .	210	7.3.3 Magnetische Feldlinien . . . . .	327
5.4.2 Globale und nationale Entwicklung der EE . . . . .	212	7.3.4 Der Elektromagnetismus . . . . .	328
5.4.3 Windkraft . . . . .	213	7.3.5 Stromdurchflossene Spule und Magnetfeld . . . . .	329
5.4.4 Photovoltaik . . . . .	217	7.3.6 Stromdurchflossene Spule im Magnetfeld . . . . .	330
5.4.5 Biomasse . . . . .	226	7.3.7 Das Motorenprinzip . . . . .	332
5.4.6 Aufgaben zum Unterthema Erneuerbare Energien .	230	7.3.8 Der Gleichstrommotor . . . . .	334
<b>5.5 Vergleich von konventionellen Energieträgern und erneuerbaren Energien . . . . .</b>	<b>232</b>	7.3.9 Aufgaben zu elektrischer Strom und magnetisches Feld . . . . .	335
5.5.1 Gesamtwirkungsgrade und Energiebilanz . . . . .	232	<b>7.4 Magnetische Induktion . . . . .</b>	<b>337</b>
5.5.2 Kosten-Nutzen-Aufwand . . . . .	235	7.4.1 Induktion der Bewegung (Generatorprinzip) . . . . .	337
5.5.3 Ökobilanz, Umweltverträglichkeit und Ökologie .	238	7.4.2 Wechselstromgenerator . . . . .	339
5.5.4 Graue Energie und energetische Amortisation .	240	7.4.3 Das Transformatorprinzip . . . . .	341
5.5.5 Zeitliche Nutzbarkeit . . . . .	240	7.4.4 Aufgaben zur magnetischen Induktion . . . . .	342
5.5.6 Standortwahl von Erneuerbare-Energie-Anlagen .	242	<b>8 Systeme und Prozesse . . . . .</b>	<b>344</b>
5.5.7 Versorgungssicherheit im Stromnetz . . . . .	243	<b>8.1 Grundlagen der Systemtheorie . . . . .</b>	<b>344</b>
5.5.8 Konzeptansätze . . . . .	245	8.1.1 Der Systembegriff . . . . .	344
5.5.9 Aufgaben . . . . .	247	8.1.2 System und Prozess . . . . .	348
<b>6 Umwelttechnik . . . . .</b>	<b>248</b>	8.1.3 Aufgaben . . . . .	350
<b>6.1 Umweltschutz und Umwelttechnik . . . . .</b>	<b>248</b>	<b>8.2 Darstellungsmethoden . . . . .</b>	<b>352</b>
6.1.1 Allgemeine Einführung . . . . .	248	8.2.1 Kontinuierliche Prozesse . . . . .	352
6.1.2 Umweltkonzepte und Umweltziele . . . . .	251	8.2.2 Diskrete Prozesse . . . . .	354
6.1.3 Aufgaben . . . . .	253	<b>8.3 Modellbildung mit Petri-Netzen . . . . .</b>	<b>355</b>
<b>6.2 Anthropogene Schadstoffe . . . . .</b>	<b>253</b>	8.3.1 Die Struktur von Petri-Netzen . . . . .	355
6.2.1 Die Entwicklung im 20. Jahrhundert . . . . .	253	8.3.2 Dynamik der Petri-Netze – Schaltregeln . . . . .	359
6.2.2 Ökosysteme Boden und Wasser . . . . .	255	8.3.3 Ablaufstrukturen und spezielle Situationen . . . . .	361
6.2.3 Anthropogene Boden- und Wasserschadstoffe .	257	8.3.4 Beispielaufgabe mit Lösung . . . . .	365
6.2.4 Anthropogene Luftschadstoffe . . . . .	262	8.3.5 Mathematische Darstellung von Petri-Netzen . .	367
6.2.5 Lärmbelastung . . . . .	268	<b>8.4 Beispieldarfstellung, Lösungen und Arbeitsaufträge . . . . .</b>	<b>369</b>
6.2.6 Aufgaben . . . . .	272	8.4.1 Netzanalyse . . . . .	369
<b>6.3 Nachweis- und Messverfahren – Analytik . . . . .</b>	<b>273</b>	8.4.2 Montageroboter . . . . .	370
6.3.1 Zweck der Nachweis- und Messverfahren . . . . .	273	8.4.3 Verkehrsampeln . . . . .	371
6.3.2 Qualitative und halbquantitative Nachweismethoden . . . . .	274	8.4.4 Transportprobleme . . . . .	373
6.3.3 Instrumentelle Umweltanalytik . . . . .	277	8.4.5 Keksautomaten . . . . .	375
6.3.4 Aufgaben . . . . .	284	8.4.6 Glücksspiele . . . . .	375
<b>6.4 Maßnahmen zur Reduzierung der Umweltbelastungen . . . . .</b>	<b>285</b>	<b>8.5 Aufgaben . . . . .</b>	<b>376</b>
6.4.1 Vermeidung von Umweltbelastungen . . . . .	285	<b>9 Komplexe technische Systeme . . . . .</b>	<b>378</b>
6.4.2 Abfallvermeidung durch geschlossene Produktkreisläufe . . . . .	288	<b>9.1 Beispiel 1: E-Bike oder Pedelec . . . . .</b>	<b>378</b>
6.4.3 Abfalltrennung und Wiederverwertung . . . . .	291	<b>9.2 Beispiel 2: Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor . . . . .</b>	<b>381</b>
6.4.4 Maßnahmen zur Luftreinhaltung . . . . .	294	<b>9.3 Beispiel 3: Windenergieanlagen (WEA) . . . . .</b>	<b>383</b>
6.4.5 Maßnahmen zur Gewässerreinhaltung . . . . .	299	<b>9.4 Beispiel 4: Heizkraftwerk . . . . .</b>	<b>385</b>
6.4.6 Aufgaben . . . . .	305	<b>9.5 Beispiel 5: Blockheizkraftwerk (BHKW) . . . . .</b>	<b>388</b>
<b>7 Elektrotechnik-Anwendung . . . . .</b>	<b>306</b>	<b>9.6 Beispiel 6: Mobile Krane . . . . .</b>	<b>389</b>
<b>7.1 Gleichstromtechnik . . . . .</b>	<b>306</b>	<b>TM 1 Einführung in die Technische Mechanik . . . . .</b>	<b>391</b>
7.1.1 Der einfache Stromkreis . . . . .	306	<b>TM 2 Kräfte in der Statik . . . . .</b>	<b>392</b>
7.1.2 Die elektrische Spannung $U$ . . . . .	308	<b>TM 3 Drehmomente in der Statik . . . . .</b>	<b>404</b>
7.1.3 Der elektrische Strom $I$ . . . . .	309	<b>TM 4 Freiheitsgrade eines Körpers . . . . .</b>	<b>407</b>
7.1.4 Das Ohm'sche Gesetz . . . . .	310	<b>TM 5 Zentrale Kräftesysteme . . . . .</b>	<b>408</b>
7.1.5 Der elektrische Widerstand $R$ . . . . .	312	<b>TM 6 Allgemeine Kräftesysteme . . . . .</b>	<b>414</b>
7.1.6 Schutzmaßnahmen im Umgang mit elektrischem Strom . . . . .	314	<b>TM 7 Freimachen von Bauteilen . . . . .</b>	<b>423</b>
7.1.7 Aufgaben zu Gleichstromtechnik und Schutzmaßnahmen beim Umgang mit Strom .	316	<b>TM 8 Musterbeispiele für die Berechnung von äußeren Kräften . . . . .</b>	<b>432</b>
<b>7.2 Schaltung von Widerständen . . . . .</b>	<b>318</b>	<b>TM 9 Statische Bestimmtheit . . . . .</b>	<b>439</b>
7.2.1 Reihenschaltung . . . . .	318	<b>TM 10 Schnittgrößen . . . . .</b>	<b>440</b>
7.2.2 Parallelschaltung . . . . .	320	<b>TM 11 Bauteile mit Streckenlasten . . . . .</b>	<b>448</b>
7.2.3 Gemischte Schaltungen . . . . .	322	<b>Bildquellenverzeichnis . . . . .</b>	<b>454</b>
7.2.4 Aufgaben zu Schaltung von Widerständen .	324	<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	Formel-zeichen	Name	Einheiten-zeichen
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 Einheitdefinition. 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 Hyperfeinstruktur niveaus 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:  $l = 105 \text{ m}$

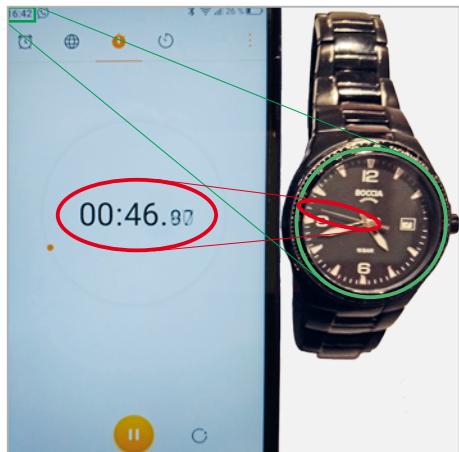
Geschwindigkeit:  $v = 12,5 \text{ m/s}$

### 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 Stoppuhrrmodus 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.

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.



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

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:

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

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

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:

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

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

### 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 Luftpölster, 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.

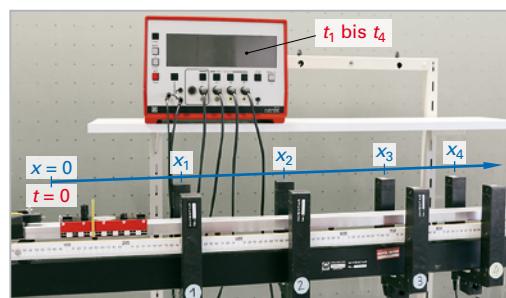


Bild 1: Experiment Luftkissenbahn

#### 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.