EUROPA-FACHBUCHREIHE
für naturwissenschaftliche
und technische Berufe

Physik

für Schule und Beruf

Dr. Eckhard Ignatowitz, Volker Jungblut, Dr. Ulrich Maier

Ein Lehr- und Lernbuch für das Unterrichtsfach Physik

4. Auflage

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

Europa-Nr.: 71616

Autoren:

Dr. Eckhard Ignatowitz	Dr.-Ing., Stud.Rat a.D.	Waldbronn
Volker Jungblut	Dipl.-Ing., O.Stud.Dir.	Eppstein
Dr. Ulrich Maier	Dr. rer. nat., O.Stud.Rat	Heilbronn
Gerhard Fastert †	Gewerbelehrer, O.Stud.Rat	Stade

Leitung des Arbeitskreises und Lektorat: Dr. Eckhard Ignatowitz

Bildentwürfe: Die Autoren
Fotos: Viele Unternehmen, Institute und Fotografen; Verzeichnis auf Seite 370

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

4. Auflage 2016, korrigierter Nachdruck 2019

Druck 5 4 3 2

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

ISBN 978-3-8085-7164-4

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

© 2016 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
http://www.europa-lehrmittel.de
Satz: rkt, 42799 Leichlingen, www.rktypo.com
Umschlag: Michael Maria Kappenstein, 60554 Frankfurt
nach einer Idee von Dr. E. Ignatowitz
Umschlagfotos: Dehn & Söhne, Deutscher Wetterdienst, Aventis AG (vormals Hoechst AG), KUKA-Schweißanlagen, Lufthansa AG, Thyssen-Krupp Transrapid, Jodi McGee / fotolia.de
Druck: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Vorwort

Das Buch **Physik für Schule und Beruf** ist ein Lehr- und Lernbuch für die schulische und betriebliche Ausbildung im Unterrichtsfach Physik.

Es ist vor allem für den Physikunterricht in den verschiedenen Schulformen des beruflichen Schulwesens konzipiert:

- für Berufsschulen der Ausbildungsberufe aus den Berufsfeldern Physik, Chemie, Biologie, Pharmazie, Medizintechnik, Wasserversorgungs- und Abwassertechnik.
- für Berufsfachschulen, Berufsaufbauschulen.
- für Meister-Fachschulen und Techniker-Fachschulen der technischen Berufsfelder.

Darüber hinaus kann es von allen, die an der Physik Interesse haben, zum Erarbeiten eines physikalischen Grundwissens mit technischer Ausrichtung verwendet werden.

Dieses Erarbeiten von physikalischem Wissen im Selbststudium ist möglich, da das Buch leicht verständlich geschrieben und mit einer Vielzahl von Bildern, Grafiken und Fotos ausgestattet ist.

Durch den modularen Aufbau in abgeschlossenen Lektionen kann das Buch auch zum Nachschlagen von einzelnen Themen sowie zum Abklären spezieller Fragestellungen herangezogen werden.

Die einzelnen Themen des Buches werden nach folgendem Schema vorgestellt und erarbeitet:

- Der physikalische Sachverhalt wird anhand eines Experiments oder eines allgemein bekannten Vorgangs aus dem Alltagsleben vorgestellt.
- Die Versuchsergebnisse oder die gewonnenen Erkenntnisse werden formuliert.
- Daraus werden Gesetzmäßigkeiten, Formeln und Berechnungsgleichungen abgeleitet.
- Musteraufgaben und Anwendungsbeispiele festigen das zuvor Gelernte.
- Technische Anwendungen der physikalischen Erkenntnisse werden vorgestellt und das physikalische Prinzip der Geräte, Maschinen, Apparate und Verfahren erläutert.
- Wiederholungsfragen und Aufgaben schließen die Lektionen ab.
- Nach jedem Großkapitel folgen eine Vielzahl von Aufgaben, die ein intensives Üben und Anwenden des Erlernten ermöglichen.

  Im Anhang des Buches sind die Lösungen der Aufgaben zur Kontrolle angegeben.

Die Physik wird im vorliegenden Buch nicht nur als reine Naturwissenschaft betrachtet, sondern insbesondere auch als Grundlage der Technik an Anwendungsbeispielen erläutert und dargestellt.

Die Anwendungen der Technik und die beschriebenen Vorgänge im Alltagsleben veranschaulichen die Physik als allumfassend wirkend und präsent.

Es werden konsequent die in DIN 1301 aufgelisteten SI-Einheiten verwendet und die normgerechte Kurzschreibweise der physikalischen Größen (DIN 1304) und Formeln (DIN 1313) angewandt.

In der vorliegenden **4. Auflage** wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. wesentlich ergänzt: Rotationsenergie, Trägheitsmomente (Seite 61), Mechanische Schwingungen (Seite 74 bis 80), Mechanische Wellen (Seite 82 bis 87), Akustik (Seite 88 bis 97), Regenerative Stromerzeugung (Seite 154 bis 158), Absorption des Lichts (Seite 187), Optische Geräte (Seite 213 bis 215 und 220 bis 222), Lichttechnische Größen (Seite 223 bis 225), Wellenoptik (Seite 226 bis 229), Transistoren (Seite 312), Informatik (Seite 319 bis 325), Ionisierende Strahlung.

Konstruktive Verbesserungsvorschläge und Fehlerkorrekturen werden von den Autoren und dem Verlag dankbar entgegengenommen und verwertet.

Herbst 2016 Die Autoren, der Verlag

Inhaltsverzeichnis

Physik – Naturwissenschaft und Grundlage der Technik 8

1 Physikalische Größen und ihre Messung 10

1.1 Physikalische Größen 10
1.2 Internationales Einheitensystem SI . . . 11
1.2.1 Basisgrößen 11
1.2.2 Abgeleitete Größen 12
1.2.3 Vorsätze zu Einheiten 13
1.3 Grundbegriffe der Messtechnik 14
1.4 Rechnen mit Messwerten 15
1.4.1 Signifikante Ziffern 15
1.4.2 Runden 16
1.4.3 Mittelwertbildung 16
1.4.4 Rechnen mit Messwerten 16

2 Mechanik der festen Körper 18

2.1 Grundgrößen der Mechanik 18
2.1.1 Länge 18
2.1.2 Fläche 20
2.1.3 Volumen 21
2.1.4 Winkel 22
2.1.5 Masse 23
2.1.6 Dichte 24
2.1.7 Zeit 25
2.2 Bewegungslehre 27
2.2.1 Bewegungsarten 27
2.2.2 Gleichförmig geradlinige Bewegung . . 28
2.2.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus der Ruhe 29
2.2.4 Freier Fall 30
2.2.5 Gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit 31
2.2.6 Gleichmäßig verzögerte Bewegung . . . 31
2.2.7 Zusammengesetzte geradlinige Bewegungen 33
2.2.8 Gleichförmige Drehbewegung 34
2.3 Kräfte 36
2.3.1 Das Wesen der Kraft 36
2.3.2 Die Trägheit der Körper 37
2.3.3 Grundgesetz der Dynamik 38
2.3.4 Gewichtskraft 39
2.3.5 Federkraft 40
2.3.6 Reibungskräfte 42
2.3.7 Kräfte bei Drehbewegungen 45
2.3.8 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften 47
2.3.9 Kräftegleichgewicht 48
2.4 Drehmoment und Hebel 50
2.4.1 Drehmoment 50
2.4.2 Hebel 50
2.4.3 Drehmomentengleichgewicht 51
2.4.4 Technische Anwendungen des Hebels . 52
2.4.5 Auflagerkräfte 53
2.4.6 Schwerpunkt 54
2.4.7 Gleichgewichtsarten 54
2.4.8 Standsicherheit 55
2.5 Arbeit und Energie 57
2.5.1 Mechanische Arbeit 57
2.5.2 Arten mechanischer Arbeit 57
2.5.3 Energie 58
2.5.4 Energieerhaltungssatz der Mechanik . . 59
2.5.5 Rotationsenergie, Trägheitsmoment . . . 61
2.5.6 Vergleich von Translation und Rotation 63
2.6 Mechanische Hilfen und Bauteile 65
2.7 Leistung 67
2.8 Wirkungsgrad 69
2.9 Mechanisch-technologische Eigenschaften der Feststoffe 70
Gemischte Aufgaben 72

3 Mechanische Schwingungen und Wellen 74

3.1 **Mechanische Schwingungen** 74
3.1.1 Federpendel 74
3.1.2 Größen von Schwingungen 75
3.1.3 Schwingungsgleichung 75
3.1.4 Periodendauer des Federpendels 76
3.1.5 Energie der Federschwingung 77
3.1.6 Fadenpendel 78
3.1.7 Dämpfung von Schwingungen 78
3.1.8 Erzwungene Schwingung – Resonanz . 79
3.1.9 Technisch Bedeutung der Resonanz . . . 80
3.2 Mechanische Wellen 82
3.2.1 Erzeugen mechanischer Wellen 82
3.2.2 Größen zur Beschreibung von Wellen . 83
3.2.3 Wellengleichung 84
3.2.4 Wellenarten 84
3.2.5 Überlagerung von Wellen 85
3.2.6 Ausbreitung von Wellen 86
3.2.7 Interferenz kreisförmiger Wellen 86

4 Akustik 88

4.1 Schallerreger 88
4.2 Schallwellen, Schallausbreitung 89
4.3 Aufzeichnung und Beschreibung von Schallschwingungen 89
4.4 Schallgeschwindigkeit 90
4.5 Schallempfänger 91
4.6 Lautstärke und ihre Messung 91
4.7 Ton, Klang, Geräusch 92
4.8 Technische Anwendungen 93
4.9 Sonderphänomene des Schalls 94
4.10 Schallschutzmaßnahmen 95
4.11 Technische Anwendungen Ultraschall . 96
Gemischte Aufgaben 97

5 Mechanik der Flüssigkeiten und Gase 98

5.1 Flüssigkeiten 98
5.1.1 Eigenschaften von Flüssigkeiten 98
5.1.2 Druck in Flüssigkeiten 100
5.1.3 Technische Anwendungen des Drucks 101
5.1.4 Hydrostatischer Druck 103
5.1.5 Anwendungen hydrostatischer Druck . 104
5.1.6 Auftrieb in Flüssigkeiten 105
5.1.7 Dichtebestimmung mit der Auftriebsmethode 106
5.1.8 Versinken und Schwimmen 106
5.1.9 Auftrieb bei Hohlkörpern 107
5.2 Gase 108
5.2.1 Eigenschaften der Gase 108
5.2.2 Luftdruck 109
5.2.3 Messung des Luftdrucks 110
5.2.4 Wirkungen des Luftdrucks 110
5.2.5 Druck und Volumen einer eingeschlossenen Gasportion 112
5.2.6 Angabe von Druckwerten 112
5.2.7 Anwendungen des Luftdrucks 113
5.2.8 Pumpen und Verdichter 114
5.3 Strömende Flüssigkeiten und Gase . . 115
5.3.1 Strömungsarten 115
5.3.2 Volumenstrom, Strömungsgeschwindigkeit 116
5.3.3 Druckarten in strömenden Fluiden . . . 117
5.3.4 Wirkungen und Anwendungen 118
5.3.5 Innere Reibung, Viskosität 120
5.3.6 Strömungsformen 121
5.3.7 Strömungswiderstand 121
5.3.8 Druckverlust in Rohrleitungen 122
5.3.9 Dynamischer Auftrieb am Tragflügel . 123
Gemischte Aufgaben 124

6 Wärmelehre 125

6.1 Temperatur und ihre Messung 125
6.1.1 Temperaturskalen 125
6.1.2 Temperaturmessung 126
6.2 Wärmeausdehnung der Stoffe 128
6.2.1 Längenausdehnung fester Stoffe 128
6.2.2 Volumenausdehnung fester Stoffe . . . 129
6.2.3 Wärmeausdehnung in der Technik . . . 129
6.2.4 Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten 130
6.2.5 Anomalie des Wassers 131
6.2.6 Wärmeausdehnung von Gasen 132
6.3 Wesen der Wärme 134
6.3.1 Wärme – eine Energieform 134
6.3.2 Kinetische Vorstellung der Wärme . . . 134
6.3.3 Wärmemenge 135
6.3.4 Spezifische Wärmekapazität 136
6.4 Aggregatzustände und Zustandsänderungen 137
6.4.1 Aggregatzustände 137
6.4.2 Umwandlungstemperaturen 137
6.4.3 Schmelzen und Erstarren 138
6.4.4 Verdampfen und Kondensieren 139
6.4.5 Gesamtwärmemenge 140
6.5 Kalorische Mischungen 141
6.5.1 Kalorimeter 141
6.5.2 Wärmeenergiebilanzen 142
6.6 Wärmeübertragung 143
6.6.1 Wärmeleitung 143
6.6.2 Konvektion (Wärmeströmung) 145
6.6.3 Wärmedurchgang durch eine Wand . . 146
6.6.4 Wärmestrahlung 147
6.6.5 Technische Wärmeübertragungen . . . 149
6.7 Technische Wärmeerzeugung und Energiegewinnung 151
6.7.1 Verbrennung fossiler Brennstoffe 151
6.7.2 Heizen mit elektrischem Strom 153
6.7.3 Stromerzeugung im Kernkraftwerk . . . 154
6.7.4 Wasserkraftwerke 154
6.7.5 Windkraftanlagen 155
6.7.6 Nutzung der Solarenergie 156
6.7.7 Solartechniken der Zukunft 157
6.7.8 Energiewende 158
6.8 Wärmekraftmaschinen 159
6.8.1 Kolbendampfmaschinen 159
6.8.2 Verbrennungsmotoren 159
6.8.3 Dampfturbinen 161
6.8.4 Gasturbinen 161
6.8.5 Flugzeug- und Raketenantriebe 162
Gemischte Aufgaben 163

7 Gase und Gasgemische 164

7.1 Zustandsänderungen idealer Gase . . . 165
7.1.1 Isotherme Zustandsänderung 165
7.1.2 Isobare Zustandsänderung 166
7.1.3 Isochore Zustandsänderung 167
7.1.4 Allgemeine Zustandsänderung 168
7.1.5 Adiabatische Zustandsänderung 169
7.2 Zustangsänderungen realer Gase 170
7.2.1 Van der Waals'sche Zustandsgleichung 171
7.2.2 Kritische Temperatur, kritischer Druck 171
7.3 Gastechnische Anwendungen 172
7.3.1 Verflüssigung von Gasen 172
7.3.2 Kühlschrank 172
7.3.3 Wärmepumpe 173
7.4 Gasgemische 174
7.4.1 Zustandsgrößen idealer Gasgemische 174
7.4.2 Gehaltsgrößen von Gasgemischen . . . 175
7.5 Feuchte Luft 176
7.5.1 Partialdampfdruck feuchter Luft 176
7.5.2 Kenngrößen der Luftfeuchtigkeit 177
7.5.3 Messung der Luftfeuchtigkeit 178
7.5.4 Klimatisierung von Räumen 179
7.6 Verdampfen von Flüssigkeiten 180
7.6.1 Dampfdruckkurve von Flüssigkeiten . . 180
7.6.2 Dampfdruck von Gemischen 180
7.7 Destillieren 181
Gemischte Aufgaben 182

8 Optik 183

8.1 Grundeigenschaften des Lichts 183
8.1.1 Lichtwahrnehmung und Sehen 183
8.1.2 Reflexion, Absorption, Durchlässigkeit 183
8.1.3 Wesen des Lichts 184
8.1.4 Ausbreitung des Lichts 185
8.1.5 Absorption des Lichts 187
8.2 Reflexion des Lichts 188
8.2.1 Reflexionsgesetze am ebenen Spiegel 188
8.2.2 Bildentstehung am ebenen Spiegel .. 189
8.2.3 Anwendungen ebener Spiegel 190
8.2.4 Reflexion am Hohlspiegel 192
8.2.5 Bildentstehung am Hohlspiegel 193
8.2.6 Reflexion am Wölbspiegel 194
8.2.7 Bildentstehung am Wölbspiegel 194
8.2.8 Technische Anwendungen 194
8.3 Brechung des Lichts 196
8.3.1 Brechungsgesetz 196
8.3.2 Optische Effekte durch Lichtbrechung 197
8.3.3 Totalreflexion 198
8.3.4 Totalreflexion in der Natur 199
8.3.5 Technische Anwendungen 199
8.4 Optische Linsen 202
8.4.1 Optische Wirkung, Linsenformen 202
8.4.2 Strahlengang durch Sammellinsen ... 202
8.4.3 Strahlengang bei Zerstreuungslinsen . 203
8.4.4 Abbildung durch Sammellinsen 204
8.4.5 Fresnellinse 206
8.4.6 Abbildung durch Zerstreuungslinsen . 206
8.4.7 Linsensysteme 207
8.5 Das Auge 208
8.5.1 Augenfehler und ihre Korrektur 209
8.5.2 Erkennen der Größe und Entfernung . 209
8.6 Optische Geräte mit Linsen 210
8.6.1 Lupe 210
8.6.2 Mikroskop 211
8.6.3 Fernrohre 212
8.6.4 Projektoren 213
8.6.5 Fotoapparate 214
8.6.6 Bewegungsmelder 215
8.7 Farbenlehre 216
8.7.1 Zerlegen des weißen Lichtes 216
8.7.2 Spektralanalyse 217
8.7.3 Mischen von Farben 217
8.7.4 Farbdruck mit Druckmaschinen 219
8.7.5 Farbfotografie mit Fotopapier 219
8.7.6 Kopierer 220
8.7.7 Drucker 221
8.7.8 Flachbildschirm-Farbfernseher 221
8.8 Lichttechnische Größen 223
8.8.1 Lichtstrom 223
8.8.2 Lichtstärke 223
8.8.3 Beleuchtungsstärke 224
8.8.4 Leuchtdichte 225
8.9 Wellenoptik 226
8.9.1 Das Licht als elektromagnetische Welle 226
8.9.2 Beugung von Wellen 226
8.9.3 Lichtbeugung am Beugungsgitter 227
8.9.4 Reflexion von Lichtwellen 229
8.9.5 Brechung von Lichtwellen 229
8.9.6 Farberscheinungen an Schichten 230
8.9.7 Entspiegelung von Gläsern 230
8.9.8 Polarisiertes Licht 230
8.9.9 Laserlicht 231
8.9.10 Spektrum elektromagnetische Wellen 233
Gemischte Aufgaben 234

9 Elektrizitätslehre 235

9.1 Elektrische Ladung 235
9.2 Elektrisches Feld 237
9.2.1 Darstellung durch Feldlinien 237
9.2.2 Technische Anwendungen 238
9.3 Elektrische Spannung 239
9.4 Elektrischer Strom 240
9.4.1 Stromkreis 241
9.4.2 Stromstärke 241
9.4.3 Wirkungen des elektrischen Stroms .. 242
9.4.4 Messung Spannung, Stromstärke 242
9.5 Plattenkondensator 243
9.6 Elektrische Leitungsvorgänge 245
9.6.1 Stromleitung in Feststoffen 245
9.6.2 Stromleitung in Flüssigkeiten 246
9.6.3 Stromleitung in Gasen 246
9.7 Elektrischer Widerstand 248
9.7.1 Ohmsches Gesetz 248
9.7.2 Leiterwiderstand 249
9.7.3 Temperaturabhängigkeit 251
9.7.4 Technische Anwendungen 252
9.8 Schaltungen elektrischer Widerstände 254
9.8.1 Reihenschaltung 254
9.8.2 Technische Anwendungen 255
9.8.3 Parallelschaltung 257
9.8.4 Technische Anwendungen 258
9.8.5 Gruppenschaltungen 259
9.8.6 Wheatstone'sche Brückenschaltung .. 261
9.9 Elektrische Arbeit und Leistung 262
9.9.1 Elektrische Arbeit 262
9.9.2 Elektrische Leistung 263
9.9.3 Wirkungsgrad 264
9.10 Stromversorgung und elektrische Installation 265
9.10.1 Leitungsnetz 265
9.10.2 Elektrischer Anschluss 266
9.10.3 Sicherungen 267
9.11 Gefahren des elektrischen Stroms ... 268
9.11.1 Wirkungen des Stroms im Körper 268
9.11.2 Fehlerarten, Berührungsarten 269
9.11.3 Schutzmaßnahmen 270
Gemischte Aufgaben 272

10 Magnetismus 273

10.1 Magnetische Stoffe 273
10.1.1 Eigenschaften der Magnete 274
10.1.2 Ursache des Magnetismus 275
10.2 Magnetisches Feld 276
10.2.1 Darstellung mit Feldlinien 276
10.2.2 Eigenschaften der Magnetfelder 277
10.2.3 Magnetfeld der Erde 277
10.3 Elektromagnetismus 278
10.3.1 Magnetfeld eines Leiters 278
10.3.2 Leiterschleifen und Spulen 279
10.3.3 Magnetische Größen 281
10.3.4 Anwendungen 282
10.4 Kraftwirkungen im Magnetfeld 285
10.4.1 Leiter im Magnetfeld 285
10.4.2 Lorentzkraft 286
10.4.3 Leiterschleife im Magnetfeld 287
10.4.4 Prinzip des Gleichstrommotors 287
10.4.5 Drehspulmesswerk 288
10.4.6 Dreheisenmesswerk 288
10.4.7 Hall-Effekt 289
10.5 Magnetische Induktion 290
10.5.1 Induktion der Bewegung 290
10.5.2 Induktion durch Flussänderung 291
10.5.3 Wirbelströme 292
10.5.4 Selbstinduktion 293
10.6 Technische Anwendungen 295
10.6.1 Wechselstromgenerator 295
10.6.2 Drehstromgenerator 297
10.6.3 Gleichstromgenerator 298
10.6.4 Transformator 299
10.6.5 Technische Anwendungen 300
10.7 Elektromotoren 302
10.7.1 Gleichstrommotoren 302
10.7.2 Drehstrommotoren 303
Gemischte Aufgaben 304

11 Elektronik 305

11.1 Halbleiter-Werkstoffe 306
11.2 pn-Übergang 307
11.3 Halbleiterdioden 308
11.4 Fotohalbleiter 310
11.4.1 Fotoelemente und Solarzellen 310
11.4.2 Fotodioden 310
11.4.3 Leuchtdioden 311
11.4.4 Fotowiderstände 311
11.5 Transistoren 312
11.5.1 Bipolare Transistoren 312
11.5.2 Unipolare Transistoren 313
11.5.3 Anwendungen mit Transistoren 313
11.6 Logische Grundschaltungen 315
11.7 Aufbau der Elektronik eines Gerätes . 317

12 Informatik 319

12.1 Aufbau eines Computers 319
12.2 Arbeitsweise eines Computers 320
12.3 Anwendungsgebiete der Informatik . 321
12.4 Internet 322
12.4.1 Netzwerke 322
12.4.2 Internetzugang 323
12.4.3 Vereinbarungen des Internets 324
12.4.4 Internetdienste 325
12.4.5 Datensicherheit 325

13 Atom- und Kernphysik 326

13.1 Aufbau der Materie 326
13.1.1 Rutherford'sches Atommodell 326
13.1.2 Bohr'sches Atommodell 327
13.2 Atombau und das Periodensystem . . .328
13.3 Aufbau des Atomkerns 330
13.4 Isotope 331
13.5 Vorgänge in der Atomhülle 331
13.6 Röntgenstrahlen 332
13.7 Radioaktive Stoffe 332
13.7.1 Strahlung radioaktiver Stoffe 332
13.7.2 Radioaktiver Zerfall 333
13.7.3 Kennwerte des radioaktiven Zerfalls . 334
13.7.4 Messung radioaktiver Strahlung 335
13.7.5 Anwendung radioaktiver Stoffe 335
13.8 Radiocarbonmethode (Archäologie) . 337
13.9 Ionisierende Strahlung 338
13.9.1 Strahlendosis 339
13.9.2 Strahlenbelastung und -schäden 339
13.9.3 Diagnose mit ionisierender Strahlung 340
13.9.4 Therapie mit ionisierender Strahlung 341
13.10 Vorgänge bei der Kernspaltung 342
13.11 Kerntechnik 343
13.11.1 Kernspaltung im Kernreaktor 343
13.11.2 Aufbau eines Kernreaktors 344
13.11.3 Reaktorsicherheit 344
13.11.4 Entsorgung der Kernbrennstoffe 345
13.11.5 Risiken der Kernenergie 346
13.11.6 Rückbau von Kernkraftwerken 346
13.12 Kernwaffen 347
13.13 Kernfusion 347

Anhang 348

1 Physikalische Größen 348
1.1 Basisgrößen 348
1.2 Abgeleitete physikalische Größen 349
1.3 Physikalische Konstanten 352
1.4 Britisch-amerikanische Größen 352
2 Physikalische Eigenschaften von Stoffen 353
2.1 Metalle und Metalllegierungen 353
2.2 Nichtmetallische Werkstoffe 354
2.3 Flüssigkeiten und Gase 354
3 Lösungen der Aufgaben im Buch 355

Sachwortverzeichnis 362

Bildquellenverzeichnis 370

Physik – Naturwissenschaft und Grundlage der Technik

Die Physik untersucht Naturvorgänge.

Mit Ausnahme der Biophysik, die sich mit lebenden Systemen beschäftigt, befasst sich die Physik mit Vorgängen in der unbelebten Natur.

Am Anfang steht meist das **Beobachten** und das Staunen über besonders beeindruckende Vorgänge in der Natur wie z.B.

- der Flug eines Raubvogels **(Bild 1)**
- ein farbenprächtiger Regenbogen
- die Wolkenbildung und Färbungen bei besonderen Wetterlagen **(Bild 2)**
- Blitz und Donner bei einem Gewitter **(Bild 3)**.

Die Physik stellt die Beobachtungen zu einer Naturerscheinung zusammen und versucht daraus Regelmäßigkeiten festzustellen. Darauf aufbauend versucht die Physik die zugrunde liegenden **Gesetzmäßigkeiten** zu erkennen und sie mit Gesetzen und Gleichungen zu beschreiben.

Bei den Vorgängen in der Natur wirken meist mehrere Einflüsse zusammen. Sie erschweren es, das zugrundeliegende Prinzip, die Gesetzmäßigkeiten zu erkennen und zu beschreiben.

Beispiel: Ein Apfel und ein Blatt müssten alleine aufgrund der Schwerkraft aus derselben Höhe in derselben Zeit zu Boden fallen. Man beobachtet aber, dass ein Apfel schneller als ein Blatt fällt. Der Grund ist, dass neben der Schwerkraft z. B. die unterschiedlichen Formen bzw. Luftwiderstände oder eventuelle Luftbewegungen (Wind) die Geschwindigkeit, mit der ein Körper fällt, beeinflussen .

Der Physiker muss deshalb störende Einflussgrößen ausschließen. Er führt dazu z.B. Versuche (**physikalische Experimente** genannt) mit Modellanordnungen durch. So werden Fallversuche in luftleer gepumpten (evakuierten) Glasrohren durchgeführt, um den Lufteinfluss auszuschließen.

Im physikalischen Experiment werden natürliche Vorgänge gezielt herbeigeführt und abgewandelt.

Die Ergebnisse von Experimenten sind die Grundlage für weitere Überlegungen und haben letztendlich zum Ziel, die grundlegenden Zusammenhänge zu finden.

Beispiel: Im Hochgebirge macht man die Erfahrung, dass die Garzeiten beim Kochen deutlich länger sind als in der Ebene. Die Vermutung liegt nahe: Wasser kocht in größeren Höhen bei niedrigeren Temperaturen. Zum experimentellen Nachweis misst man an Orten in verschiedener Höhenlage die Siedetemperatur des Wassers. Dabei bestätigt sich: Die Siedetemperatur sinkt mit steigender Höhe.

Bild 1: Fliegender Raubvogel

Bild 2: Wolkenbildung und Lichteffekte

Bild 3: Blitzeinschlag

Dieses Ergebnis führt zu der Frage: Weshalb nimmt die Siedetemperatur mit steigender Höhe ab? Oder präziser: Gibt es eine Einflussgröße, die sich mit der Höhe ändert und unmittelbar auf die Siedetemperatur wirkt?

Da man weiß, dass der Luftdruck mit zunehmender Höhe sinkt, wird man einen Zusammenhang zwischen dem Luftdruck und der Siedetemperatur vermuten und diesen experimentell untersuchen. Man findet: Die Siedetemperatur sinkt, wenn der Druck über der Flüssigkeit abnimmt.

Die Aussage, die Siedetemperatur einer Flüssigkeit hängt vom Druck über der Flüssigkeit ab, ist die übergeordnete allgemeingültige Gesetzmäßigkeit. Der Zusammenhang, die Siedetemperatur nimmt mit steigender Höhe ab, ist dagegen nur eine aus dieser Gesetzmäßigkeit ableitbare Aussage.

Die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse der Physik sind eine wesentliche Basis für die Errungenschaften der **Technik.** Der Flugzeugbau z. B. nutzt die Beobachtungen beim Flug der Vögel sowie die Erkenntnisse der Bewegungslehre und der Strömungsmechanik. Dadurch wird es möglich, dass ein Flugzeug mit einer Masse von 100 Tonnen sich in die Luft erhebt und ähnlich einem Vogel fliegt **(Bild 1).**

Lange Zeit begnügten sich die Physiker mit der Erforschung der physikalischen Zusammenhänge. Die technische Anwendung der physikalischen Erkenntnisse war häufig zufällig und erfolgte meist viele Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte nach deren Entdeckung.

Heute werden physikalische Erkenntnisse systematisch auf ihre technische Nutzung untersucht und dann möglichst schnell realisiert.

Ein Beispiel ist die Computertechnologie. Vor ca. 70 Jahren wurde aus den von der Festkörperphysik gefundenen Halbleiterwerkstoffen der erste Transistor aufgebaut. Damit begann die revolutionäre Entwicklung der Elektronik und der Computertechik, die heute alle Bereiche des privaten und beruflichen Lebens erobert hat.

Die Arbeiten in Büros, Banken oder Börsen werden mit Computern ausgeführt **(Bild 2).**

Autos, Eisenbahnen und Flugzeuge werden von Computern gesteuert **(Bild 3).**

Moderne Fertigungsmaschinen werden von elektronischen Stuerungs- und Regelungssystemen geführt und überwacht.

Auch das Brennschneiden, das Schweißen und das hochmoderne Laserschneiden wenden die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse der Physik an **(Bild 4).**

Bild 1: Startendes Großflugzeug

Bild 2: Computer an einer Börse

Bild 3: Computersteuerung eines Passagierflugzeugs

Bild 4: Laserschneiden von Stahlblech

1 Physikalische Größen und ihre Messung

Die Physik untersucht beobachtbare und messbare Merkmale, um für physikalische Erscheinungen bestimmende Einflussgrößen zu finden, sie zahlenmäßig zu erfassen und Zusammenhänge aufzuzeigen.

Damit ihre Ergebnisse eindeutig formuliert und ausgetauscht werden können, bedient sich die Physik einer Fachsprache und verwendet international verbindliche Größen und Einheiten.

1.1 Physikalische Größen

Die messbaren Eigenschaften von Objekten, Zuständen und Vorgängen werden als physikalische Größen bezeichnet.

Physikalische Größen sind z. B. die Länge, das Volumen, die Masse, die Dichte, die Geschwindigkeit. Zur Vereinfachung werden die physikalischen Größen durch festgelegte Formelzeichen (nach DIN 1304) dargestellt. Die Formelzeichen werden zur besseren Erkennbarkeit *kursiv* (schräg) gedruckt.

Beispiele für Formelzeichen:

l	für Länge	t	für Zeit	ϱ	für Dichte
V	für Volumen	m	für Masse	ϑ	für Temperatur in °C

Physikalische Größen werden durch ihren Wert (Größenwert) beschrieben.

Der Wert einer physikalischen Größe wird als Produkt aus Zahlenwert und Einheit angegeben.

Beispiel: $m = 3{,}2 \cdot (1\ \text{kg}) = 3{,}2\ \text{kg}$

Dabei ist:
m die physikalische Größe (m ist das Formelzeichen für die Masse)
3,2 der Zahlenwert der physikalischen Größe (Masse)
kg die Einheit der Masse (kg ist das Einheitenzeichen für Kilogramm)

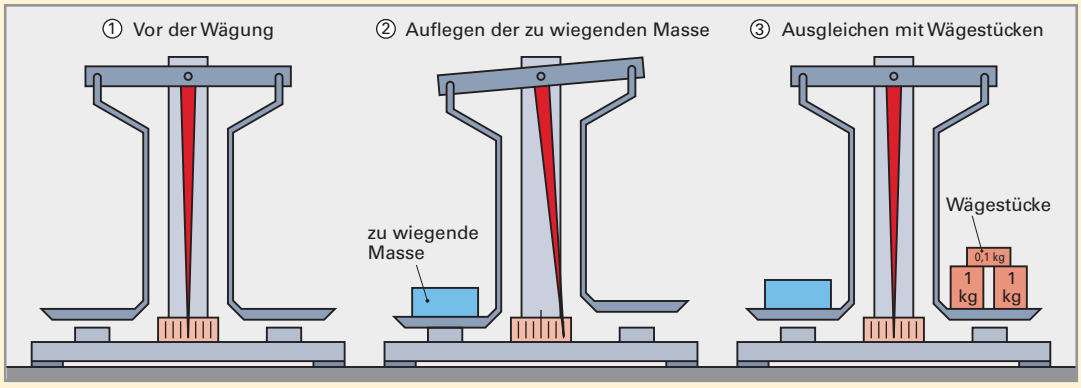
Den Wert einer physikalischen Größe erhält man durch Messen.

Beim Messen wird die zu ermittelnde physikalische Größe zu ihrer Einheit ins Verhältnis gesetzt.

Beispiel: Die Messung einer Masse (Wiegen oder Wägung genannt) mit einer Balkenwaage **(Versuch 1)**.

Versuch 1: Prinzip des Messens am Beispiel des Wiegens mit einer Balkenwaage

Vor Beginn der Messung sind die Waagschalen leer und die Waage ist im Gleichgewicht ①. Dann legt man die zu wiegende Masse auf die linke Waagschale ②. Dadurch neigt sich diese nach unten und der Zeiger bewegt sich nach rechts. Es werden nun auf die rechte Schale so viele Wägestücke mit der Masseneinheit 1 kg bzw. mit dezimalen Teilen dieser Masseneinheit (0,1 kg, 0,01 kg) aufgelegt, bis die Waage wieder im Gleichgewicht ist, d.h. der Zeiger auf der Nullmarke steht ③.



Für die im Versuch zu bestimmende Masse müssen genau 2 Wägestücke mit der Masseneinheit 1 kg und 1 Wägestück von 0,1 kg aufgelegt werden, also insgesamt $2 \cdot 1\ \text{kg} + 1 \cdot 0{,}1\ \text{kg} = 2{,}1\ \text{kg}$. Die aufgelegte Masse ist 2,1 mal so groß wie die Einheit der Masse 1 kg. Die gewogene Masse ist damit $m = 2{,}1 \cdot 1\ \text{kg} = 2{,}1\ \text{kg}$.

Skalare und vektorielle Größen

Mit der Angabe $m = 2{,}1$ kg ist die physikalische Größe Masse exakt angegeben. Die Masse ist unabhängig von der Richtung. Solche physikalische Größen nennt man **skalare Größen.**

Skalare Größen sind durch die Angabe von Zahlenwert und Einheit eindeutig festgelegt.

Beispiele skalarer Größen:
Länge l, Zeit t, Masse m, Volumen V, Dichte ϱ

Physikalische Größen, die anders als die skalaren Größen richtungsabhängig sind, bezeichnet man als **vektorielle Größen.**

Beispiel: Ein Körper legt den Weg von A nach B zurück **(Bild 1).** Der Abstand der beiden Punkte A und B ist als Länge durch Zahlenwert und Einheit genau festgelegt. Der Größenwert des Weges ist bei einer geradlinigen Bewegung gleich dieser Länge. Um den Weg exakt zu beschreiben, muss aber noch angegeben werden, ob die Bewegung von A nach B oder von B nach A verläuft. Zum Größenwert Weg ist zusätzlich die Richtung anzugeben. Der Weg als gerichtete Größe, oder mit dem Fachausdruck als vektorielle Größe, kann z. B. durch Pfeile dargestellt werden.

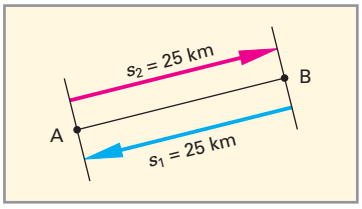


Bild 1: Vektorielle Größen s_1 und s_2

Die Wege s_1 und s_2 im Beispiel stimmen in Zahlenwert und Einheit überein. Beide haben den gleichen Größenwert.
Sie unterscheiden sich aber in ihrer Richtung. Deshalb gilt:

Vektorielle Größen müssen zur eindeutigen Bestimmung den Zahlenwert, die Einheit und die Richtung enthalten.

Um die vektorielle Eigenschaft von Größen zu kennzeichnen, kann man einen Pfeil über das Größenzeichen setzen, z. B. $\vec{s}$, $\vec{F}$, $\vec{v}$.

Beispiele vektorieller Größen:
Weg s, Geschwindigkeit v, Beschleunigung a, Kraft F.

1.2 Internationales Einheitensystem SI

Physikalische Größen sind gegenüber ihrer Einheit invariant, d.h. ihr Größenwert ist unabhängig von der verwendeten Einheit. Zwar ändert sich mit der Einheit der Zahlenwert, aber das Produkt aus Zahlenwert und Einheit, der Größenwert, bleibt unverändert.

Beispiel: Ob man den Durchmesser eines bestimmten Rohres in Millimeter misst (z. B. $d = 38{,}1$ mm) oder, wie in Teilbereichen der Technik gebräuchlich, in Zoll angibt (z. B. $d = 1{,}5$ Zoll), ändert nichts am Durchmesser des Rohres (1 Zoll = 25,4 mm).

Die Festlegung bestimmter Einheiten für bestimmte Größen hat jedoch entscheidende Vorteile: Die Austauschbarkeit wird verbessert, Irrtümer und Verwechslungen bei der Angabe und bei den Umrechnungen werden vermieden. Deshalb hat man für physikalische Größen verbindliche Einheiten festgelegt und mit der Einführung des **Internationalen Einheitensystems SI**[1)] die in verschiedenen Ländern gebräuchlichen, unterschiedlichen Einheiten- und Größensysteme vereinheitlicht.

1.2.1 Basisgrößen

Das Internationale Einheitensystem baut auf sieben Basisgrößen auf **(Tabelle 1).**

Basisgrößen sind Größen, die nicht auf andere Größen zurückgeführt werden können.

Den Basisgrößen sind im Internationalen Einheitensystem SI die Basiseinheiten zugeordnet, wie z.B. der Länge das Meter, der Masse das Kilogramm, der Zeit die Sekunde usw.
Die Basisgrößen werden in Gleichungen mit Formelzeichen geschrieben, die Basiseinheiten werden mit Einheitenzeichen ausgedrückt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Basisgrößen und Einheiten des SI (DIN 1304 und DIN 1301)

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

[1)] von französisch: Système International d'Unités

Die älteste gültige Definition einer Basiseinheit ist die der Masseneinheit: Das Kilogramm ist gleich der Masse des internationalen Kilogrammprototyps. Dies ist ein bei der Physikalisch-technischen Bundesanstalt in Braunschweig aufbewahrter Zylinder aus einer Platin-Iridium-Legierung **(Bild 1)**.

Die neueste Festlegung ist die für die Längeneinheit: Das Meter ist die Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während des Intervalls von 1/299 792 458 Sekunde durchläuft. Diese Definition ist sehr genau, aber wenig anschaulich. Ursprünglich war die Längeneinheit 1 Meter durch die Länge des Meterprototyps, des sogenannten Urmeters, definiert (Bild 1). Für die normalen Längenmessungen reicht eine Eichung der Messgeräte mit dem Meterprototyp aus.

Die Einheiten sind selbst physikalische Größen, die über die messbaren Eigenschaften von Objekten (z. B. Masseprototyp), Vorgängen (z. B. Ausbreitung des Lichtes im Vakuum) oder Zuständen definiert sind.
Die Eigenschaft einer Einheit, selbst physikalische Größe zu sein, wird einsichtig, wenn man sich verdeutlicht, dass Messen im Prinzip Vergleichen einer Größe mit der Einheit heißt. Vergleichen lassen sich aber nur gleichartige Größen. Eine Länge kann nur mit einer Länge, eine Masse nur mit einer anderen Masse verglichen werden.

Bild 1: Kilogrammprototyp und Meterprototyp

1.2.2 Abgeleitete Größen

Das Internationale Einheitensystem SI ist ein umfassendes Größen- und Einheiten-System; d.h. alle physikalischen Größen können damit beschrieben werden. Bei nur 7 Basisgrößen gehört die Mehrzahl der physikalischen Größen zu den abgeleiteten Größen. Das sind Größen, die sich durch Anwendung physikalischer Gesetzmäßigkeiten aus den Basisgrößen formelmäßig herleiten lassen.

Die abgeleiteten Größen sind durch Größengleichungen mit den Basisgrößen verbunden.

Beispiele für abgeleitete Größen:

1. Die Fläche A eines Rechteckes ergibt sich aus dem Produkt von Länge l und Breite b. Größengleichung: $A = l \cdot b$
2. Die Dichte ϱ eines Körpers berechnet man aus dem Quotienten von Masse m und Volumen V. Größengleichung: $\varrho = \frac{m}{V}$

In Größengleichungen werden nicht nur Basisgrößen, sondern auch bereits abgeleitete Größen eingesetzt. Die Dichte ϱ z. B. wird aus der Basisgröße Masse m und der abgeleiteten Größe Volumen V definiert.

Die **Einheit einer abgeleiteten Größe** erhält man durch Einsetzen der Einheiten der Bestimmungsgrößen in die Größengleichung. Um eindeutig zu kennzeichnen, dass die Einheiten der Größen betrachtet werden, setzt man die Größenzeichen in eckige Klammern.

Beispiele:

1. Größengleichung für die Fläche: $A = l \cdot b$
   Einheitengleichung für die Fläche: $[A] = [l] \cdot [b] = 1\ \text{m} \cdot 1\ \text{m} = 1\ \text{m}^2$
   Die abgeleitete Einheit der Fläche ist das Quadratmeter (Einheitenzeichen m^2).
   Die über die Betrachtung eines Rechteckes hergeleitete Flächeneinheit m^2 gilt für alle Flächen. In jeder Gleichung zur Flächenberechnung ist das Produkt von Längen enthalten.
2. Größengleichung für die Dichte: $\varrho = \frac{m}{V}$
   Einheitengleichung für die Dichte: $[\varrho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{1\ \text{kg}}{1\ \text{m}^3} = 1\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Für abgeleitete Größen ergeben sich unter Umständen sehr umfangreiche Einheiten. Deshalb hat man für oft angewendete abgeleitete Einheiten besondere Bezeichnungen, oftmals nach den Namen berühmter Naturwissenschaftler, eingeführt.

Beispiel: Die Kraft hat die abgeleitete Einheit $1\ \mathrm{kg \cdot m/s^2}$. Man nennt $1\ \mathrm{kg \cdot m/s^2} = 1$ Newton, abgekürzt 1 N nach Isaac Newton, einem englischen Naturforscher.

1.2.3 Vorsätze zu Einheiten

Die ausschließliche Verwendung der Grundeinheiten bzw. der auf die Grundeinheiten zurückgeführten abgeleiteten Einheiten würde in vielen Fällen zu unüberschaubaren, weil sehr kleinen bzw. sehr großen Zahlenwerten führen. Deshalb können von den Einheiten mit eigenen Einheitenzeichen durch festgelegte Vorsilben dezimale Vielfache und dezimale Bruchteile gebildet werden **(Tabelle 1).**

Desweiteren sind für einige Größen Vielfache bzw. Bruchteile ihrer abgeleiteten SI-Einheit als gesetzliche Einheit mit eigenem Einheitenzeichen festgelegt, z. B. die Masseneinheit Tonne (1 t = 1000 kg).

Beispiele:

1. Die Länge $l = 3 \cdot 10^{-4}$ m soll in µm angegeben werden.
   Aus Tabelle 1 erhält man $1\ \mu\mathrm{m} = 10^{-6}$ m und damit $1\ \mathrm{m} = 10^{6}\ \mu\mathrm{m}$. Eingesetzt ergibt sich für $l = 3 \cdot 10^{-4}$ m
   $l = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{6}\ \mu\mathrm{m} = 3 \cdot 10^{2}\ \mu\mathrm{m} =$ **300 µm**
2. Die Masse $m = 0{,}004$ kg soll in die Einheit mg umgerechnet werden.
   Tabelle 1 liefert $1\ \mathrm{kg} = 10^{3}$ g und $1\ \mathrm{g} = 10^{3}$ mg, so dass folgt
   $m = 0{,}004\ \mathrm{kg} = 0{,}004 \cdot 10^{3} \cdot 10^{3}\ \mathrm{mg} = 0{,}004 \cdot 10^{6}\ \mathrm{mg}$
   $\boldsymbol{m = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{6}\ \mathrm{mg} = 4 \cdot 10^{3}\ \mathrm{mg} =}$ **4000 mg**
3. Die Fläche $A = 600\ \mathrm{cm^2}$ ist in $\mathrm{m^2}$ anzugeben
   Aus Tabelle 1 wird $1\ \mathrm{cm} = 10^{-2}$ m entnommen und eingesetzt.
   $A = 600\ \mathrm{cm^2} = 600 \cdot (10^{-2}\ \mathrm{m})^2 = 600 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{m^2}$
   $\boldsymbol{A = 0{,}06\ \mathrm{m^2}}$

Tabelle 1: Vorsätze zu Einheiten

Vorsatz	Vorsatzzeichen	Zehnerpotenz	Faktor
Dezimale Vielfache			
Peta	P	10^{15}	Billiarde
Tera	T	10^{12}	Billion
Giga	G	10^{9}	Milliarde
Mega	M	10^{6}	Million
Kilo	k	10^{3}	Tausend
Hekto	h	10^{2}	Hundert
Deka	da	10^{1}	Zehn
Dezimale Bruchteile			
Dezi	d	10^{-1}	Zehntel
Zenti	c	10^{-2}	Hundertstel
Milli	m	10^{-3}	Tausendstel
Mikro	µ	10^{-6}	Millionstel
Nano	n	10^{-9}	Milliardstel
Piko	p	10^{-12}	Billionstel
Femto	f	10^{-15}	Billiardstel
Atto	a	10^{-18}	Trillionstel

WIEDERHOLUNGSFRAGEN

1. Wie wird der Wert einer physikalischen Größe angegeben?
2. Worin unterscheiden sich skalare und vektorielle Größen?
3. Nennen Sie die sieben Basisgrößen sowie ihre Formelzeichen und Einheitenzeichen.
4. Wozu dienen die Vorsätze vor den Einheiten? Erläutern Sie an einem Beispiel.

AUFGABEN

1. Der Druck p ist definiert als Quotient aus Kraft F und Fläche A. Leiten Sie daraus die Einheit des Druckes her.
2. Auf Verpackungskartons wird aus transport- und lagertechnischen Gründen oftmals das Volumen angegeben. Berechnen Sie das Volumen des Kartons von **Bild 1.**

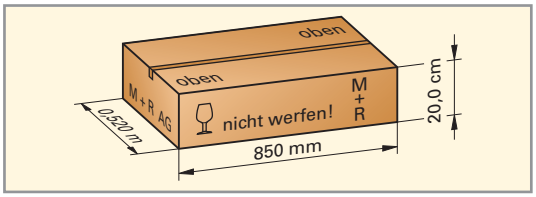


Bild 1: Verpackungskarton (Aufgabe 2)

3. Rechnen Sie in die jeweils geforderte Einheit um.
   a) $m = 3820$ g in kg
   b) $m = 0{,}823$ kg in g
   c) $d = 450\ \mu\mathrm{m}$ in mm
   d) $A = 240\ \mathrm{cm^2}$ in $\mathrm{dm^2}$
   e) $V = 25\ \mathrm{dm^3}$ in $\mathrm{m^3}$
   f) $n = 0{,}280$ kmol in mol

1.3 Grundbegriffe der Messtechnik

Messungen in physikalischen Experimenten ermöglichen eine präzise Beschreibung von Naturvorgängen. Sie dienen zudem der größenmäßigen (quantitativen) Kontrolle technischer Abläufe.

Objektive Aussagen sind nur möglich, wenn eindeutige Begriffe festgelegt und die einschlägigen Normen, Richtlinien und andere Regelwerke eingehalten werden.

Die Norm DIN 1219 definiert die wesentlichen Grundbegriffe der Fachsprache der Messtechnik.

Messen ist der experimentelle Vorgang, bei dem für die Messgröße ein Messwert als Vielfaches einer Einheit ermittelt wird.

Der Messwert wird wie die physikalische Größe als Produkt von Zahlenwert und Einheit angegeben.

Beispiel: Messgröße: Zeit t
Messwert: 5 Sekunden, kurz 5 s
Messergebnis: $t = 5$ s

Man unterscheidet verschiedene Arten des Messens.

Indirektes Messen

Beim indirekten Messen wird die Messgröße **nicht** unmittelbar durch einen Messvorgang festgestellt.

Die Messgröße wird beim indirekten Messen durch eine oder mehrere Messungen und anschließendes Berechnen mit einer Größengleichung ermittelt.

Beispiel: Bestimmung des Volumens V eines Quaders durch Längenmessungen **(Bild 1)**.

Die Messgrößen sind: Länge l, Breite b, Höhe h

Die Größengleichung für das Volumen lautet:
$V = l \cdot b \cdot h$

Messwerte: $l = 7{,}2$ cm, $b = 2{,}9$ cm, $h = 2{,}4$ cm

Das Messergebnis lautet: $\boldsymbol{V} = 7{,}2\text{ cm} \cdot 2{,}9\text{ cm} \cdot 2{,}4\text{ cm}$
$= 50{,}112\text{ cm}^3 \approx \mathbf{50{,}1\text{ cm}^3}$

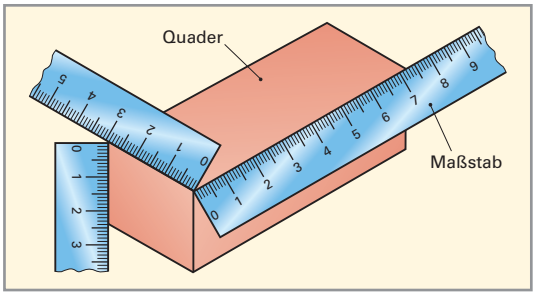


Bild 1: Bestimmung eines Quadervolumens durch Längenmessungen

Direktes Messen

Beim direkten Messen wird die Messgröße direkt in einem Messvorgang festgestellt.

Beispiel: Taucht man einen Quader in einen teilweise mit Flüssigkeit gefüllten Messzylinder ein **(Bild 2)**, so kann die abgelesene Volumenzunahme unmittelbar mit dem Quadervolumen gleichgesetzt werden. Im vorliegenden Fall erhält man: $V_{\text{Körper}} = 50$ mL

Im Gegensatz zur Berechnung des Volumens aus den Längenabmessungen können nach dem Messprinzip der Flüssigkeitsverdrängung auch Volumina unregelmäßiger Körper gemessen werden. Das Prinzip wäre aber völlig ungeeignet, wenn sich das Material, aus dem der eingetauchte Körper hergestellt ist, in der Flüssigkeit auflöst oder mit dieser chemisch reagieren würde.

Daraus erkennt man, dass die Auswahl des Messverfahrens eine eingehende Beschäftigung mit der Messaufgabe, den Eigenschaften der Messobjekte und den Messgeräten erfordert.

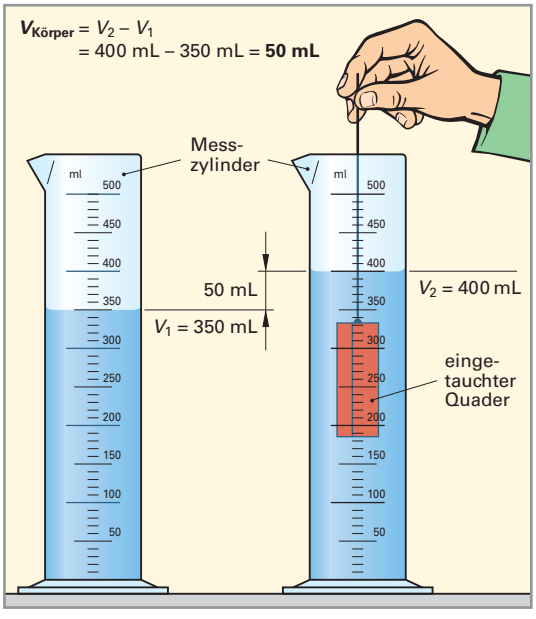


Bild 2: Direkte Messung eines Quadervolumens

Prüfen

Wird eine quantitative Messung durchgeführt, um festzustellen, ob bestimmte Bedingungen erfüllt sind, so wird dafür der Begriff **objektives Prüfen** verwendet. Objektiv geprüft wird z. B. in der Umwelttechnik, ob bestimmte Schadstoffkonzentrationen überschritten werden und gegebenenfalls SMOG-Alarm ausgelöst werden muss, oder ob Arbeitsplatzgrenzwerte am Arbeitsplatz eingehalten werden.

Von **subjektivem Prüfen** spricht man, wenn mit den Sinnesorganen (z. B. Sichtprüfung oder Geräuschprüfung) ein Sachverhalt geprüft wird, z. B. wenn aus der Abplattung des Reifens der Druck in einem Pkw-Reifen als zu niedrig beurteilt wird oder ob z.B. die Geräusche einer Maschine als besorgniserregend einzuschätzen sind.

In vielen Fällen wird sowohl objektiv als auch subjektiv geprüft. Bei der TÜV-Prüfung für Kraftfahrzeuge werden mit Messgeräten objektiv die Bremskräfte und die Abgaskonzentration geprüft und subjektiv die Schäden durch Korrosion und das Radlagerspiel durch Rütteln am Lenkrad festgestellt.

Eichen und Kalibrieren

Eine besondere Art des Prüfens ist das **Eichen.** Hierbei wird von einer Eichbehörde (Eichamt) festgestellt, ob die für eichpflichtige Messgeräte vorgegebenen Abweichungen nicht überschritten werden. Geeicht werden müssen grundsätzlich Messgeräte, die im Zusammenhang mit der Ermittlung von Kosten verwendet werden, z. B. Waagen im Handel, Gasvolumenmessgeräte (Gaszähler), Wasservolumenmesser (Wasseruhren).

Werden Messungen in der Art des Eichens von nichtamtlichen Stellen oder Personen vorgenommen, wird der Vorgang als **Kalibrieren** bezeichnet. Die Aufnahme von Kennlinien in einem Experiment ist ein Beispiel für das Kalibrieren (Einmessen).

1.4 Rechnen mit Messwerten

Messwerte sind grundsätzlich Werte mit einer eingeschränkten Genauigkeit. Sie ist durch das Messverfahren, mit dem der Messwert gewonnen wurde, bestimmt.
Messwerte oder Ergebnisse von Berechnungen mit Messwerten sind deshalb nur so genau anzugeben, wie es die Genauigkeit des Messverfahrens erlaubt, mit dem die Messwerte erhalten wurden.

1.4.1 Signifikante Ziffern

Unter den signifikanten Ziffern versteht man die Ziffern eines Messwertes oder Rechenergebnisses, die berücksichtigt werden müssen und nicht weggelassen werden dürfen.

Man bezeichnet sie deshalb auch als *zu berücksichtigende Ziffern* oder als *geltende Ziffern.*

Der Messwert eines bestimmten Messgerätes wird mit einer bestimmten Ziffernzahl angezeigt oder kann mit einer bestimmten Ziffernzahl abgelesen werden. Diese Ziffern sind die signifikanten Ziffern des Messwertes.

Die verschiedenen Messgeräte ergeben Messwerte mit unterschiedlich vielen signifikanten Ziffern.

Beispiele: Laborwaage: $m = \underbrace{175{,}6}_{\text{vier signifikante Ziffern}}\ \text{g}$ Analysenwaage: $m = \underbrace{74{,}2140}_{\text{sechs signifikante Ziffern}}\ \text{g}$ Stahlmaßstab: $l = \underbrace{83{,}6}_{\text{drei signifikante Ziffern}}\ \text{cm}$

Besondere Aufmerksamkeit ist bei Messwerten der Ziffer Null (0) in Dezimalstellen zu schenken. Die Nullen am Ende einer Zahl gehören zu den signifikanten Ziffern, während die am Anfang einer Zahl stehenden Nullen nicht zu den signifikanten Ziffern zählen.

Beispiel: Analysenwaage:

$m = 0{,}0750$ g		$m = 0{,}0075$ g		$m = 0{,}0007$ g	
keine signifikanten Ziffern	drei signifikante Ziffern	keine signifikanten Ziffern	zwei signifikante Ziffern	keine signifikanten Ziffern	eine signifikante Ziffer

Die Anzahl der signifikanten Ziffern eines Messwertes darf nicht durch Anhängen einer 0 oder durch Weglassen einer 0 am Ende verändert werden.

Beispiele: Der Messwert einer Laborwaage (mit 0,1 g-Anzeige), der z. B. mit 175,6 g angezeigt wird, darf nicht als $m = 175{,}60$ g geschrieben werden oder der Messwert einer Analysenwaage (mit 0,1 mg-Anzeige), der z. B. mit 74,2140 g angezeigt wird, darf nicht als $m = 74{,}214$ g angegeben werden.

1.4.2 Runden

Beim Runden wird die Stellenzahl einer rechnerisch ermittelten, vielstelligen Dezimalzahl auf eine gewünschte Stellenzahl verringert. Man unterscheidet aufrunden und abrunden.

Liegt der Zahlenwert der Ziffer nach der gewünschten Stellenzahl zwischen 0 und 4, dann wird die letzte Ziffer der gewünschten Stellenzahl beibehalten, d.h. es **wird abgerundet** (siehe Beispiel).

Beispiel: Zu rundende Zahl: **24,2469**

Gewünschte Ziffernzahl: 3	Diese Ziffer entscheidet über das Auf- oder Abrunden. Sie beträgt 4: Also wird die davor stehende Ziffer beibehalten.	Diese Ziffern bleiben außer Betracht

Die gerundete Zahl lautet: **24,2**

Wenn der Zahlenwert der Ziffer nach der gewünschten Stellenzahl zwischen 5 und 9 beträgt, dann wird die letzte Ziffer um eins erhöht; also wird **aufgerundet.**

Beispiel: Das Rechenergebnis mit dem Taschenrechner liefert: 67,95682. Gerundet auf 2 Stellen nach dem Komma erhält man: 67,96

Ein gerundetes Rechenergebnis gibt man mit einem Ungefährzeichen ≈ an.

Beispiel: $U \approx 45{,}6$ V besagt, dass die letzte Ziffer des angegebenen Zahlenwerts (6) gerundet ist.

1.4.3 Mittelwertbildung

Um die Sicherheit einer Messung zu verbessern, ist es üblich, mehrere Messwerte (Anzahl n) für die gleiche Messgröße zu ermitteln und den **Mittelwert** $\overline{x}$ der Messwerte als Messergebnis anzugeben. Er berechnet sich aus der Summe der Einzelwerte x_1, x_2, ... dividiert durch die Anzahl der Messwerte n.

Mittelwert

$$\overline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \ldots}{n}$$

Bei dem ausgemessenen Quader von Bild 1, Seite 14 könnten z. B. Abweichungen in der Winkligkeit vorkommen. Die Messwerte wären dann abhängig von der Kante, an der der Maßstab angelegt wird. Man misst deshalb z. B. die drei Messgrößen (Länge, Breite, Höhe) jeweils an allen vier Kanten, bildet jeweils die Mittelwerte und berechnet daraus das Volumen.

Beispiel: Von einem Holzquader wurden alle Kantenlängen gemessen: Dabei ergaben sich für die

Höhen:	$h_1 = 6{,}0$ cm,	$h_2 = 6{,}1$ cm,	$h_3 = 6{,}1$ cm,	$h_4 = 5{,}9$ cm;
Breiten:	$b_1 = 12{,}0$ cm,	$b_2 = 12{,}0$ cm,	$b_3 = 11{,}9$ cm,	$b_4 = 11{,}9$ cm;
Längen:	$l_1 = 48{,}2$ cm,	$l_2 = 47{,}9$ cm,	$l_3 = 48{,}0$ cm,	$l_4 = 48{,}0$ cm.

Wie groß sind die Mittelwerte von Höhe, Breite und Länge sowie das Volumen des Quaders?

Lösung:

$$\overline{h} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4} = \frac{(6{,}0 + 6{,}1 + 6{,}1 + 5{,}9)\ \text{cm}}{4} = 6{,}025\ \text{cm}$$

$$\overline{b} = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{4} = \frac{(12{,}0 + 12{,}0 + 11{,}9 + 11{,}9)\ \text{cm}}{4} = 11{,}95\ \text{cm}$$

$$\overline{l} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4}{4} = \frac{(48{,}2 + 47{,}9 + 48{,}0 + 48{,}0)\ \text{cm}}{4} = 48{,}025\ \text{cm}$$

$V = \overline{l} \cdot \overline{b} \cdot \overline{h} = 6{,}025\ \text{cm} \cdot 11{,}95\ \text{cm} \cdot 48{,}025\ \text{cm} = 3457{,}74\ \text{cm}^3$. Gerundet auf 3 Ziffern $V \approx 3{,}46\ \text{dm}^3$

1.4.4 Rechnen mit Messwerten

Addieren und Subtrahieren

Beim **Addieren und Subtrahieren** von Messwerten mit unterschiedlichen Nachkommastellen (Dezimalstellen) darf das Messergebnis nur mit so vielen Nachkommastellen angegeben werden, wie der Messwert mit der geringsten Zahl von Nachkommastellen besitzt.

Beispiel: Es werden 3 Stoffportionen zusammengegeben, deren Massen auf unterschiedlichen Waagen bestimmt wurden:
$m_1 = 158{,}4$ g, $m_2 = 16{,}38$ g, $m_3 = 2{,}4072$ g
Welches Messergebnis kann angegeben werden?

158,4 g
16,38 g
2,4072 g
177,1872 g

Lösung: Rein rechnerisch ergibt sich der Zahlenwert $m = 177{,}1872$ g. Das Ergebnis darf jedoch nur mit einer Nachkommastelle angegeben werden. Aufgerundet lautet das Messergebnis $m \approx 177{,}2$ g.

Multiplizieren und Dividieren

Beim **Multiplizieren und Dividieren** von Messwerten mit unterschiedlicher Ziffernzahl ist das Ergebnis nur mit so vielen Ziffern anzugeben, wie der Messwert mit der kleinsten Anzahl signifikanter Ziffern besitzt.

Beispiel 1: Welche Masse haben 50,0 mL Schwefelsäure, deren Dichte zu $\varrho = 1{,}203$ g/mL bestimmt wurde? Geben Sie die Masse mit der richtigen Anzahl von Ziffern an.

Lösung: $\varrho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = V \cdot \varrho$; rein rechnerisch ergibt sich $m = 50{,}0\ \text{mL} \cdot 1{,}203\ \text{g/mL} = 60{,}150\ \text{g}$

Die Volumenmessgröße 50,0 mL hat mit 3 signifikanten Ziffern gegenüber der Dichte mit 4 signifikanten Ziffern die geringere Genauigkeit. Das Ergebnis ist deshalb nur mit 3 signifikanten Ziffern anzugeben. Das Rechenergebnis wird in der 3. Ziffer aufgerundet und lautet: $\boldsymbol{m = 60{,}150\ \text{g} \approx 60{,}2\ \text{g}}$.

Beispiel 2: Das Innenvolumen eines rechteckigen Behälters mit den Innenmaßen $a = 7{,}9$ cm, $b = 9{,}5$ cm, $c = 16{,}8$ cm ist zu berechnen. Welches Ergebnis kann unter Beachtung der Ziffernzahl angegeben werden?

Lösung: Mit $V = a \cdot b \cdot c = 7{,}9\ \text{cm} \cdot 9{,}5\ \text{cm} \cdot 16{,}8\ \text{cm}$ folgt mit dem Taschenrechner: $V = 1260{,}84\ \text{cm}^3$.

Dieses Taschenrechner-Ergebnis täuscht eine Genauigkeit auf 6 Ziffern vor, die nicht existiert.

Der Messwert mit der kleinsten Anzahl signifikanter Ziffern hat 2 Ziffern. Das Ergebnis darf also nur auf 2 signifikante Ziffern gerundet werden.

Rein formal ergäbe sich $V = 1300\ \text{cm}^3$. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht korrekt, weil es die beiden Nullen als signifikante Ziffern ausweist. Deshalb schreibt man das Ergebnis als zweiziffrige Zahl mit Zehnerpotenz: $\boldsymbol{V \approx 13 \cdot 10^2\ \text{cm}^3}$. Oder man wählt die Volumeneinheit so, dass ein zweiziffriges Ergebnis möglich ist. Dies gelingt im vorliegenden Fall durch eine Volumenangabe in der größeren Einheit dm^3: $\boldsymbol{V \approx 13 \cdot 10^2\ \text{cm}^3 \approx 1{,}3 \cdot 10^3\ \text{cm}^3 \approx 1{,}3\ \text{dm}^3}$.

Beispiel 3: Wie lautet das Ergebnis der Massebestimmung aus Beispiel 1 in Milligramm?

Lösung: Das Ergebnis (60,2 g) hat drei signifikante Ziffern. Um diese zu erhalten, schreibt man das Ergebnis in Milligramm als dreiziffrige Zahl mit Zehnerpotenz: $\boldsymbol{m \approx 60{,}2\ \text{g} \approx 60{,}2 \cdot 10^3\ \text{mg}}$.

WIEDERHOLUNGSFRAGEN

1. Erklären Sie den Begriff Messen.
2. Worin unterscheiden sich direkte und indirekte Messverfahren?
3. Was versteht man unter Prüfen und worin liegt der Unterschied zum Messen?
4. Geben Sie ein Beispiel für ein eichpflichtiges Messgerät an.
5. Was versteht man unter den signifikanten Ziffern eines Messwertes?
6. Mit welcher Gleichung berechnet man den Mittelwert?

AUFGABEN

1. Ein Becherglas wiegt auf einer Laborwaage mit 0,01 g-Anzeige $m = 40{,}27$ g. Wie ist die Masse des Becherglases unter Beachtung der signifikanten Ziffern in kg anzugeben?
2. Wie muss das Messergebnis $l = 50{,}849$ cm gerundet auf eine Nachkommastelle angegeben werden?
3. In einem Zementwerk wird der Zement in 25 kg-Säcke abgepackt und auf Paletten gestapelt. Beim Anfahren der Anlage nach einer Reparatur wurden zur Kontrolle aus der ersten Palette 5 Säcke herausgenommen und gewogen. Es ergaben sich die Messwerte: $m_1 = 25{,}10$ kg, $m_2 = 25{,}15$ kg, $m_3 = 25{,}12$ kg, $m_4 = 25{,}05$ kg und $m_5 = 25{,}10$ kg. Wie groß ist der Mittelwert?
4. Im Grundrissplan einer Wohnung sind als Raumgrößen eingetragen: Wohnzimmer mit Essecke 30,21 m^2, Schlafzimmer 16,3 m^2, Kinderzimmer 12,05 m^2, Küche 8,2 m^2, Bad 7,6 m^2 und Flur 5,1 m^2. Geben Sie die Gesamtfläche der Wohnung mit der gesicherten Genauigkeit an.
5. Zur Berechnung der Dichte ϱ wurde das Volumen einer Flüssigkeitsportion in einem Messzylinder zu $V = 50{,}00$ mL und seine Masse mit einer Analysenwaage zu $m = 62{,}7532$ g gemessen. Berechnen Sie die Dichte der Flüssigkeit und geben Sie das Ergebnis mit der richtigen Zahl signifikanter Ziffern an.

2 Mechanik der festen Körper

Die Mechanik der festen Körper ist das klassische Teilgebiet der Physik. Es behandelt die elementaren physikalischen Größen sowie ihre Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten. Sie haben den Menschen schon sehr früh in seiner Geschichte beschäftigt.

2.1 Grundgrößen der Mechanik

Die grundlegenden Größen der Mechanik sind Länge, Fläche, Volumen, Masse und Zeit. Sie mussten überall dort, wo es Arbeitsteilung und den dadurch bedingten Tausch von Gütern gab, bestimmt werden. Es musste die Möglichkeit zur Messung dieser Größen vorhanden sein. Bereits in der Antike gab es staatliche Festlegungen von Einheiten dieser Größen und amtliche Kontrollen. Ebenso ist die Zeitmessung, z. B. mit Sonnenuhren, schon den Kulturen im Altertum bekannt gewesen.

2.1.1 Länge

Die Länge *l* ist die geometrische Basisgröße. Auf sie sind alle Größen zurückzuführen, die zur Beschreibung der Gestalt eines Körpers angewendet werden. Mit der Länge lässt sich weiterhin die Lage verschiedener Körper zueinander beschreiben. Auch der bei der Bewegung eines Körpers zurückgelegte Weg *s* wird in Längeneinheiten gemessen.

Die SI-Einheit der Länge ist das Meter. Das Einheitenzeichen ist m. In Kurzschreibweise: $[l] = \mathrm{m}$

Das Meter wurde im Jahr 1791 als 40-millionster Teil der Länge des durch Paris führenden Erdmeridians definiert und mit dem „Urmeter“ aus einer Platinlegierung abgebildet (Bild 1, Seite 12).
Immer genauere Längenmessverfahren verlangten nach einer präziseren Festlegung des Meters. Seit 1983 ist die Längeneinheit deshalb über die Lichtgeschwindigkeit definiert: Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während des Zeitintervalls 1/299 792 458 s durchläuft.
Zur Angabe kleinerer und größerer Längen mit übersichtlichen Zahlenwerten gibt es neben dem Meter (m) die Einheiten Dezimeter (dm), Zentimeter (cm), Millimeter (mm), Mikrometer (μm) und Kilometer (km).
1 m = 10 dm = 100 cm = 1 000 mm = 1 000 000 μm; 1 km = 1000 m;
In den USA und Großbritannien gibt es noch Längeneinheiten, die nicht metrisch aufgebaut sind: 1 inch = 1 Zoll = 2,54 cm; 1 yard = 3 foot = 36 inch = 0,9144 m; 1 Meile = 1,609 km.

Längenmessgeräte

Strichmaßstäbe sind Messgeräte für einfache Längenmessungen. Der Strichabstand, die Skalenteilung, verkörpert dabei das Längenmaß. Als Skalenteilungswert wird in der Regel 1 mm gewählt.
Strichmaßstäbe gibt es in verschiedenen Ausführungsformen für unterschiedliche Messbereiche **(Bild 1).**
Der Gliedermaßstab und das Rollbandmaß werden im Haushalt und im Handwerk, der Stahlmaßstab in den metallverarbeitenden Berufen verwendet. Die Messgenauigkeit liegt z. B. beim Stahlmaßstab bei ± 1 mm oder bezogen auf den Messbereich von 30 cm bei ungefähr ± 0,3 % (0,1 cm/30 cm · 100 %).
Bei der Messung mit Strichmaßstäben sind folgende Hinweise zu beachten:
– Die Skala der zu messenden Länge zuwenden.
– Die Nullmarke sorgfältig anlegen.
– Den Maßstab parallel zur Messlänge, z. B. zur Werkzeugkante, ausrichten.
– Die Skalenwerte senkrecht ablesen.

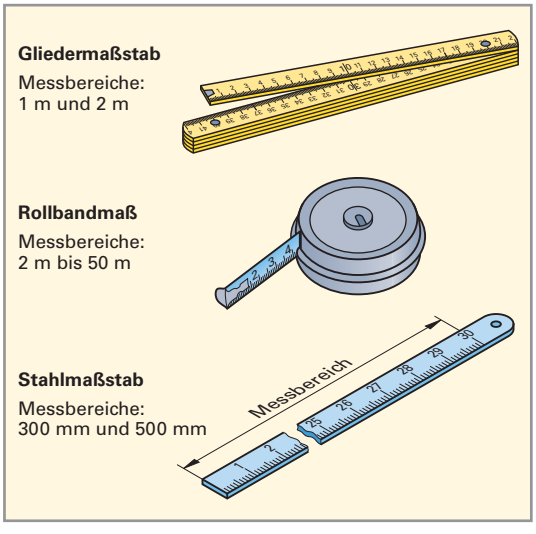


Bild 1: Strichmaßstäbe

Messräder verwendet man im Landschafts- und Straßenbau **(Bild 1).** Die zu messende Strecke wird abgerollt. Die Anzahl der Umdrehungen des Rades wird gezählt und multipliziert mit dem Radumfang im Display als Messlänge angezeigt. Längen bis ca. 1000 m sind mit einer Genauigkeit von ± 0,5 % zu erfassen.

Laser-Entfernungsmesser werden zunehmend im Handwerk und Gewerbe eingesetzt **(Bild 2).** Man legt das Messgerät am einen Ende der Messstrecke an und fixiert den Laserstrahl auf das andere Ende der Messstrecke. Auf dem Display des Geräts wird die Messlänge angezeigt. Die Messgenauigkeit beträgt ± 1 mm. Das Messprinzip des Laser-Entfernungsmessers beruht auf der Messung der Laufzeit des Laserlichtstrahls vom Messgerät zum Ende der Messstrecke und zurück (Seite 153). Daraus wird mit der Lichtgeschwindigkeit die Messstrecke im Gerät errechnet.

In vielen Bereichen der Technik, wie z. B. der Fertigungstechnik oder der Feinmechanik, sind präzise Längenmessgeräte für Messungen an Werkstücken und Bauteilen erforderlich. Dazu geeignete Messgeräte sind der Messschieber und die Bügelmessschraube.

Messschieber. Ein mechanischer Messschieber **(Bild 3)** besteht aus der Messschiene mit der Strichskala in Millimeter, dem festen Messschenkel und dem verschiebbaren Messschenkel (Schieber) mit der Hilfsteilung zur Ablesung von 1/10-Millimeter, dem Nonius.
Zur Messung werden die Messschenkel von außen oder innen an das Bauteil angelegt und auf der Messschiene an der Nullmarke des Nonius der Millimeterwert abgelesen **(Bild 4).** Die 1/10-Millimeter werden an dem Teilstrich des Nonius abgelesen, der mit einem Teilstrich der Hauptskala übereinstimmt. Die Messgenauigkeit von Messschiebern beträgt ± 0,1 mm.

Elektronische Messschieber besitzen einen Auswerte-Aufsatz mit Display **(Bild 5).** Dort wird der Messwert direkt angezeigt.

Bügelmessschraube. Bei der Bügelmessschraube **(Bild 6)** übernimmt die Steigung des Gewindes der Messspindel die Maßverkörperung. Bei einer Spindelsteigung von 0,50 mm bewegt sich die Messspindel bei einer Umdrehung axial um 0,50 mm. Die gleiche Verschiebung erfährt die mit der Messspindel fest verbundene Skalentrommel. Auf ihrem Umfang ist eine 50-teilige Skala aufgebracht. Dreht man die Skalentrommel um einen Teilstrich, so legt die Messspindel axial 0,50 mm : 50 = 0,01 mm zurück. Die Messgenauigkeit von Bügelmessschrauben beträgt ± 0,01 mm.

Bild 1: Messrad

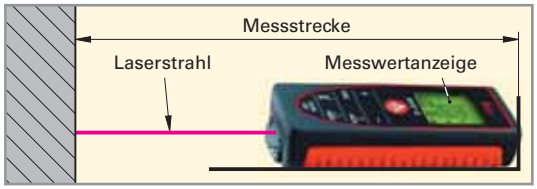


Bild 2: Laser-Entfernungsmesser

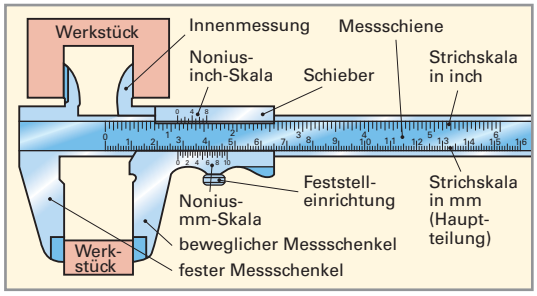


Bild 3: Mechanischer Messschieber

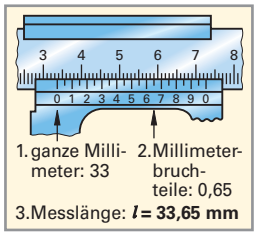


Bild 4: Ablesen des Messschiebers

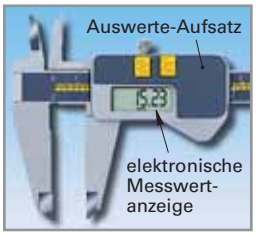


Bild 5: Elektronischer Messschieber

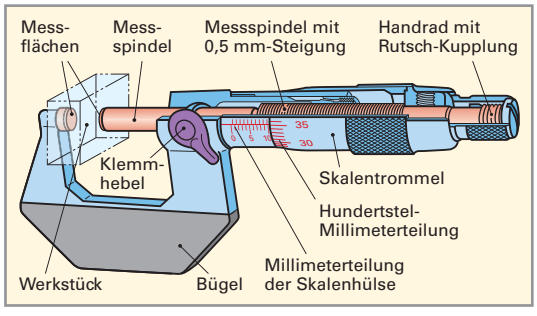
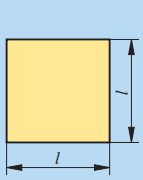
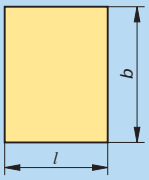
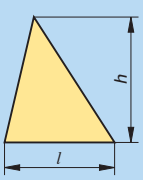
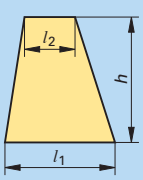
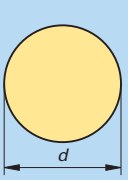
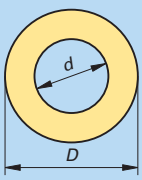


Bild 6: Mechanische Bügelmessschraube

2.1.2 Fläche

Die Messung regelmäßiger Flächen wird auf die Längenmessung zurückgeführt. Man misst die geometrischen Abmessungen und berechnet die Fläche nach der Größengleichung **(Tabelle 1).**

Tabelle 1: Regelmäßige Flächen

						
	Quadrat	**Rechteck**	**Dreieck**	**Trapez**	**Kreis**	**Kreisring**
Flächen-gleichung	$A = l^2$	$A = l \cdot b$	$A = \frac{l \cdot h}{2}$	$A = \frac{(l_1 + l_2) \cdot h}{2}$	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$

Alle Gleichungen in **Tabelle 1** enthalten das Produkt von Längen. Für die SI-Einheit der Fläche folgt: $[A] = [l] \cdot [l] = 1\ \text{m} \cdot 1\ \text{m} = 1\ \text{m}^2$

Die SI-Einheit der Fläche ist das Quadratmeter. $[A] = \text{m}^2$

Kleinere und größere Flächeneinheiten werden unter Verwendung der Vorsätze beschrieben. Dabei ist auf den quadratischen Zusammenhang mit den Längeneinheiten zu achten:

$\mathbf{1\ m^2} = 10\ \text{dm} \cdot 10\ \text{dm} = \mathbf{10^2\ dm^2} = 10^2 \cdot 10\ \text{cm} \cdot 10\ \text{cm} = \mathbf{10^4\ cm^2}$

Bei Grundstücken übliche Flächeneinheiten sind Ar (a) und Hektar (ha.)

$\mathbf{1\ a} = 10\ \text{m} \cdot 10\ \text{m} = \mathbf{10^2\ m^2}$; $\mathbf{1\ ha} = 10\ \text{a} \cdot 10\ \text{a} = 10^2\ \text{a} = \mathbf{10^4\ m^2}$

Beispiel: Ein trapezförmiges Grundstück hat eine lange Seite mit 17,3 m und eine kurze Seite mit 15,6 m; die Höhe des Trapezes ist 28,1 m. Wie groß ist die Grundstücksfläche in a?

$$A = \frac{(l_1 + l_2) \cdot h}{2} = \frac{(17{,}3\ \text{m} + 15{,}6\ \text{m}) \cdot 28{,}1\ \text{m}}{2} = 462{,}2\ \text{m}^2 \approx \mathbf{4{,}62\ a}$$

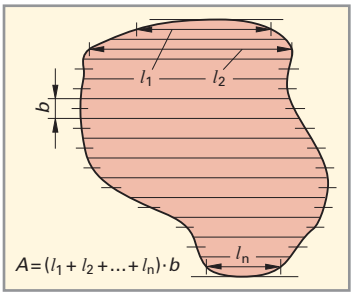


Bild 1: Messung einer Fläche nach dem Streifenteilungsprinzip

Auch die **Messung unregelmäßiger Flächen** kann im Prinzip auf die Längenmessung zurückgeführt werden. Dazu wird die unbekannte Fläche auf Millimeterpapier übertragen und in parallele, gleich breite Streifen eingeteilt **(Bild 1).** Man markiert und misst die mittlere Länge aller Streifen. Die Summe der mittleren Längen multipliziert mit der Streifenbreite entspricht in erster Näherung der Fläche. Durch die Verringerung der Breite der Streifen kann die Näherung verbessert werden.

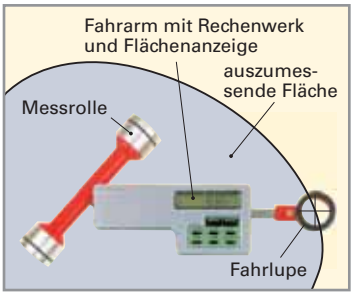


Bild 2: Messen einer Fläche mit dem Planimeter

Die unmittelbare Messung unregelmäßiger Flächen ist mit einem **Planimeter** möglich **(Bild 2).** Mit einem Fadenkreuz auf einer Fahrlupe, die am Ende des Fahrarmes befestigt ist, umfährt man längs der Umrandungslinie die auszumessende Fläche. Die mitbewegte Messrolle überträgt die geometrischen Daten auf ein Rechenwerk. Der Zahlenwert des Flächeninhalts wird auf einem Display abgelesen.

Der **Umfang *U*** von Flächen ist eine Länge. Der Umfang von regelmäßigen Flächen (Tabelle 1) kann mit einfachen Gleichungen ermittelt werden.

	Quadrat	**Rechteck**	**Dreieck**	**Trapez**	**Kreis**	**Kreisring**
Umfangs-gleichung	$U = 4 \cdot l$	$U = 2(l + b)$	$U = l_1 + l_2 + l_3$	$U = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$	$U = \pi \cdot d$	$U = \pi\,(D + d)$