



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

5. 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 380

Bildbearbeitung: Zeichenbüro des Verlags Europa-Lehrmittel, Ostfildern

5. Auflage 2024

Druck 5 4 3 2

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

ISBN 978-3-7585-7239-5

Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an produktsicherheit@europa-lehrmittel.de.

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

© 2024 by Verlag Europa-Lehrmittel, Nourney, Vollmer GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.europa-lehrmittel.de

Satz: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH, 50374 Erftstadt

Umschlag: braunwerbeagentur, Radevormwald
nach einer Idee von Dr. E. Ignatowitz

Umschlagfotos: Adobe Systems Software Irland Ltd., Adobe Stock, IRL-Dublin © Herr Hesse (Abb. Auge),
© Mike Mareen (Abb. Regenbogen), © Photocreo Bednarek (Abb. Windpark), © foodfoto
(Abb. Wassertropfen), © phive2015 (Abb. Flugzeug), © JSirlin (Abb. Blitze), © LeArchitecto
(Abb. Industrieroboter)

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 **5. Auflage** wurden folgende Inhalte neu aufgenommen bzw. wesentlich ergänzt:

- Kapitel 6.7.4 Heizen mit einer Wärmepumpe (Seite 153)
- Kapitel 9.10.4 Stromerzeugung mit Windkraftanlagen (Seite 264)
- Kapitel 9.10.5 Nutzung der Solarenergie (Seite 266)
- Kapitel 9.10.7 Energiewende (Seite 270)
- Moderne Definitionen der Basiseinheiten (Seite 356)

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

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Größen und ihre Messung	10	2.5.3	Energie	58
1.1	Physikalische Größen	10	2.5.4	Energieerhaltungssatz der Mechanik	59
1.2	Internationales Einheitensystem SI	11	2.5.5	Rotationsenergie, Trägheitsmoment	61
1.2.1	Basisgrößen	11	2.5.6	Vergleich von Translation und Rotation	63
1.2.2	Abgeleitete Größen	12	2.6	Mechanische Hilfen und Bauteile	65
1.2.3	Vorsätze zu Einheiten	13	2.7	Leistung	67
1.3	Grundbegriffe der Messtechnik	14	2.8	Wirkungsgrad	69
1.4	Rechnen mit Messwerten	15	2.9	Mechanisch-technologische Eigenschaften der Feststoffe	70
1.4.1	Signifikante Ziffern	15	Gemischte Aufgaben	72	
1.4.2	Runden	16	3	Mechanische Schwingungen und Wellen	74
1.4.3	Mittelwertbildung	16	3.1	Mechanische Schwingungen	74
1.4.4	Rechnen mit Messwerten	16	3.1.1	Federpendel	74
2	Mechanik der festen Körper	18	3.1.2	Größen zur Beschreibung von Schwingungen	75
2.1	Grundgrößen der Mechanik	18	3.1.3	Schwingungsgleichung des Pendels	75
2.1.1	Länge	18	3.1.4	Periodendauer des Federpendels	76
2.1.2	Fläche	20	3.1.5	Energie der Federschwingung	77
2.1.3	Volumen	21	3.1.6	Fadenpendel	78
2.1.4	Winkel	22	3.1.7	Dämpfung von Schwingungen	78
2.1.5	Masse	23	3.1.8	Erzwungene Schwingung – Resonanz	79
2.1.6	Dichte	24	3.1.9	Technische Bedeutung der Resonanz von Schwingungen	80
2.1.7	Zeit	25	3.2	Mechanische Wellen	82
2.2	Bewegungslehre (Kinematik)	27	3.2.1	Erzeugen mechanischer Wellen	82
2.2.1	Bewegungsarten	27	3.2.2	Größen zur Beschreibung von Wellen	83
2.2.2	Gleichförmige geradlinige Bewegung	28	3.2.3	Wellengleichung	84
2.2.3	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus der Ruhe	29	3.2.4	Wellenarten	84
2.2.4	Freier Fall	30	3.2.5	Überlagerung von Wellen	85
2.2.5	Gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit	31	3.2.6	Ausbreitung von Wellen	86
2.2.6	Gleichmäßig verzögerte Bewegung	31	3.2.7	Interferenz kreisförmiger Wellen	86
2.2.7	Zusammengesetzte geradlinige Bewegungen	33	4	Akustik	88
2.2.8	Gleichförmige Drehbewegung	34	4.1	Schallerreger	88
2.3	Kräfte	36	4.2	Schallwellen, Schallausbreitung	89
2.3.1	Das Wesen der Kraft	36	4.3	Aufzeichnung und Beschreibung von Schallschwingungen	89
2.3.2	Die Trägheit der Körper	37	4.4	Schallgeschwindigkeit	90
2.3.3	Grundgesetz der Dynamik	38	4.5	Schallempfänger	91
2.3.4	Gewichtskraft	39	4.6	Lautstärke und ihre Messung	91
2.3.5	Federkraft	40	4.7	Ton, Klang, Geräusch	92
2.3.6	Reibungskräfte	42	4.8	Technische Anwendungen	93
2.3.7	Kräfte bei Drehbewegungen	45	4.9	Sonderphänomene des Schalls	94
2.3.8	Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften	47	4.10	Schallschutzmaßnahmen	95
2.3.9	Kräftegleichgewicht	48	4.11	Technische Anwendungen des Ultraschalls	96
2.4	Drehmoment und Hebel	50	5	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	98
2.4.1	Drehmoment	50	5.1	Flüssigkeiten	98
2.4.2	Hebel	50	5.1.1	Eigenschaften von Flüssigkeiten	98
2.4.3	Drehmomentengleichgewicht	51	5.1.2	Druck in Flüssigkeiten	100
2.4.4	Technische Anwendungen des Hebels	52	5.1.3	Technische Anwendungen des Drucks	101
2.4.5	Auflagerkräfte	53	5.1.4	Hydrostatischer Druck	103
2.4.6	Schwerpunkt	54	5.1.5	Anwendungen des hydrostatischen Drucks	104
2.4.7	Gleichgewichtsarten	54	5.1.6	Auftrieb in Flüssigkeiten	105
2.4.8	Standicherheit	55			
2.5	Arbeit und Energie	57			
2.5.1	Mechanische Arbeit	57			
2.5.2	Arten mechanischer Arbeit	57			

5.1.7	Dichtebestimmung mit der Auftriebsmethode	106	6.6.3	Wärmedurchgang durch eine Wand	146
5.1.8	Versinken und Schwimmen	106	6.6.4	Wärmestrahlung	147
5.1.9	Auftrieb bei Hohlkörpern	107	6.6.5	Technische Wärmeübertragungen	149
5.2	Gase	108	6.7	Technische Wärmeerzeugung	151
5.2.1	Eigenschaften der Gase	108	6.7.1	Wärmeerzeugung mit fossilen Energieträgern	151
5.2.2	Luftdruck	109	6.7.2	Block-Heizkraftwerk	152
5.2.3	Messung des Luftdrucks	110	6.7.3	Wärmebereitstellung mit elektrischem Strom	153
5.2.4	Wirkungen des Luftdrucks	110	6.7.4	Heizen mit einer Wärmepumpe	153
5.2.5	Druck und Volumen einer eingeschlossenen Gasportion	112	6.8	Wärme- und Kältemaschinen	156
5.2.6	Angabe von Druckwerten	112	6.8.1	Kolbendampfmaschinen	156
5.2.7	Anwendungen des Luftdrucks	113	6.8.2	Verbrennungsmotoren	156
5.2.8	Pumpen und Verdichter	114	6.8.3	Dampfturbinen	158
5.3	Strömende Flüssigkeiten und Gase	115	6.8.4	Gasturbinen	158
5.3.1	Strömungsarten	115	6.8.5	Flugzeug- und Raketenantriebe	159
5.3.2	Volumenstrom, Strömungsgeschwindigkeit	116	7	Gase und Gasgemische	161
5.3.3	Druckarten in strömenden Fluiden	117	7.1	Zustandsänderungen idealer Gase	162
5.3.4	Wirkungen und Anwendungen	118	7.1.1	Isotherme Zustandsänderung	162
5.3.5	Innere Reibung, Viskosität	120	7.1.2	Isobare Zustandsänderung	163
5.3.6	Strömungsformen	121	7.1.3	Isochore Zustandsänderung	164
5.3.7	Strömungswiderstand	121	7.1.4	Allgemeine Zustandsgleichung	165
5.3.8	Druckverlust in Rohrleitungen	122	7.1.5	Adiabatische und polytrope Zustandsänderung	166
5.3.9	Dynamischer Auftrieb am Tragflügel eines Flugzeugs	123	7.2	Zustandsänderungen realer Gase	167
Gemischte Aufgaben		124	7.2.1	Van der Waals'sche Zustandsgleichung	168
6	Wärmelehre	125	7.2.2	Kritische Temperatur, kritischer Druck	168
6.1	Temperatur und ihre Messung	125	7.3	Gastechnische Anwendungen	169
6.1.1	Temperaturskalen	125	7.3.1	Verflüssigung von Gasen	169
6.1.2	Temperaturmessung	126	7.3.2	Kühlschrank	169
6.2	Wärmeausdehnung der Stoffe	128	7.3.3	Wärmepumpe	170
6.2.1	Thermische Längenausdehnung fester Körper	128	7.4	Gasgemische	171
6.2.2	Thermische Volumenausdehnung fester Körper	129	7.4.1	Zustandsgrößen idealer Gasgemische	171
6.2.3	Wärmeausdehnung in der Technik	129	7.4.2	Gehaltsgrößen von Gasgemischen	172
6.2.4	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten	130	7.5	Feuchte Luft	173
6.2.5	Anomalie der Wärmeausdehnung des Wassers	131	7.5.1	Partialdampfdruck feuchter Luft	173
6.2.6	Wärmeausdehnung von Gasen	132	7.5.2	Kenngrößen der Luftfeuchtigkeit	174
6.3	Das Wesen der Wärme	134	7.5.3	Geräte zur Messung der Luftfeuchtigkeit	175
6.3.1	Wärme – eine Energieform	134	7.5.4	Klimatisierung von Räumen	176
6.3.2	Kinetische Vorstellung der Wärme	134	7.6	Verdampfen von Flüssigkeiten, Destillieren	177
6.3.3	Wärmeenergie	135	7.6.1	Dampfdruck von Flüssigkeiten	177
6.3.4	Spezifische Wärmekapazität	136	7.6.2	Dampfdruck von Flüssigkeitsgemischen	177
6.4	Aggregatzustände und Zustandsänderungen	137	7.6.3	Destillieren	178
6.4.1	Aggregatzustände	137	Gemischte Aufgaben		179
6.4.2	Umwandlungstemperaturen	137	8	Optik	180
6.4.3	Schmelzen und Erstarren	138	8.1	Grundeigenschaften des Lichts	180
6.4.4	Verdampfen und Kondensieren	139	8.1.1	Lichtwahrnehmung und Sehen	180
6.4.5	Gesamtwärmeenergie bei Aggregatzustandsänderungen	140	8.1.2	Reflexion, Absorption, Durchlässigkeit	180
6.5	Kalorische Mischungen	141	8.1.3	Wesen des Lichts	181
6.5.1	Kalorimeter	141	8.1.4	Ausbreitung des Lichts	182
6.5.2	Wärmeenergiebilanzen bei technischen Heizvorgängen	142	8.1.5	Absorption des Lichts	184
6.6	Wärmeübertragung	143	8.2	Reflexion des Lichts	185
6.6.1	Wärmeleitung	143	8.2.1	Reflexionsgesetze am ebenen Spiegel	185
6.6.2	Konvektion (Wärmeströmung)	145	8.2.2	Bildentstehung am ebenen Spiegel	186
			8.2.3	Anwendungen ebener Spiegel	187
			8.2.4	Reflexion am Hohlspiegel	189
			8.2.5	Bildentstehung am Hohlspiegel	190
			8.2.6	Reflexion am Wölbspiegel	191
			8.2.7	Bildentstehung am Wölbspiegel	191

8.2.8	Technische Anwendungen des Hohl- und des Wölbspiegels	191	9	Elektrizitätslehre	232
8.3	Brechung des Lichts	193	9.1	Elektrische Ladung	232
8.3.1	Brechungsgesetz	193	9.2	Elektrisches Feld	234
8.3.2	Optische Effekte durch Lichtbrechung	194	9.2.1	Darstellung durch Feldlinien	234
8.3.3	Totalreflexion	195	9.2.2	Technische Anwendungen	235
8.3.4	Totalreflexion in der Natur	196	9.3	Elektrische Spannung	236
8.3.5	Technische Anwendungen der Totalreflexion	196	9.4	Elektrischer Strom	237
8.4	Optische Linsen	199	9.4.1	Stromkreis	238
8.4.1	Optische Wirkung von Linsen, Linsenformen	199	9.4.2	Stromstärke	238
8.4.2	Strahlengang durch Sammellinsen	199	9.4.3	Wirkungen des elektrischen Stroms	239
8.4.3	Strahlengang durch Zerstreuungslinsen	200	9.4.4	Messung von Spannung und Stromstärke	239
8.4.4	Optische Abbildung durch Sammellinsen	201	9.5	Plattenkondensator	240
8.4.5	Fresnellinse	203	9.6	Elektrische Leitungsvorgänge	242
8.4.6	Optische Abbildung durch Zerstreuungslinsen	203	9.6.1	Stromleitung in Feststoffen	242
8.4.7	Linsensysteme	204	9.6.2	Stromleitung in Flüssigkeiten	243
8.5	Das Auge	205	9.6.3	Stromleitung in Gasen	243
8.5.1	Augenfehler und ihre Korrektur	206	9.7	Elektrischer Widerstand	245
8.5.2	Erkennen der Größe und Entfernung	206	9.7.1	Ohm'sches Gesetz	245
8.6	Optische Geräte mit Linsen	207	9.7.2	Leiterwiderstand	246
8.6.1	Lupe	207	9.7.3	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands	248
8.6.2	Mikroskop	208	9.7.4	Technische Anwendungen	249
8.6.3	Fernrohre	209	9.8	Schaltungen elektrischer Widerstände	251
8.6.4	Projektoren	210	9.8.1	Reihenschaltung	251
8.6.5	Fotoapparate	211	9.8.2	Technische Anwendungen	252
8.6.6	Bewegungsmelder	212	9.8.3	Parallelschaltung	254
8.7	Farbenlehre	213	9.8.4	Technische Anwendungen	255
8.7.1	Zerlegen und Zusammensetzen des weißen Lichts	213	9.8.5	Gruppenschaltungen	256
8.7.2	Spektralanalyse	214	9.8.6	Wheatstone'sche Brückenschaltung	258
8.7.3	Mischen von Farben	214	9.9	Elektrische Arbeit und Leistung	259
8.7.4	Farbdruck mit Druckmaschinen	216	9.9.1	Elektrische Arbeit	259
8.7.5	Farbfotografie mit lichtempfindlichem Fotopapier	216	9.9.2	Elektrische Leistung	260
8.7.6	Kopierer	217	9.9.3	Wirkungsgrad	261
8.7.7	Drucker	218	9.10	Stromerzeugung	262
8.7.8	Flachbildschirm-Farbfernseher	218	9.10.1	Stromerzeugung im Verbrennungskraftwerk	262
8.8	Lichttechnische Größen	220	9.10.2	Stromerzeugung im Kernkraftwerk	263
8.8.1	Lichtstrom	220	9.10.3	Stromerzeugung in Wasserkraftwerken	263
8.8.2	Lichtstärke	220	9.10.4	Strom aus Windkraftanlagen	264
8.8.3	Beleuchtungsstärke	221	9.10.5	Nutzung der Solarenergie	266
8.8.4	Leuchtdichte	222	9.10.5.1	Solarkollektoren	266
8.9	Wellenoptik	223	9.10.5.2	Solarzellen (Fotovoltaikzellen)	266
8.9.1	Das Licht als elektromagnetische Welle	223	9.10.5.3	Solaranlagen für die Stromerzeugung	268
8.9.2	Beugung von Wellen	223	9.10.6	Solartechniken der Zukunft	269
8.9.3	Lichtbeugung am Beugungsgitter	224	9.10.6.1	Solarstrom-Fernübertragung mit Hochspannungs-Gleichstrom	269
8.9.4	Reflexion von Lichtwellen	226	9.10.6.2	Solar-Wasserstoff-Technik	270
8.9.5	Brechung von Lichtwellen	226	9.10.7	Energiewende	270
8.9.6	Farberscheinungen an dünnen Schichten	227	9.11	Stromversorgung und elektrische Installation	272
8.9.7	Entspiegelung von Gläsern	227	9.11.1	Leitungsnetz	272
8.9.8	Polarisiertes Licht	227	9.11.2	Elektrischer Anschluss	273
8.9.9	Laserlicht	228	9.11.3	Sicherungen	274
8.9.10	Das Spektrum der elektromagnetischen Wellen	230	9.12	Gefahren des elektrischen Stroms	275
Gemischte Aufgaben		231	9.12.1	Wirkungen des elektrischen Stroms im Körper	275
			9.12.2	Fehlerarten, Berührungsarten	276
			9.12.3	Schutzmaßnahmen	277
			Gemischte Aufgaben		279

10	Magnetismus	280	12.4.4	Internet-Dienste	333
10.1	Magnetische Stoffe	280	12.4.5	Datensicherheit	333
10.1.1	Eigenschaften der Magnete	281	13	Atom- und Kernphysik	334
10.1.2	Ursache des Magnetismus	282	13.1	Aufbau der Materie	334
10.2	Magnetisches Feld	283	13.1.1	Rutherford'sches Atommodell	334
10.2.1	Darstellung mit Feldlinien	283	13.1.2	Bohr'sches Atommodell	335
10.2.2	Eigenschaften der Magnetfelder	284	13.2	Atombau und das Periodensystem der Elemente	336
10.2.3	Magnetfeld der Erde	284	13.3	Aufbau des Atomkerns	338
10.3	Elektromagnetismus	285	13.4	Isotope	339
10.3.1	Magnetfeld eines Leiters	285	13.5	Vorgänge in der Atomhülle	339
10.3.2	Leiterschleifen und Spulen	286	13.6	Röntgenstrahlen	340
10.3.3	Magnetische Größen	288	13.7	Radioaktive Stoffe	340
10.3.4	Anwendungen des Elektromagnetismus	289	13.7.1	Strahlung radioaktiver Stoffe	340
10.4	Kraftwirkungen im Magnetfeld	292	13.7.2	Radioaktiver Zerfall	341
10.4.1	Leiter im Magnetfeld	292	13.7.3	Kennwerte des radioaktiven Zerfalls	342
10.4.2	Lorentzkraft	293	13.7.4	Messung radioaktiver Strahlung	343
10.4.3	Leiterschleife im Magnetfeld	294	13.7.5	Anwendungen radioaktiver Stoffe in der Technik	343
10.4.4	Prinzip des Gleichstrommotors	294	13.8	Radiocarbonmethode zur Altersbestimmung in der Archäologie	345
10.4.5	Drehspulmesswerk	295	13.9	Ionisierende Strahlung in der Medizin	346
10.4.6	Dreheisenmesswerk	295	13.9.1	Strahlendosis	346
10.4.7	Hall-Effekt	296	13.9.2	Strahlenbelastung und Strahlenschäden	347
10.5	Magnetische Induktion	297	13.9.3	Medizinische Diagnose mit ionisierender Strahlung	348
10.5.1	Induktion der Bewegung	297	13.9.4	Medizinische Therapie mit ionisierender Strahlung	349
10.5.2	Induktion durch Flussänderung	298	13.10	Atomare Vorgänge bei der Kernspaltung	350
10.5.3	Wirbelströme	299	13.11	Kerntechnik	351
10.5.4	Selbstinduktion	300	13.11.1	Kernspaltung im Kernreaktor	351
10.6	Technische Anwendungen der Induktion	302	13.11.2	Aufbau eines Kernreaktors	352
10.6.1	Wechselstromgenerator	302	13.11.3	Reaktorsicherheit	352
10.6.2	Drehstromgenerator	304	13.11.4	Aufbereitung und Entsorgung der Kernbrennstoffe	353
10.6.3	Gleichstromgenerator	305	13.11.5	Risiken der Kernenergie	354
10.6.4	Transformator	306	13.11.6	Rückbau stillgelegter Kernkraftwerke	354
10.6.5	Technische Anwendungen von Transformatoren	307	13.12	Kernwaffen	354
10.7	Elektromotoren	309	13.13	Kernfusion	355
10.7.1	Gleichstrommotoren	309	Anhang		356
10.7.2	Drehstrommotoren	310	1	Physikalische Größen	356
Gemischte Aufgaben		311	1.1	Basisgrößen und Basiseinheiten des internationalen Einheitensystems SI	356
11	Elektronik	312	1.2	Naturkonstanten zur Definition der Basiseinheiten des SI	357
11.1	Halbleiter-Werkstoffe	313	1.3	Abgeleitete physikalische Größen	358
11.2	pn-Übergang	314	1.4	Physikalische Konstanten	361
11.3	Halbleiterdioden	315	1.5	Umrechnung in britisch-amerikanische Größen und Einheiten	361
11.4	Fotohalbleiter	317	2	Physikalische Eigenschaften wichtiger Stoffe	362
11.4.1	Fotodioden	317	2.1	Metalle und Legierungen	362
11.4.2	Fotoelemente und Solarzellen	317	2.2	Nichtmetallische Werkstoffe	363
11.4.3	Fotowiderstände	318	2.3	Flüssigkeiten und Gase	363
11.4.4	Leuchtdioden	319	3	Lösungen der Aufgaben im Buch	364
11.5	Transistoren	320	Sachwortverzeichnis		370
11.5.1	Bipolare Transistoren	320	Danksagung		376
11.5.2	Unipolare Transistoren	321	Firmenverzeichnis und Bildquellennachweis		376
11.5.3	Anwendungen mit Transistoren	321			
11.6	Logische Grundschaltungen	323			
11.7	Aufbau der Elektronik eines Gerätes	325			
12	Informatik	327			
12.1	Aufbau eines Computers	327			
12.2	Arbeitsweise eines Computers	328			
12.3	Anwendungsgebiete der Informatik	329			
12.4	Internet	330			
12.4.1	Netzwerke	330			
12.4.2	Internetzugang	331			
12.4.3	Vereinbarungen des Internets	332			

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 Beobachtungen zu Naturerscheinungen an, um daraus Regelmäßigkeiten abzuleiten. 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 zugrunde liegende 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 Ausgangspunkt 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: Blitzschlag bei einem Gewitter

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 übergeordnet gültige 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 Erfindungen 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 Computertechnik, die heute alle Bereiche des privaten und beruflichen Lebens erobert hat.

Die Arbeiten in Büros, Banken oder Börsen werden mit Computern ausgeführt (**Bild 2**). Homeoffice und der Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) wären ohne Computer und das Internet nicht möglich. Autos, Eisenbahnen und Flugzeuge werden von Computern gesteuert (**Bild 3**).

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

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



Bild 1: Startendes Großflugzeug



Bild 2: Computerarbeitsplätze an einer Aktienbörse



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.

Die Physik bedient sich 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)

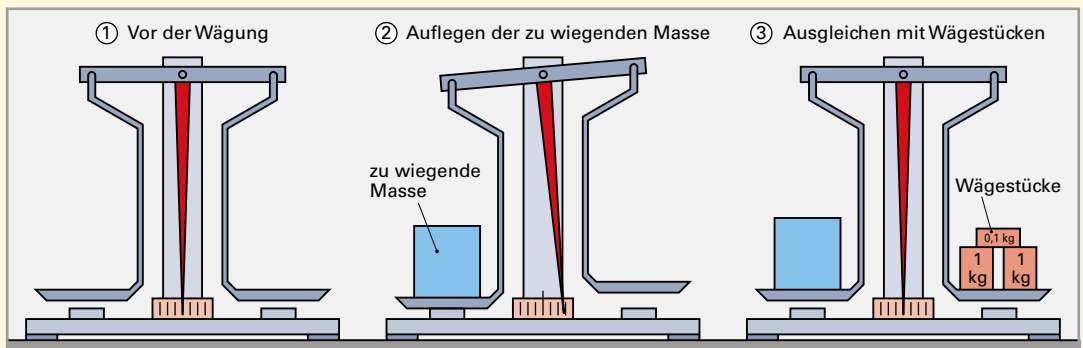
Den Wert einer physikalischen Größe erhält man durch Messen.

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 $m = 2,1 \text{ kg}$ 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.

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} .

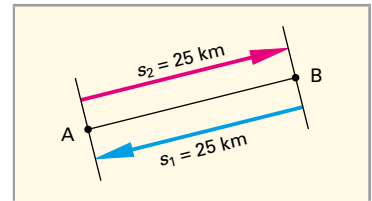


Bild 1: Vektorielle Größen s_1 und s_2

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. $d = 38,1 \text{ mm}$) oder, wie in Teilbereichen der Technik gebräuchlich, in Zoll angibt (z. B. $d = 1,5 \text{ Zoll}$), 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	Basisgröße	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 ersten Festlegungen der Basiseinheiten erfolgten über Maßverkörperungen (**Bild 1**).

Die Längeneinheit 1 Meter wurde durch die Länge des Meter-Prototyps, das sogenannte Urmeter, definiert.

Die Basiseinheit der Masse, das Kilogramm, war festgelegt als Masse des Kilogramm-Prototyps.

Die Definitionen der Basiseinheiten mussten im Laufe der Zeit an die Erfordernisse immer genauer Messverfahren angepasst werden. So wird das Meter seit 1983 auf die Naturkonstante Lichtgeschwindigkeit im Vakuum $c = 299\,792\,458$ m/s zurückgeführt: Ein Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während der Dauer von $1/299\,792\,458$ Sekunden durchläuft.



Bild 1: Herkömmliche Definition der Basisgrößen durch den Meter- und Kilogramm-Prototyp

Seit 2019 sind nunmehr alle Basiseinheiten über Naturkonstanten definiert (siehe Tabelle im Anhang Seite 356). Die Werte der Basiseinheiten sind dabei unverändert geblieben, sodass die Neufestlegungen für Messungen außerhalb des übergeordneten Eichwesens und spezialisierter Forschung keine unmittelbare Bedeutung haben.

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.

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: $\rho = \frac{m}{V}$

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 für abgeleitete Größen:

1. Größengleichung für die Fläche: $A = l \cdot b$
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.
Einheitengleichung für die Fläche:
 $[A] = [l] \cdot [b] = 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$
2. Größengleichung für die Dichte: $\rho = \frac{m}{V}$
Einheitengleichung für die Dichte:
 $[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{1 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

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 $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$. Man nennt $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1 \text{ Newton}$, 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**).

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

Beispiele:

1. Die Länge $l = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ soll in μm angegeben werden.

Aus Tabelle 1 erhält man $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ und damit $1 \text{ m} = 10^6 \mu\text{m}$. Eingesetzt ergibt sich für $l = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ $l = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \mu\text{m} = 3 \cdot 10^2 \mu\text{m} = \mathbf{300 \mu\text{m}}$

2. Die Masse $m = 0,004 \text{ kg}$ soll in die Einheit mg umgerechnet werden.

Tabelle 1 liefert $1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g}$ und $1 \text{ g} = 10^3 \text{ mg}$, so dass folgt $m = 0,004 \text{ kg} = 0,004 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \text{ mg} = 0,004 \cdot 10^6 \text{ mg}$
 $m = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \text{ mg} = 4 \cdot 10^3 \text{ mg} = \mathbf{4000 \text{ mg}}$

3. Die Fläche $A = 600 \text{ cm}^2$ ist in m^2 anzugeben.

Aus Tabelle 1 wird $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$ entnommen und eingesetzt.

$$A = 600 \text{ cm}^2 = 600 \cdot (10^{-2} \text{ m})^2 = 600 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = \mathbf{0,06 \text{ m}^2}$$

Tabelle 1: Vorsätze zu Einheiten (Auswahl)

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

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

AUFGABEN

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

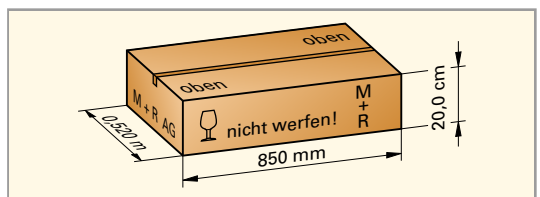


Bild 1: Verpackungskarton (Aufgabe 2)

- | | | |
|---|--|---|
| a) $m = 3820 \text{ g}$ in kg | c) $d = 450 \mu\text{m}$ in mm | e) $V = 25 \text{ dm}^3$ in m^3 |
| b) $m = 0,823 \text{ kg}$ in g | d) $A = 240 \text{ cm}^2$ in dm^2 | f) $n = 0,280 \text{ kmol}$ 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: $V = 7,2$ cm \cdot $2,9$ cm \cdot $2,4$ cm
 $= 50,112$ cm³ \approx **50,1 cm³**

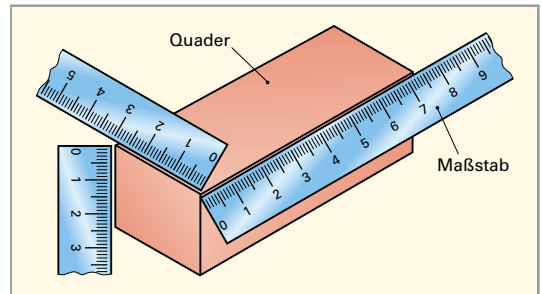


Bild 1: Bestimmung eines Quadervolumens durch Längenmessungen

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.

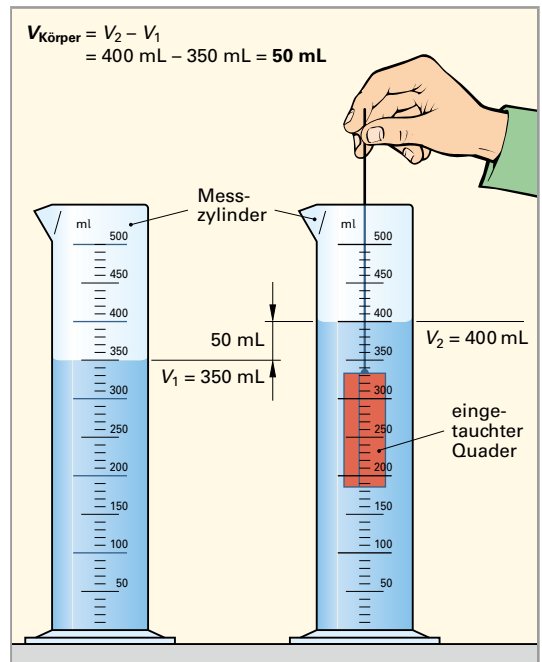


Bild 2: Direkte Messung eines Quadervolumens

Prüfen

Beim Prüfen wird festgestellt, ob der Prüfgegenstand vorgegebene Bedingungen erfüllt.

Von **subjektivem Prüfen** spricht man, wenn nur mit den menschlichen Sinnen beurteilt wird, wenn z. B. aus der Abplattung eines Reifens darauf geschlossen wird, ob der Reifendruck ausreichend groß ist (**Bild 1**).

Von **objektivem Prüfen** spricht man, wenn Prüfmittel verwendet werden. Wenn z. B. der Druck in einem Reifen mit einem Manometer gemessen und danach entschieden wird, ob der vom Hersteller vorgegebene Wert eingehalten wird. Prüfergebnisse sind im Gegensatz zum subjektiven Prüfen zuverlässig vergleichbar.



Bild 1: Prüfen des Drucks

Oftmals wird wie bei der TÜV-Prüfung für Kraftfahrzeuge, bei der die Bremskräfte gemessen und auf Rostschäden mittels Sichtbeurteilung untersucht wird, sowohl objektiv als auch subjektiv geprüft.

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*.

Messgeräte zeigen die Messwerte mit einer bestimmten Ziffernzahl an oder ermöglichen bei analoger Anzeige das Ablesen mit einer bestimmten Ziffernzahl. Diese Ziffern sind die signifikanten Ziffern (sZ).

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

Nullen am Ende einer Zahl gehören zu den signifikanten Ziffern, während am Anfang einer Zahl stehende Nullen nicht zu den signifikanten Ziffern gehören.

Beispiele: Analysenwaage: $m = \underbrace{0,0750}_{\text{drei sZ}} \text{ g}$ $m = \underbrace{0,0075}_{\text{zwei sZ}} \text{ g}$ $m = \underbrace{0,0007}_{\text{eine sZ}} \text{ g}$

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

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

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.

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

Gewünschte Ziffernzahl: 3

Diese Ziffer entscheidet über das Auf- und Abrunden. Sie beträgt 4: Also wird die davor stehende Ziffer beibehalten. Die gerundete Zahl lautet: **24,2**.

Diese Ziffern bleiben außer Betracht

Ein gerundetes Rechenergebnis gibt man mit einem Ungefährzeichen \approx an.

Beispiel: $U \approx 45,6$ V besagt, dass die letzte Ziffer des angegebenen Zahlenwertes (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 \bar{x}** der Messwerte als Messergebnis anzugeben.

Der Mittelwert \bar{x} berechnet sich aus der Summe der Einzelwerte x_1, x_2, \dots dividiert durch die Anzahl der Messwerte n .

Mittelwert

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots}{n}$$

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:

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

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

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

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

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 gemischt, deren Massen auf Waagen mit unterschiedlichen Anzeigegenauigkeiten bestimmt wurden: $m_1 = 158,4$ g, $m_2 = 16,38$ g, $m_3 = 2,4072$ g.

Welche Masse m der Mischung 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 $\rho = 1,203 \text{ g/mL}$ bestimmt wurde? Geben Sie die Masse mit der richtigen Anzahl von Ziffern an.

Lösung: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = V \cdot \rho$; 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: $m = 60,150 \text{ g} \approx 60,2 \text{ g}$.

Beispiel 2: Das Innenvolumen eines rechteckigen Behälters mit den Innenmaßen $a = 7,9 \text{ cm}$, $b = 9,5 \text{ cm}$, $c = 16,8 \text{ cm}$ 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: $V = 13 \cdot 10^2 \text{ cm}^3$. 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 : $V \approx 13 \cdot 10^2 \text{ cm}^3 \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 \approx 1,3 \text{ dm}^3$.

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: $m \approx 60,2 \text{ g} \approx 60,2 \cdot 10^3 \text{ mg}$.

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 $m = 40,27 \text{ g}$. Wie ist die Masse des Becherglases unter Beachtung der signifikanten Ziffern in kg anzugeben?
2. Wie muss das Messergebnis $l = 50,849 \text{ cm}$ 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: $m_1 = 25,10 \text{ kg}$, $m_2 = 25,15 \text{ kg}$, $m_3 = 25,12 \text{ kg}$, $m_4 = 25,05 \text{ kg}$ und $m_5 = 25,10 \text{ kg}$. Wie groß ist der Mittelwert?
4. Im Grundrissplan einer Wohnung sind als Raumgrößen eingetragen: Wohnzimmer mit Essecke $30,21 \text{ m}^2$, Schlafzimmer $16,3 \text{ m}^2$, Kinderzimmer $12,05 \text{ m}^2$, Küche $8,2 \text{ m}^2$, Bad $7,6 \text{ m}^2$ und Flur $5,1 \text{ m}^2$. 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 $V = 50,00 \text{ mL}$ und seine Masse mit einer Analysenwaage zu $m = 62,7532 \text{ g}$ 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. Auch die Zeitmessung, z. B. mit Sonnenuhren, war den Kulturen im Altertum schon bekannt.

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: $[l] = \text{m}$

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. Aktuell ist die Längeneinheit über die Lichtgeschwindigkeit definiert: Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im Vakuum während des Zeitintervalls $1/299\,792\,458$ s durchläuft (siehe Seite 356).

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).

$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1\,000 \text{ mm} = 1\,000\,000 \mu\text{m}$; $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$;

In den USA und Großbritannien gibt es noch Längeneinheiten, die nicht metrisch aufgebaut sind:

$1 \text{ inch} = 1 \text{ Zoll} = 2,54 \text{ cm}$; $1 \text{ yard} = 3 \text{ foot} = 36 \text{ inch} = 0,9144 \text{ m}$; $1 \text{ Meile} = 1,609 \text{ km}$.

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 $\pm 1 \text{ mm}$ oder bezogen auf den Messbereich von 30 cm bei ungefähr $\pm 0,3 \%$ ($0,1 \text{ cm}/30 \text{ cm} \cdot 100 \%$).

Bei der Messung mit Strichmaßstäben sind folgende Hinweise zu beachten:

- Die Skala der zu messenden Länge zuzuwenden.
- Die Nullmarke sorgfältig anlegen.
- Den Maßstab parallel zur Messlänge, z. B. zur Werkzeugkante, ausrichten.
- Die Skalenwerte senkrecht ablesen.

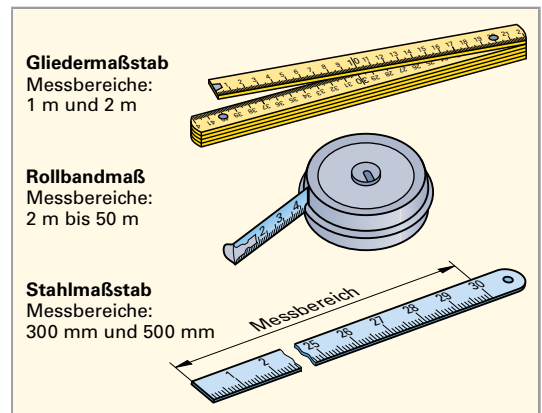


Bild 1: Strichmaßstäbe

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 $\pm 0,5\%$ zu erfassen.



Bild 1: Messrad

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 182). Daraus wird mit der Lichtgeschwindigkeit die Messstrecke im Gerät errechnet.

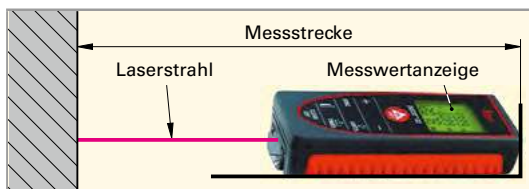


Bild 2: Laser-Entfernungsmesser

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 Ablese von 1/10-Millimeter, dem Nonius.

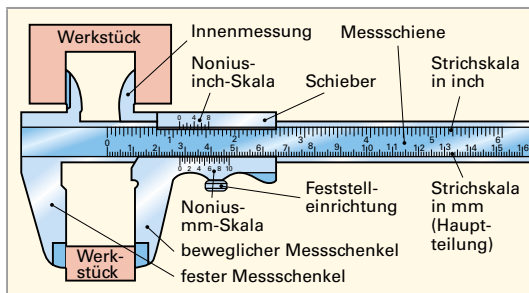


Bild 3: Mechanischer Messschieber

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 $\pm 0,1$ mm.

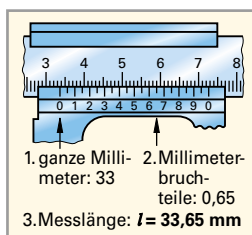


Bild 4: Ablesen des Messschiebers

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



Bild 5: Elektronischer Messschieber

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 $0,50 \text{ mm} : 50 = 0,01$ mm zurück. Die Messgenauigkeit von Bügelmessschrauben beträgt $\pm 0,01$ mm.

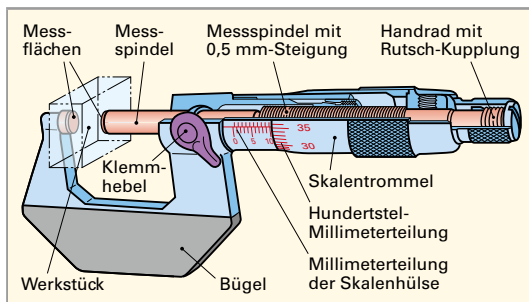
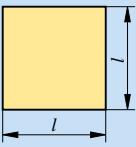
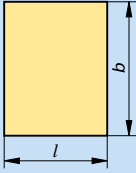
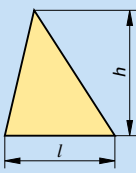
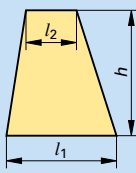
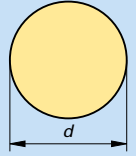
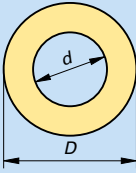


Bild 6: Mechanische Bügelmessschraube

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:

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

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

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

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?

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

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.

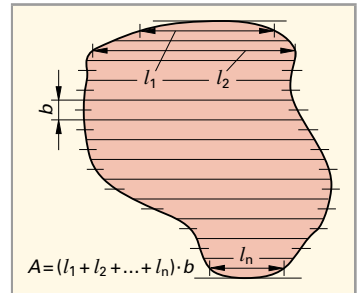


Bild 1: Messung einer Fläche nach dem Streifen teilungsprinzip

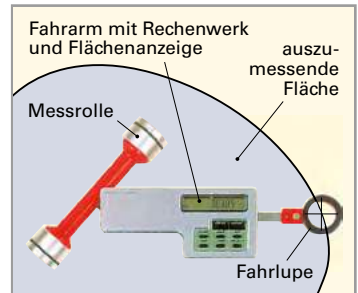


Bild 2: Messen einer Fläche mit dem Planimeter

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 Umrundungslinie 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	$U = 4 \cdot l$	$U = 2(l + b)$	$U = l_1 + l_2 + l_3$	$U = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$	$U = \pi \cdot d$	$U = \pi(D + d)$