



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.

Inhaltsverzeichnis

Physik – Naturwissenschaft und Grund- lage der Technik	8	2.4.5 Auflagerkräfte	53
1 Physikalische Größen und ihre Messung	10	2.4.6 Schwerpunkt	54
1.1 Physikalische Größen	10	2.4.7 Gleichgewichtsarten	54
1.2 Internationales Einheitensystem SI ..	11	2.4.8 Standsicherheit	55
1.2.1 Basisgrößen	11	2.5 Arbeit und Energie	57
1.2.2 Abgeleitete Größen	12	2.5.1 Mechanische Arbeit	57
1.2.3 Vorsätze zu Einheiten	13	2.5.2 Arten mechanischer Arbeit	57
1.3 Grundbegriffe der Messtechnik	14	2.5.3 Energie	58
1.4 Rechnen mit Messwerten	15	2.5.4 Energieerhaltungssatz der Mechanik ..	59
1.4.1 Signifikante Ziffern	15	2.5.5 Rotationsenergie, Trägheitsmoment ...	61
1.4.2 Runden	16	2.5.6 Vergleich von Translation und Rotation	63
1.4.3 Mittelwertbildung	16	2.6 Mechanische Hilfen und Bauteile	65
1.4.4 Rechnen mit Messwerten	16	2.7 Leistung	67
2 Mechanik der festen Körper	18	2.8 Wirkungsgrad	69
2.1 Grundgrößen der Mechanik	18	2.9 Mechanisch-technologische Eigen- schaften der Feststoffe	70
2.1.1 Länge	18	Gemischte Aufgaben	72
2.1.2 Fläche	20	3 Mechanische Schwingungen und Wellen	74
2.1.3 Volumen	21	3.1 Mechanische Schwingungen	74
2.1.4 Winkel	22	3.1.1 Federpendel	74
2.1.5 Masse	23	3.1.2 Größen von Schwingungen	75
2.1.6 Dichte	24	3.1.3 Schwingungsgleichung	75
2.1.7 Zeit	25	3.1.4 Periodendauer des Federpendels	76
2.2 Bewegungslehre	27	3.1.5 Energie der Federschwingung	77
2.2.1 Bewegungsarten	27	3.1.6 Fadenpendel	78
2.2.2 Gleichförmig geradlinige Bewegung ..	28	3.1.7 Dämpfung von Schwingungen	78
2.2.3 Gleichmäßig beschleunigte Bewe- gung aus der Ruhe	29	3.1.8 Erzwungene Schwingung – Resonanz ..	79
2.2.4 Freier Fall	30	3.1.9 Technisch Bedeutung der Resonanz ...	80
2.2.5 Gleichmäßig beschleunigte Bewe- gung mit Anfangsgeschwindigkeit	31	3.2 Mechanische Wellen	82
2.2.6 Gleichmäßig verzögerte Bewegung ...	31	3.2.1 Erzeugen mechanischer Wellen	82
2.2.7 Zusammengesetzte geradlinige Be- wegungen	33	3.2.2 Größen zur Beschreibung von Wellen ..	83
2.2.8 Gleichförmige Drehbewegung	34	3.2.3 Wellengleichung	84
2.3 Kräfte	36	3.2.4 Wellenarten	84
2.3.1 Das Wesen der Kraft	36	3.2.5 Überlagerung von Wellen	85
2.3.2 Die Trägheit der Körper	37	3.2.6 Ausbreitung von Wellen	86
2.3.3 Grundgesetz der Dynamik	38	3.2.7 Interferenz kreisförmiger Wellen	86
2.3.4 Gewichtskraft	39	4 Akustik	88
2.3.5 Federkraft	40	4.1 Schallerreger	88
2.3.6 Reibungskräfte	42	4.2 Schallwellen, Schallausbreitung	89
2.3.7 Kräfte bei Drehbewegungen	45	4.3 Aufzeichnung und Beschreibung von Schallschwingungen	89
2.3.8 Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften	47	4.4 Schallgeschwindigkeit	90
2.3.9 Kräftegleichgewicht	48	4.5 Schallempfänger	91
2.4 Drehmoment und Hebel	50	4.6 Lautstärke und ihre Messung	91
2.4.1 Drehmoment	50	4.7 Ton, Klang, Geräusch	92
2.4.2 Hebel	50	4.8 Technische Anwendungen	93
2.4.3 Drehmomentengleichgewicht	51	4.9 Sonderphänomene des Schalls	94
2.4.4 Technische Anwendungen des Hebels ..	52	4.10 Schallschutzmaßnahmen	95
		4.11 Technische Anwendungen Ultraschall ..	96
		Gemischte Aufgaben	97

5	Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	98	6.4.3	Schmelzen und Erstarren	138
5.1	Flüssigkeiten	98	6.4.4	Verdampfen und Kondensieren	139
5.1.1	Eigenschaften von Flüssigkeiten	98	6.4.5	Gesamtwärmemenge	140
5.1.2	Druck in Flüssigkeiten	100	6.5	Kalorische Mischungen	141
5.1.3	Technische Anwendungen des Drucks	101	6.5.1	Kalorimeter	141
5.1.4	Hydrostatischer Druck	103	6.5.2	Wärmeenergiebilanzen	142
5.1.5	Anwendungen hydrostatischer Druck	104	6.6	Wärmeübertragung	143
5.1.6	Auftrieb in Flüssigkeiten	105	6.6.1	Wärmeleitung	143
5.1.7	Dichtebestimmung mit der Auftriebsmethode	106	6.6.2	Konvektion (Wärmeströmung)	145
5.1.8	Versinken und Schwimmen	106	6.6.3	Wärmedurchgang durch eine Wand	146
5.1.9	Auftrieb bei Hohlkörpern	107	6.6.4	Wärmestrahlung	147
5.2	Gase	108	6.6.5	Technische Wärmeübertragungen	149
5.2.1	Eigenschaften der Gase	108	6.7	Technische Wärmeerzeugung und Energiegewinnung	151
5.2.2	Luftdruck	109	6.7.1	Verbrennung fossiler Brennstoffe	151
5.2.3	Messung des Luftdrucks	110	6.7.2	Heizen mit elektrischem Strom	153
5.2.4	Wirkungen des Luftdrucks	110	6.7.3	Stromerzeugung im Kernkraftwerk	154
5.2.5	Druck und Volumen einer eingeschlossenen Gasportion	112	6.7.4	Wasserkraftwerke	154
5.2.6	Angabe von Druckwerten	112	6.7.5	Windkraftanlagen	155
5.2.7	Anwendungen des Luftdrucks	113	6.7.6	Nutzung der Solarenergie	156
5.2.8	Pumpen und Verdichter	114	6.7.7	Solartechniken der Zukunft	157
5.3	Strömende Flüssigkeiten und Gase	115	6.7.8	Energiewende	158
5.3.1	Strömungsarten	115	6.8	Wärmekraftmaschinen	159
5.3.2	Volumenstrom, Strömungsgeschwindigkeit	116	6.8.1	Kolbendampfmaschinen	159
5.3.3	Druckarten in strömenden Fluiden	117	6.8.2	Verbrennungsmotoren	159
5.3.4	Wirkungen und Anwendungen	118	6.8.3	Dampfturbinen	161
5.3.5	Innere Reibung, Viskosität	120	6.8.4	Gasturbinen	161
5.3.6	Strömungsformen	121	6.8.5	Flugzeug- und Raketenantriebe	162
5.3.7	Strömungswiderstand	121	Gemischte Aufgaben		163
5.3.8	Druckverlust in Rohrleitungen	122	7	Gase und Gasgemische	164
5.3.9	Dynamischer Auftrieb am Tragflügel	123	7.1	Zustandsänderungen idealer Gase	165
Gemischte Aufgaben		124	7.1.1	Isotherme Zustandsänderung	165
6	Wärmelehre	125	7.1.2	Isobare Zustandsänderung	166
6.1	Temperatur und ihre Messung	125	7.1.3	Isochore Zustandsänderung	167
6.1.1	Temperaturskalen	125	7.1.4	Allgemeine Zustandsänderung	168
6.1.2	Temperaturmessung	126	7.1.5	Adiabatische Zustandsänderung	169
6.2	Wärmeausdehnung der Stoffe	128	7.2	Zustandsänderungen realer Gase	170
6.2.1	Längenausdehnung fester Stoffe	128	7.2.1	Van der Waals'sche Zustandsgleichung	171
6.2.2	Volumenausdehnung fester Stoffe	129	7.2.2	Kritische Temperatur, kritischer Druck	171
6.2.3	Wärmeausdehnung in der Technik	129	7.3	Gastechnische Anwendungen	172
6.2.4	Wärmeausdehnung von Flüssigkeiten	130	7.3.1	Verflüssigung von Gasen	172
6.2.5	Anomalie des Wassers	131	7.3.2	Kühlschrank	172
6.2.6	Wärmeausdehnung von Gasen	132	7.3.3	Wärmepumpe	173
6.3	Wesen der Wärme	134	7.4	Gasgemische	174
6.3.1	Wärme – eine Energieform	134	7.4.1	Zustandsgrößen idealer Gasgemische	174
6.3.2	Kinetische Vorstellung der Wärme	134	7.4.2	Gehaltsgrößen von Gasgemischen	175
6.3.3	Wärmemenge	135	7.5	Feuchte Luft	176
6.3.4	Spezifische Wärmekapazität	136	7.5.1	Partialdampfdruck feuchter Luft	176
6.4	Aggregatzustände und Zustandsänderungen	137	7.5.2	Kenngößen der Luftfeuchtigkeit	177
6.4.1	Aggregatzustände	137	7.5.3	Messung der Luftfeuchtigkeit	178
6.4.2	Umwandlungstemperaturen	137	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	8.9	Wellenoptik	226
8.1	Grundeigenschaften des Lichts	183	8.9.1	Das Licht als elektromagnetische Welle	226
8.1.1	Lichtwahrnehmung und Sehen	183	8.9.2	Beugung von Wellen	226
8.1.2	Reflexion, Absorption, Durchlässigkeit	183	8.9.3	Lichtbeugung am Beugungsgitter	227
8.1.3	Wesen des Lichts	184	8.9.4	Reflexion von Lichtwellen	229
8.1.4	Ausbreitung des Lichts	185	8.9.5	Brechung von Lichtwellen	229
8.1.5	Absorption des Lichts	187	8.9.6	Farberscheinungen an Schichten	230
8.2	Reflexion des Lichts	188	8.9.7	Entspiegelung von Gläsern	230
8.2.1	Reflexionsgesetze am ebenen Spiegel	188	8.9.8	Polarisiertes Licht	230
8.2.2	Bildentstehung am ebenen Spiegel	189	8.9.9	Laserlicht	231
8.2.3	Anwendungen ebener Spiegel	190	8.9.10	Spektrum elektromagnetische Wellen	233
8.2.4	Reflexion am Hohlspiegel	192	Gemischte Aufgaben	234	
8.2.5	Bildentstehung am Hohlspiegel	193	9	Elektrizitätslehre	235
8.2.6	Reflexion am Wölbspiegel	194	9.1	Elektrische Ladung	235
8.2.7	Bildentstehung am Wölbspiegel	194	9.2	Elektrisches Feld	237
8.2.8	Technische Anwendungen	194	9.2.1	Darstellung durch Feldlinien	237
8.3	Brechung des Lichts	196	9.2.2	Technische Anwendungen	238
8.3.1	Brechungsgesetz	196	9.3	Elektrische Spannung	239
8.3.2	Optische Effekte durch Lichtbrechung	197	9.4	Elektrischer Strom	240
8.3.3	Totalreflexion	198	9.4.1	Stromkreis	241
8.3.4	Totalreflexion in der Natur	199	9.4.2	Stromstärke	241
8.3.5	Technische Anwendungen	199	9.4.3	Wirkungen des elektrischen Stroms	242
8.4	Optische Linsen	202	9.4.4	Messung Spannung, Stromstärke	242
8.4.1	Optische Wirkung, Linsenformen	202	9.5	Plattenkondensator	243
8.4.2	Strahlengang durch Sammellinsen	202	9.6	Elektrische Leitungsvorgänge	245
8.4.3	Strahlengang bei Zerstreuungslinsen	203	9.6.1	Stromleitung in Feststoffen	245
8.4.4	Abbildung durch Sammellinsen	204	9.6.2	Stromleitung in Flüssigkeiten	246
8.4.5	Fresnellinse	206	9.6.3	Stromleitung in Gasen	246
8.4.6	Abbildung durch Zerstreuungslinsen	206	9.7	Elektrischer Widerstand	248
8.4.7	Linsensysteme	207	9.7.1	Ohmsches Gesetz	248
8.5	Das Auge	208	9.7.2	Leiterwiderstand	249
8.5.1	Augenfehler und ihre Korrektur	209	9.7.3	Temperaturabhängigkeit	251
8.5.2	Erkennen der Größe und Entfernung	209	9.7.4	Technische Anwendungen	252
8.6	Optische Geräte mit Linsen	210	9.8	Schaltungen elektrischer Widerstände	254
8.6.1	Lupe	210	9.8.1	Reihenschaltung	254
8.6.2	Mikroskop	211	9.8.2	Technische Anwendungen	255
8.6.3	Fernrohre	212	9.8.3	Parallelschaltung	257
8.6.4	Projektoren	213	9.8.4	Technische Anwendungen	258
8.6.5	Fotoapparate	214	9.8.5	Gruppenschaltungen	259
8.6.6	Bewegungsmelder	215	9.8.6	Wheatstone'sche Brückenschaltung	261
8.7	Farbenlehre	216	9.9	Elektrische Arbeit und Leistung	262
8.7.1	Zerlegen des weißen Lichtes	216	9.9.1	Elektrische Arbeit	262
8.7.2	Spektralanalyse	217	9.9.2	Elektrische Leistung	263
8.7.3	Mischen von Farben	217	9.9.3	Wirkungsgrad	264
8.7.4	Farbdruck mit Druckmaschinen	219	9.10	Stromversorgung und elektrische Installation	265
8.7.5	Farbfotografie mit Fotopapier	219	9.10.1	Leitungsnetz	265
8.7.6	Kopierer	220	9.10.2	Elektrischer Anschluss	266
8.7.7	Drucker	221	9.10.3	Sicherungen	267
8.7.8	Flachbildschirm-Farbfernseher	221	9.11	Gefahren des elektrischen Stroms	268
8.8	Lichttechnische Größen	223	9.11.1	Wirkungen des Stroms im Körper	268
8.8.1	Lichtstrom	223	9.11.2	Fehlerarten, Berührungsarten	269
8.8.2	Lichtstärke	223	9.11.3	Schutzmaßnahmen	270
8.8.3	Beleuchtungsstärke	224	Gemischte Aufgaben	272	
8.8.4	Leuchtdichte	225			

10	Magnetismus	273	12.3	Anwendungsgebiete der Informatik	321
10.1	Magnetische Stoffe	273	12.4	Internet	322
10.1.1	Eigenschaften der Magnete	274	12.4.1	Netzwerke	322
10.1.2	Ursache des Magnetismus	275	12.4.2	Internetzugang	323
10.2	Magnetisches Feld	276	12.4.3	Vereinbarungen des Internets	324
10.2.1	Darstellung mit Feldlinien	276	12.4.4	Internetdienste	325
10.2.2	Eigenschaften der Magnetfelder	277	12.4.5	Datensicherheit	325
10.2.3	Magnetfeld der Erde	277	13	Atom- und Kernphysik	326
10.3	Elektromagnetismus	278	13.1	Aufbau der Materie	326
10.3.1	Magnetfeld eines Leiters	278	13.1.1	Rutherford'sches Atommodell	326
10.3.2	Leiterschleifen und Spulen	279	13.1.2	Bohr'sches Atommodell	327
10.3.3	Magnetische Größen	281	13.2	Atombau und das Periodensystem	328
10.3.4	Anwendungen	282	13.3	Aufbau des Atomkerns	330
10.4	Kraftwirkungen im Magnetfeld	285	13.4	Isotope	331
10.4.1	Leiter im Magnetfeld	285	13.5	Vorgänge in der Atomhülle	331
10.4.2	Lorentzkraft	286	13.6	Röntgenstrahlen	332
10.4.3	Leiterschleife im Magnetfeld	287	13.7	Radioaktive Stoffe	332
10.4.4	Prinzip des Gleichstrommotors	287	13.7.1	Strahlung radioaktiver Stoffe	332
10.4.5	Drehspulmesswerk	288	13.7.2	Radioaktiver Zerfall	333
10.4.6	Dreheisenmesswerk	288	13.7.3	Kennwerte des radioaktiven Zerfalls	334
10.4.7	Hall-Effekt	289	13.7.4	Messung radioaktiver Strahlung	335
10.5	Magnetische Induktion	290	13.7.5	Anwendung radioaktiver Stoffe	335
10.5.1	Induktion der Bewegung	290	13.8	Radiocarbonmethode (Archäologie)	337
10.5.2	Induktion durch Flussänderung	291	13.9	Ionisierende Strahlung	338
10.5.3	Wirbelströme	292	13.9.1	Strahlendosis	339
10.5.4	Selbstinduktion	293	13.9.2	Strahlenbelastung und -schäden	339
10.6	Technische Anwendungen	295	13.9.3	Diagnose mit ionisierender Strahlung	340
10.6.1	Wechselstromgenerator	295	13.9.4	Therapie mit ionisierender Strahlung	341
10.6.2	Drehstromgenerator	297	13.10	Vorgänge bei der Kernspaltung	342
10.6.3	Gleichstromgenerator	298	13.11	Kerntechnik	343
10.6.4	Transformator	299	13.11.1	Kernspaltung im Kernreaktor	343
10.6.5	Technische Anwendungen	300	13.11.2	Aufbau eines Kernreaktors	344
10.7	Elektromotoren	302	13.11.3	Reaktorsicherheit	344
10.7.1	Gleichstrommotoren	302	13.11.4	Entsorgung der Kernbrennstoffe	345
10.7.2	Drehstrommotoren	303	13.11.5	Risiken der Kernenergie	346
Gemischte Aufgaben		304	13.11.6	Rückbau von Kernkraftwerken	346
11	Elektronik	305	13.12	Kernwaffen	347
11.1	Halbleiter-Werkstoffe	306	13.13	Kernfusion	347
11.2	pn-Übergang	307	Anhang		348
11.3	Halbleiterdioden	308	1	Physikalische Größen	348
11.4	Fotohalbleiter	310	1.1	Basisgrößen	348
11.4.1	Fotoelemente und Solarzellen	310	1.2	Abgeleitete physikalische Größen	349
11.4.2	Fotodioden	310	1.3	Physikalische Konstanten	352
11.4.3	Leuchtdioden	311	1.4	Britisch-amerikanische Größen	352
11.4.4	Fotowiderstände	311	2	Physikalische Eigenschaften von Stoffen	353
11.5	Transistoren	312	2.1	Metalle und Metalllegierungen	353
11.5.1	Bipolare Transistoren	312	2.2	Nichtmetallische Werkstoffe	354
11.5.2	Unipolare Transistoren	313	2.3	Flüssigkeiten und Gase	354
11.5.3	Anwendungen mit Transistoren	313	3	Lösungen der Aufgaben im Buch	355
11.6	Logische Grundschaltungen	315	Sachwortverzeichnis		362
11.7	Aufbau der Elektronik eines Gerätes	317	Bildquellenverzeichnis		370
12	Informatik	319			
12.1	Aufbau eines Computers	319			
12.2	Arbeitsweise eines Computers	320			

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 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**).

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 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)

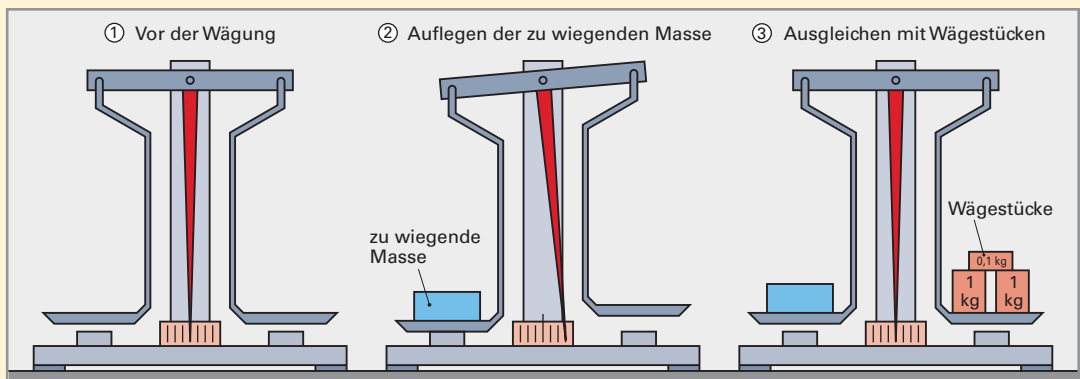
Den Wert einer physikalischen Größe erhält man durch Messen.

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

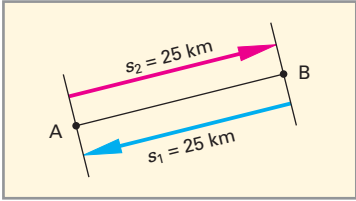
Mit der Angabe $m = 2,1 \text{ kg}$ ist die physikalische Größe Masse exakt angegeben. Die Masse ist unabhängig von der Richtung. Solche physikalische Größen nennt man **skalare Größen**.

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.

Bild 1: Vektorielle Größen s_1 und s_2

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

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

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 ($1 \text{ Zoll} = 25,4 \text{ mm}$).

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:

- Die Fläche A eines Rechteckes ergibt sich aus dem Produkt von Länge l und Breite b . Größengleichung: $A = l \cdot b$
- 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:**
- 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.
 - 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 $1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$. Man nennt $1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 1 \text{ Newton}$, 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**).

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

Beispiele:

- 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 $l = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
 $l = 3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6 \mu\text{m} = 3 \cdot 10^2 \mu\text{m} = \mathbf{300 \mu\text{m}}$
- 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
 $m = 0,004 \text{ kg} = 0,004 \cdot 10^3 \cdot 10^3 \text{ mg} = 0,004 \cdot 10^6 \text{ mg}$
 $m = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 \text{ mg} = 4 \cdot 10^3 \text{ mg} = \mathbf{4000 \text{ mg}}$
- 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			
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.

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

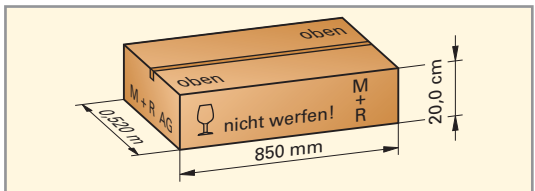


Bild 1: Verpackungskarton (Aufgabe 2)

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

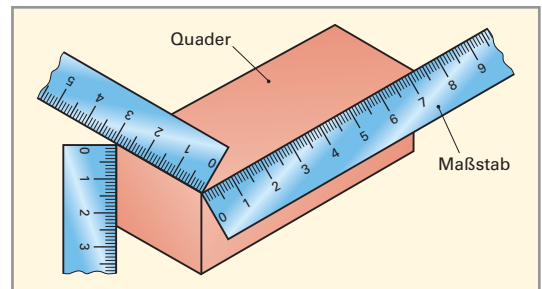


Bild 1: Bestimmung eines Quadervolumens durch Längenmessungen

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.

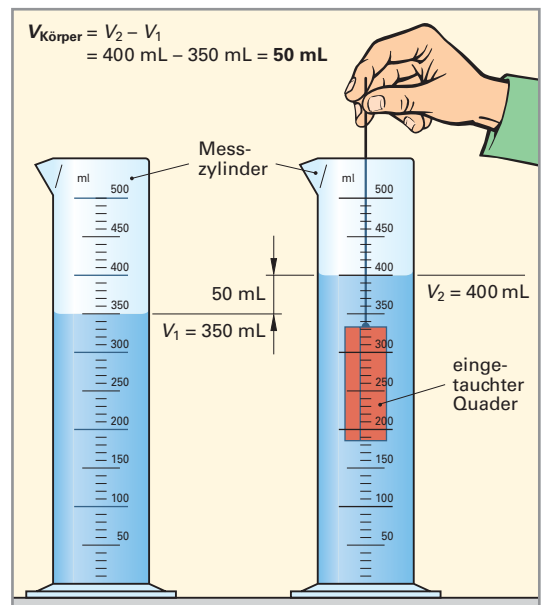


Bild 2: Direkte Messung eines Quadervolumens

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- oder 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: $U = 45,6$ 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** \bar{x} der Messwerte als Messergebnis anzugeben. Er 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?

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

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

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

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

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 zusammengegeben, deren 158,4 g
Massen auf unterschiedlichen Waagen bestimmt wurden: 16,38 g
 $m_1 = 158,4$ g, $m_2 = 16,38$ g, $m_3 = 2,4072$ g 2,4072 g
Welches Messergebnis kann angegeben werden? 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: $m = 60,150 \text{ g} \approx \mathbf{60,2 \text{ g}}$.

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: $V \approx \mathbf{13 \cdot 10^2 \text{ cm}^3}$. 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 : $V \approx 13 \cdot 10^2 \text{ cm}^3 \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{1,3 \text{ dm}^3}$.

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

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.

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

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. 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).

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

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 zuwenden.
- Die Nullmarke sorgfältig anlegen.
- Den Maßstab parallel zur Messlänge, z. B. zur Werkzeugkante, ausrichten.
- Die Skalenwerte senkrecht ablesen.

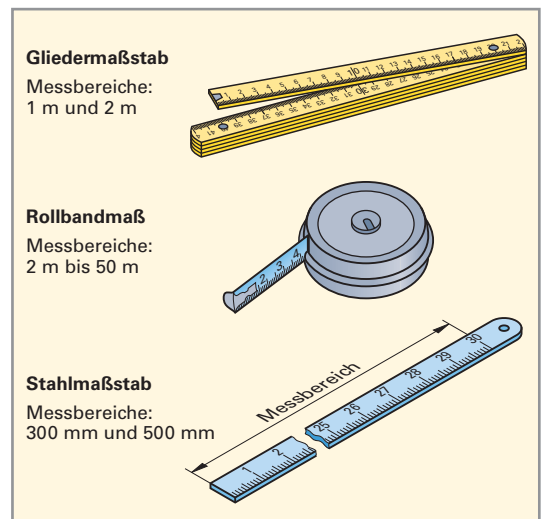


Bild 1: Strichmaßstäbe

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 $\pm 0,5\%$ 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 153). Daraus wird mit der Lichtgeschwindigkeit die Messstrecke im Gerät errechnet.

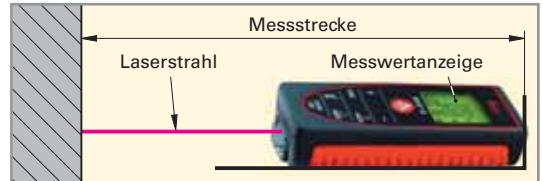


Bild 2: Laser-Entfernungsmesser

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.

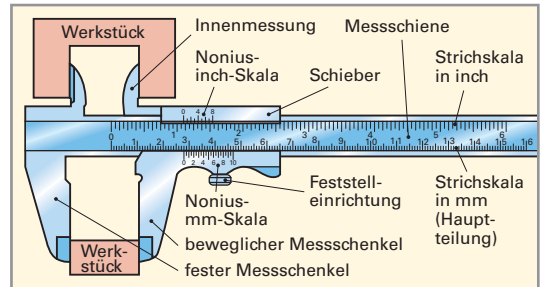


Bild 3: Mechanischer Messschieber

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 $\pm 0,1$ mm.

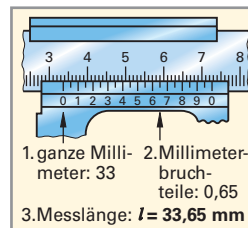


Bild 4: Ablesen des Messschiebers

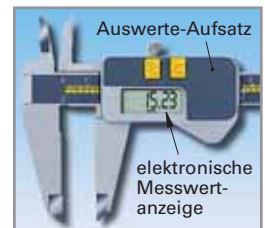


Bild 5: Elektronischer Messschieber

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 $\pm 0,01$ mm.

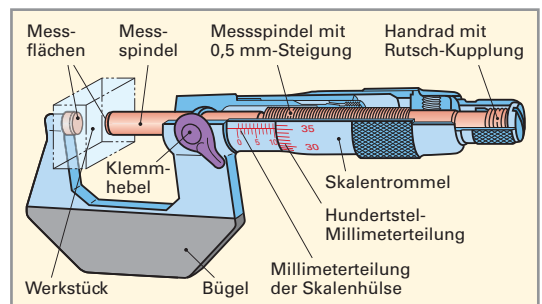
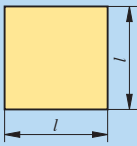
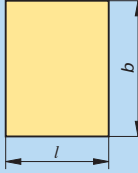
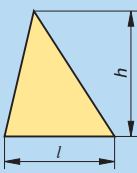
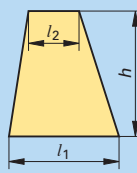
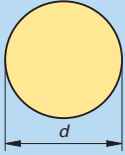
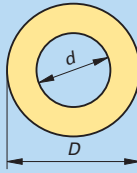


Bild 6: Mechanische Bügelmessschraube

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
Flächengleichung	$A = l^2$	$A = l \cdot b$	$A = \frac{l \cdot h}{2}$	$A = \frac{(l_1 + l_2) \cdot h}{2}$	$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$

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?

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

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.

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

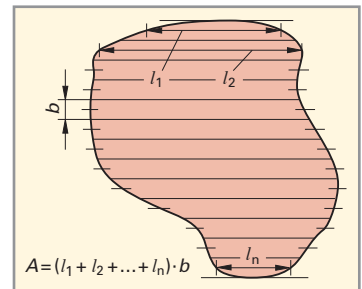


Bild 1: Messung einer Fläche nach dem Streifen teilungsprinzip

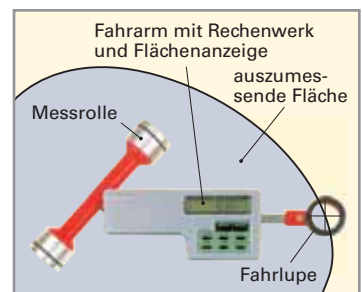


Bild 2: Messen einer Fläche mit dem Planimeter