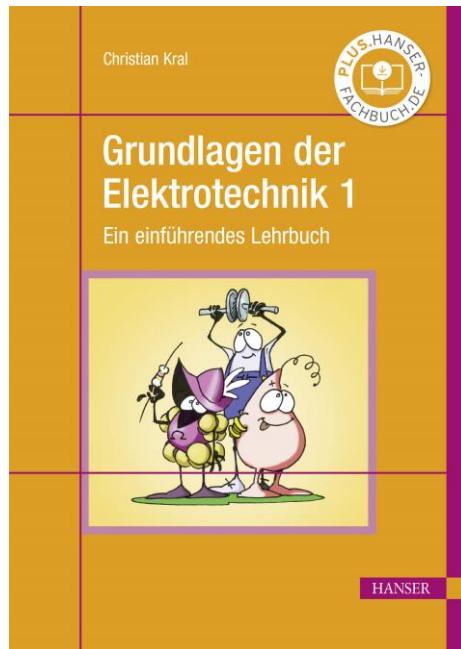


HANSER



Leseprobe

zu

Grundlagen der Elektrotechnik 1

von Christian Kral

Print-ISBN: 978-3-446-47376-8

E-Book-ISBN: 978-3-446-48127-5

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446473768>
sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Dieses Buch richtet sich an Schülerinnen und Schüler, die im Zuge ihrer technischen Ausbildung die Grundlagen der Elektrotechnik erlernen sollen. Dieses Werk bietet aber auch für alle jene einen soliden Einstieg, die in ihrem Studium oder ihrer beruflichen Weiterbildung der Welt der Elektrotechnik begegnen. Am Beginn müssen immer Begriffe erlernt und dazu passende Vorstellungen entwickelt werden.

Was ist der Unterschied zwischen Spannung und Strom und was hat das mit dem Widerstand zu tun? Wie hängen Leistung und Energie zusammen? Was ist ein elektrisches und was ein magnetisches Feld?

Zur Beantwortung dieser Fragen braucht man gute Vorstellungen. Die gute Vorstellung ist der Schlüssel für ein grundlegendes Verständnis der Elektrotechnik. Daher wirken in diesem Lehrbuch drei Figuren mit: Farad, Henry und Ohm. Die drei stellen Sachverhalte nach und ermöglichen damit Bilder im Kopf, an die man sich immer wieder erinnern kann. Und außerdem macht es auch manchmal einfach nur Freude, den Dreien zuzusehen.

In diesem Buch werden ganz grundlegende Zusammenhänge dargestellt und veranschaulicht. In aller Regel werden dafür elementare Konfigurationen betrachtet. Was für das grundlegende Verständnis nicht notwendig ist, wird fortgelassen. Damit kann der grundlegende Einstieg in die Elektrotechnik gut gelingen.

Statt immer nur in die Theorie einzusteigen, werden manche Teilgebiete anhand von ausgewählten Beispielen zugänglich gemacht. Wo erforderlich, werden daraus allgemeingültige Aussagen abgeleitet und formuliert. Zusätzlich sind durchgerechnete Zahlenwertbeispiele inkludiert, die das erworbene Wissen direkt anwenden.

Übung macht die Meisterin und den Meister. Für das selbstständige Arbeiten und Üben gibt es eine Vielzahl von Musterbeispielen und Aufgaben, die online über LeTTo verfügbar sind. Der Zugang zu dieser Plattform ist über <https://plus.hanser-fachbuch.de> möglich, wo man den Code eingibt, der auf der ersten Seite dieses Buchs abgedruckt ist.

Über die Seite <https://github.com/christiankral/Grundlagen-der-Elektrotechnik> kann Feedback zum Buch und zu den LeTTo-Aufgaben eingebracht werden. Dafür ist es erforderlich, einen kostenfreien Account auf <https://github.com> anzulegen. Fehler und Ungenauigkeiten des Buchs und der LeTTo-Aufgaben können so systematisch behandelt und behoben werden. Für jedes einzelne Anliegen sollte möglichst immer ein eigenes Ticket (Issue) erstellt werden. Alle Tickets sind öffentlich einsehbar, wodurch ein nachvollziehbarer und öffentlicher Verbesserungsprozess ermöglicht wird.

Meinem Freund Michi Fleischmann danke ich sehr für die gezeichneten Illustrationen. Sein gutes Gespür für die Darstellung von Situationen hat zu sehr punktgenauen und höchst ansprechenden Bildern geführt. Seine Bilder sind eine große Bereicherung für dieses Buch.

Meiner Kollegin Martina Baumann, meinem Kollegen Thomas Jäger und meinem Kollegen Norbert Salomon danke ich herzlich dafür, dass sie das gesamte Manuskript gründlich und fortwährend durchgearbeitet haben. Ihre kritischen und genauen Anmerkungen, ebenso wie viele persönliche Diskussionen, haben sehr viele ganz ausgezeichnete Beiträge zu diesem Buch geleistet. Mein großer Dank geht auch an Daniel Asch-Goiser für sein konstruktives inhaltliches Feedback und die gute Unterstützungsarbeit rund um dieses Buch. Außerdem danke ich Peter Macheiner für seine sehr gewissenhaften Anmerkungen zum Manuskript.

Ich danke meinem Schüler Mladen Gojkovic für seine kritische und genaue Auseinandersetzung mit dem gesamten Manuskript. Seine Analysen und Rückmeldungen haben viele wertvolle Hinweise geliefert und somit gut zur Entstehung dieses Buchs beigetragen. Bei Mohammad Assef Rahimi, der zum Entstehungszeitpunkt dieses Buchs gerade sein erstes Ausbildungsjahr im Fachgebiet der Elektrotechnik durchläuft, bedanke ich mich für die gründliche Durcharbeitung der ersten beiden Kapitel. Er hat mir gut aufgezeigt, was noch wichtig zu ergänzen war.

Die im Laufe der letzten Jahre entstandenen LeTTo-Aufgaben sind ein ganz wesentlicher Bestandteil dieses Buchs. Ich hoffe, dass viele Menschen davon profitieren. Für das Hosting der LeTTo-Aufgaben bedanke ich mich bei der LeTTo GmbH und für die damit einhergehende technische Unterstützung bei Thomas Mayer und Werner Damböck.

Meinem Lektor Frank Katzenmayer vom Carl Hanser Verlag danke ich für die sehr gute und stets konstruktive Zusammenarbeit.

Lichtenegg, im April 2024

Christian Kral

Inhalt

Gezeichnetes und Geschriebenes	1
1 Grundlegendes Handwerkszeug.....	5
1.1 Ausgewählte Funktionen	5
1.2 Zehnerpotenzen	7
1.2.1 Definition und Eigenschaften	7
1.2.2 Rechenregeln	9
1.2.3 Produkte aus Zahlen und Zehnerpotenzen.....	10
1.2.4 Runden und signifikante Stellen	12
1.3 Geometrie.....	14
1.4 Physikalische Größen und Einheiten	16
1.4.1 Basis-SI-Einheiten	16
1.4.2 Abgeleitete Einheiten	17
1.4.3 Einheitsvorsätze	18
1.4.4 Gleichungen und Einheiten	19
1.4.5 Nicht-SI-Einheiten	19
2 Gleichstrom	23
2.1 Strom	23
2.1.1 Aufbau von Atomen.....	23
2.1.2 Strom und Ladung	24
2.1.3 Elektrische Leiter.....	27
2.1.4 Laden und Entladen von Batterien	29
2.1.5 Lithium-Ionen-Akku	33
2.2 Stromkreis	35
2.3 Stromdichte	38

2.4	Potenzial und Spannung	40
2.4.1	Elektrisches Potenzial	40
2.4.2	Spannung	41
2.4.3	Spannung und Strom	43
2.5	Widerstand und Leitwert	44
2.5.1	Widerstand	45
2.5.2	Leitwert	45
2.5.3	Ohmsches Gesetz	46
2.5.4	Widerstands- und Leitwertgerade	49
2.6	Ideale Quellen	51
2.6.1	Ideale Spannungsquelle	51
2.6.2	Ideale Stromquelle	52
2.7	Serien- und Parallelschaltung	53
2.7.1	Kirchhoffsche Maschenregel	54
2.7.2	Serienschaltung von Widerständen	57
2.7.3	Spannungsteilerregel	59
2.7.4	Serienschaltung von Spannungsquellen	60
2.7.5	Amperemeter	61
2.7.6	Kirchhoffsche Knotenregel	63
2.7.7	Parallelschaltung von Widerständen	65
2.7.8	Stromteilerregel	68
2.7.9	Voltmeter	69
2.8	Widerstandsnetzwerke	71
2.8.1	Gemeinsame Spannungs- und Strommessung	71
2.8.2	Gemischte Serien- und Parallelschaltung	72
2.8.3	Stern- und Dreieckschaltungen	75
2.9	Widerstandsberechnungen	77
2.9.1	Temperaturabhängigkeit	77
2.9.2	Material- und Geometrieabhängigkeit	80
2.9.3	Potentiometer	82
2.9.4	E12-Reihe	86
2.9.5	Farbcodes	86
2.10	Leistung und Energie	88
2.10.1	Arbeit, Energie und Energiewandlung	89
2.10.2	Elektrische Leistung	92
2.10.3	Elektrische Energie	92
2.10.4	Wirkungsgrad und Verluste	95

2.11	Richtungs- und Bezugssinn	99
2.11.1	Richtungssinn	99
2.11.2	Bezugssinn	100
2.11.3	Rechnen mit Vorzeichen	102
2.12	Lineare Quellen	104
2.12.1	Lineare Spannungsquelle	104
2.12.2	Lineare Stromquelle	106
2.12.3	Ersatzspannungsquelle.....	108
2.12.4	Ersatzstromquelle	112
2.12.5	Brückenschaltung	112
2.12.6	Leistungsanpassung	115
2.13	Schaltungsanalyse	118
2.13.1	Begriffe	119
2.13.2	Überlagerungsprinzip	120
2.13.3	Knoten- und Maschengleichungen.....	123
3	Elektrisches Feld	127
3.1	Feldbegriff	127
3.1.1	Gravitationsfeld	128
3.1.2	Elektrisches Feld	131
3.2	Plattenkondensator	134
3.2.1	Elektrische Feldstärke	134
3.2.2	Elektrischer Fluss.....	138
3.2.3	Elektrische Flussdichte	139
3.2.4	Permittivität	140
3.2.5	Kapazität	142
3.3	Bauelement Kondensator.....	143
3.3.1	Bauformen	143
3.3.2	Bauarten.....	145
3.3.3	Kennzeichnung und Kenndaten	146
3.3.4	Schaltzeichen	146
3.4	Serien- und Parallelschaltung.....	147
3.4.1	Serienschaltung	147
3.4.2	Parallelschaltung	149
3.4.3	Gemischte Serien- und Parallelschaltungen	150
3.5	Energie	150
3.5.1	Energiedichte und Energie.....	151
3.5.2	Energie des Kondensators	152

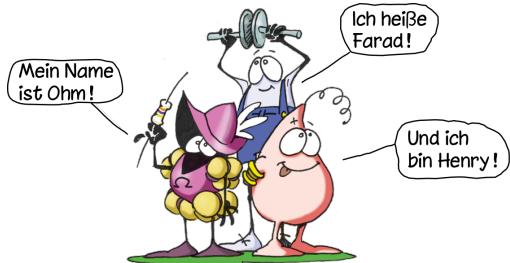
3.6	Besonderheiten	152
3.6.1	Kraftwirkung auf Grenzflächen	152
3.6.2	Coulombsches Gesetz	153
3.6.3	Influenz	155
3.6.4	Spitzenwirkung	157
4	Trigonometrie	159
4.1	Winkel	160
4.2	Rechtwinkeliges Dreieck und Winkelfunktionen	161
4.3	Allgemeines Dreieck	166
5	Vektorrechnung	169
5.1	Zweidimensionale Vektoren	169
5.2	Dreidimensionale Vektoren	170
6	Magnetisches Feld	183
6.1	Feldbegriff	183
6.1.1	Magnetische Erscheinungen	184
6.1.2	Feldbilder von Permanentmagneten	186
6.1.3	Feldbilder stromdurchflossener Leiter und Spulen	188
6.2	Magnetische Werkstoffe	197
6.2.1	Permeabilität	197
6.2.2	Magnetische Flussdichte	199
6.2.3	Klassifikation von Materialien	200
6.3	Magnetisches Ersatzschaltbild	203
6.3.1	Magnetischer Widerstand und Leitwert	205
6.3.2	Magnetischer Fluss	207
6.3.3	Kirchhoffsche Knotenregel des Magnetfelds	212
6.3.4	Magnetische Spannung	214
6.3.5	Ohmsches Gesetz des Magnetfelds	216
6.3.6	Durchflutung	216
6.3.7	Durchflutungssatz	218
6.3.8	Magnetische Spannungsquelle	221
6.3.9	Kirchhoffsche Maschenregel des Magnetfelds	222
6.3.10	Magnetischer Kreis mit Luftspalt	224
6.4	Induktionsgesetz	227
6.4.1	Bewegungsinduktion	232
6.4.2	Wechselstromgenerator	234
6.4.3	Keine Flussänderung	236

6.5	Induktivität	236
6.5.1	Streufeld	240
6.5.2	Magnetisch gekoppelter Kreis	243
6.5.3	Magnetisch ideal gekoppelter Kreis	247
6.6	Kraftwirkung.....	248
6.6.1	Lorentzkraft	248
6.6.2	Kraft auf Grenzfläche	249
6.6.3	Hall-Effekt	251
6.7	Energie	253
6.7.1	Energiedichte und Energie.....	253
6.7.2	Energie der Spule.....	254
6.8	Ferromagnetisches Material	255
6.8.1	Hysterese und Sättigung	256
6.8.2	Eisenverluste.....	259
6.8.3	Elektroband und -blech	262
6.8.4	Permanentmagnet	265
6.8.5	Entmagnetisierung.....	271
A	Lösung linearer Gleichungssysteme.....	273
A.1	Taschenrechner Casio FX-991 DC CW	273
A.2	Taschenrechner Sharp EL-W506T	275
A.3	Taschenrechner Texas Instruments TI-30X Pro MathPrint.....	276
A.4	Julia-Programmcode	278
B	Verzeichnis der Formelzeichen	279
B.1	Griechische Kleinbuchstaben.....	279
B.2	Griechische Großbuchstaben	280
B.3	Lateinische Kleinbuchstaben	280
B.4	Lateinische Großbuchstaben	281
Literatur	283	
Stichwortverzeichnis	285	

Gezeichnetes und Geschriebenes

■ Figuren

Wir haben drei Figuren, die uns durch dieses Buch begleiten:



Farad ist drahtig und hat lange Beine. Er hat viel Energie und steht manchmal unter großer Spannung.

Ohm heißt nicht nur wie die Einheit des Widerstands, manchmal bietet er auch Widerstand.

Henry sieht aus wie ein Wassertropfen. Er ist stromlinienförmig. Und er ist anpassungsfähig, auch wenn man ihm das nicht immer zutraut. Wenn es drauf ankommt, zwängt er sich jedoch durch engste Spalten und in kleinste Räume.

■ Nummerierungen

In technischen Dokumenten und Büchern ist es üblich, alle Gleichungen, Bilder und Tabellen zu nummerieren, so wie es auch in diesem Buch umgesetzt ist. Verweise auf andere Bücher (Literatur) werden über ein Kürzel angegeben.

Gleichungen. Wichtige Gleichungen werden in einer separaten Zeile geschrieben und in runden Klammern nummeriert. Dabei gibt die erste Zahl das Kapitel an, während die zweite Zahl eine fortlaufende Nummerierung repräsentiert. Die beiden Zahlen sind durch einen Punkt voneinander getrennt.

Beispiel: Der Satz von Pythagoras lautet:

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (4.6)$$

Wenn wir auf diese Gleichung verweisen, so schreiben wir Gl. (4.6). Wenn wir auf mehrere Gleichungen verweisen, verwenden wir die Abkürzung Gln.

Besonders wichtige Gleichungen werden in einen rechteckigen Rahmen gesetzt, um deren Wichtigkeit zu unterstreichen.

Beispiel: Das Ohmsche Gesetz lautet:

$$\boxed{R = \frac{U}{I}} \quad (2.21)$$

Bilder. Alle Bilder sind nummeriert und weisen eine Bildunterschrift auf, um die gezeigte Darstellung in kurzer Form zu beschreiben. Die erste Zahl der fortlaufenden Nummerierung kennzeichnet das Kapitel, die zweite Zahl gibt eine fortlaufende Nummer an.

Beispiel: Henry ist beispielsweise in Bild 2.4 auf Seite 28 mit Murmeln dargestellt.

Tabellen. Die Nummerierung einer Tabelle steht oberhalb der Tabelle und eine kurze textliche Beschreibung erläutert, was dargestellt ist. Die Tabellen sind unabhängig von den Bildern, aber nach dem selben Schema, mit Kapitel und fortlaufender Zahl, nummeriert.

Literatur. Der Verweis auf andere Bücher wird mit einer Kombination aus Buchstaben und Zahlen codiert. Die konkrete Auflösung dieser Codierung mit allen bibliografischen Angaben befindet sich im Kapitel Literatur auf Seite 283 am Ende dieses Buchs.

Beispiel: Das Ohmsche Gesetz ist in [Pre06, Abschnitt 6.5] behandelt.

Schreibweisen

Wir verwenden lateinische und griechische Buchstaben in unterschiedlichen Schreibweisen.

Hervorhebung. Wichtige Begriffe und Formulierungen sind im Text *kursiv* geschrieben, also *schräg* gestellt.

Physikalische Größen. Mit dem Formelzeichen t bezeichnen wir beispielsweise die physikalische Größe Zeit. Formelzeichen werden kursiv geschrieben. Zahlenwerte werden mit einem schmalen Leerzeichen als Tausendertrennzeichen dargestellt. Die zugehörige Einheit einer physikalischen Größe wird gerade geschrieben und vom Zahlenwert durch ein schmales Leerzeichen getrennt:

Beispiel: Die Zeittdauer beträgt $t = 1200\text{s}$

Wenn eine physikalische Größe gleich null ist, so wird ihre Einheit dennoch mit angegeben.

Beispiel: Die Zählung beginnt zum Zeitpunkt $t = 0\text{s}$

Kalligrafische Buchstaben. Um Punkte, Flächen und andere räumliche Objekte zu bezeichnen, verwenden wir kalligrafische Buchstaben, die wie handschriftlich verfasst aussehen.

Beispiel: Die Fläche \mathcal{A} bezeichnet die Fläche als Objekt (als Ding), während der gewöhnliche geschriebene Buchstabe A den Flächeninhalt (mit der Einheit m^2) bezeichnet.

Vektoren. Vektorielle Größen werden mit einem Pfeil gekennzeichnet. Wir unterscheiden zwei- und dreidimensionale Vektoren, die zwei oder drei Koordinaten aufweisen.

Beispiel: Der dreidimensionale Kraftvektor beträgt: $\vec{F} = \begin{pmatrix} 0\text{ N} \\ 100\text{ N} \\ 0\text{ N} \end{pmatrix}$

■ Hervorhebungen

Am Beginn eines neuen Abschnitts, wo neue Formelzeichen und Einheiten auftreten, werden diese strukturiert zusammengefasst. Dabei ist in aller Regel Ohm so freundlich und weist auf besondere Eigenschaften und Aussprachen hin.

Zeichen	Einheit	Größe	Quantity
 F	N	Kraft	Force



Das Einheitenzeichen N steht für »Newton«.

Wichtige Sachverhalte werden gesondert hervorgehoben:

 Wichtige Eigenschaften oder Zusammenhänge werden durch einen Kasten mit Ausrufezeichen versehen.

 **Tipp.** Ein praktischer Tipp findet sich in einem mit einem Häkchen versehenen Kasten.

 **Einheitenumrechnung.** Wenn es um die Umrechnung von Einheiten geht, so sind diese in einem Kasten mit einem nach rechts weisenden Pfeil angegeben.

Am Ende von mehreren Abschnitten werden wichtige deutsche und englische Begriffe zusammengefasst.

Deutsch	English
Spannung	Voltage
Strom	Current

Erweitertes Wissen. Dadurch werden Inhalte gekennzeichnet, die über das grundlegende Wissen hinausgehen.

■ Beispiele und Übungen

Zahlenwertbeispiele. Durchgerechnete Zahlenwertbeispiele sind im Buch enthalten.

Diese Zahlenwertbeispiele wenden das im jeweiligen Abschnitt erworbene Wissen unmittelbar an. Sie sind fortlaufend nummeriert und werden mit einem kleinen recht-eckigen Quadrat abgeschlossen. ■

Übungsaufgaben. Es gibt zu diesem Buch eine große Sammlung von Musterbeispielen und Übungsaufgaben, die über einen LeTTo-Server¹ online zur Verfügung gestellten werden. Zu dieser Aufgabensammlung gelangen Sie, in dem Sie den auf der ersten Seite abgedruckten Code auf <https://plus.hanser-fachbuch.de> eingeben und den dort angegebenen Anweisungen folgen. Über LeTTo können alle Rechen- bzw. Arbeitsschritte der bearbeiteten Aufgaben online auf Korrektheit geprüft werden.

Die gesamte Aufgabensammlung ist frei verfügbar und kann daher auch auf dem LeTTo-Server einer Bildungseinrichtung uneingeschränkt genutzt, verändert und weiterentwickelt werden.

■ Suche im Buch

Grundsätzlich gibt es folgende systematische Möglichkeiten, Inhalte in diesem Buch zu finden:

Inhaltsverzeichnis. Das am Beginn des Buchs befindliche Inhaltsverzeichnis zeigt die Gliederung in Kapitel und Abschnitte. Dort kann man sich an den angeführten Themen orientieren und dann auf den entsprechenden Seiten nachschlagen.

Beispiel: 2.5 Widerstand.....44

Stichwortverzeichnis. Das Stichwortverzeichnis ab Seite 285 listet die wichtigsten Stichworte und Begriffe auf. Gleich daneben sind jene Seitennummern angegeben, unter denen die zugehörigen Inhalte zu finden sind.

Beispiel: Ohm (Einheit) 44

Verzeichnis der Formelzeichen. Das Verzeichnis aller in diesem Buch verwendeten Formelzeichen mitsamt Einheit (EH) ist im Anhang B ab Seite 279 angegeben.

Beispiel:	Größe	EH	Beschreibung	Seite
	R	Ω	Widerstand	44

¹ LeTTo steht für »Learning Evaluating Teaching Testing Online«, siehe <https://letto.at>.

1

Grundlegendes Handwerkszeug

Für das praktische Rechnen in der Elektrotechnik benötigen wir einige mathematische Grundlagen, sowie ein Grundverständnis für die Beschaffenheit und die Besonderheiten von physikalischen Größen. Das wichtigste Handwerkszeug für den Einstieg in die Grundlagen der Elektrotechnik wird nachfolgend bereitgestellt.

■ 1.1 Ausgewählte Funktionen

Tabelle 1.1 Mathematische Funktionen

Name	Schreibweise	Definition	Beispiel(e)
Kehrwert	$y = \frac{1}{x}$	Erfüllt die Bedingung $x \cdot y = 1$	$y = \frac{1}{2} = 0,5$
Quadrat	$y = x^2$	$y = x \cdot x$	$y = 2^2 = 4$ $y = (-2)^2 = 4$
Wurzel	$y = \sqrt{x}$	Gilt nur für $x > 0$	$y = \sqrt{4} = 2$
Vorzeichen	$y = \text{sign}(x)$	$y = \begin{cases} -1 & \text{wenn } x < 0 \\ 0 & \text{wenn } x = 0 \\ 1 & \text{wenn } x > 0 \end{cases}$	$y = \text{sign}(-4) = -1$ $y = \text{sign}(0) = 0$ $y = \text{sign}(4) = 1$
Betrag	$y = x $	$y = \begin{cases} -x & \text{wenn } x < 0 \\ x & \text{wenn } x \geq 0 \end{cases}$	$y = -4 = 4$ $y = 4 = 4$

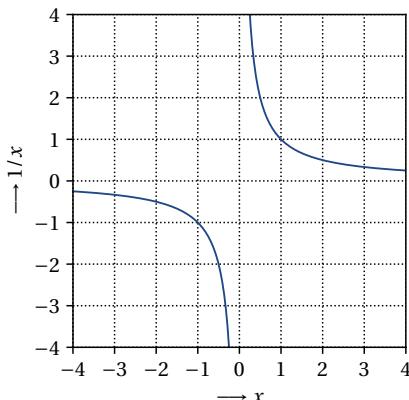
In Tabelle 1.1 sind einige für dieses Buch relevante Funktionen für reellwertige Größen zusammengestellt. In jeder der dargestellten Funktionen $y(x)$ bezeichnet

- x das Argument und
- y den Funktionswert.

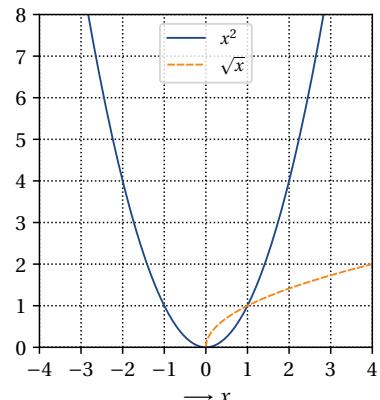
Wir ergänzen dazu:

Kehrwert. Den Kehrwert von x berechnen wir, indem wir 1 durch x dividieren, also $y = \frac{1}{x}$.

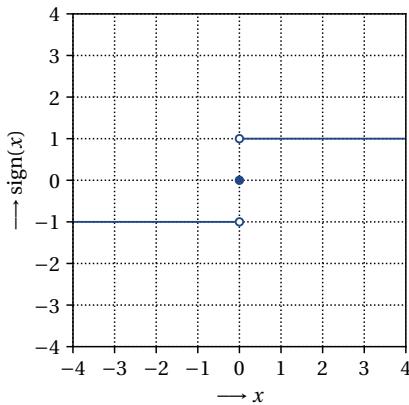
Der in Bild 1.1a dargestellte Funktionsverlauf ist eine *Hyperbel*. Der Funktionswert y ist für $x = 0$ nicht definiert. Zusätzlich gelten die Bedingungen $x = \frac{1}{y}$ und $x \cdot y = 1$.



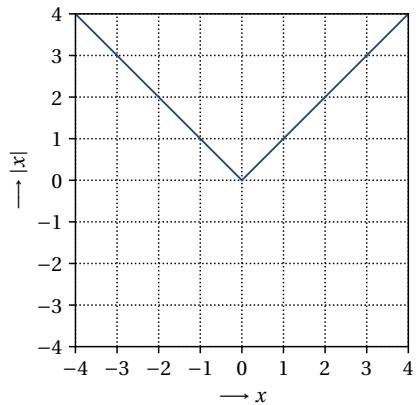
(a)



(b)

Bild 1.1 Funktionen: (a) Hyperbel $1/x$, (b) Quadrat x^2 und Wurzel \sqrt{x} 

(a)



(b)

Bild 1.2 Funktionen: (a) Vorzeichen- bzw. Signumfunktion $\text{sign}(x)$, (b) Betragsfunktion $|x|$

Quadrat. Das Quadrat eines positiven oder negativen Arguments gibt stets einen positiven Funktionswert, wie in Bild 1.1b gezeigt. Das Quadrat von null liefert als Funktionswert null.

Wurzel. Die reellwertige Wurzelfunktion ist nur für positive Argumente definiert, wie das in Bild 1.1b dargestellt ist. Für negative Argumente gibt es keine Lösung. Der Funktionswert der Wurzel ist stets positiv.

Vorzeichenfunktion. Die Vorzeichenfunktion bzw. Signumfunktion hat nur drei Funktionswerte. Die in Tabelle 1.1 angegebene Schreibweise für die Definition kennzeichnet drei unterschiedliche Fälle, die untereinander in einer geschwungenen Klammer aufgeschrieben werden und eindeutig voneinander unterscheidbar sind:

- Falls $x < 0$ ist, dann ergibt $y = -1$.

- Falls $x = 0$ ist, dann ergibt $y = 0$.
- Falls $x > 0$ ist, dann ergibt $y = 1$.

Die in Bild 1.2a dargestellte Funktion zeigt einen vollen (•) und zwei leere (○) Markierungspunkte, die wie folgt zu verstehen sind:

Voller Markierungspunkt. Der dargestellte Punkt (•) gehört zur Funktion. Hier ist das der Punkt $x = 0$ und $\text{sign}(0) = 0$.

Leerer Markierungspunkt. Ein derartiger Punkt (○) ist jeweils auf einer Kurve bei $x = 0$ eingezeichnet, gehört selbst aber nicht mehr zur jeweiligen Kurve dazu. Der leere Markierungspunkt gibt also an, dass eine Kurve auf diesen Punkt zustrebt, ihn aber nicht vollständig erreicht. Stattdessen gehört der Punkt bei $x = 0$ und $\text{sign}(0) = 0$ tatsächlich zur Funktion $\text{sign}(x)$.

Betragsfunktion. Bei der Betragsbildung einer Größe wird einfach das Vorzeichen fortgelassen. Wir verwenden in aller Regel zwei unterschiedliche Schreibweisen:

- Wir schreiben zwei senkrechte Striche um den Funktionswert x , also $|x|$.
- Anstelle der Betragsstriche schreibt man für den Betrag (engl., *absolute value*) auch $\text{abs}(x)$.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass das Produkt aus der Vorzeichen- und der Signumfunktion wieder den Funktionswert ergibt:

$$x = \text{sign}(x) \cdot |x| \quad (1.1)$$

Zahlenwertbeispiel 1.1. Wir bestimmen den Betrag und das Vorzeichen von $x = -2$.

- Die Betragsfunktion liefert immer einen positiven Wert. Für $x < 0$ erhalten wir: $|x| = 2$
- Das Vorzeichenfunktion liefert: $\text{sign}(x) = -1$

■

■ 1.2 Zehnerpotenzen

1.2.1 Definition und Eigenschaften



Dabei bezeichnet \mathbb{Z} die Menge der ganzen Zahlen, also: $\dots, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, \dots$

Wir unterscheiden:

Positiver Exponent. Für $a > 0$ ist die Zehnerpotenz größer als eins:

$$10^a = \underbrace{10 \cdot 10 \cdot \dots \cdot 10}_{a\text{-mal}} = 1 \underbrace{00\dots0}_{a\text{ Nullen}} > 1 \quad (1.2)$$

Der Exponent a gibt dabei an, wie viele Nullen auf die Eins folgen.

Sonderfall Exponent null. Für $a = 0$ ist die Zehnerpotenz gleich eins:

$$10^0 = 1 \quad (1.3)$$

Negativer Exponent. Für $a < 0$ ist die Zehnerpotenz kleiner als eins:

$$10^a = \frac{1}{\underbrace{10 \cdot 10 \cdot \dots \cdot 10}_{|a|\text{-mal}}} = 0,00\dots0 \overset{\uparrow}{1} < 1 \quad (1.4)$$

|a|-te Dezimalstelle nach dem Komma

Der Betrag $|a|$ des Exponenten gibt an, an der wievielten Dezimalstelle nach dem Komma sich die Eins befindet.

Die Zehnerpotenzen von -3 bis 3 sind in Tabelle 1.2 zusammengefasst.

Tabelle 1.2 Zehnerpotenzen mit Exponenten von -3 bis 3

a	10^a	Produkt	Dezimalzahl
3	10^3	$10 \cdot 10 \cdot 10$	1000
2	10^2	$10 \cdot 10$	100
1	10^1	10	10
0	10^0	1	1
-1	10^{-1}	$\frac{1}{10}$	0,1
-2	10^{-2}	$\frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10}$	0,01
-3	10^{-3}	$\frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10}$	0,001

Zahlenwertbeispiel 1.2. Wir stellen die Größe 10 000 als Zehnerpotenz dar.

Da wir nach der 1 insgesamt vier Nullen vorliegen haben, gilt: $10 000 = 10^4$

■

Zahlenwertbeispiel 1.3. Wir stellen die Größe 0,001 als Zehnerpotenz dar.

Die 1 ist die dritte Stelle nach dem Komma. Daher erhalten wir: $0,001 = 10^{-3}$

■

1.2.2 Rechenregeln

Wir formulieren alle Rechenregeln nachfolgend mit den ganzzahligen Exponenten $a \in \mathbb{Z}$ und $b \in \mathbb{Z}$.

Produkt von Zehnerpotenzen

Wenn wir zwei Zehnerpotenzen mit den Exponenten a und b miteinander multiplizieren, ist der Exponent des Produkts gleich der Summe der einzelnen Exponenten:

$$10^a \cdot 10^b = 10^{a+b} \quad (1.5)$$

Kehrwert

Für den Kehrwert einer Zehnerpotenz gilt:

$$10^a = \frac{1}{10^{-a}} \quad 10^{-a} = \frac{1}{10^a} \quad (1.6)$$

Quotient von Zehnerpotenzen

Die Anwendung der Regeln für das Produkt und den Kehrwert führt zur Rechenregel von Quotienten:

$$\frac{10^a}{10^b} = 10^a \cdot 10^{-b} = 10^{a-b} \quad (1.7)$$

Unter dem *Quotienten* verstehen wir das Verhältnis zweier Größen in Form einer Divison, wie das in Bild 1.3 illustriert ist.



Bild 1.3 Der Quotient ist gleich dem Dividenden, geteilt durch den Divisor

Zahlenwertbeispiel 1.4. Wir bestimmen das Produkt: $10^4 \cdot 10^{-3} = 10^{4-3} = 10^1 = 10$ ■

Zahlenwertbeispiel 1.5. Wir bestimmen den Quotienten:

$$\frac{10^4}{10^{-3}} = 10^4 \cdot 10^3 = 10^{4+3} = 10^7 \quad ■$$

1.2.3 Produkte aus Zahlen und Zehnerpotenzen

Wissenschaftliche Größen werden oft als Produkt

- einer Dezimalzahl und
- einer Zehnerpotenz

angegeben:

Wissenschaftliche Darstellung. Wenn nur eine Dezimalstelle ungleich null vor dem Komma steht, so sprechen wir oft von einer normierten Gleitkommadarstellung:

$$23450 = 2,345 \cdot 10000 = \underbrace{2,345}_{\text{Wissenschaftliche Darstellung}} \cdot \underbrace{10^4}_{\text{Nicht 0}} = \underbrace{2,345E4}_{\text{Computer oder Taschenrechner}}$$

Auf Taschenrechnern wird diese wissenschaftliche Darstellungsform oft mit dem Kürzel SCI (engl. *scientific*) gekennzeichnet.

Technische Darstellung. Zusätzlich bieten Taschenrechner mitunter auch die Möglichkeit der Zahlendarstellung in einem sogenannten technischen Format,

- bei dem der Zahlenwert größer oder gleich eins und kleiner als 1000 und auch
- der Exponent der Zehnerpotenz immer ein ganzzahliges Vielfaches von drei ist; das hat mit den technisch üblichen Einheitsvorsätzen Milli, Kilo, etc. zu tun:

$$23450 = 23,45 \cdot 1000 = \underbrace{23,45}_{\text{Technische Darstellung}} \cdot \underbrace{10^3}_{\text{Größer oder gleich 1 und kleiner als 1000}} = \underbrace{23.45E3}_{\text{Computer oder Taschenrechner}}$$

Diese Darstellungsform ist auf Taschenrechnern oft mit dem Kürzel ENG (engl. *engineering*) bezeichnet.



Vorzeichen. Sowohl die Dezimalzahl als auch die Zehnerpotenz können ein positives oder negatives Vorzeichen aufweisen. Entsprechende Beispiele sind in Tabelle 1.3 zusammengestellt.

Computerdarstellung. Zahlen können in wissenschaftlicher oder technischer Darstellung geschrieben werden. Die Zehnerpotenzen werden direkt nach einem groß (oder klein) geschriebenen E (oder e) angegeben, so wie derartige Zahlen auch bei Taschenrechnern angezeigt werden.

Stichwortverzeichnis

A

- Ampere (Einheit) 25
- Ampermeter 61
- Ankathete 161
- Anode 33
- Äquipotenziallinie
 - elektrisches Feld 133, 137
 - Gravitationsfeld 130
- Arbeit 89
- Atom 23
- Aufgaben 4
- Äußeres Produkt 178

B

- Basis 7
- Batterie 29
- Betrag
 - Mathematik 7
 - Vektor 174
- Bewegungsinduktion 232
- Bezugssinn 100
- Blechung 261
- Blitz 157
- Brückenschaltung 112

C

- Celsius (Einheit) 77
- Coulomb (Einheit) 24
- Coulombsches Gesetz 153
- Curie-Temperatur 272

D

- Determinante 178
- diamagnetisch 200
- Dielektrikum 134
- Dotierung
 - Halbleiter 28
 - Wirbelstromverluste 261

Dreieck

- allgemein 166
- rechtwinkelig 161
- Dreieckschaltung 75
- Driftgeschwindigkeit 27
- Drossel 239
- Durchflutung 216
- Durchflutungssatz 218
- Durchschlag 146, 157
- Durchtrittssinn 210, 217, 229

E

- E12-Reihe 86
- Einheit 16
- Einsvektor 176
- Eisen 200
- Eisenkreis 203
- Eisenverluste 259
- Elektroband und -blech 262
- Elektrode 134
- Elektrolyt 33
- Elektrolytkondensator 145
- Elektron 23
- elektrostatisch 127
- Elementarladung 23
- Energie 89
 - elektrisches Feld 151
 - magnetisches Feld 253
- Energiedichte
 - Permanentmagnet 266
- Entmagnetisierung 271
- Erregerwicklung 203
- Ersatzschaltbild
 - elektrisch 108
 - magnetisch 203
- Ersatzspannungsquelle 108
- Ersatzstromquelle 112

Exponent 7
Exprodukt 178

F

Farad (Einheit) 142
Farbcodes von Widerständen 86
Feld

- elektrisch 127
- elektrostatisch 127
- Gravitation 128
- magnetisch 183

Feldkonstante

- elektrisch 141
- magnetisch 198

Feldlinie

- elektrisches Feld 131
- Gravitation 129
- magnetisches Feld 186
- mittlere 203

Feldstärke

- elektrisch 134
- magnetisch 214

ferrimagnetisch 202

ferromagnetisch 200, 255

Flächenberechnung 14

Fluss

- elektrisch 138
- magnetisch 207

Flussdichte

- elektrisch 139
- magnetisch 199, 207

Formelzeichen 16

Frequenz 259

G

Galvanische Trennung 243

Gegenkathetete 161

Generator 91, 234

Geometrie 14

Geschwindigkeit

- Bewegungsinduktion 232
- Ladungsträger 27
- Lorentzkraft 251

Gleitkommadarstellung 10

Gravitation 128

Grenzfläche

- elektrisches Feld 152
- magnetisches Feld 249

H

Halbleiter 28, 252

Hall-Effekt 251

hartmagnetisch 258

Heißleiter 78

Henry (Einheit) 237

Hochspannung 157

Hüllfläche

- elektrisches Feld 138
- magnetisch 214

Hypotenuse 161

Hysterese 256

Hystereseverluste 259

I

Inaktivierung 110

Induktionsgesetz 227

Induktivität 236

Influenz 155

Innenwiderstand

- Amperemeter 61
- Leistungsanpassung 115
- Spannungsquelle 104
- Stromquelle 107
- Voltmeter 70

Inneres Produkt 177

Isolator 29

J

Joule (Einheit) 89

Julia 278

K

Kaltleiter 78

Kapazität 142

Kathete 161

Kathode 33

Kehrwert 5

Kelvin (Einheit) 77

Kirchhoff'sche Knotenregel 63

- des Magnetfelds 212

Kirchhoff'sche Maschenregel 54, 236

- des Magnetfelds 222

Knoten 64, 119

Kobalt 200

Koerzitivfeldstärke 256

Kompass 185

Komplementwinkel 161

Kondensator 134

- Bauelement 143

Kopplung 243

- ideal 247

kornorientiert 263

Kosinus 162

Kosinussatz 166

Kraft
– elektrisches Feld 152
– magnetisches Feld 248
Kurzschluss 105

L

Ladung 23
Leerlauf 105
Leistung 92
Leistungsanpassung 115
Leistungsbilanz 95
Leiter 27
Leitfähigkeit
– spezifisch elektrisch 81
Leitwert
– magnetisch 205
– Ohmsch 44
Leitwertgerade 49
LeTTo 4
Lichtgeschwindigkeit 27
Linienleiter 188
Lithium-Ionen-Akku 33
Lorentzkraft 248, 251
Luftspalt 224

M

Magnetische Spannung 214
Magnetische Umlaufspannung 218
magnetisches Moment 201
Magnetisierung 200, 256
Masche 55, 120
Maschine 91
Material
– elektrisch 80
– elektrisches Feld 140
– magnetisch 197, 200
Mittlere Feldlinie 203
Motor 91

N

Natrium-Ionen-Akku 33
Neukurve 256
Neutron 23
nicht-kornorientiert 263
nichtlineares Material 255
Nickel 200
Norton-Theorem 112
NTC-Widerstand 78

O

Ohm (Einheit) 44

Ohmsches Gesetz 46
– des Magnetfelds 216
Orthogonalität 176
Ortsvektor 170

P

Parallelschaltung
– Kondensatoren 149
– Widerstände 65
paramagnetisch 200
Periode 163, 271
Permanentmagnet 186, 265
Permeabilität 197
Permittivität 140
Physikalische Größe 16
Plattenkondensator 134
Pol 184
Polarisation 258
Potenzial 40
Potentiometer 82
Produkt
– äußeres 178
– inneres 177
– Matrix 125
Proton 23
PTC-Widerstand 78

Q

Quelle
– ideal 51
– magnetisches Ersatzschaltbild 203, 221, 268
– reale 104
Quellenfeld 136

R

Reihenschaltung
– Kondensatoren 147
– Widerstände 57
Remanenz 202
Remanenzflussdichte 256
Restmagnetismus 202
Richtungssinn 99
Richtungsvektor 176
Ringspule 195
Runden 12

S

Sättigung 201, 256
Satz vom magnetischen Hullenfluss 214
Schaltungsanalyse 118
Schaltzeichen 35
– Amperemeter 61

- Kondensator 146
 - Potenziometer 82
 - Spule 238
 - Voltmeter 69
 - Schenkel 203
 - Schleifkontakt 83
 - Serienschaltung
 - Kondensatoren 147
 - Spannungsquellen 60
 - Widerstände 57
 - SI-Einheit 16
 - Siemens (Einheit) 44
 - Signifikante Stellen 12
 - Sinus 161
 - Sinusatz 166
 - Skalar 170
 - Spannung
 - elektrisch 40
 - magnetisch 214
 - Spannungsabfall 58
 - Spannungsquelle
 - ideale 51
 - lineare 104
 - Spannungsteilerregel 59
 - Spezifischer elektrischer
 - Leitwert 81
 - Widerstand 81
 - Spitzenwirkung 157
 - Spule 192
 - Sternschaltung 75
 - Streufeld 240, 246
 - Strom 23
 - Stromdichte 38
 - Stromquelle
 - ideale 52
 - lineare 106
 - Stromteilerregel 68
 - Superpositionsprinzip 120, 191
 - Supraleiter 78
- T**
- Tangens 162
 - Taschenrechner
 - Gleichungssystem lösen 273
 - Zahlendarstellung 10
 - Temperaturabhängigkeit
 - Permanentmagnet 269
 - Widerstand 77
 - Temperaturfeld 127
 - Thermodynamik 90
 - Thévenin-Theorem 111
 - Toleranz von Widerständen 86
 - Transformator 247
- U**
- Überlagerungsprinzip 120, 191
 - Übungsaufgabe 4
 - Umlaufspannung
 - elektrisch 229
 - magnetisch 218
- V**
- Vektorprodukt 178
 - Vektorrechnung 169
 - Verkettungsfluss 229
 - Verluste 95, 259
 - Verlustwärmе 91
 - Volt (Einheit) 41
 - Voltmeter 69
 - Volumenberechnung 14
 - Vorzeichen 6
 - Rechnen mit 102
- W**
- Wärme 90
 - Watt (Einheit) 89
 - Weber (Einheit) 237
 - weichmagnetisch 258
 - Weiss-Bezirk 200, 257
 - Werkstoff
 - elektrisch 80
 - elektrisches Feld 140
 - magnetisches Feld 197
 - Wicklungsanordnung 247
 - Widerstand
 - magnetisch 205
 - Ohmsch 44
 - spezifisch elektrisch 81
 - Widerstandsgerade 49
 - Widerstandsnetzwerk 72
 - Windungszahl 193, 218, 228
 - Winkelfunktion 161
 - Winkelgeschwindigkeit 235
 - Wirbelfeld 209
 - Wirbelstromverluste 260
 - Wirkungsgrad 95
 - Wurzel 6
- Z**
- Zahlenwert 16
 - Zahlenwertbeispiel 4
 - Zehnerpotenz 7
 - Zweig 119
 - Zylinderspule 192