

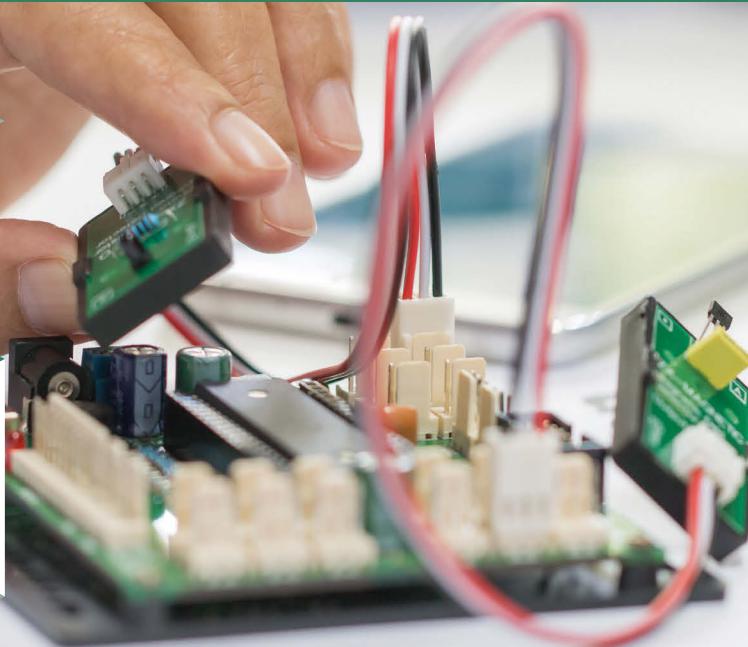
FRANZIS

# MACH'S EINFACH

Erste Schritte

## IN DER ELEKTRONIK

Für den perfekten Start in die Welt der digitalen Elektronik



THOMAS RIEGLER



**Erste Schritte**

# **IN DER ELEKTRONIK**

Für den perfekten Start in die Welt der digitalen Elektronik

## **Der Autor**

Thomas Riegler, Jahrgang 1965, gehört zu den erfahrensten Autoren von Do-it-yourself-Ratgebern. Sein besonderes Interesse galt schon immer allem, was mit Haustechnik, Elektronik und Technikgeschichte zusammenhängt. Seit 1994 schreibt er regelmäßig Artikel in verschiedenen Fachzeitschriften und hat zahlreiche Bücher veröffentlicht.

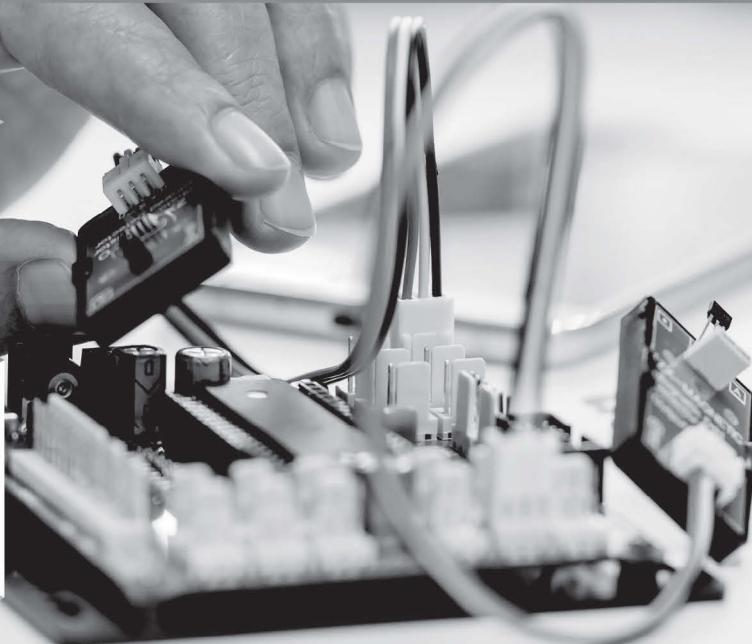
FRANZIS

# MACH'S EINFACH

Erste Schritte

## IN DER ELEKTRONIK

Für den perfekten Start in die Welt der digitalen Elektronik



THOMAS RIEGLER

## Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Hinweis: Alle Angaben in diesem Buch wurden vom Autor mit größter Sorgfalt erarbeitet bzw. zusammengestellt und unter Einhaltung wirksamer Kontrollmaßnahmen reproduziert. Trotzdem sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Der Verlag und der Autor sehen sich deshalb gezwungen, darauf hinzuweisen, dass sie weder eine Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für Folgen, die auf fehlerhafte Angaben zurückgehen, übernehmen können. Für die Mitteilung etwaiger Fehler sind Verlag und Autor jederzeit dankbar. Internetadressen oder Versionsnummern stellen den bei Redaktionsschluss verfügbaren Informationsstand dar. Verlag und Autor übernehmen keinerlei Verantwortung oder Haftung für Veränderungen, die sich aus nicht von ihnen zu vertretenden Umständen ergeben. Evtl. beigelegte oder zum Download angebotene Dateien und Informationen dienen ausschließlich der nicht gewerblichen Nutzung. Eine gewerbliche Nutzung ist nur mit Zustimmung des Lizenzinhabers möglich.

© 2020 FRANZIS Verlag GmbH, 85540 Haar bei München

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Das Erstellen und Verbreiten von Kopien auf Papier, auf Datenträgern oder im Internet, insbesondere als PDF, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Verlags gestattet und wird widrigenfalls strafrechtlich verfolgt.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im Wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

**Lektorat:** Ulrich Dorn

**Satz:** Nelli Ferderer, [nelli@ferderer.de](mailto:nelli@ferderer.de)

**Covergestaltung:** Julia Harrer

**ISBN:** 978-3-645-20670-9

# INHALT

<b>1. GRUNDLAGEN DER ELEKTRONIK</b> .....	10
<b>Spannungsquelle und Stromquelle</b> .....	10
<b>Was ist Spannung?</b> .....	12
Ein Gedankenexperiment .....	12
<b>Spannungsarten</b> .....	13
Gleichspannung .....	13
Wechselspannung .....	14
<b>Was ist elektrischer Strom?</b> .....	15
Gleichstrom .....	15
Richtung, in die der Strom fließt .....	16
Wechselstrom .....	17
Drehstrom .....	17
Der elektrische Widerstand .....	18
<b>Das ohmsche Gesetz</b> .....	19
<b>Elektrische Leiter</b> .....	19
Leitungen in Schaltplänen .....	20
<b>Masse</b> .....	21
Massepunkt in der Hausinstallation .....	21
<b>Serien- und Parallelschaltung</b> .....	22
Serienschaltung von Widerständen .....	24
Parallelschaltung von Widerständen .....	26
<b>Gemischte Schaltung</b> .....	26
Gemischte Schaltung auflösen .....	27
<b>Reihen- und Parallelschaltung</b> .....	29
Reihenschaltung von Stromquellen .....	29
Parallelschaltung von Stromquellen .....	30
Serien-Parallelschaltung von Stromquellen .....	30
Worauf es ankommt .....	31
Batteriebetriebene Geräte richtig betreiben .....	32
<b>Netzwerk und Netzwerkknoten</b> .....	32
Die Knotenpunktregel .....	33
Die Maschenregel .....	33
<b>Elektrische Ladung</b> .....	34

<b>Kondensatoren und Kapazität</b> .....	35
Kondensatoren im Gleichstromkreis .....	35
Permittivitätszahl .....	37
Elektrische Feldkonstante .....	37
Kondensatorkapazität berechnen .....	37
Lade- und Entladezeit eines Kondensators .....	39
Kondensator im Wechselstromkreis .....	39
Parallelschaltung von Kondensatoren .....	40
Reihenschaltung von Kondensatoren .....	42
Reihenschaltung in der Praxis .....	44
<b>Basiswissen zur Diode</b> .....	45
Diode in Durchlassrichtung .....	45
Diode in Sperrrichtung .....	46
Diode an Wechselspannung .....	47
<b>Zylinder- und Kreisspulen</b> .....	49
Spule an Gleichspannung .....	49
Selbstinduktionsspannung .....	51
Reihenschaltung von Induktivitäten .....	52
Parallelschaltung von Induktivitäten .....	52
Spule im Wechselstromkreis .....	53
Induktiver Blindwiderstand .....	54
<b>Wechselspannung und -strom</b> .....	55
Warum ändert sich Wechselspannung ständig? .....	55
Wechselspannungen und -ströme .....	56
Effektivwert und Maximalwert .....	56
Der Spitze-Spitze-Wert .....	57
Formen von Wechselgrößen .....	58
<b>Frequenz und Periodendauer</b> .....	58
<b>Elektrische Leistung</b> .....	60
Leistungsaufnahme in der Praxis .....	60
<b>Elektrische Arbeit</b> .....	61
<b>Wirkungsgrad</b> .....	62
Wirkungsgrad berechnen .....	62

---

<b>2. ELEKTRONISCHE BAUTEILE</b> .....	64
<b>Widerstand</b> .....	64
Farbcode für Kohleschichtwiderstände .....	64
Farbcode für Metallschichtwiderstände .....	65
Metallschichtwiderstände mit sechs Ringen .....	66
Temperaturabhängige Widerstände .....	67
Veränderliche Widerstände .....	69
Regelbare Widerstände .....	71
<b>Kondensator</b> .....	72
Kondensatortypen .....	72
Beschriftung von Kondensatoren .....	74
<b>Diode</b> .....	75
Einfache Gleichrichterschaltung .....	75
Brückengleichrichter .....	76
Pulsierende Gleichspannung glätten .....	76
Brummspannung .....	78
Glättungskondensator berechnen .....	78
<b>Leuchtdiode</b> .....	79
Aufbau und Funktion .....	80
LED-Vorwiderstand .....	81
Fotodiode .....	81
Z-Diode .....	83
<b>Transistor</b> .....	84
n- und p-Leiter .....	84
Ströme durch den Transistor .....	86
Spannungen bei Transistoren .....	87
npn-Transistor .....	88
pnp-Transistor .....	89
<b>Thyristor</b> .....	90
GTO-Thyristor .....	90
Triac .....	91
Diac .....	92
<b>Spule</b> .....	93
Anwendungsgebiete für Spulen .....	93
Kennzeichnung von Induktivitäten .....	93
<b>Transformator</b> .....	95
Trafo-Berechnungen .....	96

Übersetzungsverhältnis .....	97
Aufgaben des Transformators .....	97
<b>Quarzoszillator .....</b>	<b>98</b>
<b>Integrierte Schaltungen .....</b>	<b>99</b>
Richtiger Umgang mit ICs .....	100
ICs richtig einbauen .....	100
Anschlusspins von ICs .....	102
<b>SMD-Bauteile .....</b>	<b>102</b>
<b>3. MESSEN MIT EINEM MULTIMETER .....</b>	<b>104</b>
Zuverlässige Messgeräte .....	104
<b>CAT-Zertifizierung .....</b>	<b>105</b>
CAT-Klassen .....	105
Anschluss der Messstrippen .....	106
Sich mit dem Messgerät vertraut machen .....	107
Immer mit Vorsicht messen .....	107
Stichwort Messgenauigkeit .....	108
Spannung messen .....	108
Gleich- oder Wechselspannung? .....	109
Teilspannungen messen .....	109
Strom messen .....	110
Gleich- oder Wechselstrom? .....	110
Teilströme messen .....	111
Widerstand messen .....	112
Die direkte Methode .....	112
So gehen Sie vor .....	112
Die indirekte Methode .....	114
Elektrische Leistung messen .....	114
Indirekte Leistungsmessung .....	114
Direkte Leistungsmessung .....	115
<b>4. SCHALTUNGEN ENTWERFEN .....</b>	<b>116</b>
<b>Pebble: virtuelles Steckboard .....</b>	<b>116</b>
Pebble laden und starten .....	116
Pebble Schritt für Schritt .....	117
Was Pebble nicht kann .....	119

---

<b>5. STECKBOARDS NUTZEN</b> .....	120
<b>6. LOGIK-GRUNDSCHALTUNGEN</b> .....	122
<b>Verknüpfungen</b> .....	122
UND-Schaltung .....	122
ODER-Schaltung .....	123
NICHT-Schaltung .....	123
XODER-Schaltung .....	124
<b>7. ARDUINO-MIKROCONTROLLER</b> .....	126
<b>Was ist ein Mikrocontroller?</b> .....	126
Arduino Uno – der Klassiker .....	127
Arduino Uno – im Detail .....	127
<b>Arduino-Software</b> .....	129
Installation der Arduino-IDE .....	130
<b>Arduino-Inbetriebnahme</b> .....	132
Arduino-IDE einrichten .....	133
Weitere Einstellungen .....	134
Erster Arduino-Test .....	135
Ein wenig experimentieren .....	138
Fehler beim Hochladen beheben .....	138
<b>Mehrfarbige LED-Schaltung</b> .....	139
PWM-Pins für Pulsweitenmodulation .....	140
Schaltung planen und bauen .....	141
Programmbeschreibung .....	143
Programmzeilen im Detail .....	144
Funktion der Schaltung .....	146
<b>LED-Dimmer bauen</b> .....	146
Programmbeschreibung .....	148
Programmzeilen im Detail .....	149
<b>Würfeln mit dem Arduino</b> .....	151
Programmbeschreibung .....	154
Programmzeilen im Detail .....	154
Funktion der Schaltung .....	155
<b>INDEX</b> .....	156

Dieses Kapitel erläutert die Grundlagen der Elektronik, indem es die Basis-Begriffe vorstellt, angefangen bei Strom und Spannung über die verschiedenen Schaltungstypen bis hin zu Netzwerkschaltungen und -knoten.

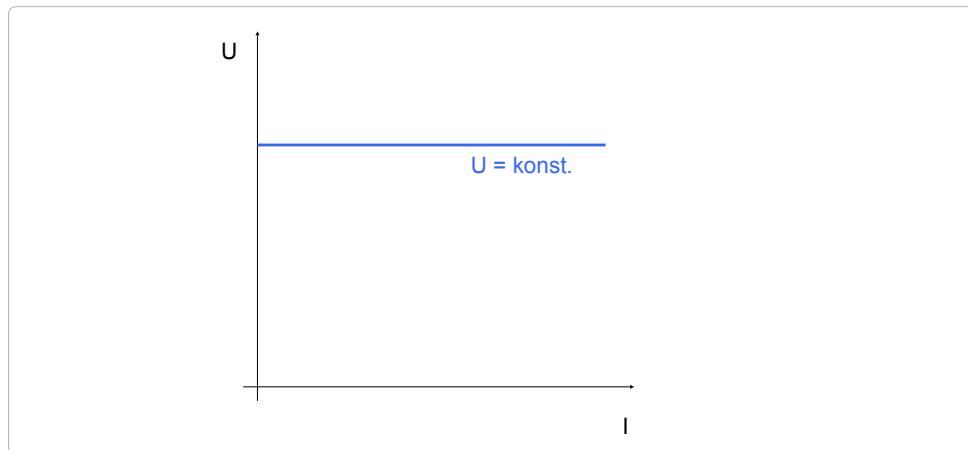
## Spannungsquelle und Stromquelle

Wenn es im allgemeinen Sprachgebrauch um elektrische Energie geht, wird kaum ein Unterschied zwischen Strom- und Spannungsquelle gemacht. Irgendwie verstehen die Menschen darunter dasselbe, ohne eigentlich genau zu wissen, was beides ist – was insofern verständlich ist, da Strom und Spannung in einem geschlossenen Stromkreis gleichzeitig auftreten.

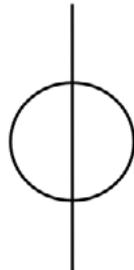
Unter einer idealen Spannungsquelle versteht man eine Spannungsquelle, die stets die gleiche Ausgangsspannung liefert – egal Welch hohe Stromstärken benötigt werden. Damit sie theoretisch unendlich viel Strom liefern könnte.

In der Praxis kommen ideale Spannungsquellen nicht vor. Denn jede Spannungsquelle besitzt einen inneren Widerstand, der den Strom begrenzt. Abgesehen davon wird die Spannung bei Batterien und Akkus weniger, wenn sich deren Ladezustand dem Ende zeigt oder weil die zulässige Stromstärke in einem Steckdosenstromkreis durch die vorgeschaltete Sicherung begrenzt ist.

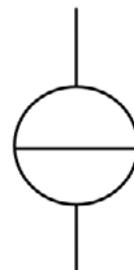
Elektrische Spannung steht etwa am Plus- und Minuspol einer Batterie sowie an den beiden Stromkontakte der Steckdose an. Man kann sie sich gut als den elektrischen Strom antreibende Kraft vorstellen, wobei eine geringe Spannung etwa einem schwach motorisierten Kleinwagen gleicht und eine hohe Spannung einem PS-starken Sportwagen. Spannung allein steht an einem offenen Stromkreis an, also zum Beispiel an einer Steckdose.



**Bild 1.1:** Das Diagramm zeigt das Strom-Spannungs-Verhältnis einer idealen Spannungsquelle.



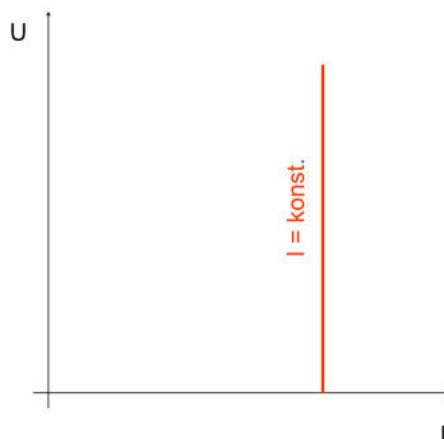
**Bild 1.2:** Schaltzeichen einer idealen Spannungsquelle.



**Bild 1.3:** Schaltzeichen einer idealen Stromquelle.

Genau so, wie eine ideale Spannungsquelle zu jedem Zeitpunkt die gleiche Nennspannung bereitstellt, liefert eine ideale Stromquelle stets den gleichen Nennstrom. Die dafür benötigte Spannung würde von der Stromquelle automatisch geregelt.

Daraus lässt sich erahnen, dass eine ideale Spannungsquelle nicht zugleich eine ideale Stromquelle sein kann. Zudem lässt sich eine ideale Stromquelle in der Praxis kaum realisieren, allein schon weil alle unsere elektrisch betriebenen Geräte für bestimmte Nennspannungen vorgesehen sind. Zudem benötigen sie unterschiedliche Stromstärken.



**Bild 1.4:** Das Diagramm zeigt das Strom-Spannungs-Verhältnis einer idealen Stromquelle.

## Was ist Spannung?

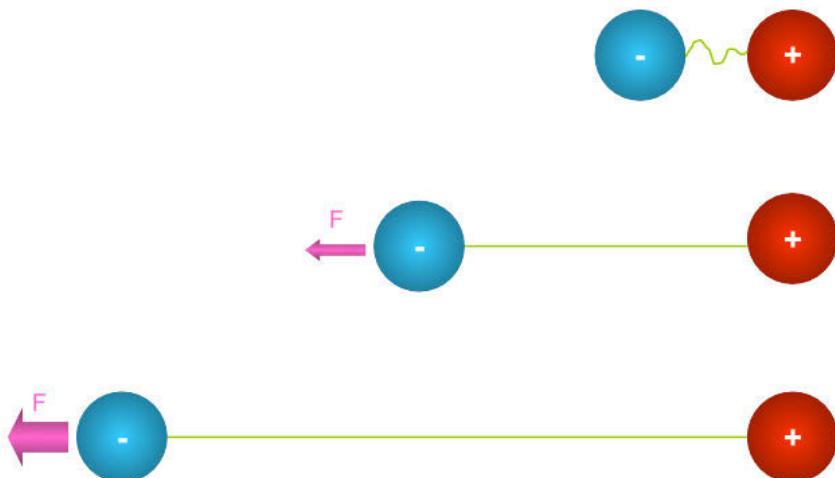
Zwischen ungleichartigen Ladungen wirken Anziehungskräfte. Das kennt man etwa von zwei Magneten, deren Nord- und Südpole sich gegenseitig anziehen. Um zwei Magnete zu trennen, muss genauso viel Arbeit aufgewendet werden, wie sie zum Trennen unterschiedlicher elektrischer Ladungen erforderlich ist. Spannung entsteht durch Ladungstrennung. Ihr Bestreben, sich auszugleichen, nennt man elektrische Spannung. Sie hat das Formelzeichen U. Die Höhe der Spannung wird in der Maßeinheit Volt, abgekürzt V, angegeben.

### ELEKTRISCHE SPANNUNG

Formelzeichen:	U
Einheit:	Volt
Abkürzung	V

### Ein Gedankenexperiment

Zwei Kugeln sind mit einem Gummiband miteinander verbunden. Liegen sie nahe aneinander (oben), herrscht zwischen ihnen keine Spannung. Wird eine Kugel mit etwas Kraft weggezogen (Mitte), herrscht zwischen ihnen eine Spannung. Wird die Kugel durch größere Kraftaufwendung weiter weggezogen (unten), steigt auch die Spannung.



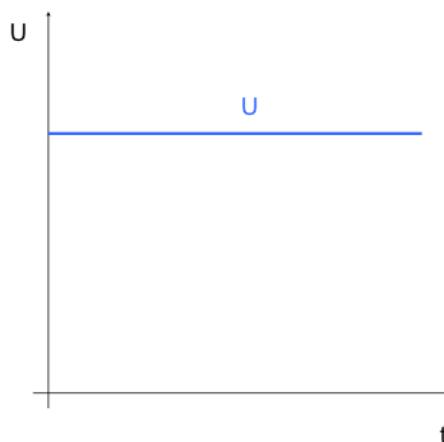
## Spannungsarten

Je nach Spannungsquelle liefert sie Gleich- oder Wechselspannung. Liegt eine Gleichspannung an, fließt auch ein Gleichstrom. Bei einer Wechselspannung fließt ein Wechselstrom.

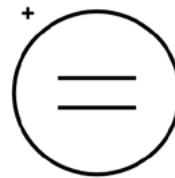
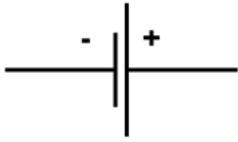
### Gleichspannung

Die bekanntesten Gleichspannungsquellen sind Akkus und Batterien. Aber auch Photovoltaikpaneele geben Gleichspannung ab. Sie haben genau definierte Plus- und Minuspole. Am Minuspol herrscht Elektronenüberschuss, am Pluspol Elektronenmangel. Wird an die beiden Pole ein Verbraucher angeschlossen, wandern die Elektronen vom Minus- zum Pluspol, womit der Stromfluss nur in einer Richtung stattfindet.

Nicht nur übliche batteriebetriebene Geräte, von der Taschenlampe über das Smartphone bis zum Kinderspielzeug, arbeiten mit Gleichspannung, sondern letztlich auch elektronische Geräte, die über die 230-V-Steckdose mit elektrischer Energie versorgt werden. Küchenradio, Satellitenempfänger, Standrechner, PC-Monitor, Fernseher und so weiter besitzen ein Netzteil, das aus der 230-V-Wechselspannung eine Gleichspannung produziert, mit der die in den Geräten eingebauten elektronischen Schaltungen betrieben werden.



**Bild 1.5:** Bei Gleichspannung erfolgt der Ladungstransport ausschließlich in eine Richtung.



**Bild 1.6:** Üblicherweise wird in Elektronikschaltplänen das Symbol für Batterien und Akkus allgemein für eine Gleichspannungsquelle genutzt.

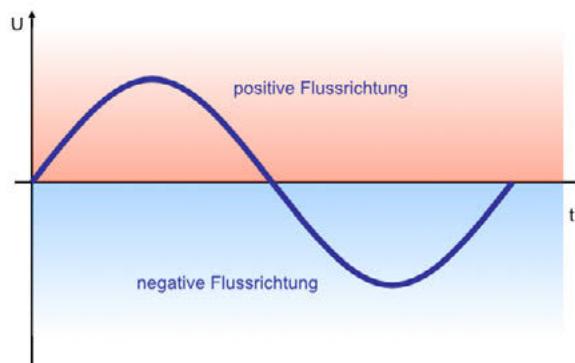
**Bild 1.7:** Seltener findet dieses Symbol für eine Gleichspannungsquelle Verwendung.

## Wechselspannung

Die Wechselspannung ist jene Spannung, die in den landesweiten Netzen unserer Energieversorger bereitgestellt wird und demnach auch in unserer Hausinstallation anzutreffen ist. In unseren Breiten ist eine Wechselspannung von 230 V üblich. Charakteristisch für die Wechselspannung ist, dass sie ständig ihre Größe und Richtung ändert, und zwar 50-mal pro Sekunde. Dabei schwankt sie zwischen 0 und 325 V.



**Bild 1.8:** Symbol für die Wechselspannungsquelle.



**Bild 1.9:** Bei der Wechselspannung erfolgt der Ladungstransport abwechselnd in die eine (positive) und die andere (negative) Richtung.

## Was ist elektrischer Strom?

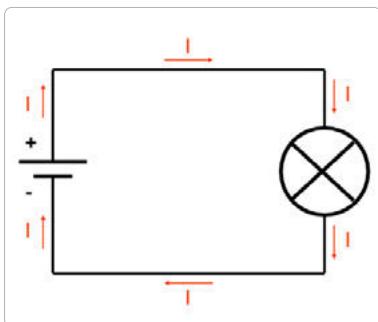
Elektrischer Strom kann nur in einem geschlossenen Stromkreis fließen, also entsprechend der technischen Stromrichtung vom Pluspol der Stromquelle über einen Draht zum Verbraucher, durch diesen hindurch und über einen weiteren Draht zurück zum Minuspol der Stromquelle.

Konkret handelt es sich dabei um den gerichteten Transport kleinster elektrischer Ladungen, nämlich freier Elektronen. Sie bewegen sich, angetrieben durch die elektrische Spannung, durch einen Leiter wie etwa einen Draht.

Den Stromfluss kann man sich als Gartenschlauch vorstellen, mit dem man den Garten gießt. Auch darin bewegt sich das Wasser mit vorgegebenem Druck, er entspricht der elektrischen Spannung in eine Richtung.

Der elektrische Strom trägt das Formelzeichen  $I$  und wird in der Einheit Ampere gemessen, die mit einem A abgekürzt wird.

### ELEKTRISCHER STROM

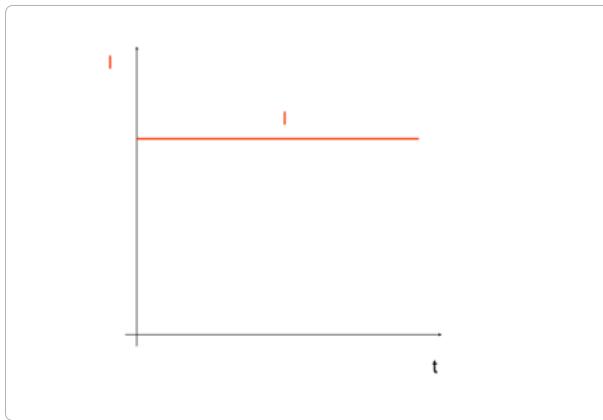


Formelzeichen:  $I$   
 Einheit: Ampere  
 Abkürzung A

**Bild 1.10:** Elektrischer Strom fließt nur in einem geschlossenen Stromkreis.

## Gleichstrom

Gleichstrom fließt, wenn ein Stromkreis von einer Gleichspannungsquelle versorgt wird. Üblicherweise sind dies Akkus und Batterien. Auch die Paneele von Photovoltaikanlagen liefern Gleichspannung. Charakteristisch für den Gleichstrom ist, dass er nur in eine Richtung fließt.

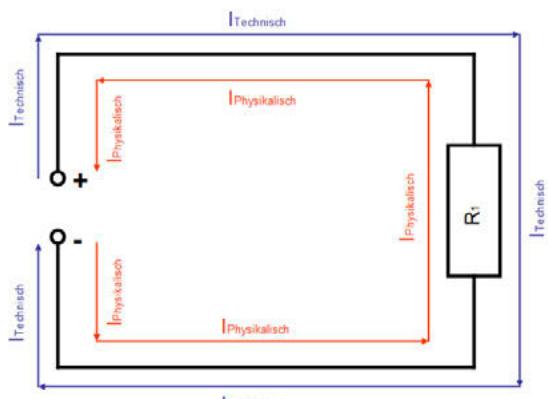


**Bild 1.11:** Gleichstrom fließt nur in eine Richtung.

### Richtung, in die der Strom fließt

Als sich die Gelehrten Gedanken darüber machten, in welche Richtung der Strom in einem Stromkreis fließt, hatten sie vom Atomaufbau noch keine Ahnung. So legten sie einfach fest, dass positive Ladungsträger vom positiven Pol einer Spannungsquelle durch Leitungen und Verbraucher zum negativen Pol wandern. Diese Annahme wird noch heute als konventionelle oder technische Stromrichtung bezeichnet und auch in Schaltplänen noch verwendet.

Inzwischen weiß man, dass sich in einem Stromkreis die negativ geladenen Elektronen bewegen, und zwar vom Minuspol der Stromquelle, an dem Elektronenüberschuss herrscht, zum Pluspol, an dem Elektronenmangel besteht. Die Bewegungsrichtung der Elektronen wird physikalische Stromrichtung genannt, und der elektrische Strom fließt auch in diese Richtung.



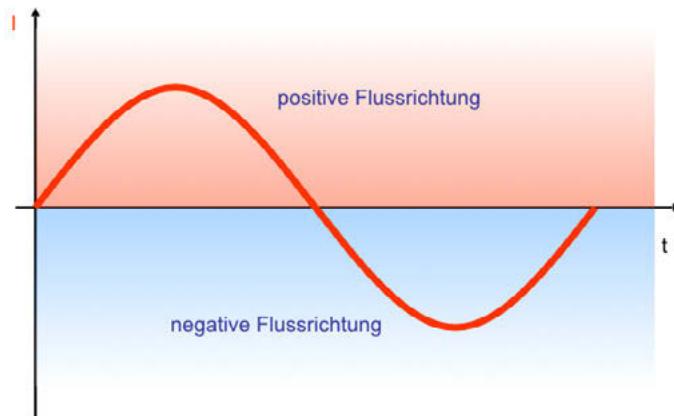
**Bild 1.12:** Die Grafik zeigt die technische und die physikalische Stromrichtung in einer Schaltung.

## STROMRICHTUNG

- Die technische Stromrichtung verläuft von Plus nach Minus (Schaltplan).
- Die physikalische Stromrichtung verläuft von Minus nach Plus (Flussrichtung der Elektronen).

## Wechselstrom

Wechselstrom tritt nur gemeinsam mit Wechselspannung in einem geschlossenen Stromkreis auf. Er ändert periodisch seine Flussrichtung und Stärke. Angenommen, ein Strom ist 1 A groß, dann schwankt er bei Wechselstrom zwischen 0 und 1,41 A.

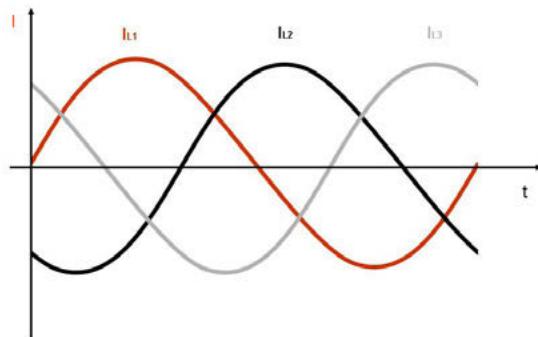


**Bild 1.13:** Wechselstrom ändert periodisch Stärke und Richtung.

## Drehstrom

Ein üblicher Wechselstromkreis besteht aus einer Zu- und einer Rückleitung. Das ist nachvollziehbar an den beiden Stromkontakte unserer Haushaltssteckdosen und Anschlussstecker typischer Haushaltsgeräte. Durch ihn fließt einphasiger Wechselstrom. Das ist der übliche Strom, der uns in der Hausinstallation und beim Betrieb von Beleuchtung und den meisten im Haushalt üblichen Geräten, begegnet.

Drehstrom ist eine Sonderform des Wechselstroms. Er kommt zur Versorgung leistungsstarker Verbraucher wie dem E-Herd und bei größeren Motoren zum Einsatz. Drehstrom erfordert drei Phasen, in denen drei je um 120 Grad zueinander verschränkte Wechselströme fließen.



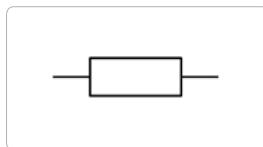
**Bild 1.14:** Drehstrom besteht aus drei um je 120 Grad zeitlich zueinander versetzten Wechselströmen.

## Der elektrische Widerstand

Elektrischer Strom kann nicht einfach ungehindert durch Leitungen oder Bauteile fließen. Ihm setzt sich der elektrische Widerstand entgegen. Er behindert also den Stromfluss. Um den Stromfluss trotz des Widerstands aufrechtzuerhalten, muss Arbeit verrichtet werden. Diese wird in Wärmeenergie umgewandelt. Der elektrische Widerstand sorgt etwa dafür, dass sich eine Leitung umso mehr erwärmt, je mehr Strom durch sie fließt.

Der elektrische Widerstand, meist einfach Widerstand genannt, ist einer der Grundgrößen in der Elektrotechnik. Für den elektrischen Widerstand wird das Formelzeichen  $R$  verwendet, abgeleitet vom lateinischen Wort *resistans* (= Widerstand). Die Einheit des Widerstands ist Ohm. Sie wird mit dem griechischen Großbuchstaben Omega,  $\Omega$ , angegeben.

## ELEKTRISCHER WIDERSTAND



Formelzeichen:  $R$

Einheit: Ohm

Abkürzung:  $\Omega$

**Bild 1.15:** Schaltzeichen eines Widerstands.

## Das ohmsche Gesetz

Das ohmsche Gesetz ist das wohl wichtigste Gesetz in der Elektrizität. Mit ihm lassen sich die Grundgrößen eines Stromkreises berechnen. Es zeigt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Spannung, Strom und Widerstand besteht.

Es besagt aus, dass der Strom in einer Schaltung ansteigt, wenn die Spannung steigt, und umgekehrt, wobei ein gleichbleibender Widerstand vorausgesetzt wird. Man sagt auch: Die Stromstärke  $I$  ist proportional zur Spannung  $U$ .

Bei gleichbleibender Spannung ist der Strom umso größer, je kleiner der Widerstand ist, und umgekehrt. Damit ist die Stromstärke  $I$  umgekehrt proportional zum Widerstand  $R$ .

Die Spannung ist umso höher, je höher der Strom und/oder der Widerstand ist.

Des Weiteren ist der Widerstand umso größer, je kleiner der Strom bei gleichbleibender Spannung ist.

All das drückt folgende Formel aus:

$$R = \frac{U}{I}$$

**R** elektrischer Widerstand in Ohm, Formelzeichen:  $\Omega$

**U** elektrische Spannung in Volt, Formelzeichen:  $V$

**I** elektrischer Strom in Ampere, Formelzeichen:  $A$

Weiter gilt:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{und} \quad U = I \times R$$

## Elektrische Leiter

Um die einzelnen Bauteile einer Schaltung miteinander verbinden zu können, braucht es einen elektrischen Leiter. Das kann etwa ein Drahtstück sein. Auf Platinen sind die Leiterbahnen mit elektrisch leitendem Material aufgedruckt. In Schaltplänen werden Leitungen durch gerade Verbindungslinien dargestellt.



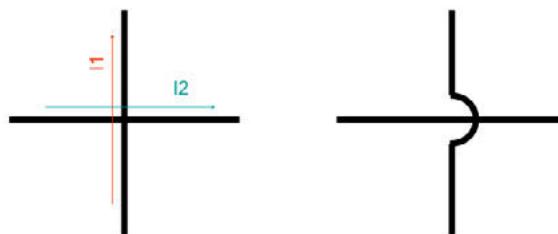
**Bild 1.16:** Das Schaltzeichen eines elektrischen Leiters ist eine Linie.

## Leitungen in Schaltplänen

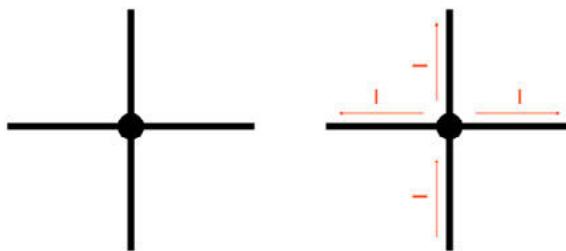
Schaltpläne zeigen primär den grundsätzlichen Aufbau einer Schaltung. Mit den örtlichen Gegebenheiten einer Platine, also der tatsächlichen Lage einzelner Bauteile und dem Verlauf der Leiterbahnen, müssen sie nicht übereinstimmen.

Um den Leitungsverlauf in Schaltplänen korrekt deuten zu können, sind einige, nennen wir sie Spielregeln, zu beachten. Vor allem bei umfangreichen Schaltungen ist es unvermeidlich, dass sich Leitungen kreuzen, üblicherweise dargestellt durch zwei sich im rechten Winkel kreuzende Linien. Es wird davon ausgegangen, dass diese Kreuzungspunkte keine leitende Verbindung miteinander eingehen. Gelegentlich werden Kreuzungen auch durch einen Bogen eines Leiters um den anderen kenntlich gemacht. Auf Platinen werden solche Kreuzungspunkte etwa durch eine Leiterbahn und eine darüber angeordnete Drahtbrücke mit isoliertem Draht ausgeführt.

Dem stehen Verbindungspunkte gegenüber. Auch an ihnen kreuzen sich im Plan zwei Leitungen. Ihre Verbindung wird aber mit einem Punkt auf der Kreuzungsstelle dargestellt.



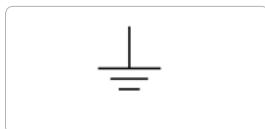
**Bild 1.17:** Die Grafik zeigt, wie Kreuzungspunkte von Leitungen ohne elektrische Verbindung zueinander auf Schaltplänen dargestellt werden. Neben der linken Variante ist gelegentlich auch die rechte anzutreffen. Die zusätzlich eingezeichneten Strompfleile zeigen ebenfalls, dass hier keine Verbindung besteht.



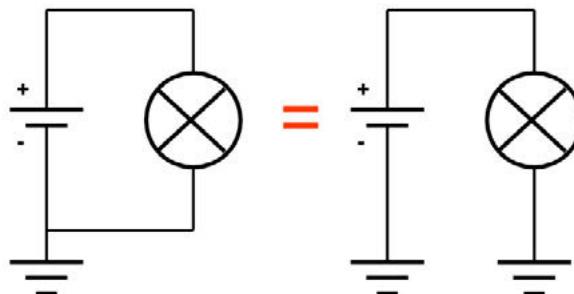
**Bild 1.18:** Eine leitende Verbindung sich kreuzender Leiter wird mit einem schwarzen Punkt markiert. Die Strompfleile (rechts) zeigen, dass der zufließende Strom über alle Abgänge abfließt.

## Masse

Jede Spannung bezieht sich auf ein Grundniveau. Es beträgt üblicherweise 0 V und ist unter den Bezeichnungen Masse, Ground und GND, aber auch als Erde bekannt. Auf dieses Grundniveau beziehen sich Gleich- und Wechselspannungen gleichermaßen. Bei Gleichstromschaltungen entspricht die Masse in der Regel dem Minuspol der Stromquelle. In umfangreicherer Schaltungen sind häufig viele Leitungen mit der Masse verbunden. Zur Steigerung der Übersichtlichkeit und um zu viele Kreuzungspunkte zu vermeiden, werden statt der Leiterlinien zum Massepunkt gleich Massesymbole eingezeichnet. Sie setzen das Wissen voraus, dass alle eingezeichneten Massesymbole ein und denselben Punkt kennzeichnen. Beim Aufbau einer Schaltung sind alle im Plan angegebenen Massepunkte miteinander zu verbinden.



**Bild 1.19:** Schaltzeichen für die Masse.



**Bild 1.20:** Schaltpläne können unterschiedlich aussehen. Das rechte Beispiel kommt bei umfangreichen Plänen zum Einsatz. Die Verbindung aller Massepunkte muss man sich hier denken.

## Massepunkt in der Hausinstallation

Alles zur Masse Gesagte trifft nicht nur auf elektronische Schaltungen, sondern auch auf die Hausinstallation zu. Allerdings spricht man dort gewöhnlich nicht von Masse, sondern von Erdung. Sie erfüllt in der Hausinstallation wichtige Sicherheitsaufgaben. Zum einen sorgt sie dafür, dass alle elektrischen Anlageteile sowie alle metallischen Komponenten im Haushalt, wie Wasserleitungen und Heizungsrohre, auf dasselbe Grundpotenzial gebracht werden. Dies verhindert, dass etwa ein Heizkörper ein anderes Grundpotenzial besitzt als wir, die wir auf dem Boden stehen. Würden wir das nicht verhindern, könnte sich ein Heizkörper mit den ihn umgebenden elektrischen

Ladungen derart aufladen, dass wir sogar einen gefährlich hohen Stromschlag erhalten könnten, wenn wir ihn berührten – wobei ausdrücklich festzuhalten ist, dass der Heizkörper dabei nicht unzulässigerweise unter Netzspannung steht.

Was da in etwa passiert, kann man leicht selbst nachvollziehen, indem man zum Beispiel einen Wollpullover an- oder auszieht. Währenddessen entsteht durch Reibung Ladung, die den Körper elektrisch auflädt, wovon man selbst so lange nichts merkt, wie man keine metallenen Teile wie eine Türklinke berührt oder einer anderen Person die Hand gibt. In beiden Fällen kommt es zu einem Ladungsaustausch, den wir als kleinen Stromschlag spüren. Oft hört man dazu auch ein leises Knistern und sieht einen kleinen Funken.

Zum anderen werden in der Hausinstallation über die Erdungsleitung Fehlerströme abgeleitet. Damit wird die Voraussetzung dafür geschaffen, dass Fehlerstromschutzschalter überhaupt auslösen können.

## Serien- und Parallelschaltung

Die Serienschaltung ist auch als Reihenschaltung bekannt. Bei ihr sind alle Verbraucher in Reihe, also hintereinander in einen einzigen Leitungsstrang geschaltet. Damit fließt durch alle Verbraucher, egal ob groß oder klein, derselbe Strom. Allerdings teilt sich die an der Schaltung anliegende Gesamtspannung  $U_{GES}$  auf alle in Reihe geschalteten Verbraucher auf, und zwar entsprechend ihrem Widerstandswert.

Werden etwa drei gleich starke Lampen in Serie geschaltet, erhält jede exakt ein Drittel der Gesamtspannung. Bei unserer Netzspannung von 230 V – sie entspricht der Gesamtspannung – würden für jede Lampe nur noch knapp 77 V zur Verfügung stehen und diese nur schwach zum Aufleuchten bringen. Damit zeigt sich, dass die Serienschaltung für übliche Verbraucher ungeeignet ist. Es gibt aber Ausnahmen, wie etwa Lichterketten, Stichwort „Christbaumbeleuchtung“. Bei ihr sind zum Beispiel 20 12-V-Lampen in Serie geschaltet. Wird die Lichterkette an eine 230-V-Steckdose angespeckt, erhält jede Lampe in etwa jene Spannung, die sie zum Betrieb benötigt, also 12 V.

Geht ein Verbraucher einer Serienschaltung kaputt, etwa wenn eine Lampe der Lichterkette ausfällt, unterbricht diese den Stromfluss durch die Schaltung und legt auch alle anderen Verbraucher lahm.

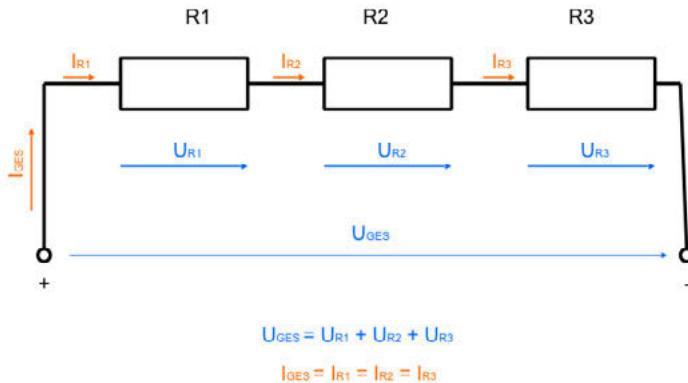
### SERIENSCHALTUNG ZUSAMMENGEFASST

Die Summe der an den Verbrauchern abfallenden Einzelspannungen entspricht der Gesamtspannung.

$$U_{GES} = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Durch alle in Reihe geschalteten Verbraucher fließt derselbe Strom.

$$I_{GES} = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$



**Bild 1.21:** Bei der Serienschaltung fließt durch alle Verbraucher derselbe Strom. Außerdem teilen sie sich die Gesamtspannung ihren Widerstandswerten entsprechend.

Bei der Parallelschaltung liegt an allen Verbrauchern dieselbe Spannung an. Entsprechend ihren Widerstandswerten teilt sich der durch die Schaltung fließende Gesamtstrom  $I_{GES}$  in mehrere Teilströme auf. Damit fließt durch jeden Verbraucher ein jeweils anderer Teilstrom, wobei Verbraucher mit hohem Widerstand von einem geringen Strom und solche mit geringem Widerstand von einem hohen Strom durchflossen werden. Die Summe der Teilströme entspricht dem Gesamtstrom.

Der Parallelschaltung liegt unter anderem die gesamte Hausinstallation zugrunde. Jeder Stromkreis ist parallel zu den anderen geschaltet. Nur so ist sichergestellt, dass in jedem die Nennspannung von 230 V ansteht. Auch sämtliche Steckdosen und etwa alle Lampen eines mehrflammigen Lampenschirms sind parallel geschaltet. Das ist die Grundlage, damit Geräte überhaupt normgerecht und ihrem angedachten Leistungsumfang entsprechend betrieben werden können.

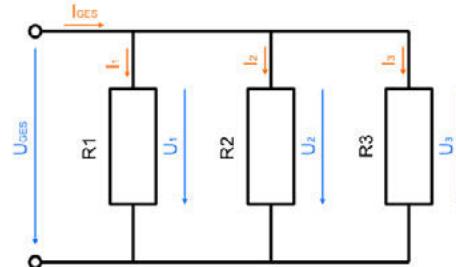
### PARALLELSCHALTUNG ZUSAMMENGEFASST

Die Summe der durch die Verbraucher fließenden Einzelströme entspricht dem Gesamtstrom.

$$I_{GES} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

An allen parallel geschalteten Verbrauchern liegt dieselbe Spannung an.

$$U_{GES} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$$



$$U_{\text{GES}} = U_1 = U_2 = U_3$$

$$I_{\text{GES}} = I_1 + I_2 + I_3$$

**Bild 1.22:** Alle Verbraucher einer Parallelschaltung liegen an derselben Spannung. Außerdem teilt sich der Gesamtstrom entsprechend ihren Widerstandswerten auf.

### Serienschaltung von Widerständen

Auch für in Reihe geschaltete Widerstände gelten die Gesetzmäßigkeiten einer Serienschaltung. Damit fällt an jedem Widerstand entsprechend seiner Größe ein Teil der Gesamtspannung ab, wobei die Summe der Einzelspannungen der Gesamtspannung entspricht. Des Weiteren fließt auch hier durch alle Widerstände derselbe Strom.

Zudem gilt: Die Summe der Einzelwiderstände entspricht dem Gesamtwiderstand. Auch das ist eine der grundlegenden Eigenschaften einer Serienschaltung – allerdings eine, die beim Aufbau einer Schaltung äußerst hilfreich sein kann, nämlich dann, wenn man eine gerade benötigte Widerstandsgröße nicht zur Hand hat. Der benötigte Wert lässt sich auch erreichen, wenn man zum Beispiel zwei oder drei kleinere Widerstände in Reihe schaltet. Ihr Gesamtwiderstand hat in der Schaltung die gleiche Wirkung wie ein einzelner Widerstand dieser Größe. So kann etwa ein  $200\text{-}\Omega$ -Widerstand ohne Weiteres durch zwei  $100\text{-}\Omega$ -Widerstände ersetzt werden.

### SERIENSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN ZUSAMMENGEFASST

Der Gesamtwiderstand einer Reihenschaltung aus Widerständen ist stets höher als der höchste Einzelwiderstand dieser Serienschaltung.

$$R_{\text{GES}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n$$

## PARALLELSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN ZUSAMMENGEFASST

Bei parallel geschalteten Widerständen ist der Gesamtwiderstand stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

**Für zwei parallel geschaltete Widerstände gilt:**

$$R_{GES} = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2)$$

**Für mehrere gleich große parallel geschaltete Widerstände gilt:**

$$R_{GES} = R_1 / n$$

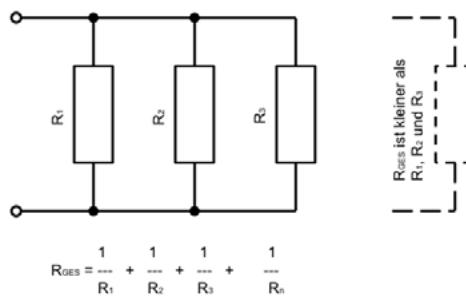
$R_1$  Widerstandswert der verbauten gleichen Widerstände

$n$  Anzahl der verbauten gleichen Widerstände

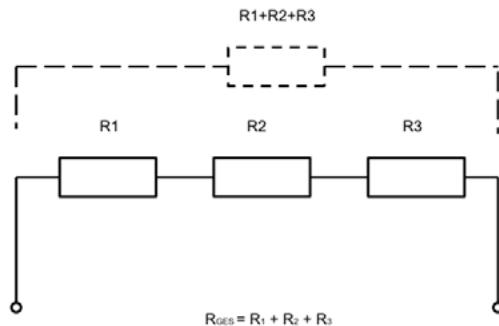
**Für beliebig viele parallel geschaltete Widerstände gilt:**

$$R_{GES} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}$$

Der Gesamtwiderstand von mehr als zwei unterschiedlichen Widerständen scheint durch die Kehrwertberechnung umständlich zu sein, zumal das Ergebnis der Teilwiderstände ja nicht dem Gesamtwiderstand, sondern „1 durch Gesamtwiderstand“ entspricht. Zum tatsächlichen Gesamtwiderstandswert gelangt man erst, wenn man am Taschenrechner die Taste [1/x] drückt. Man findet sie in der Regel auch auf Smartphone-Rechnern.



**Bild 1.1:** Der gestrichelt dargestellte kleine Einzelwiderstand kann durch mehrere größere parallel geschaltete Widerstände ersetzt werden.



**Bild 1.23:** Ein größerer, hier gestrichelt gezeichnet Widerstand kann auch durch mehrere kleine in Reihe geschaltete, die in Summe denselben Wert wie der gestrichelte haben, ersetzt werden.

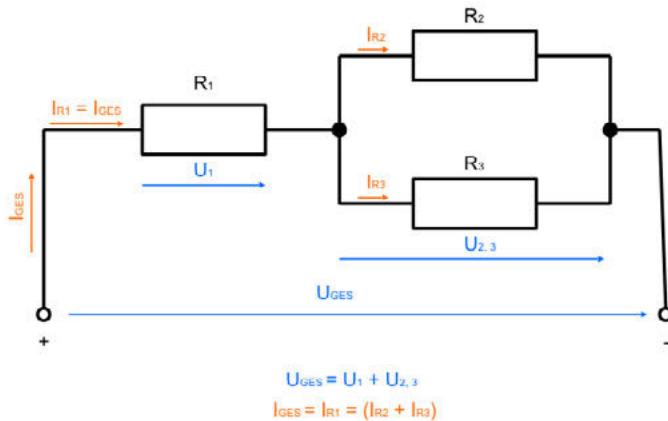
### Parallelschaltung von Widerständen

Für parallel geschaltete Widerstände gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei einer Parallelschaltung. Damit liegt jeder Widerstand an derselben Spannung. Entsprechend der Größe der einzelnen Widerstände fließt jedoch durch jeden ein anderer Strom. Durch einen kleinen Widerstand fließt ein hoher, durch einen großen ein kleiner Strom.

Hat man den gerade benötigten Widerstand zum Aufbau einer Schaltung nicht parat, kann er durch zwei größere, parallel geschaltete ersetzt werden. So haben etwa zwei parallele  $200\text{-}\Omega$ -Widerstände einen Gesamtwiderstand von  $100\ \Omega$ , den sie somit ersetzen können.

### Gemischte Schaltung

Als gemischte Schaltung bezeichnet man allgemein eine Kombination von verschiedenen Schaltungstypen, auch Gruppenschaltung oder Reihen-Parallelschaltung genannt. Eine solche Schaltung besteht aus mindestens drei Bauteilen, von denen zwei parallel geschaltet sind und zu ihnen ein weiteres in Serie.



**Bild 1.24:** Gemischte Schaltung, bei der zu einem einzelnen Widerstand  $R_1$  zwei zueinander parallel geschaltete in Serie geschaltet sind.

### Gemischte Schaltung auflösen

Gemischte Schaltungen werden von innen nach außen aufgelöst. Das soll an der vorangegangenen gemischten Schaltung näher betrachtet werden.

Dazu werden folgende Widerstandswerte angenommen:

$$R_1 = 100 \text{ W}$$

$$R_2 = 200 \text{ W}$$

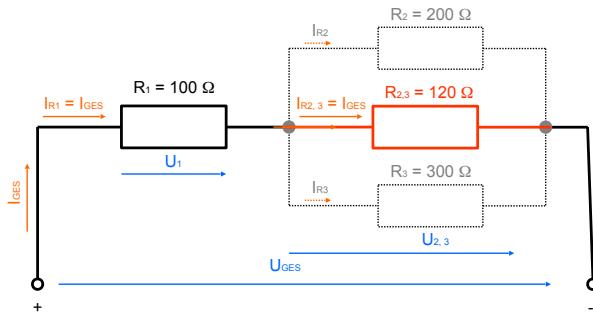
$$R_3 = 300 \text{ W}$$

#### Schritt 1:

Zunächst ist die Parallelschaltung aus  $R_2$  und  $R_3$  durch einen Gesamtwiderstand  $R_{2,3}$  zu ersetzen.

$$R_{2,3} = (R_2 \times R_3) / (R_2 + R_3)$$

$$R_{2,3} = (200 \Omega \times 300 \Omega) / (200 \Omega + 300 \Omega) = 120 \Omega$$



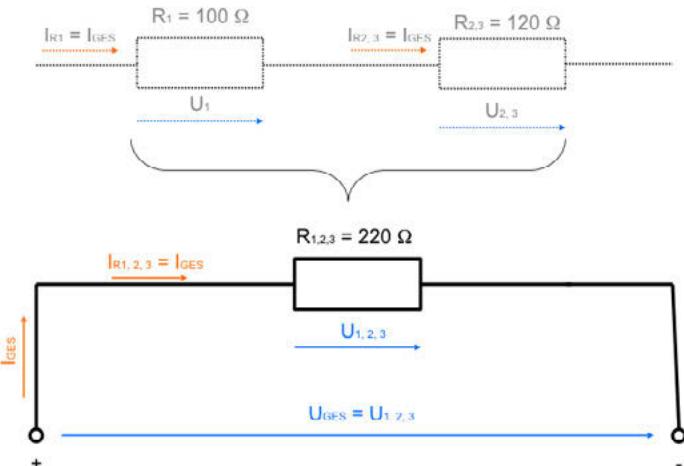
**Bild 1.25:** Die Parallelschaltung von Widerstand  $R_2$  und  $R_3$  wird durch den Ersatzwiderstand  $R_{2,3}$  ersetzt. Er ist in der Skizze rot gezeichnet.

### Schritt 2:

Anschließend ist die so entstandene Serienschaltung von  $R_1$  und dem Ersatzwiderstand  $R_{2,3}$  so aufzulösen, dass nur noch ein Widerstand benötigt wird. Er hat die gleiche Wirkung wie die drei ursprünglichen Widerstände der Schaltung.

$$R_{1,2,3} = R_1 + R_{2,3}$$

$$R_{1,2,3} = 100 \Omega + 120 \Omega = 220 \Omega$$



**Bild 1.26:** Zuletzt ist die im ersten Schritt entstandene Serienschaltung aufzulösen.

## Reihen- und Parallelschaltung

Eine einzelne Stromquelle liefert üblicherweise nur geringe Spannung und Stromstärke – zu wenig, als gewöhnlich für den Betrieb elektrischer Geräte erforderlich ist. Deshalb können auch mehrere Stromquellen, wie Akkus, Batterien oder Solarzellen, in Serie oder parallel zueinander geschaltet werden.

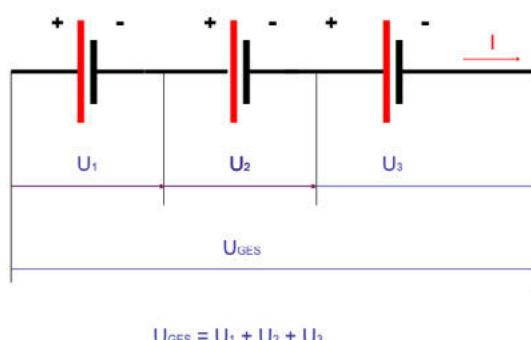
Typische Haushaltsakkus haben eine Nennspannung von 1,2 V, übliche Batterien 1,5 V. Das ist zu wenig für batteriebetriebene Geräte, von der Fernsteuerung über Kinder-spielzeug bis hin zur Taschenlampe. Sie haben durchweg eine höhere Betriebsspannung, die meist eine Serienschaltung von zwei bis vier Zellen erforderlich macht. Auch unsere Autobatterien sind ein typisches Beispiel für in Serie geschaltete Zellen. Da ein einzelner Bleiakku nur 2 V liefert, sind in der Autobatterie sechs Stück in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht.

Auch für elektronische Schaltungen werden häufig mehrere zusammengeschaltete Akkus oder Batterien benötigt. Dabei entscheiden mehrere Details letztlich darüber, ob und wie gut eine Schaltung funktioniert.

### Reihenschaltung von Stromquellen

Bei der Reihenschaltung werden mehrere Stromquellen in Serie geschaltet. Dies können zum Beispiel Akkus oder Batterien sein. Dabei ist der Minuspol der ersten Stromquelle mit dem Pluspol der zweiten zu verbinden, der Minuspol der zweiten mit dem Pluspol der dritten und so weiter. Diese Praxis finden wir unter anderem bei der 9-V-Blockbatterie wieder, bei der zum Beispiel sechs Zellen in Reihe geschaltet sind. Der so geschaffene Akku- oder Batterieblock besitzt je einen Plus- und einen Minusanschluss.

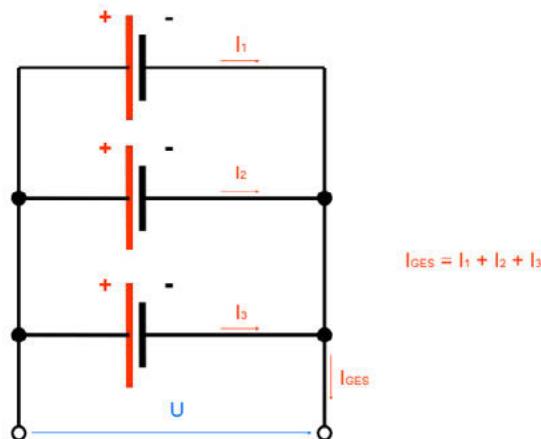
Die Serienschaltung kommt zur Steigerung der Spannung zum Einsatz. Ihre Gesamtspannung ergibt sich aus der Summe der Einzelspannungen aller verbauten Zellen. Die Stromstärke addiert sich dabei nicht, sodass durch alle Zellen derselbe Strom fließt.



**Bild 1.27:** Bei der Reihenschaltung von Stromquellen setzt sich die Gesamtspannung aus der Summe der Einzelspannungen zusammen.

## Parallelschaltung von Stromquellen

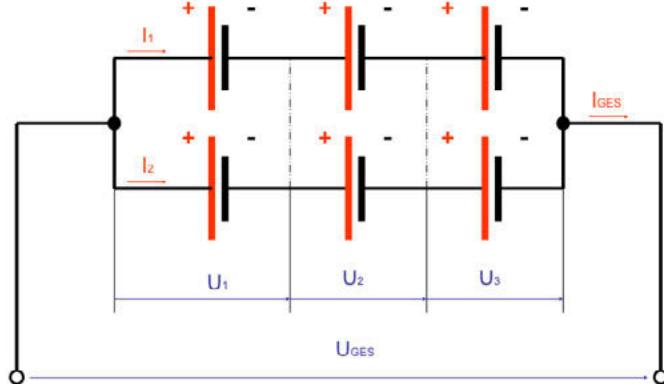
Bei der Parallelschaltung sind jeweils die gleichen Pole der einzelnen Stromquellen miteinander verbunden. Somit sind an einer Seite alle Minus- und an der anderen alle Pluspole zusammengeschaltet. Mit der Parallelschaltung mehrerer Stromquellen lassen sich höhere Stromstärken als mit einer einzigen bereitstellen. Der Gesamtstrom ergibt sich aus der Summe der Einzelströme der parallel geschalteten Energiequellen. Zu einer Spannungserhöhung kommt es nicht.



**Bild 1.28:** Bei der Parallelschaltung von Stromquellen setzt sich der Gesamtstrom aus der Summe der Einzelströme zusammen.

## Serien-Parallelschaltung von Stromquellen

Die Serien-Parallelschaltung von Stromquellen ist eine Kombination, bei der die Vorteile der Reihen- und der Parallelschaltung kombiniert werden. Auf diese Weise lässt sich nicht nur die Spannung, sondern auch die Stromhöhe steigern. Das kann besonders bei motorbetriebenen Geräten ausschlaggebend sein. Bei dieser Kombination entspricht die Gesamtspannung der Summe der in Reihe geschalteten Einzelspannungen. Des Weiteren entspricht der Gesamtstrom der Summe der in den parallel geschalteten Seriengruppen fließenden Einzelströme.



$$U_{GES} = U_1 + U_2 + U_3$$

$$I_{GES} = I_1 + I_2$$

**Bild 1.29:** Mit der Kombination von Reihen- und Parallelschaltung von Stromquellen lassen sich Gesamtspannung und -strom erhöhen.

## Worauf es ankommt

Werden mehrere Stromquellen, wie Akkus oder Batterien, in Serie oder parallel geschaltet, müssen alle dafür vorgesehenen Zellen aufeinander abgestimmt sein. Sie sollten sich keinesfalls voneinander unterscheiden. Das setzt nicht nur voraus, dass ausschließlich Zellen desselben Herstellers und Typs verwendet werden, sondern auch, dass alle Zellen gleich alt und von gleicher hoher Qualität sind. Außerdem sollten sie möglichst geringe Fertigungstoleranzen aufweisen. Details dazu wird man aber kaum in Erfahrung bringen können.

Weiterhin gilt es zu berücksichtigen, dass alle verwendeten Akkus gleich alt sind. Denn alt und neu verträgt sich nicht. Wegen des Alterungsprozesses und ihrer vorangegangenen Nutzung haben ältere Akkus durchweg schlechtere elektrische Eigenschaften als neue, selbst dann, wenn es sich um baugleiche Modelle handelt. Deshalb müssen ausschließlich gemeinsam gekaufte Zellen desselben Typs für eine Reihen-, Parallel- oder kombinierte Schaltung eingesetzt werden.

Der Grund ist, dass eine Schaltung aus mehreren Stromquellen nur so gut sein kann wie ihr schwächstes Glied. Beinhaltet sie etwa eine defekte Zelle, sorgt diese dafür, dass innerhalb der zusammengeschalteten Akkus oder Batterien Ausgleichsströme fließen, die zu einer vorzeitigen Entleerung der guten Zellen führen. Diese werden dann über Gebühr belastet und segnen ebenfalls – zum Teil recht schnell, jedenfalls aber vorzeitig – das Zeitliche.

## Batteriebetriebene Geräte richtig betreiben

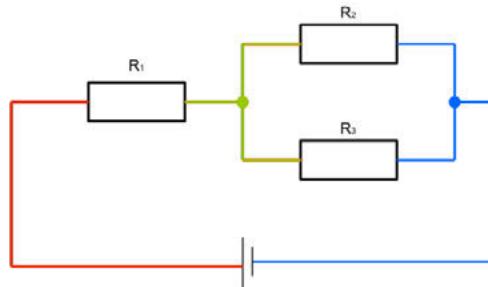
Dieser Grundsatz gilt nicht nur beim Zusammenschalten mehrerer Stromquellen, er hat genauso Gültigkeit bei allen batteriebetriebenen Geräten. Auch in sie sollten ausschließlich gleiche Akkus oder Batterien gleichen Alters und Typs gelegt werden. Ansonsten kommt es auch hier zu Ausgleichsströmen, die die guten Zellen sehr schnell an die schlechteste eingelegte anpassen. Mit anderen Worten: Legt man in ein Gerät zu einer neuen Batterie eine alte, wird sich die neue sehr schnell entladen, ohne dass man aus ihr groß Nutzen ziehen konnte.

## Netzwerk und Netzwerkknoten

Gemischte Schaltungen kommen in der Praxis häufig vor. Eigentlich sind sie der Normalfall, wobei üblicherweise mehrere solcher Gruppenschaltungen miteinander verknüpft sind. Man spricht dann auch von einem Netzwerk. Das hat allerdings nichts mit der PC-Welt zu tun.

Linien innerhalb eines Netzwerks, die unmittelbar miteinander in Kontakt stehen, nennt man Knoten, weil aus der Sicht des elektrischen Stroms Leitungen keine eigenen Bauteile sind, sondern diese nur verbinden.

Jedem Knotenpunkt einer Schaltung kann eine bestimmte Spannung zugeordnet werden. Innerhalb eines Schaltungsnetswerks lassen sich Knotenpunkte leicht herausfinden. Dazu braucht man in einem Schaltplan nur einer Linie zu folgen, ohne ein Bauteil zu passieren. Auf diese Weise lassen sich sogar Netzlisten erstellen, die einen herkömmlichen Schaltplan ersetzen können. Für den Betrachter sind sie jedoch alles andere als übersichtlich. Netzwerklisten werden vor allem in Schaltungssimulationsprogrammen verwendet.

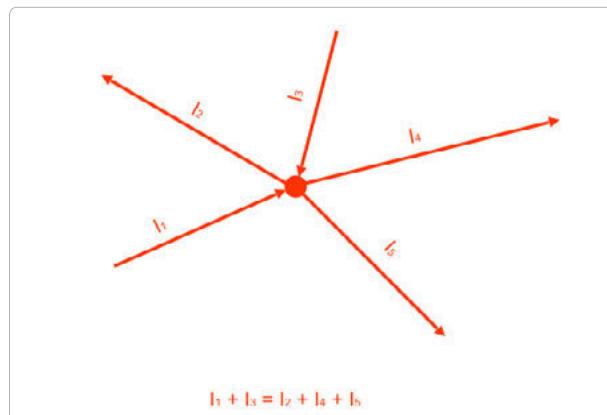


**Bild 1.30:** Diese Schaltung besteht aus drei Netzwerkknoten. Sie sind in Rot, Grün und Blau eingefärbt.

## Die Knotenpunktregel

Die Knotenpunktregel ist auch als erstes kirchhoffsches Gesetz bekannt. Es besagt, dass die Summe der einem Knoten zufließenden Ströme gleich der Summe der von ihm abfließenden Ströme ist.

$$I_{zu,1} + I_{zu,2} + I_{zu,n} = I_{ab,1} + I_{ab,2} + I_{ab,n}$$

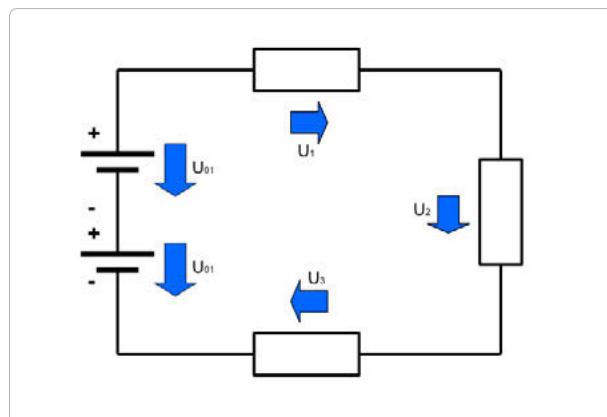


**Bild 1.31:** Auf dieses Beispiel angewandt, besagt die Knotenpunktregel, dass die Summe der zufließenden Ströme  $l_1$  und  $l_3$  gleich der Summe der abfließenden Ströme  $l_2$ ,  $l_4$  und  $l_6$  ist.

## Die Maschenregel

Die geschlossene Aneinanderreihung von Bauteilen wird als Masche bezeichnet. Das zweite kirchhoffsche Gesetz, die Maschenregel, besagt, dass alle Teilspannungen in einem Umlauf in Summe null ergeben. Dabei wirken die Spannungen an den Spannungsquellen den Spannungsabfällen an den Verbrauchern entgegen.

$$U_{01} + U_{02} + \dots = U_1 + U_2 + \dots$$



**Bild 1.32:** In einer Masche ist die Summe der Erzeugerspannungen und der Teilspannungen an den Verbrauchern gleich null.

## Elektrische Ladung

Zugegeben, die elektrische Ladung ist etwas, was man sich schwer vorstellen kann, zumal zu ihrem Verständnis die kleinsten Bauteile aller uns umgebenden Stoffe, die Atome, näher zu betrachten sind. Ein Atom besteht, vereinfacht ausgedrückt, aus einem Atomkern, der wiederum aus positiv geladenen Protonen und neutralen, also ungeladenen, Neutronen besteht. Den Kern umgibt die Atomhülle. In ihr befinden sich elektrisch negativ geladene Elektronen.

Nach außen hin sind die Stoffe von Grund auf nicht geladen. Sie sind elektrisch neutral. Besitzt ein Stoff mehr Protonen als Elektronen, ist er positiv geladen. Um einen ausgewogenen Zustand zu erreichen, nimmt er frei bewegliche Elektronen auf. An einer Batterie besteht an einem Pol Elektronenüberschuss und am zweiten Elektronenmangel. Werden die beiden Pole mit einem elektrischen Leiter, also einem Draht, (und zur Strombegrenzung über einen Widerstand) verbunden, erfolgt ein Ladungstransport.

Die elektrische Ladung trägt das Formelzeichen  $Q$  und wird in Coulomb, abgekürzt mit  $C$ , angegeben. Ein Coulomb entspricht jener elektrischen Ladung, die durch den Querschnitt eines Drahts transportiert wird, wenn durch diesen ein Strom von 1 A eine Sekunde lang fließt. Darauf folgt:  $1 C = 1 As$ .

Daraus ergibt sich diese Formel:

$$Q = I \times t$$

$Q$  Ladung in Coulomb, C

$I$  Strom in Ampere, A

$t$  Zeit in Sekunden, s

Erzeugt ein Strom von 1 A pro Sekunde eine Elektrizitätsmenge von 1 C, fließt durch den elektrischen Leiter während einer Sekunde die astronomisch hohe Zahl von  $6,28 \times 10^{18}$  Elektronen. Das sind 6.240.000.000.000.000.000 Elektronen.

### ELEKTRISCHE LADUNG ZUSAMMENGEFASST

Die elektrische Ladung entspricht der Anzahl der Elektronen, die zu einer bestimmte Zeit bei bekanntem Strom durch einen Leiter fließen.

Formelzeichen:  $Q$

$$Q = I \times t$$

Einheit: Coulomb

$Q$  Ladung in Coulomb, C

Abkürzung: C

$I$  Strom in Ampere, A

$t$  Zeit in Sekunden, s

## Kondensatoren und Kapazität

Wie bereits festgestellt, herrscht in einem Gleichstromkreis am Minuspol der Stromquelle Elektronenüberschuss. Von ihm wandern in einem Stromkreis negativ geladene Elektronen zum Pluspol der Stromquelle, wo Elektronenmangel herrscht.

### Kondensatoren im Gleichstromkreis

Kondensatoren können elektrische Ladung speichern. Diese wird Kapazität genannt und mit dem Formelzeichen  $C$  abgekürzt. Die Einheit der Kapazität ist Farad, abgekürzt mit dem Buchstaben  $F$ . Da das Farad für die Praxis eine zu große Einheit ist, werden kleinere Kapazitätseinheiten genutzt. Während der Kondensator aufgrund des von der Energiequelle kommenden Stroms aufgeladen wird, steigt die Spannung, die zwischen seinen beiden Metallplatten anliegt. Die Menge elektrischer Ladungen, die ein Kondensator bei anliegender Spannung zu speichern vermag, ist jedoch begrenzt. Sie hängt ab von der Fläche der sich gegenüberliegenden Kondensatorplatten, deren Abstand zueinander und dem zwischen ihnen befindlichen Dielektrikums (Isolator).

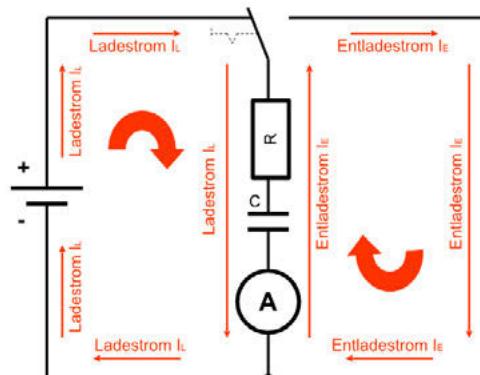
#### EINHEITENGRÖSSEN FÜR FARAD

1 mF	Millifarad	$10^{-3} F$	0,001 F
1 $\mu$ F	Mikrofarad	$10^{-6} F$	0,000 001 F
1 nF	Nanofarad	$10^{-9} F$	0,000 000 001 F
1 pF	Pikofarad	$10^{-12} F$	0,000 000 000 001 F

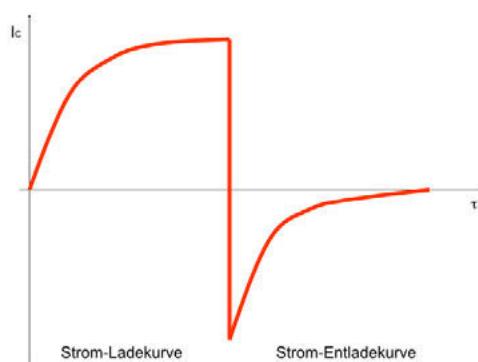
**Ein Versuch:** Ein Kondensator, ein Vorwiderstand und ein Strommesser werden in Serie geschaltet. Über einen Schalter werden sie entweder mit einer Stromquelle oder einem Drahtbügel verbunden. Zunächst wird über den Schalter eine Verbindung zur Stromquelle hergestellt.

Im nun geschlossenen Stromkreis sammeln sich an den beiden Plattenoberflächen des Kondensators getrennt voneinander positive und negative Ladungen an. Währenddessen fließt ein Strom, der aber allmählich abklingt, je mehr der Kondensator bereits geladen ist. Hat er seinen vollen Ladestand erreicht, fließt kein Strom mehr in der Schaltung. Währenddessen speichert der Kondensator elektrische Energie.

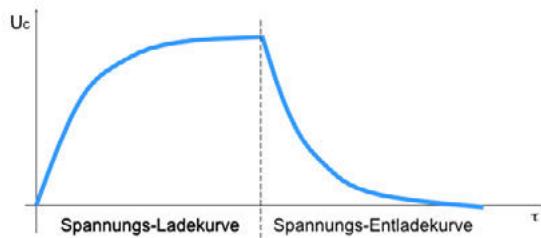
Wird der Schalter zum Drahtbügel umgelegt, entsteht quasi ein neuer Stromkreis, der aus dem Kondensator, dem Widerstand, dem Amperemeter und dem Drahtbügel besteht. Auch in diesem Kreis kommt es zu einem Stromfluss. Er stammt von der im Kondensator gespeicherten elektrischen Energie. Wie der Blick auf das Strommessgerät verrät, fließt der Strom nun aber in die entgegengesetzte Richtung. Außerdem klingt er ebenfalls nach kurzer Zeit ab und erreicht 0 A, sobald die im Kondensator gespeicherte Energie aufgebraucht ist.



**Bild 1.33:** Die Grafik zeigt die Stromrichtung durch den Kondensator während des Lade- und Entladevorgangs.



**Bild 1.34:** Die Grafik zeigt den Stromfluss während des Lade- und Entladevorgangs.



**Bild 1.35:** Das Diagramm veranschaulicht den Spannungsabfall am Kondensator während des Lade- und Entladevorgang.

## Permittivitätszahl

Die Permittivitätszahl ist auch unter dem Namen Dielektrizitätszahl bekannt. Das Dielektrikum ist der Isolator, der sich zwischen den beiden Kondensatorplatten befindet. Im einfachsten Fall ist das Luft. Ihre Isolationsfähigkeit entspricht der Permittivitätszahl 1. Die Isolationsfähigkeit aller anderen Isolierstoffe bezieht sich auf Luft. Porzellan hat etwa eine Permittivitätszahl von 5 bis 6. Das heißt, dass Porzellan fünf- bis sechsmal besser isoliert als Luft.

Die Permittivitätszahl wird mit dem Formelbuchstaben  $\epsilon_r$  (griechisch, Epsilon) angegeben. Sie besitzt keine Einheit.

Die Art des Dielektrikums entscheidet mit, wie viele Ladungen ein Kondensator speichern kann. Sehr gute Isolierstoffe wie Keramik mit einer Permittivitätszahl von bis zu 10.000 sind hier eindeutig im Vorteil.

## Elektrische Feldkonstante

Zum Berechnen der Kapazität eines Kondensators wird außerdem die elektrische Feldkonstante benötigt. Sie trägt das Formelzeichen  $\epsilon_0$  und gibt die Permittivität des Vakuums an, also den Isolierwert des luftleeren Raums. Sie ist eine Konstante. Ihr Wert beträgt  $8,854 \times 10^{-12} \text{ As/Vm}$ .

## Kondensatorkapazität berechnen

Die Kapazität eines Kondensators ist umso größer, je größer die Plattenfläche, je höher seine Permittivitätszahl und je geringer der Plattenabstand ist.

$$C = \epsilon_0 \times \epsilon_r \times A / l$$

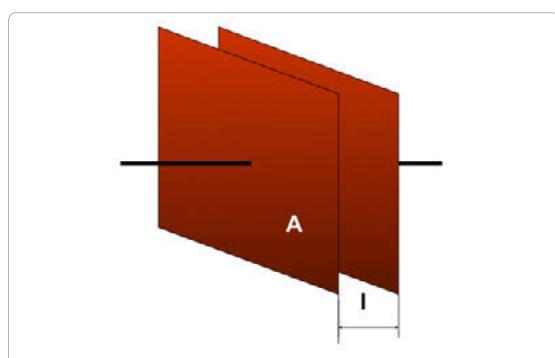
C Kapazität

$\epsilon_0$  Elektrische Feldkonstante

$\epsilon_r$  Permittivitätszahl

A Plattenfläche

l Plattenabstand



**Bild 1.36:** Die Kapazität eines Kondensators hängt von seiner Plattenfläche A, dem Plattenabstand l und dem verwendeten Isoliermaterial ab.

Zudem gilt:

$$C = \frac{Q}{U}$$

- C Kapazität in Farad, F  
Q Elektrische Ladung in Coulomb, C  
U Spannung in Volt, V

### KAPAZITÄT ZUSAMMENGEFASST

Kondensatoren können elektrische Ladung speichern. Sie wird Kapazität, Formelzeichen C, genannt. Die Einheit der Kapazität ist das Farad, F. Üblich sind bei Kondensatoren aber wesentlich geringere Kapazitätswerte, wie  $\mu$ F.

Die Kapazität errechnet sich aus:

$$C = \frac{Q}{U}$$

- C Kapazität in Farad, F  
Q elektrische Ladung in Coulomb, C  
U Spannung in Volt, V

Im Gleichstromkreis wird ein Kondensator innerhalb kurzer Zeit aufgeladen und wirkt danach als Stromsperre. Wie lange der Lade-/Entladevorgang dauert, sagt die Zeitkonstante  $\tau$  aus. Sie ergibt sich aus dem Produkt aus der Kapazität des Kondensators und dem Widerstand der Schaltung.

$$\tau = R \times C$$

- $\tau$  Zeitkonstante in Sekunden, s  
R Widerstand in Ohm,  $\Omega$   
C Kapazität in Farad, F

Ein Kondensator gilt innerhalb von fünf Zeitkonstanten als vollständig geladen beziehungsweise entladen. Das besagt auch die Formel:

$$\tau_C = 5 \times \tau$$

- $\tau_C$  Gesamtlade-/Gesamtentladezeit eines Kondensators in Sekunden s  
 $\tau$  Zeitkonstante in Sekunden s

## Lade- und Entladezeit eines Kondensators

Im vorangegangenen Versuch wurde gezeigt, wie sich ein Kondensator im Gleichstromkreis auf- und entlädt. Wie lange diese Zyklen dauern, hängt von der Größe des in der Schaltung verbauten Widerstands ab.

Ein Maß für die Ladezeit eines Kondensators ist die Zeitkonstante  $\tau$ . Sie hat als Formelzeichen den gleichnamigen griechischen Buchstaben  $\tau$ .  $\tau$  wird in der Maßeinheit Sekunden, s, angegeben.

Nach einer Zeitkonstanten  $\tau$  ist der Kondensator zu 63 % aufgeladen. Dementsprechend hat er im Entlademodus in der gleichen Zeit 63 % seiner Ladung verloren. Während der zweiten Zeitkonstanten steigt der Ladezustand um weitere 63 % auf insgesamt 86 %. Nach fünf Zeiteinheiten gilt ein Kondensator als vollständig aufgeladen oder entladen. Wie viel Zeit dafür benötigt wird, hängt von der Größe des Widerstands  $R$  und der Kapazität  $C$  ab.

## Kondensator im Wechselstromkreis

Wechselspannung ändert periodisch ihre Richtung. Bei unserer üblichen Netzwechselspannung geschieht das 50-mal pro Sekunde. Wird an einen Kondensator ein Wechselstromkreis angeschlossen, wechseln sich entsprechend der Netzfrequenz Lade- und Entladestrom ab. Dabei bleibt dem Kondensator nicht genügend Zeit, sich vollkommen aufzuladen oder wieder zu entladen. Deshalb wirkt er im Wechselstromkreis wie ein Widerstand. Durch den Sinusstrom wird der Kondensator ständig umgeladen, sodass der Mittelwert der auftretenden elektrischen Leistung im zeitlichen Durchschnitt bei null liegt. Man spricht auch von kapazitiver Blindleistung. Im Wechselstromkreis wird der Kondensator als kapazitiver Bild- oder Scheinwiderstand bezeichnet. Er trägt das Formelzeichen  $X_C$  und wird, genauso wie der ohmsche Wirkwiderstand  $R$ , in  $\Omega$  (Ohm) angegeben.

Seine Höhe hängt von der Kapazität des Kondensators und der Frequenz des Wechselstroms ab. Je höher die Frequenz des Wechselstroms oder die Kapazität des Kondensators ist, umso geringer ist sein kapazitiver Blindwiderstand. Das drückt die folgende Formel aus:

$$X_C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C}$$

$X_C$  Kapazitiver Blindwiderstand in Ohm,  $\Omega$

$\pi$  Kreiszahl Pi = 3,14

$f$  Frequenz in Hz

$C$  Kapazität des Kondensators in Farad, F

Da die Formel auch jene zur Berechnung der Kreisfrequenz  $\omega = 2 \times \pi \times f$  enthält, ist sie auch unter der folgenden verkürzten Schreibweise bekannt:

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$

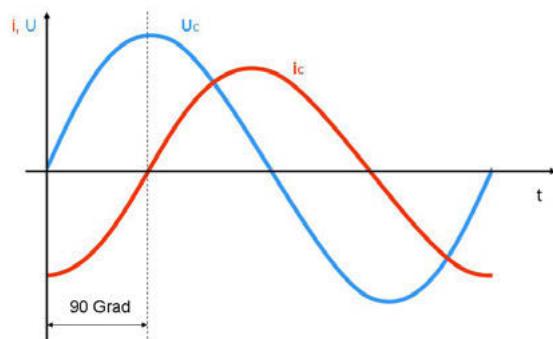
Ferner lässt sich auf den Kondensator im Wechselstromkreis das ohmsche Gesetz anwenden. Es lautet in diesem Fall:

$$X_C = U_C / I$$

$X_C$  kapazitiver Blindwiderstand in Ohm,  $\Omega$

$U_C$  Spannungsabfall am Kondensator in Volt, V

$I$  Strom durch den Kondensator in Ampere, A



**Bild 1.37:** Beim kapazitiven Blindwiderstand eines Kondensators im Wechselstromkreis eilt der Strom der Spannung um 90 Grad voraus.

### Parallelschaltung von Kondensatoren

Bei der Parallelschaltung liegen alle Kondensatoren an derselben Spannung. Der Gesamtstrom teilt sich jedoch auf die einzelnen Kondensatoren auf. Die Gesamtkapazität entspricht der Summe der Einzelkapazitäten. Schließlich vergrößert sich bei der Gesamtkapazität im Vergleich zu den Einzelkapazitäten der Abstand der Platten nicht. Es wird nur deren Fläche vergrößert, sodass sie mehrere Ladungsträger aufnehmen können.

Parallel geschaltete Kondensatoren kommen in der Elektronik häufig zur Erhöhung der Kapazität zum Einsatz. Ein Drehkondensator besteht zum Beispiel aus einer Reihe parallel geschalteter Kondensatoren.

Die Gesamtkapazität parallel geschalteter Kondensatoren berechnet sich wie folgt:

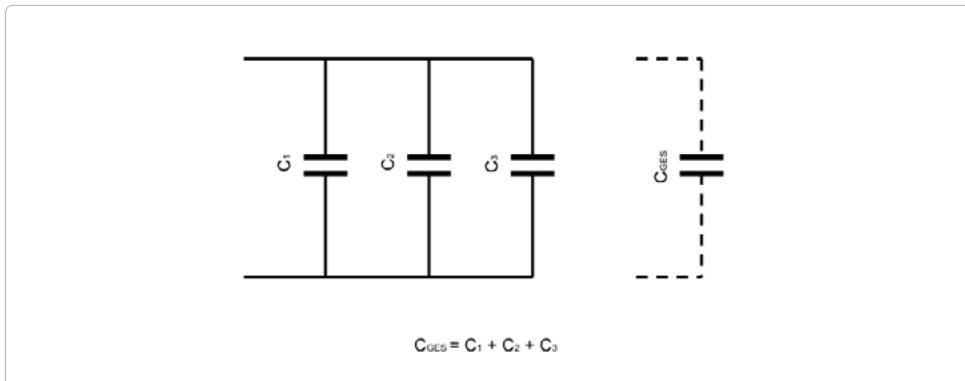
$$C_{\text{GES}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots C_n$$

Berechnung des Gesamtstroms bei parallel geschalteten Kondensatoren:

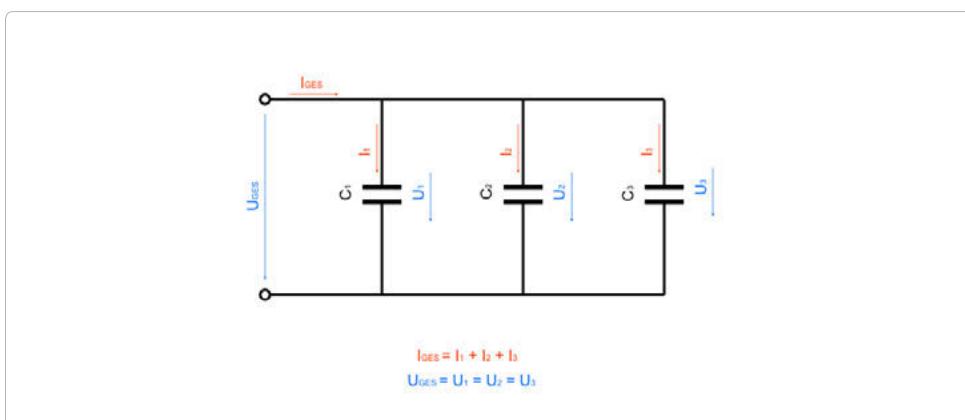
$$I_{\text{GES}} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots I_n$$

Spannungsaufteilung bei parallel geschalteten Kondensatoren:

$$U_{\text{GES}} = U_1 = U_2 = U_3 = \dots U_n$$



**Bild 1.38:** Bei der Parallelschaltung von Kondensatoren entspricht die Gesamtkapazität der Summe der Einzelkapazitäten.



**Bild 1.39:** Alle parallel geschalteten Kondensatoren liegen an derselben Spannung. Jeder Kondensator wird aber nur von einem Teilstrom durchflossen.

## Reihenschaltung von Kondensatoren

Die Reihenschaltung mehrerer Kondensatoren wirkt wie eine Abstandsvergrößerung der beiden Platten eines Kondensators zueinander. Damit einher geht eine Verringerung der Kapazität.

Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren werden alle zusammengeschalteten Kondensatoren vom selben Strom durchflossen. Dafür liegt an jedem Kondensator nur eine Teilspannung an. Die Summe aller an den Kondensatoren abfallenden Spannungen entspricht der an der Reihenschaltung anliegenden Gesamtspannung.

Es gilt:

$$I_{\text{GES}} = I_{C1} = I_{C2} = I_{C3}$$

$$U_{\text{GES}} = U_{C1} + U_{C2} + U_{C3} + \dots U_{Cn}$$

n Anzahl der verbauten, gleichen Kondensatoren

## PARALLELSCHALTUNG VON WIDERSTÄNDEN ZUSAMMENGEFASST

Bei parallel geschalteten Widerständen ist der Gesamtwiderstand stets kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Für zwei parallel geschaltete Kondensatoren gilt:

$$C_{\text{GES}} = (C_1 \times C_2) / (C_1 + C_2)$$

Für mehrere gleich große parallel geschaltete Widerstände gilt:

$$C_{\text{GES}} = C_1 / n$$

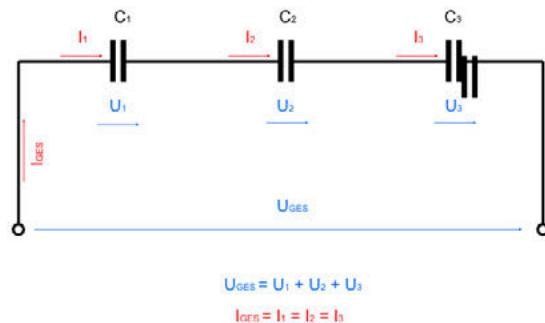
C<sub>1</sub> Kapazitätswert der verbauten gleichen Kondensatoren

n Anzahl der verbauten gleichen Kondensatoren

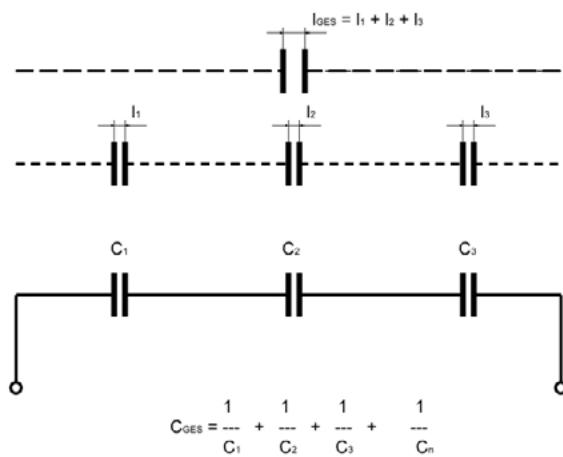
Für beliebig viele parallel geschaltete Kondensatoren gilt:

$$C_{\text{GES}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_n}$$

Die Gesamtkapazität von mehr als zwei unterschiedlichen Kondensatoren scheint durch die Kehrwertberechnung umständlich zu sein, zumal die Summe der Teilkapazitäten ja nicht der Gesamtkapazität, sondern „1 durch Gesamtkapazität“ entspricht. Zur tatsächlichen Gesamtkapazität gelangt man erst, wenn am Taschenrechner die Taste [1/x] drückt. Man findet diese Taste in der Regel auch auf Smartphone-Rechnern.



**Bild 1.40:** Durch alle in Serie geschalteten Kondensatoren fließt derselbe Strom. An jedem Kondensator fällt eine Teilspannung ab.



**Bild 1.41:** Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren ist die Gesamtkapazität kleiner als die kleinste Einzelkapazität.

## Reihenschaltung in der Praxis

Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren macht man sich den Vorteil der geringeren Teilspannungen zunutze. Schließlich teilt sich die Gesamtspannung auf alle in Serie geschalteten Kondensatoren auf. Allerdings können während des Einschaltanfangs in der Schaltung undefinierte Zustände herrschen, bei denen ein Kondensator sogar kaputtgehen kann. Das muss gar nicht bei der ersten Inbetriebnahme einer solchen Reihenschaltung passieren, sondern kann auch zu einem späteren Zeitpunkt auftreten. Zudem reagiert jeder Kondensatortyp anders.

Kondensatoren haben einen relativ hohen Toleranzbereich. Er liegt bei bis zu plus/minus 20 %. Das betrifft auch die Nennspannung, für die sie vorgesehen sind.

Ist ein Kondensator etwa für 250 V Wechselspannung ausgelegt, ist er für den Einsatz in unserem 230-V-Wechselspannungsnetz unterdimensioniert. Einmal, weil ein solcher Kondensator bei einer Toleranz von 20 % mitunter nur 184 V aushält, und zum anderen beträgt die Maximalspannung in unserer Hausinstallation 325 V. Um auf Nummer sicher zu gehen, sollte der zu verwendende Kondensator eine Nennspannung von 500 V haben. Dieser Grundsatz gilt allgemein und ist nicht auf Reihenschaltungen bei Wechselspannung begrenzt.

## KONDENSATOREN ZUSAMMENGEFASST

Kondensatoren können elektrische Ladungen speichern.

Die Kapazität C eines Kondensators wird in Farad, Formelzeichen F, angegeben. Üblich sind jedoch kleinere Einheitenangaben, wie  $\mu\text{F}$ .

Wenn der Kondensator aufgeladen ist, sperrt er den Gleichstromkreis.

Im Wechselstromkreis wirkt der Kondensator wie ein Widerstand. Er ist ein kapazitiver Blindwiderstand und trägt das Formelzeichen  $X_C$ .

Der kapazitive Blindwiderstand ist frequenzabhängig.

Berechnung des kapazitiven Blindwiderstands:

$$X_C = \frac{1}{\omega \times C}$$

$$X_C = U_C / I$$

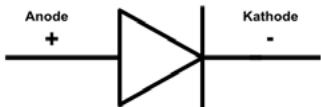
Bei parallel geschalteten Kondensatoren ist die Gesamtkapazität die Summe der Einzelkapazitäten.

$$C_{\text{GES}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_n}$$

Bei in Serie geschalteten Kondensatoren ist die Gesamtkapazität kleiner als die kleinste Einzelkapazität.

## Basiswissen zur Diode

Das Schaltzeichen der Diode lässt sich als Pfeil interpretieren, der die Richtung des Stromflusses anzeigt. Die technische Stromflussrichtung verläuft von Plus nach Minus. Also zeigt der Pfeil des Schaltzeichens zum Minuspol der Stromquelle. Der Pluspol der Diode wird auch Anode genannt. Sie ist dem Pluspol der Energiequelle zugewandt. Die Diode lässt den Strom nur von der positiven Anode zur negativen Kathode durch. In die entgegengesetzte Richtung sperrt sie den Stromfluss.

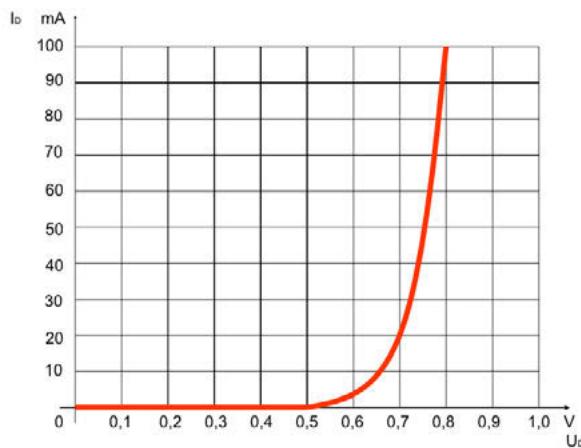


**Bild 1.42:** Schaltzeichen einer Diode.

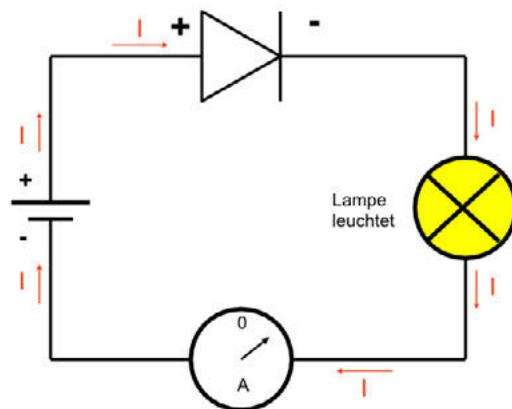
## Diode in Durchlassrichtung

Damit die Diode Strom in Durchlassrichtung passieren lässt, benötigt sie eine Mindestspannung. Diese liegt bei Siliziumdioden bei 0,7 V und bei Germaniumdioden bei 0,3 V. Erst wenn diese Durchlassspannung  $U_D$  erreicht ist, beginnt der Strom zu fließen.

Während beim ohmschen Widerstand  $R$  die Höhe des Spannungsabfalls von der Höhe des durch ihn fließenden Stroms abhängt, bleibt die an der Diode abfallende Spannung unabhängig von der Stromstärke weitgehend konstant, also etwa bei Siliziumdioden 0,7 V. Folglich kann bei Dioden das ohmsche Gesetz nicht angewendet werden.



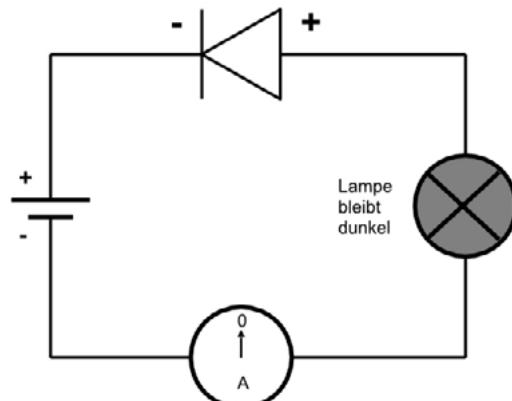
**Bild 1.43:** Ab Erreichen der Durchlassspannung  $U_D$  beginnt der Strom, durch die Diode zu fließen.



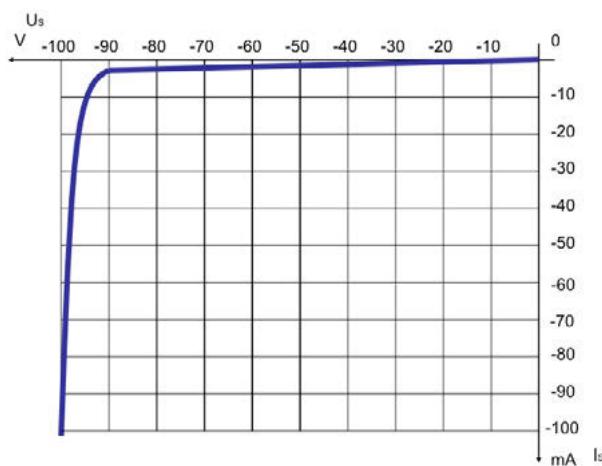
**Bild 1.44:** Wird eine Diode in Durchlassrichtung in die Schaltung eingebaut, fließt Strom und die Lampe leuchtet.

### Diode in Sperrrichtung

Wird eine Diode entgegen ihrer Durchlassrichtung in eine Schaltung eingebaut, wirkt sie wie ein Isolator und sperrt den Strom – allerdings nicht bis zu einer beliebig hohen Spannung. Wird die sogenannte Sperrspannung  $U_S$  überschritten, fließt Strom auch in die Gegenrichtung. Er nimmt zudem rasch zu und führt in der Regel zu einer Überhitzung und Zerstörung der Diode. Die Sperrspannung variiert je nach Diodentyp.



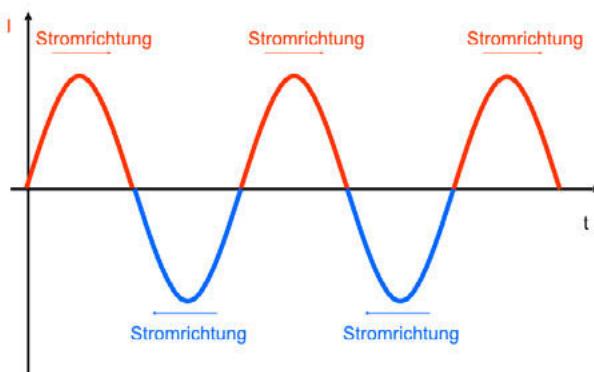
**Bild 1.45:** Bei einer in Sperrrichtung eingebauten Diode kommt es zu keinem Stromfluss. Die Lampe bleibt dunkel.



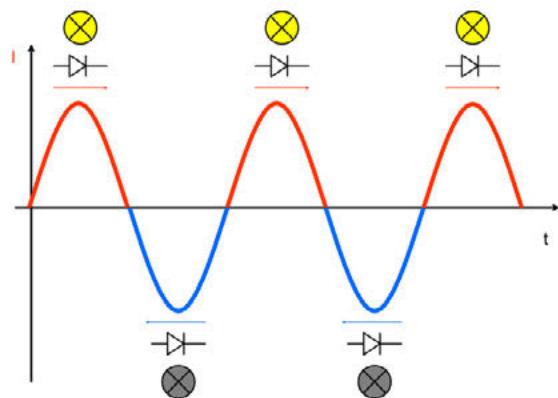
**Bild 1.46:** Bis Erreichen der Sperrspannung  $U_s$  sperrt die Diode den Strom in Sperrrichtung.

### Diode an Wechselspannung

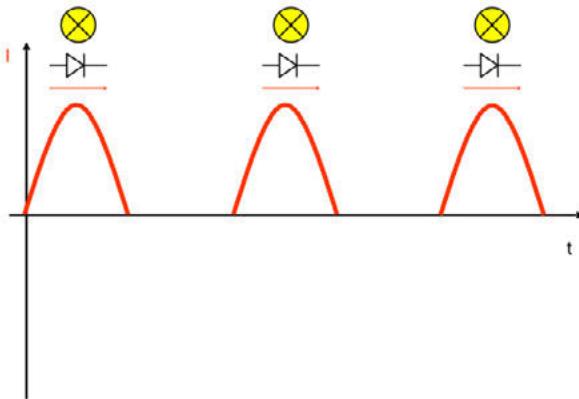
Eine Diode lässt Strom nur in eine Richtung passieren. An Wechselspannung sperrt sie demnach die negative Halbwelle des Wechselstroms. Nur während der positiven Halbwelle fließt Strom. Dieser Eigenschaft ist es zu verdanken, dass man mit einem Gleichrichter einen Wechselstrom beziehungsweise eine Wechselspannung in Gleichstrom und Gleichspannung umwandeln kann. Dieses Prinzip wird in so gut wie allen Netzteilen angewandt, die uns im Alltag umgeben, etwa jenen für das Smartphone, das Notebook, das Radio, den Sat-Receiver und so weiter.



**Bild 1.47:** Kurvenverlauf eines üblichen sinusförmigen Wechselstroms, wie er etwa aus der Steckdose kommt.



**Bild 1.48:** Während der Wechselstrom die positive Halbwelle durchläuft, brennt die Lampe. Während der negativen Halbwelle sperrt die Diode den Stromfluss. Die Lampe bleibt dunkel.



**Bild 1.49:** Die Diode lässt nur die positive Halbwelle des Wechselstroms passieren. Das Resultat ist ein pulsierender Gleichstrom.

## Zylinder- und Kreisspulen

Eine Spule besteht aus einer Reihe von Drahtwindungen. Je nach Anforderungen an die Spule können das einige wenige bis zu mehrere Hundert Windungen sein. Spulen ohne Eisenkern werden Luftspulen genannt. Je nach ihrer Form können es Zylinder- oder Kreisspulen sein.

Fließt elektrischer Strom durch einen Draht oder eine Spule, baut sich ein magnetisches Feld auf. Darin ist wiederum Energie gespeichert. Wie hoch sie ist, hängt von der Stärke des Stroms sowie der Spulenform und den Eigenschaften des Spulenkerns ab. Eine Spule mit Eisenkern speichert mehr Energie als eine Luftspule. All diese Eigenschaften einer Spule werden unter dem Begriff Induktivität zusammengefasst. Das Formelzeichen der Induktivität ist  $L$ , ihre Einheit ist Henry, abgekürzt  $H$ . Das Henry ist eine sehr große Maßeinheit. Die in der Elektronik benötigten Induktivitäten sind ungleich kleiner und bewegen sich in einer Größenordnung von wenigen Mikrohenry ( $\mu H$ ) bis Millihenry ( $mH$ ).  $1 \mu H$  entspricht  $0,000001 H$ , und  $1 mH$  ist gleich  $0,001 H$ .

Je größer die Induktivität einer Spule ist, umso mehr magnetische Feldenergie vermag diese zu speichern. Besitzt von zwei eigentlich identischen Spulen eine einen Eisenkern, ist ihre Induktivität höher als jene der Luftspule.

### INDUKTIVITÄT EINER SPULE

Formelzeichen:  $L$

Einheit: Henry

Abkürzung  $H$

## Spule an Gleichspannung

Die Induktivität einer Spule hängt von allen Einzelheiten ihres Aufbaus und von ihrer Windungsanzahl ab. Je mehr Windungen eine Spule hat, umso höher ist ihre Induktivität.

Die Induktivität wird berechnet mit der Formel:

$$L = N^2 \times \Lambda$$

$L$  Induktivität in Henry,  $H$

$N$  Anzahl der Windungen einer Spule, ohne Einheit

$\Lambda$  Lambda (griechischer Großbuchstabe), magnetischer Leitwert in Henry,  $H$

Der magnetische Leitwert  $\Lambda$  ist eher schwer zu bestimmen. Zu seiner Berechnung

wird zunächst die magnetische Feldkonstante  $\mu_0$  benötigt. Sie gibt die Permeabilität, also die Leitfähigkeit im Vakuum an.

$$\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ Vs/Am}$$

### WAS IST PERMEABILITÄT?

Unter Permeabilität versteht man die Fähigkeit eines Stoffs, sich einem Magnetfeld anzupassen. Jeder Stoff hat eine andere Permeabilität, Vakuum hat eine geringe Permeabilität. Die von Metallen ist ungleich höher.

Zudem wird die Permeabilitätszahl  $\mu_r$  benötigt. Sie hängt vom verwendeten Werkstoff ab. Also muss man zur Berechnung des magnetischen Leitwerts  $\Lambda$  wissen, aus welchem Material der Spulenkern besteht.

Einige Permeabilitätszahlen:

Luft	1
Aluminium	1,00002
Eisen	rund 300 bis 10.000
Ferrite	rund 3 bis 15.000
Nickel	280 bis 2.500
Kupfer	0,99999

Ferner werden zur Bestimmung des magnetischen Leitwerts die Querschnittsfläche A, die von den Feldlinien durchflossen wird, sowie die mittlere Feldlinienlänge  $l_m$  benötigt. All diese Parameter werden in folgender Formel zusammengefasst:

$$\Lambda = \frac{\mu_0 \times \mu_r \times A}{l_m}$$

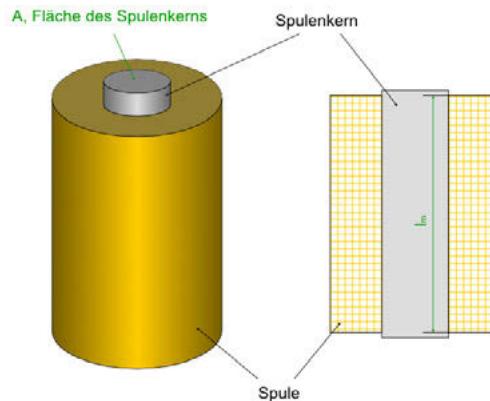
$\Lambda$  magnetischer Leitwert in Henry, H

$\mu_0$  magnetische Feldkonstante =  $1,257 \times 10^{-6}$  Vs/Am

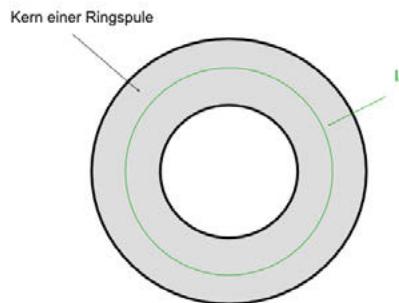
$\mu_r$  Permeabilitätszahl des Spulenkernelementals, ohne Einheit

A Querschnittsfläche des Spulenkerne in Quadratmeter,  $\text{m}^2$

$l_m$  mittlere Feldlinienlänge in Meter, m



**Bild 1.50:** Zur Berechnung des magnetischen Leitwerts sind unter anderem die mittlere Feldlinienlänge in der Spule und die Fläche des Spulenkerne zu berücksichtigen.



**Bild 1.51:** Mittlere Feldlinienlänge bei einer Ringspule mit Ringkern.

### Selbstinduktionsspannung

Unter der Induktivität einer Spule versteht man ihre Fähigkeit – hervorgerufen durch ein Magnetfeld –, in den eigenen Windungen Spannung zu erzeugen.

Eine Spule besitzt eine Induktivität von 1 H, wenn eine gleichbleibende Stromänderung von 1 A während einer Sekunde eine Selbstinduktionsspannung von 1 V hervorruft.

Fließt durch eine Spule ein sich ständig ändernder Strom, entsteht um sie ein sich im gleichen Maße ständig änderndes Magnetfeld, wobei jede Stromänderung in der Spule eine Selbstinduktionsspannung  $U_L$  erzeugt. Sie ist umso größer, je größer die Induktivität  $L$  der Spule ist, je größer die Stromänderung pro Zeiteinheit  $\Delta I$  (Delta I) ist und je geringer die Zeiteinheit  $\Delta t$  (Delta t) ist, in der diese Stromänderung erfolgt. Daraus ergibt sich die Formel zur Berechnung der Selbstinduktionsspannung  $U_L$ :

$$U_L = \frac{L \times \Delta I}{\Delta t}$$

$U_L$  Selbstinduktionsspannung in Volt, V

$L$  Induktivität in Henry, H

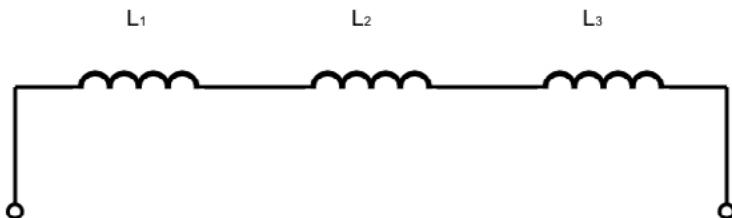
$\Delta I$  Stromänderung pro Zeiteinheit in Ampere, A

$\Delta t$  Zeitdauer in Sekunden, s

### Reihenschaltung von Induktivitäten

Bei der Serienschaltung von Spulen entspricht die Gesamtinduktivität der Summe der Einzelinduktivitäten.

$$L_{Ges} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots L_n$$



$$L_{Ges} = L_1 + L_2 + L_3 + \dots L_n$$

**Bild 1.52:** Bei der Reihenschaltung von Spulen entspricht deren Gesamtkapazität der Summe der Einzelkapazitäten.

### Parallelschaltung von Induktivitäten

Bei der Parallelschaltung von Spulen ist die Gesamtinduktivität kleiner als die kleinste Einzelinduktivität.

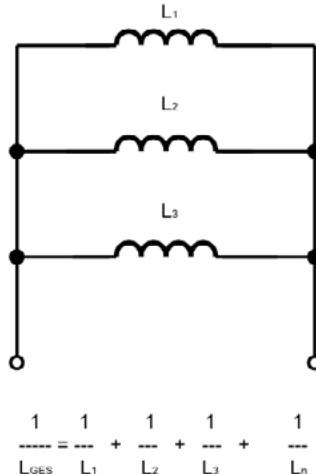
Bei beliebig vielen Spulen lässt sich die Gesamtkapazität mit dieser allgemeinen Formel berechnen:

$$\frac{1}{L_{\text{GES}}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_n}$$

Dabei sind die Kehrwerte der einzelnen Induktivitäten einzugeben, etwa am Taschenrechner mit der Taste  $[1/x]$ . Auch das Ergebnis wird zunächst als  $1/x$ -Wert angezeigt und ist ebenfalls per  $1/x$ -Funktion umzurechnen.

Für zwei parallel geschaltete Spulen gilt:

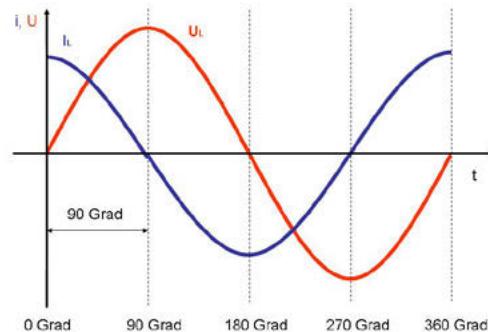
$$L_{\text{GES}} = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$$



**Bild 1.53:** Bei parallel geschalteten Spulen ist die Gesamtinduktivität kleiner als die kleinste Einzelinduktivität.

### Spule im Wechselstromkreis

An Wechselspannung nimmt eine Spule weniger Strom auf als an Gleichspannung. Das ist eine Folge des induktiven Blindwiderstands  $X_L$ . Er entsteht durch die Selbstinduktionsspannung in der Spule, die auf den Sinusstrom hemmend wirkt. Deshalb eilt in einer Spule der Wechselstrom der Wechselspannung um 90 Grad nach, sodass er zeitlich etwas verzögert auftritt.



**Bild 1.54:** In einer Spule eilt der Wechselstrom der Wechselspannung um 90 Grad nach.

### Induktiver Blindwiderstand

Dass die Stromaufnahme einer Spule an Wechselspannung geringer ist als bei Gleichspannung, ist eine Folge des induktiven Blindwiderstands  $X_L$ . Er entsteht durch die Selbstinduktionsspannung in der Spule, die auf den Sinusstrom hindernd wirkt, und sorgt dafür, dass der Wechselstrom der Wechselspannung um 90 Grad nacheilt. Der induktive Blindwiderstand ist frequenzabhängig. Er steigt mit zunehmender Frequenz. Bei 0 Hz, also Gleichstrom, hat die Spule nur einen sehr geringen ohmschen Widerstand. Das ist der Widerstand des Spulendrahts. Sobald ein Wechselstrom durch die Spule fließt, tritt zusätzlich der induktive Blindwiderstand  $X_L$  auf. Die Einheit des induktiven Blindwiderstands  $X_L$  ist das Ohm, das Formelzeichen ist  $\Omega$ .

$$X_L = \omega \times L$$

$$\omega = 2 \times \pi \times f$$

$$X_L = U_{BL} / I$$

$X_L$  induktiver Blindwiderstand in Ohm,  $\Omega$

$\omega$  Kreisfrequenz in 1/s

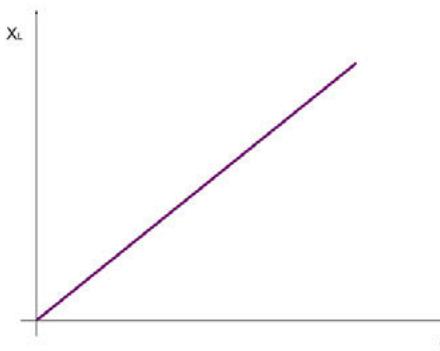
$f$  Frequenz in Hertz, Hz

$L$  Induktivität in Henry, H

$\pi$  Kreiszahl = 3,1415, ohne Einheit

$U_{BL}$  Spannung an der Spule in Volt, V

$I$  Strom durch die Spule in Ampere, A



**Bild 1.55:** Der induktive Blindwiderstand ist frequenzabhängig und steigt bei gleichbleibender Induktivität mit zunehmender Frequenz.

## Wechselspannung und -strom

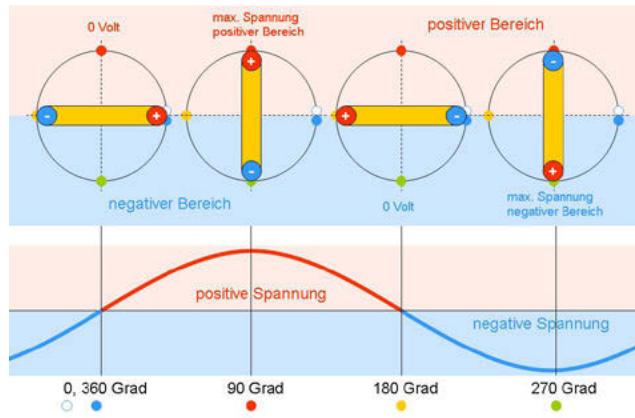
Wechselspannung und -strom sind das, womit wir im täglichen Leben konfrontiert sind. Wir beziehen sie von unserem Energieversorgungsunternehmen, sie stehen an jeder Steckdose bereit und bringen unsere Lampen zum Leuchten.

Während Gleichspannung zu jedem Zeitpunkt exakt gleich hoch ist, ändert sich die Wechselspannung alle Augenblicke. Entsprechend unserer Netzfrequenz von 50 Hz tut sie das 50-mal pro Sekunde. Gleichermaßen trifft auf den fließenden Wechselstrom zu.

### Warum ändert sich Wechselspannung ständig?

Gleichspannung entsteht zum Beispiel in einer Batterie aufgrund einer gleichmäßig ablaufenden chemischen Reaktion. Die Folge ist eine konstante Spannung.

Wechselspannung wird durch Drehung einer Spule in einem konstanten Magnetfeld erzeugt. Das ist das Prinzip eines jeden Generators. In seiner Nullstellung wird in der Spule keine Spannung hervorgerufen. Je mehr sich die Spule dem Winkel von 90 Grad nähert, umso mehr steigt die Wechselspannung an und erreicht ihr positives Maximum. Zwischen 90 und 180 Grad geht die positive Spannung allmählich gegen 0 V, die sie nach einer halben Umdrehung erreicht. Wird die Spule nun weiter bis zum Winkel von 270 Grad, also bis zu einer Dreiviertelumdrehung gedreht, steigt die Spannung wieder an, diesmal aber in entgegengesetzter Richtung. Zwischen 270 und 360 Grad verringert sich diese negative Spannung von ihrem Maximum zurück bis auf 0 V.



**Bild 1.56:** Wechselspannung ergibt sich aufgrund der Drehbewegung einer Spule in einem starren Magnetfeld.

## Wechselspannungen und -ströme

Bei Wechselgrößen kennt man, anders als bei Gleichgrößen, nicht einfach nur eine Spannung und einen Strom. Bei Wechselspannung und -strom gibt es derer gleich mehrere.

### Effektivwert und Maximalwert

Ist allgemein von Wechselstrom oder Wechselspannung die Rede, ist stets der Effektivwert gemeint. Bei ganz korrekter Schreibweise wird er als  $U_{\text{eff}}$  bei der Wechselspannung und  $I_{\text{eff}}$  beim Wechselstrom bezeichnet. Der Effektivwert der Wechselspannung sind zum Beispiel die 230 V aus der Wechsel- und die 400 V aus der Drehstromsteckdose.

Der Effektivwert einer Wechselgröße erzielt die gleiche Wirkung wie eine gleich große Gleichgröße. Eine Effektivspannung von 230 V und ein Effektivstrom von 1 A sorgen für die gleiche Leistungsabgabe wie eine Gleichspannung und ein Gleichstrom gleicher Wertigkeit. Der Effektivwert entspricht somit nicht dem höchsten Punkt der Sinuskurve, sondern bewegt sich in einer Höhe von 70,7 %.

Jener Teil der Sinuskurve, der über dieser gedachten Linie liegt, füllt exakt den Teil unterhalb der Kurve auf, in dem noch keine oder eine sehr geringe Spannung fließt.

Der Maximalwert wird auch Spitzenvwert oder Scheitelwert genannt. Er entspricht entlang der Sinuskurve jenem Wert, den die Spannung bei 90 Grad auf der positiven und bei 270 Grad entlang der negativen Halbwelle erreicht. Der Maximalwert unserer üblichen 230-V-Wechselspannung liegt übrigens bei 325 V. Zu ihm gelangt man, wenn der Effektivwert mit der Wurzel aus 2 multipliziert wird.

Der Maximalwert ist deshalb von Bedeutung, weil er uns zeigt, dass wir in der Hausinstallation mit höheren Strömen und Spannungen konfrontiert sind als gedacht. Diese Spitzenwerte sind unter anderem maßgeblich für das erforderliche Schaltvermögen von Geräten und die Ausführung der Isolierung. Des Weiteren muss die Spannungsfestigkeit von Kondensatoren den Spitzen- und nicht den Effektivwert der Spannung aushalten können. Ist etwa ein Kondensator für einen Einsatz bei Spannungen bis 300 V vorgesehen, ist er für 230 V Wechselspannung aus der Steckdose eindeutig unterdimensioniert und geht kaputt.

$$U_{\max} = U_{\text{eff}} \times \sqrt{2}$$

$$I_{\max} = I_{\text{eff}} \times \sqrt{2}$$

$U_{\max}$  Maximalwert, Spitzenwert, Scheitelwert der Wechselspannung in Volt, V

$U_{\text{eff}}$  Effektivwert der Wechselspannung in Volt, V

$I_{\max}$  Maximalwert, Spitzenwert, Scheitelwert des Wechselstroms in Ampere, A

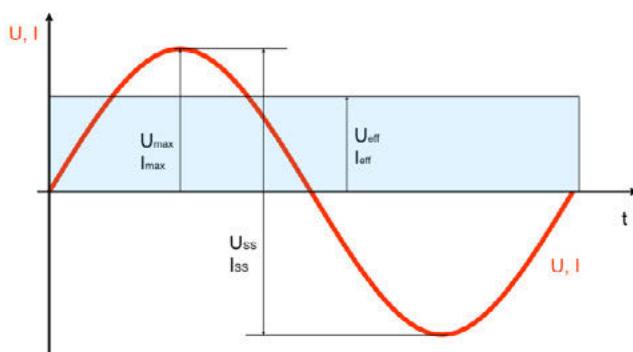
$I_{\text{eff}}$  Effektivwert des Wechselstroms in Ampere, A

$$\sqrt{2} \quad 1,414$$

### Der Spitze-Spitze-Wert

Der Spitze-Spitze-Wert der Wechselspannung wird mit  $U_{\text{ss}}$  gekennzeichnet. Er setzt sich aus dem positiven und dem negativen Maximalausschlag zusammen und hat somit die doppelte Größe von  $U_{\max}$ .

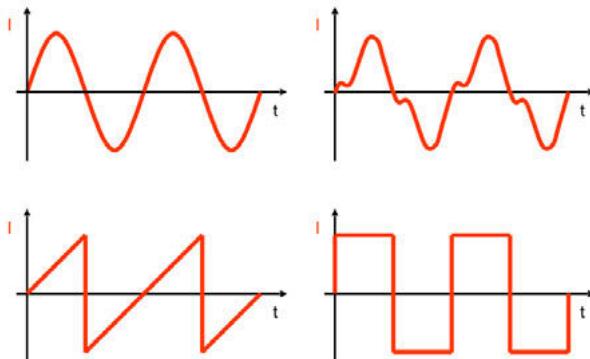
$$U_{\text{ss}} = 2 \times U_{\max}$$



**Bild 1.57:** Die Grafik zeigt den Effektiv-, den Maximal- und den Spitze-Spitze-Wert einer Wechselspannung.

## Formen von Wechselgrößen

Ist von einem Wechselstrom oder einer Wechselspannung die Rede, geht man im Allgemeinen von einer idealen Sinusform aus. In der Praxis wird man jedoch kaum eine perfekte Sinuskurve vorfinden. Ihre Form kann etwa durch verschiedene elektrische Bauteile verändert werden. Daneben haben sich zum Beispiel für Steuer- und Messzwecke sägezahn- und rechteckförmige Wechselströme etabliert.



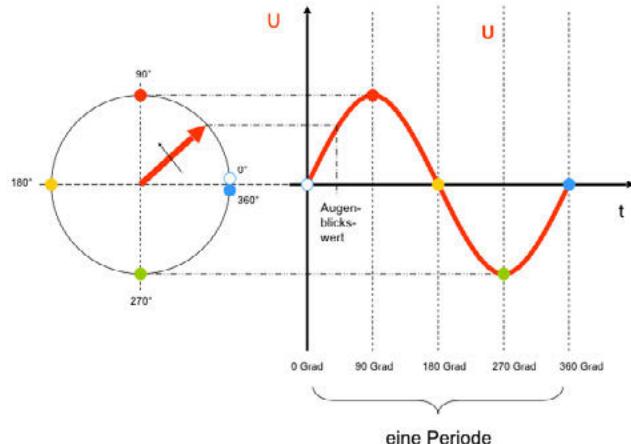
**Bild 1.58:** Die Grafik zeigt einige mögliche Formen von Wechselströmen. Oben links: ideale Form, oben rechts: Spulenwechselstrom bei magnetischer Sättigung, unten links: sägezahnförmiger Wechselstrom, unten rechts: rechteckförmiger Wechselstrom.

## Frequenz und Periodendauer

Die Frequenz ist eine typische Größe des Wechselstroms. Sie hat das Formelzeichen  $f$  und wird in der Einheit Hertz, kurz Hz, angegeben. Unter Frequenz versteht man, wie oft in einer Sekunde eine volle Sinuskurve durchlaufen wird. Den Durchlauf einer Sinuskurve nennt man Zyklus.

Das Hertz gibt somit die Häufigkeit an, in der ein Wechselstrom während einer Sekunde seine Richtung ändert. Tut er das einmal pro Sekunde, wird die Sinuskurve einmal durchlaufen, und der Wechselstrom hat eine Frequenz von 1 Hz. Die Zeit, die für den Durchlauf einer Sinuskurve benötigt wird, nennt man Perioden- oder auch Schwingungsdauer. Sie wird mit dem Formelzeichen  $T$  abgekürzt. Ihre Einheit ist die Sekunde, s.

Unser Netzwechselstrom hat eine Frequenz von 50 Hz. Das heißt, dass sich seine Richtung 50-mal pro Sekunde ändert. Eine Periode dauert 20 Millisekunden (ms).



**Bild 1.59:** Eine Sinuskurve entsteht im Zuge einer vollkommenen Umdrehung (360 Grad). Die dafür benötigte Zeit nennt man Periodendauer.

### FREQUENZ UND PERIODENDAUER ZUSAMMENGEFASST

Die Frequenz  $f$  gibt an, wie oft ein Wechselstrom während einer Sekunde seine Richtung ändert. Sie wird in Hertz, kurz Hz, angegeben.

Die Periodendauer gibt jene Zeitspanne an, die für den Durchlauf einer Sinuskurve benötigt wird.

Frequenz und Periodendauer stehen in unmittelbarem Zusammenhang. Je höher die Frequenz ist, umso kürzer ist die Periodendauer, und umgekehrt. Daraus ergibt sich folgende Formel:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{sowie} \quad T = \frac{1}{f}$$

$f$  Frequenz in Hertz, Hz

$T$  Periodendauer in Sekunden, s

## **Elektrische Leistung**

Fließt durch einen Verbraucher bei angelegter Spannung ein Strom, verbraucht er elektrische Leistung. Sie gibt an, wie viel der Strom in jeder Sekunde an elektrischer Arbeit verrichtet oder wie viel elektrische Energie in andere Energieformen umgewandelt wird. Das Formelzeichen der Leistung ist  $P$ . Ihre Einheit ist Watt, abgekürzt  $W$ .

Häufig wird die elektrische Leistung in Bezug auf den Energieverbrauch angegeben. Jedes Gerät verbraucht elektrische Leistung, egal ob es sich um das Ladegerät für das Smartphone, den Fernseher, einen E-Herd, die Beleuchtung und Motoren handelt.

Die elektrische Leistung errechnet sich aus der Stromstärke, multipliziert mit der Spannung:

$$P = I \times U$$

$P$  Leistung in Watt,  $W$

$I$  Strom in Ampere,  $A$

$U$  Spannung in Volt,  $V$

Die Höhe der Leistungsaufnahme hängt auch vom Gerätewiderstand ab. Bei geringem Widerstand ist die aufgenommene Leistung gering. Je höher er ist, umso mehr steigt die Leistung. Dementsprechend lässt sich die elektrische Leistung bei bekanntem Widerstand und Strom oder bei bekannter Spannung berechnen. Die zugehörigen Formeln:

$$P = I^2 \times R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

## **Leistungsaufnahme in der Praxis**

Die Leistungsaufnahme von Geräten ist eine wichtige Größe, wenn es um deren Anschluss in einem Stromkreis im Haushalt geht. Wie allseits bekannt, ist jeder Stromkreis mit einem Sicherungsautomaten geschützt. Dieser lässt eine maximale Stromstärke in dem von ihm geschützten Stromkreis zu, zum Beispiel 10 A. Bei der bei uns üblichen Netzspannung von 230 V dürfen an den Stromkreis insgesamt nur Verbraucher mit einer Gesamtleistung von 2.300 W angeschlossen werden. Ansonsten löst der Sicherungsautomat aus.

## ELEKTRISCHE LEISTUNG ZUSAMMENGEFASST

Die elektrische Leistung errechnet sich aus der Stromstärke, multipliziert mit der Spannung:

$$P = I \times U$$

Des Weiteren lässt sie sich berechnen aus:

$$P = I^2 \times R$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

P Leistung in Watt, W

I Strom in Ampere, A

U Spannung in Volt, V

R Widerstand in Ohm,  $\Omega$

## Elektrische Arbeit

Die elektrische Arbeit geht jeden etwas an – in Form der regelmäßig ins Haus flatternden Stromrechnung. Unter ihr versteht man nichts anderes als die verbrauchte Leistung pro Zeiteinheit. Der elektrischen Arbeit ist das Formelzeichen W zugeordnet. Ihre Grundeinheit ist die Wattsekunde, abgekürzt Ws. Auf der Stromrechnung und in der Praxis ist jedoch ein Vielfaches üblich, nämlich die Kilowattstunde, kWh.

Die elektrische Arbeit berechnet sich aus:

$$W = P \times t$$

W elektrische Arbeit in Wattsekunden, Ws

P Leistung in Watt, W

t Zeit in Sekunden, s

## ZUSAMMENHANG ZWISCHEN KWH UND Ws

$$1 \text{ kWh} = 1.000 \text{ Wh} = 3.600.000 \text{ Ws}$$

Die Ursache des „krummen“ Verhältnisses zwischen kWh und Ws liegt darin, dass eine Minute 60 Sekunden und eine Stunde 60 Minuten hat, woraus sich der Multiplikationsfaktor 3.600 ergibt.

## Wirkungsgrad

Alle elektrischen Geräte sind, vereinfacht ausgedrückt, Energiewandler. Sie wandeln elektrische Energie in eine andere Energieform um. Ein E-Herd erzeugt aus ihr Wärme, eine Lampe Licht und ein Motor eine Drehbewegung. Dabei wird nicht nur die zugeführte Energie in die gewünschte umgewandelt, ein Teil der Energie geht stets als Verlustenergie verloren. Dieser Grundsatz gilt übrigens für alle Energieformen und nicht nur für die Elektrizität.

### VERLUSTENERGIE

Verluste lassen sich sehr gut wahrnehmen. Meist treten die Verluste als Wärme auf. Eine eingeschaltete Lampe gibt nicht nur Licht ab, sondern erwärmt sich auch, genauso jedes Netzgerät. Sogar jeder stromdurchflossene Leiter erwärmt sich, und zwar umso mehr, je mehr Strom durch ihn fließt.

## Wirkungsgrad berechnen

Der Wirkungsgrad trägt das Formelzeichen  $\eta$  (griechischer Buchstabe, „Eta“ ausgesprochen). Er ist eine Verhältniszahl ohne Maßeinheit und wird in Prozent, %, angegeben. Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis zwischen abgegebener und zugeführter Leistung. Das Ergebnis der Wirkungsgradberechnung ist immer kleiner als 1, also kleiner als 100 %.

$$\eta = \frac{P_{AB}}{P_{zu}}$$

$$P_{zu} = P_{AB} + P_V$$

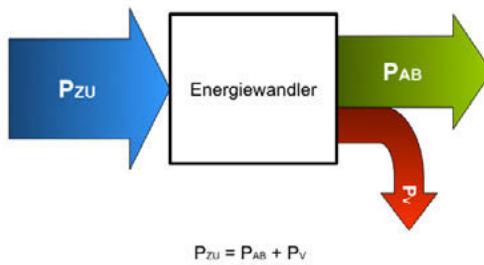
$\eta$  Wirkungsgrad, ohne Einheit

$P_{AB}$  abgegebene Nutzleistung in Watt, W

$P_{zu}$  zugeführte Leistung in Watt, W

$P_V$  Verlustleistung in Watt, W

Ergibt die Rechnung etwa  $\eta = 0,85$ , bedeutet dies, dass 85 % der zugeführten Leistung als abgegebene Nutzleistung zur Verfügung stehen. Die Verlustleistung beträgt demnach 15 %.



**Bild 1.60:** Von der zugeführten Leistung  $P_{ZU}$  geht ein Teil als Verlustleistung  $P_V$  verloren.

Elektronische Bauteile sind die Grundkomponenten eines jeden Stromkreises und als solche wesentliche Bestandteile von elektrischen Schaltungen. Dieses Kapitel stellt die wichtigsten vor.

## Widerstand

Der elektrische Widerstand zählt zu den einfachsten elektronischen Bauteilen. Widerstände sind zylindrische Körper mit je einem Anschlussdraht an den beiden Stirnseiten. Je nach Anforderung gibt es Widerstände in zahlreichen Widerstandsgrößen, womit ihr Ohm-Wert gemeint ist. Die Bandbreite reicht vom Milliohm- bis weit in den Megaohm-Bereich.

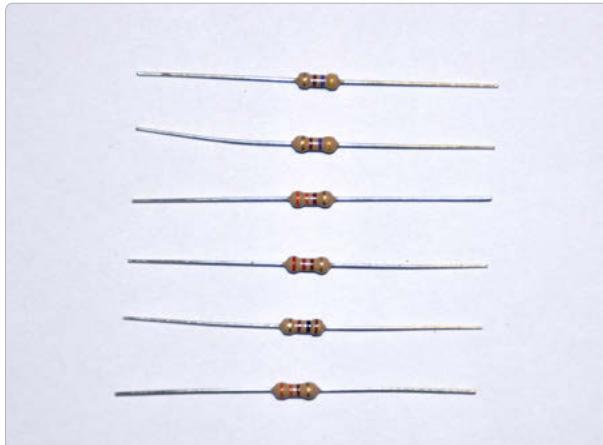
Widerstände gibt es zudem in mehreren Baugrößen, die sich an ihrer Verlustleistung orientiert. Schaltungen, in denen geringe Ströme fließen, erfordern demnach geringere Baugrößen als solche für größere Ströme. Die einzelnen Widerstandswerte werden in verschiedenen Baugrößen angeboten. Übliche Leistungsstufen für den Einsatz in elektronischen Schaltungen sind 0,125 W, 0,25 W, 0,5 W, 1 W und 2 W. Daneben gibt es Hochleistungswiderstände, die für bis etwa 140 W geeignet sind. Die zulässigen Leistungen variieren etwas zwischen den Widerstandsherstellern.

### Farocode für Kohleschichtwiderstände

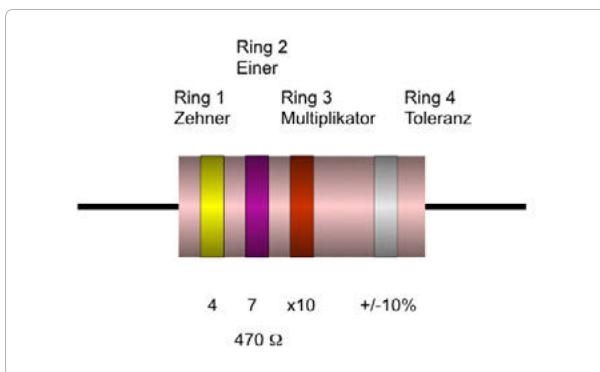
In der Regel begegnen uns in elektronischen Schaltungen Kohleschichtwiderstände. Ihre Beschriftung besteht aus einem aus drei Ringen zusammengesetzten Farocode. Er ist vom linken Rand zur Mitte hin zu lesen. Ein vierter, etwas abgesetzter Ring gibt die Bauteiltoleranz an. Dabei sind für Standardwiderstände Toleranzen von 5 (Gold) und 10 % (Silber) üblich. Kleinere Toleranzen kommen nur bei Präzisionswiderständen vor. Der Widerstandswert wird in Ohm ( $\Omega$ ) angegeben.

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 Multiplikator	Ring 4 Toleranz
<b>Schwarz</b>		0	1	
<b>Braun</b>	1	1	10	1%
<b>Rot</b>	2	2	100	2%
<b>Orange</b>	3	3	1.000	
<b>Gelb</b>	4	4	10.000	
<b>Grün</b>	5	5	100.000	0,5%
<b>Blau</b>	6	6	1.000.000	
<b>Violett</b>	7	7	10.000.000	
<b>Grau</b>	8	8		
<b>Weiß</b>	9	9		
<b>Gold</b>			0,1	5%
<b>Silber</b>			0,01	10%

**Bild 2.1:** Widerstandsfarocode für Kohleschichtwiderstände.



**Bild 2.2:** Widerstände lassen sich nach ihrem Farbcode unterscheiden.



**Bild 2.3:** Die Grafik veranschaulicht, wie der Farbcode eines Kohleschichtwiderstands zu lesen ist.

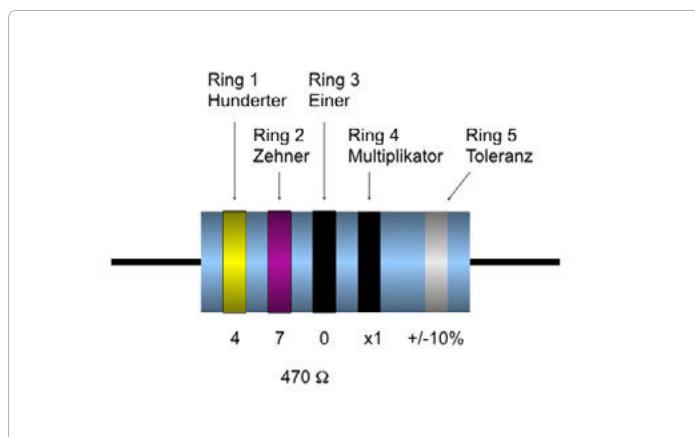
## Farbcode für Metallschichtwiderstände

Metallschichtwiderstände mit einer Beschriftung aus fünf Ringen sind in unseren Breiten ungleich seltener anzutreffen. Mitunter findet man sie in exotischen Geräten, aber auch in Elektronikbausätzen.

Ihre Farcodierung ist ebenfalls von links Richtung Mitte zu lesen. Der erste Ring gibt die Hunderter-Stelle, der zweite die Zehner-Stelle und der dritte Ring die Einer-Werte an. Der vierte Ring steht für den Multiplikator, also jene Zahl, mit der der von den ersten drei Ringen abgelesene Wert zu multiplizieren ist. Ein fünfter, etwas abgesetzter Ring gibt den Toleranzwert an. Die Reihenfolge der Farben ist dieselbe wie beim Farbcode für Kohleschichtwiderstände.

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 3. Ziffer	Ring 4 Multiplikator	Ring 5 Toleranz
<b>Schwarz</b>	0	0	0	1	
<b>Braun</b>	1	1	1	10	1%
<b>Rot</b>	2	2	2	100	2%
<b>Orange</b>	3	3	3	1.000	
<b>Gelb</b>	4	4	4	10.000	
<b>Grün</b>	5	5	5	100.000	0,5%
<b>Blau</b>	6	6	6	1.000.000	0,25%
<b>Violett</b>	7	7	7	10.000.000	0,1%
<b>Grau</b>	8	8	8		
<b>Weiß</b>	9	9	9		
<b>Gold</b>				0,1	5%
<b>Silber</b>				0,01	10%

**Bild 2.4:** Widerstandsfarbcodes für Metallschichtwiderstände.



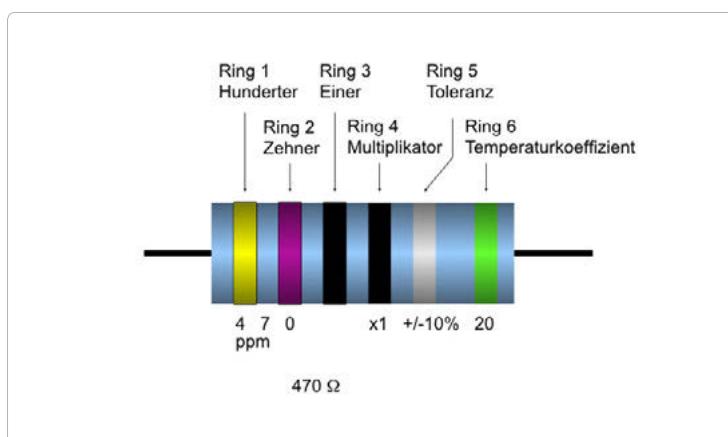
**Bild 2.5:** Die Grafik veranschaulicht, wie der Farbcode eines Metallschichtwiderstands zu lesen ist.

### Metallschichtwiderstände mit sechs Ringen

Bei Metallschichtwiderst nden mit sechs Ringen wird Zusätzlich die Temperaturabhängigkeit des Widerstands angegeben. Die Reihenfolge der ersten fünf Ringe entspricht der der F nfringwiderst nde, jedoch mit dem Unterschied, dass der abgesetzte sechste Ring die Temperaturabhängigkeit anzeigt. Ihre Wertigkeit wird in ppm (*parts per million*), also in millionstel Teilen je Grad Kelvin, angegeben. Damit ändert ein Widerstand mit 50 ppm seine Wertigkeit pro Grad Temperaturänderung um 0,005 %.

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 3. Ziffer	Ring 4 Multiplikator	Ring 5 Toleranz	Ring 6 Temperatur- koeffizient
<b>Schwarz</b>	0	0	0		1	200 ppm/K
<b>Braun</b>	1	1	1		10	100 ppm/K
<b>Rot</b>	2	2	2		100	2% ppm/K
<b>Orange</b>	3	3	3		1.000	15 ppm/K
<b>Gelb</b>	4	4	4		10.000	25 ppm/K
<b>Grün</b>	5	5	5		100.000	20 ppm/K
<b>Blau</b>	6	6	6		1.000.000	0,25% ppm/K
<b>Violett</b>	7	7	7		10.000.000	0,1% ppm/K
<b>Grau</b>	8	8	8			1 ppm/K
<b>Weiß</b>	9	9	9			
<b>Gold</b>					0,1	5% ppm/K
<b>Silber</b>					0,01	10% ppm/K

**Bild 2.6:** Widerstandsfarbcodes für Metallschichtwiderstände mit zusätzlichem sechstem Ring.



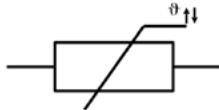
**Bild 2.7:** Die Grafik veranschaulicht, wie der Farbcodes eines Metallschichtwiderstands mit zusätzlichem sechstem Ring zu lesen ist.

## Temperaturabhängige Widerstände

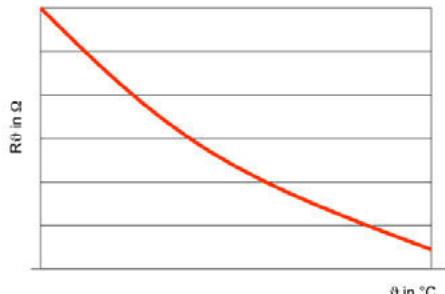
Beinahe alle elektronischen Bauteile verändern ihren Widerstand bei Temperaturänderung, etwa bis sie ihre Betriebstemperatur erreicht haben. Gewöhnlich steigt dann der Widerstandswert etwas an. Daneben gibt es auch Halbleitermaterialien, die ihren Widerstand bei Temperaturänderung extrem ändern. Sie werden zum Beispiel als Temperatursensoren verwendet.

### Heißleiterwiderstand

Der Heißleiterwiderstand ist auch als NTC-Widerstand bekannt. NTC steht für *Negative Temperature Coefficient*, also negativer Temperaturkoeffizient, was bedeutet, dass sein Widerstandswert mit zunehmender Temperatur abnimmt. Bei kalten Temperaturen hat er einen hohen Widerstand.



**Bild 2.8:** Schaltzeichen eines Heißleiters (NTC-Widerstand).



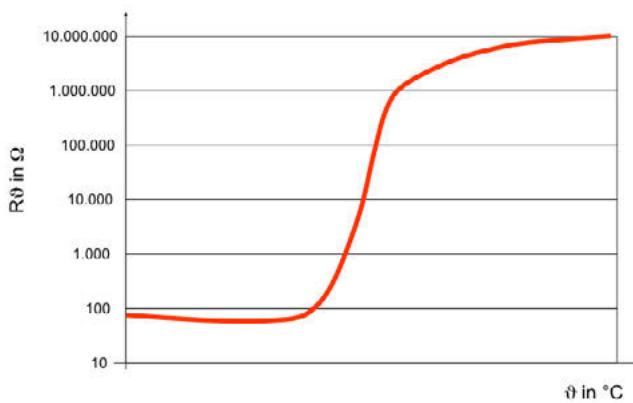
**Bild 2.9:** Die Kennlinie des NTC-Widerstands verrät, dass er mit zunehmender Erwärmung immer besser leitet.

### Kaltleiterwiderstand

Der Kaltleiterwiderstand ist auch als PTC-Widerstand bekannt. PTC steht für *Positive Temperature Coefficient*, also positiver Temperaturkoeffizient. Zu den Kaltleitern zählen alle Metalle. Sie leiten Strom bei kalten Temperaturen besser als bei warmen, wobei dieser Effekt nur unwesentlich ausgeprägt ist. PTC-Widerstände sind aus Halbleiterwerkstoffen hergestellt. Werden sie über eine bestimmte Schwellentemperatur erwärmt, steigt ihr Widerstandswert sprunghaft an. Er kann um das Tausendfache ansteigen.



**Bild 2.10:** Schaltzeichen eines Kaltleiters (PTC-Widerstand).



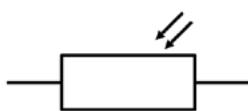
**Bild 2.11:** Wird ein PTC-Widerstand erwärmt, steigt sein Widerstand ab einer gewissen Temperatur sprunghaft an.

## Veränderliche Widerstände

### Fotowiderstand

Der Fotowiderstand wird auch als LDR (*Light Dependent Resistor*) bezeichnet. Er ist ein lichtempfindliches Bauelement. Je mehr Licht auf seine Oberfläche trifft, umso geringer wird sein elektrischer Widerstand. Beim LDR-Widerstand unterscheidet man zwischen Hell- und Dunkelwiderstand. Der Hellwiderstand beträgt bei rund 1.000 Lux, das entspricht etwa der Helligkeit in einem TV-Studio, rund  $100 \Omega$  bis  $2 \text{ k}\Omega$ . Der Widerstandswert eines Fotowiderstands bei Dunkelheit, der sogenannte Dunkelwiderstand, liegt typischerweise im Bereich zwischen  $1 \text{ M}\Omega$  und  $100 \text{ M}\Omega$ . Fotowiderstände sind relativ träge. Besonders im Dunkelbereich reagieren sie auf Helligkeitsänderungen mitunter erst nach mehreren Sekunden. In heller Umgebung reagieren Fotowiderstände innerhalb weniger Millisekunden.

Fotowiderstände finden unter anderem in Dämmerungsschaltern und Belichtungsmessern von Kameras Anwendung.



**Bild 2.12:** Schaltzeichen eines Fotowiderstands.

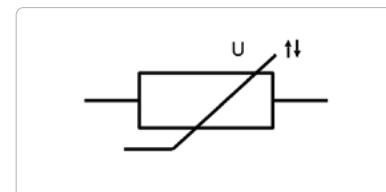
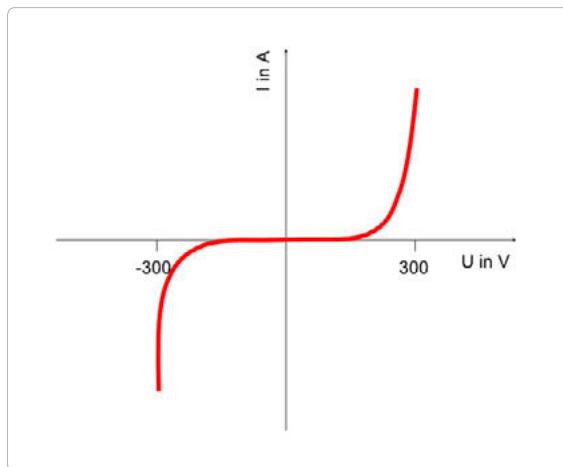


**Bild 2.13:** Fotowiderstände ändern ihren Widerstandswert mit der Lichthelligkeit.

### Varistor

Der Varistor, kurz VDR (*Voltage Dependend Resistor*), ist ein spannungsabhängiger Widerstand. Bei angelegter geringer Spannung bis nahe 300 V hat der Varistor einen großen Widerstand. Bei höheren Spannungen verringert sich sein Widerstandswert erheblich.

Varistoren arbeiten in einem Spannungsbereich, der weit über dem liegt, was in der Hobbyelektronik zum Einsatz kommt. Daher sind sie in solchen elektronischen Schaltungen auch kaum anzutreffen. Verwendung finden sie als Überspannungsschutz für empfindliche elektronische Geräte wie PCs. Sie schützen vor möglichen Überspannungen, die etwa im Rahmen eines Blitzeneinschlags kurzzeitig auftreten können.



**Bild 2.14:** Schaltzeichen eines Varistors.

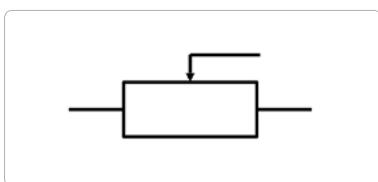
**Bild 2.15:** Typische Kennlinie eines Varistors. Sie zeigt, dass der Widerstand ab etwa 300 V sprunghaft ansteigt.

## Regelbare Widerstände

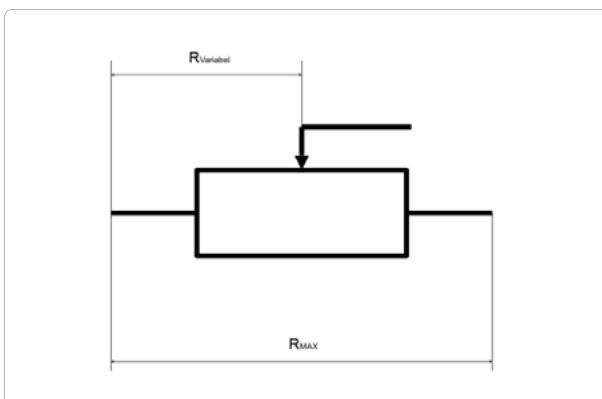
Widerstände haben nicht nur feste Widerstandswerte wie etwa solche, die üblicherweise in Schaltungen verbaut sind. Des Weiteren beschränken sie sich nicht auf Varianten, die ihren Widerstand aufgrund von Witterungseinflüssen, wie Helligkeit und Temperatur, verändern. Sehr verbreitet sind auch regelbare Widerstände, die wir manuell verändern, entweder per Schieberegler oder Drehknopf. Beispiele dafür sind Lautstärkeregler.

### Potenziometer

Das Potenziometer erlaubt das Einstellen des Widerstandswerts per Drehknopf oder Schieberegler. Jedes Potenziometer besitzt drei Anschlüsse. Über die beiden äußeren gibt das Potenziometer den vollen Widerstandswert ab, wodurch es, so betrieben, als herkömmlicher Widerstand wirkt. Über den mittleren Anschluss steht der aktuell eingestellte Widerstandswert zur Verfügung. Er bewegt sich zwischen  $0\ \Omega$  und dem Widerstandsmaximalwert des Potenziometers.



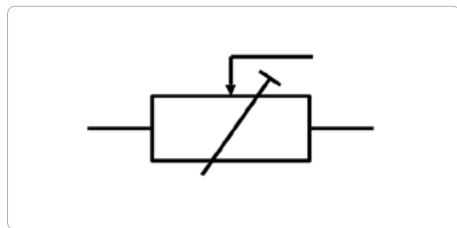
**Bild 2.16:** Schaltzeichen eines Potenziometers.



**Bild 2.17:** Die Grafik zeigt, welche Widerstandswerte zwischen den einzelnen Anschlüssen bereitstehen.

### Trimmwiderstand

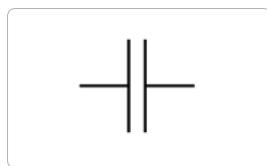
Ein Trimmwiderstand ist ebenfalls ein Potenziometer, nur mit dem Unterschied, dass sich bei ihm der Widerstandswert nur per Schraubendreher anpassen lässt. Allerdings sind sie nicht dafür vorgesehen, dass der Widerstandswert laufend verändert wird, wie man es etwa vom Lautstärkeregler eines Radios gewohnt ist. Trimmwiderstände sind zudem kleiner und üblicherweise fest in Schaltungen verbaut, sodass sie nicht von außen zugänglich sind.



**Bild 2.18:** Schaltzeichen eines Trimmwiderstands.

### Kondensator

Der Kondensator besteht aus zwei parallelen elektrisch leitenden Platten. Sie werden Elektroden genannt und sind zum Beispiel aus dünner Metallfolie ausgeführt. Zwischen den Elektroden befindet sich ein Isolierstoff, das Dielektrikum.



**Bild 2.19:** Schaltzeichen eines Kondensators.

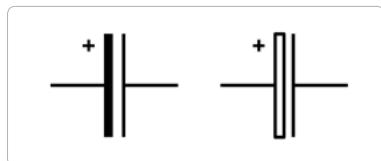
### Kondensatortypen

Kondensatoren lassen sich in zwei übergeordnete Arten einteilen: in ungepolte und gepolte Kondensatoren.

- **Ungepolte Kondensatoren** – Zu den ungepolten Kondensatoren zählen unter anderem Folien- und Keramikkondensatoren. Ihnen gemeinsam ist, dass ihre beiden Anschlüsse nicht definiert sind und sie so beliebig in eine Schaltung eingebaut werden können.
- **Gepolte Kondensatoren (Elektrolytkondensatoren)** – Elektrolytkondensatoren sind auch als Elkos bekannt. Bei ihnen ist die Polung der beiden Anschlüsse genau festgelegt, wobei die negative Kathode mit einem Minuszeichen an der entsprechenden Gehäuseseite kennlich gemacht ist. Ferner ist die Polung in Schaltplänen und auch auf vorgedruckten Platinen angegeben, wobei hier anders als auf gepolten Kondensatoren, der Pluspol eingezzeichnet ist.

Je nach Bauart ist die Polung von Elektrolytkondensatoren auch auf weitere Arten angegeben, so etwa bei radialen Kondensatoren mit beiden Anschlussdrähten an einer Seite. Bei ihnen besitzt der Pluspol einen längeren Draht, was sich so jedoch nur bei noch nicht eingebauten Kondensatoren erkennen lässt. Axiale Elektrolytkondensatoren besitzen an beiden Seiten je einen Anschlussdraht. Bei ihnen ist die Plusseite mit einer Kerbe rund um das Gehäuse gekennzeichnet.

Wird ein Elektrolytkondensator verkehrt herum in eine Schaltung eingebaut, führt das zu einem erhöhten Stromfluss, der den Kondensator unzulässig hoch erhitzt. Dabei verdampft in seinem Inneren der Elektrolyt, wodurch sich wiederum ein Druck aufbaut. Dieser führt zur Explosion des Elkos, was nicht nur für Gestank sorgt, sondern auch die Schaltung beschädigen kann. Bei senkrecht eingebauten Elektrolytkondensatoren ist aus diesem Grund an der Oberseite eine Sollbruchstelle vorgesehen. Sie ist als kreuzförmige Einkerbung zu erkennen.



**Bild 2.20:** Schaltzeichen eines Elektrolytkondensators. Links: neue Darstellungsvariante, rechts: ältere Darstellungsvariante.



**Bild 2.21:** Der Pluspol eines Elektrolytkondensators besitzt einen längeren Anschlussdraht.



**Bild 2.22:** Zuverlässiger ist die Kennzeichnung des Minuspols direkt am Gehäuse.

### ACHTUNG BEI GELADENEN KONDENSATOREN!

Geladene Kondensatoren behalten ihre Energie für sehr lange Zeit. Ihre Energiemenge ist selbst bei kleineren Kondensatoren, wie sie in Elektronikschaltungen durchaus üblich sind, nicht zu unterschätzen. Berührt man die Anschlüsse eines geladenen Kondensators, können über den menschlichen Körper deutlich spürbare Ströme zum Fließen kommen. Bei großen Kondensatoren können die Ströme sogar so stark sein, dass sie bei Berührung zum Tod führen!

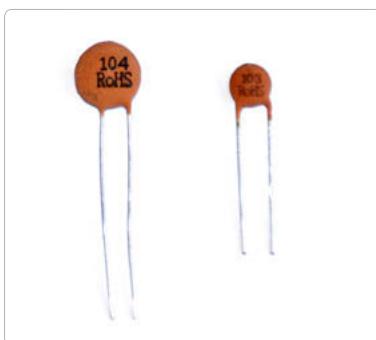
Deshalb ist grundsätzlich jeder Kondensator als geladen zu betrachten – egal ob er eben aus einer Schaltung ausgelötet wurde oder seit Jahren in der Teilekiste der Werkstatt liegt. Bevor seine Anschlüsse berührt werden, sind sie für einige Sekunden bis Minuten über einen Widerstand zu entladen, indem man beispielsweise seine beiden Anschlüsse an jene des Kondensators hält.

## Beschriftung von Kondensatoren

Anders als bei Widerständen gibt es bei der Kennzeichnung von Kondensatoren keinen einheitlichen Standard. Zum Teil sind die Kapazitätswerte direkt ablesbar aufgedruckt, bei besonders kleinen Gehäusen kommen in der Regel Zahlencodes zum Einsatz, etwa bei Scheiben-Keramikkondensatoren. Auf ihnen kommt ein dreistelliger Code ohne Einheitenangabe zum Einsatz. Die ersten beiden Stellen geben den Kapazitätswert in Picofarad an, die dritte Stelle die Anzahl der Nullen dahinter. 103 bedeutet also 10 mit drei Nullen dahinter: 10.000 pF. 104 steht demnach für 100.000 pF.



**Bild 2.23:** Bei diesem Elektrolytkondensator ist die Kapazität in Klartext (22  $\mu$ F) aufgedruckt.



**Bild 2.24:** Auf diesen Keramikkondensatoren ist die Kapazität mit einem dreistelligen Zahlencode angegeben.

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 Multiplikator	Ring 4 Toleranz bei $C < 10$ pF	Ring 5 Toleranz bei $C > 10$ pF	Ring 6 Betriebs- Spannung
<b>Schwarz</b>	0	0	$\times 1$ pF		20 %	
<b>Braun</b>	1	1	$\times 10$ pF	0,1 pF	1 %	100 V
<b>Rot</b>	2	2	$\times 100$ pF	0,25 pF	2 %	200 V
<b>Orange</b>	3	3	$\times 1$ nF			300 V
<b>Gelb</b>	4	4	$\times 10$ nF			400 V
<b>Grün</b>	5	5	$\times 100$ nF	0,5 %	5 %	500 V
<b>Blau</b>	6	6				600 V
<b>Violett</b>	7	7				700 V
<b>Grau</b>	8	8	$\times 0,01$ pF			800 V
<b>Weiß</b>	9	9	$\times 0,1$ pF	1 pF	10 %	900 V
<b>Gold</b>						1000 V
<b>Silber</b>						2000 V

**Bild 2.25:** Die Tabelle zeigt den Farbcode für Kondensatoren. Er kommt eher selten zum Einsatz.

Eine weitere Variante ist, dass die Kapazität als Zahlenwert aufgedruckt ist, bei dem das Komma durch die Größenangabe des Farad-Werts ersetzt wurde, wobei etwa anstelle von nF für Nanofarad nur „n“ und für Picofarad nur „p“ verwendet wird. 3n9 steht zum Beispiel für 3,9 Nanofarad.

Des Weiteren können auch Kondensatoren mit einem Farbcode versehen sein. Dabei sind den Zahlen 0 bis 9 die gleichen Farben wie beim Widerstandsfarbcode zugeordnet. Der Kondensatorfarbcode besteht aus vier oder fünf Ringen und variiert je nach Hersteller. Dabei ergeben sich die Unterschiede ab dem vierten Ring, die die Toleranz und die Betriebsspannung angeben.

## Diode

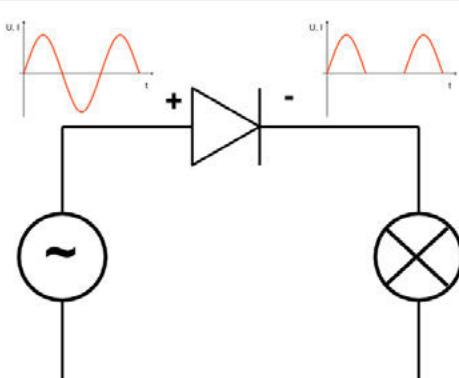
In ihrer Bauform ähnelt eine Diode einem Widerstand. Auch sie besteht aus einem zylindrischen Körper, aus dessen beiden Enden je ein Anschlussdraht ragt. Der Ring an einer Seite des Gehäuses markiert den Minuspol und somit die Kathode. Je nach Gehäusefarbe ist er in Schwarz oder Weiß ausgeführt.



**Bild 2.26:** Die Markierung an der linken Seite der Diode kennzeichnet den Minuspol, der auch Kathode genannt wird.

## Einfache Gleichrichterschaltung

Bei der einfachen Gleichrichterschaltung kommt nur eine Diode zum Einsatz. Sie lässt lediglich die positive Halbwelle passieren und sperrt die negative, womit die Hälfte der Energie für den Verbraucher verloren geht. Die so entstandene pulsierende Gleichspannung ist zudem etwa für Lampen wenig geeignet, da sie für stark flackern des Licht sorgt.



**Bild 2.27:** Mit nur einer Diode lässt sich Wechsel- zwar in Gleichstrom umwandeln, allerdings geht die Hälfte der Energie verloren.

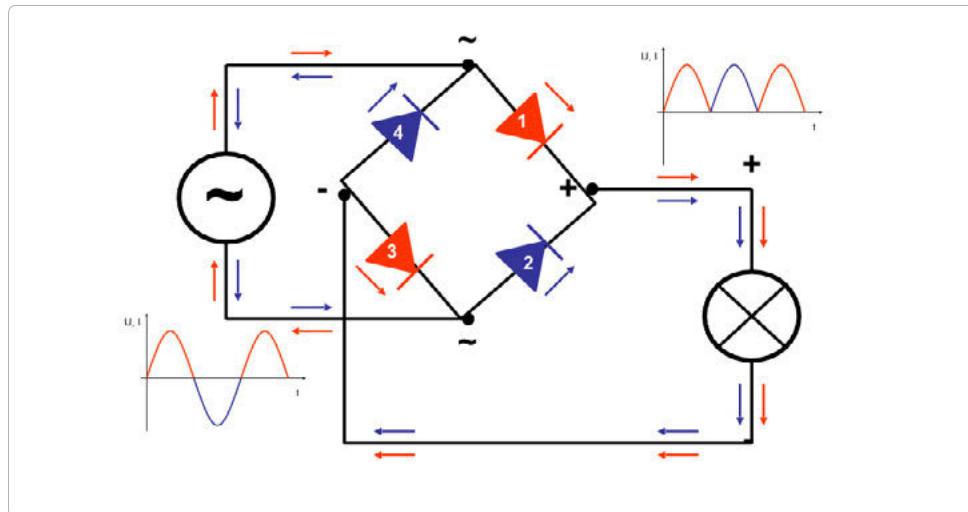
## Brückengleichrichter

Der Brückengleichrichter besteht aus vier Dioden.

Während der positiven Halbwelle fließt der Strom zunächst von der Wechselstromquelle zu Diode 1. Nachdem er diese passiert hat, gelangt er zum Pluspol des Gleichstromverbrauchers und fließt durch diesen zu dessen Minuspol. Anschließend nimmt der Strom den Weg über Diode 3 zurück zur Wechselstromquelle.

Während der negativen Halbwelle fließt der Strom zunächst von der Wechselstromquelle zu Diode 2 und durch diese zum Pluspol des Gleichstromverbrauchers. Nachdem der Strom diesen durchflossen und dessen Minuspol erreicht hat, nimmt er anschließend den Weg über Diode 4 zurück zur Wechselstromquelle.

Auf diese Weise wird die negative Halbwelle des Wechselstroms in den positiven Bereich hochgeklappt, wodurch ein pulsierender Gleichstrom entsteht. Mit ihm können bereits für Gleichstrom vorgesehene Geräte betrieben werden.



**Bild 2.28:** Die Grafik zeigt die Funktionsweise eines Brückengleichrichters.

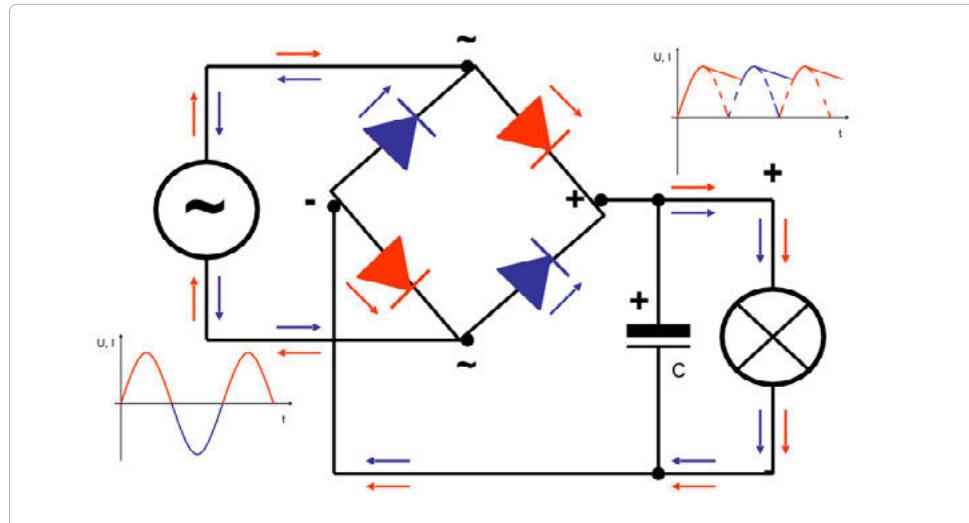
## Pulsierende Gleichspannung glätten

Die mit dem Brückengleichrichter erzeugte Gleichspannung schwankt entsprechend der Wechselspannungsfrequenz laufend zwischen 0 V und ihrer Maximalspannung. Sie ist stark pulsierend. Damit hat diese Gleichspannung kaum Ähnlichkeit mit der idealen Gleichspannung, wie sie ein Akku oder eine Batterie liefert.

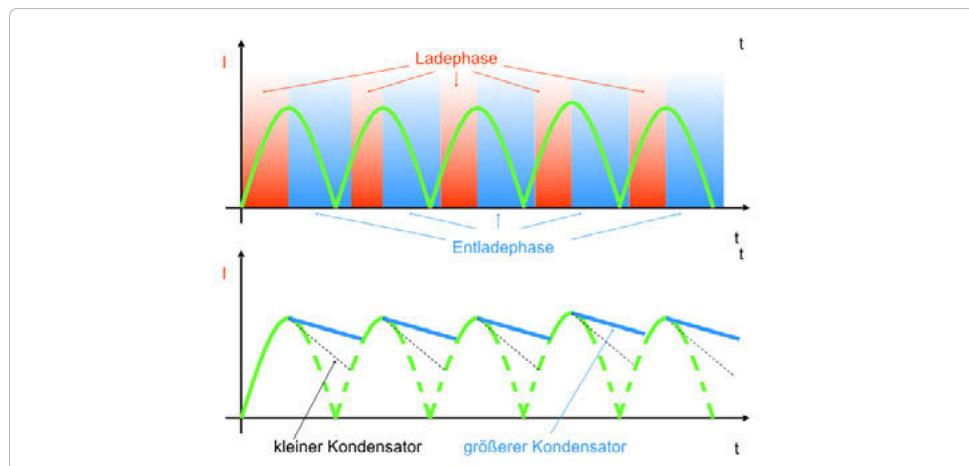
Hier sorgt ein parallel zum Gleichspannungsausgang des Gleichrichters geschalteter Kondensator für Abhilfe. Er dient zum Glätten dieser pulsierenden Spannung und wird aufgeladen, während sich der Strom im Verlauf einer Halbwelle von 0 bis zu seinem Maximum aufbaut.

Nach Überschreiten des Maximums nimmt die Stromstärke wieder ab. Gleichzeitig beginnt sich auch der Kondensator zu entladen, dessen Stromfluss sich zu dem der Energiequelle addiert. Der Entladevorgang des Kondensators dauert an, bis der ansteigende Ast der folgenden Halbwelle eine höhere Stromstärke als die vom Kondensator bereitgestellte liefert. Ab diesem Zeitpunkt wird der Kondensator wieder aufgeladen.

Eine absolut gerade Gleichstromkurve wird man mit dieser Methode nicht erreichen. Wie sehr man sich ihr jedoch anzunähern vermag, hängt davon ab, wie gut der Kondensator an die Schaltung angepasst wurde.



**Bild 2.29:** Wird die Brückengleichrichterschaltung um einen Kondensator am Gleichspannungsausgang ergänzt, lässt sich die stark pulsierende Gleichspannung glätten.

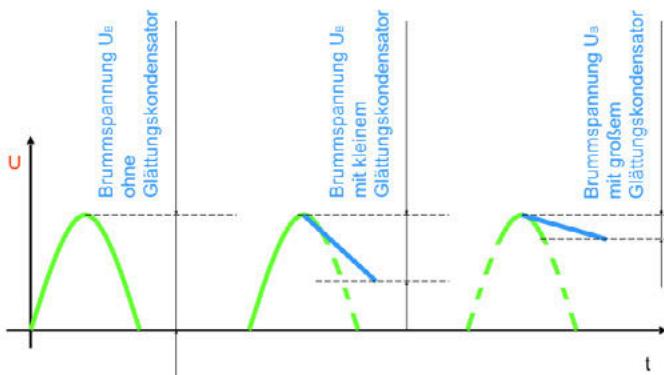


**Bild 2.30:** Nach Erreichen des Scheitelwerts beginnt sich der Kondensator zu entladen.

## Brummspannung

Die mittels Gleichrichter gewonnene Gleichspannung nennt man Brummspannung  $U_B$ . Sie schwankt zwischen 0 V und dem Spannungsmaximum. Sie führt etwa bei gleichstrombetriebenen Audiogeräten zu ungewollten Brummgeräuschen. Um diese zu minimieren, wird am Gleichstromausgang eines Gleichrichters ein Kondensator parallel geschaltet. Er wird Glättungskondensator genannt. Ohne ihn tritt die maximale Brummspannung auf. Je größer er bemessen wird, umso kleiner ist  $U_B$ . Je geringer die Brummspannung  $U_B$  ist, umso mehr nähert sich die per Gleichrichter gewonnene Gleichspannung einer idealen Gleichspannung.

Die Brummspannung  $U_B$  gibt somit die Restwelligkeit an. Wie hoch sie sein darf, wird von der Art des Verbrauchers bestimmt. Für den zuverlässigen Betrieb von LEDs muss  $U_B$  besonders gering sein.



**Bild 2.31:** Mit zunehmender Größe des Glättungskondensators wird die Brummspannung immer kleiner.

## Glättungskondensator berechnen

Die Größe des Glättungskondensators hängt von der im Gleichstromkreis fließenden Stromstärke sowie von der zur Verfügung stehenden Ladezeit und der Höhe der Brummspannung ab.

$$C = I \times (\Delta t / U_B)$$

C Kapazität des Glättungskondensators in Mikrofarad,  $\mu\text{F}$

I Ladestrom in Milliampere, mA

$\Delta t$  halbe Periodendauer in Millisekunden, ms

$U_B$  Brummspannung in Volt, V

Die Stromaufnahme I der Schaltung lässt sich mit dem ohmschen Gesetz berechnen. Fließt ein hoher Strom durch den Verbraucher, wird ein großer Kondensator benötigt.

Die halbe Periodendauer  $\Delta t$  entspricht beim bei uns üblichen 50-Hz-Wechselstrom 10 ms.

Aus der vorangegangenen Formel ergibt sich weiter:

$$U_B = \frac{I \times \Delta t}{C}$$

## Leuchtdiode

Die Leuchtdiode (LED, *Light Emitting Diode*) funktioniert nach demselben Prinzip wie eine normale Diode. Im Gegensatz zu dieser wandelt sie in Durchlassrichtung jedoch elektrische Energie in Licht um. Seit der Jahrtausendwende hat die Licht emittierende Diode (LED) einen enormen Entwicklungsschub erfahren. Früher war sie primär als Signalgeber, meist in den Farben Rot oder Grün, im Einsatz, etwa um an einem Ladegerät den Ladezustand des Akkus anzuzeigen. Heute gibt es LEDs in allen erdenklichen Farben und auch für weißes Licht. Außerdem sind sie in unterschiedlichen Größen und Formen erhältlich. Heute finden LEDs, abgesehen von Anwendungen in der Elektronik, unter anderem auch als Wohnraum- und Straßenbeleuchtung sowie in Fahrzeugscheinwerfern Verwendung.

LEDs zeichnen sich durch ihre hohe Lebensdauer aus. Sie leuchten bis zu einer Million Stunden am Stück, das entspricht mehr als 114 Jahren.

In der Elektronik sind LEDs mit einem Durchmesser von 5 mm am weitesten verbreitet. Daneben finden auch deutlich kleinere mit 3 mm Durchmesser Verwendung.



**Bild 2.32:** Verschiedenfarbige Leuchtdioden in der Standardgröße 5 mm.



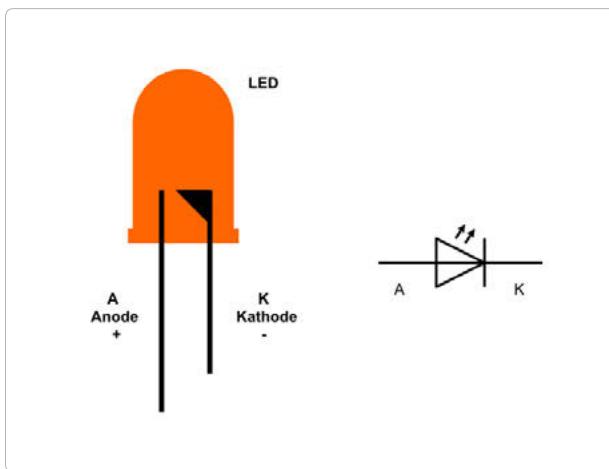
**Bild 2.33:** LED im Detail.

### Aufbau und Funktion

Eine LED besitzt zwei Anschlüsse. Die Anode, der Plusanschluss, ist mit einem etwas längeren Draht ausgeführt. Jener der Kathode, des Minusanschlusses, ist etwas kürzer. Die Kathode erkennt man auch an der dreieckigen Formgebung im Inneren der LED. Sie ist mit einem hauchdünnen Drähtchen mit der Anode verbunden.

Standard-LEDs beginnen ab einer Stromstärke von 8 bis 12 mA zu leuchten. Ihren optimalen Betriebspunkt haben sie bei einem Strom von etwa 15 mA erreicht. Die maximale Leuchtkraft liefern sie bei rund 20 mA, wobei der Helligkeitsunterschied zu 15 mA marginal ist. Die zulässige Betriebsspannung von LEDs wird einerseits vom Hersteller, andererseits von der Leuchtfarbe bestimmt. Bei den meisten Leuchtdioden liegt sie zwischen 1,6 und 2,2 V. Bei blauen LEDs kann sie bis zu rund 2,9 V betragen.

Während Standard-LEDs erst bei 8 bis 10 mA zu leuchten beginnen, tun dies Low-Current-LEDs bereits ab 2 mA, allerdings nur schwach. Ihre höchste Leuchtkraft entwickeln auch sie bei etwa 20 mA.



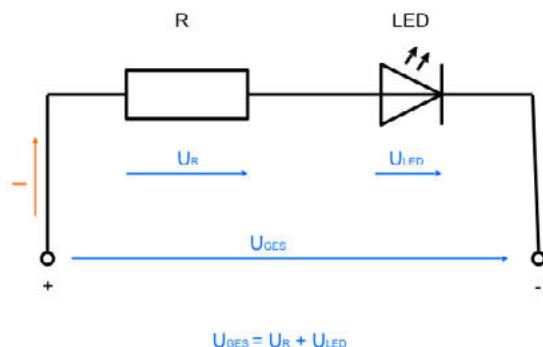
**Bild 2.34:** Aufbau, Anschlussbelegung und Schaltzeichen einer LED.

## LED-Vorwiderstand

Üblicherweise werden elektronische Schaltungen mit einer festen Betriebsspannung wie etwa 5, 9 oder 12 V betrieben. Das ist viel mehr, als viele elektronische Bauteile verkraften. Ein typisches Beispiel ist die Leuchtdiode. Je nach Typ ist sie nur für eine Spannung von 1,6 bis 2,5 V ausgelegt. Ohne vorgeschalteten Widerstand würde eine LED zum Beispiel an einer Spannung von 9 V sehr schnell zerstört.

Die Aufgabe des Vorwiderstands ist es, jenen Spannungsanteil, der für die LED zu hoch wäre, zu übernehmen. Man spricht auch von einer Spannungsteilerschaltung. Im speziellen Fall ist zur LED ein Widerstand in Reihe zu schalten. Der Widerstandswert hängt primär von der Höhe der an der Schaltung angelegten Spannung sowie von dem durch sie fließenden Strom ab. Einen allgemein gültigen Widerstandswert gibt es demnach nicht.

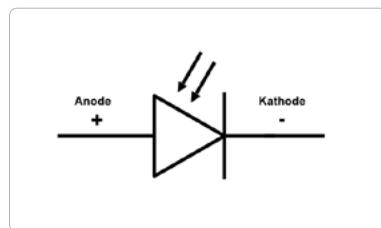
Soll etwa eine LED an einer 9-V-Batterie betrieben werden, sollte der Vorwiderstand mindestens  $330\ \Omega$  haben. Die LED kann aber auch mit größeren Vorwiderständen wie etwa  $470\ \Omega$  oder  $1\ k\Omega$  betrieben werden. Je größer der Vorwiderstand ist, umso weniger hell leuchtet die LED.



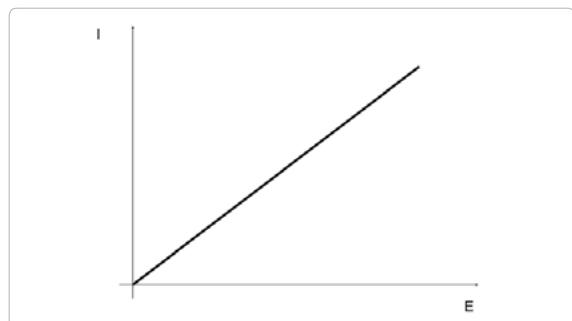
**Bild 2.35:** Eine LED ist nur für Spannungen bis etwa 2,5 V ausgelegt und darf an höheren Spannungen nur mit Vorwiderstand betrieben werden.

## Fotodiode

Genau so wie bei einem lichtempfindlichen Widerstand verändert sich auch bei der Fotodiode die Leitfähigkeit mit der Intensität der auf sie fallenden Beleuchtung. Im Dunkeln verhält sich eine Fotodiode wie eine normale Diode. Um mit ihr die Lichtheiligkeit messen zu können, wird sie in Sperrrichtung betrieben. Dabei kommt nur ein sehr geringer Sperrstrom  $I_s$  im  $\mu\text{A}$ -Bereich zum Fließen. Er steigt proportional, also gleichmäßig, mit der Intensität des Lichts an.

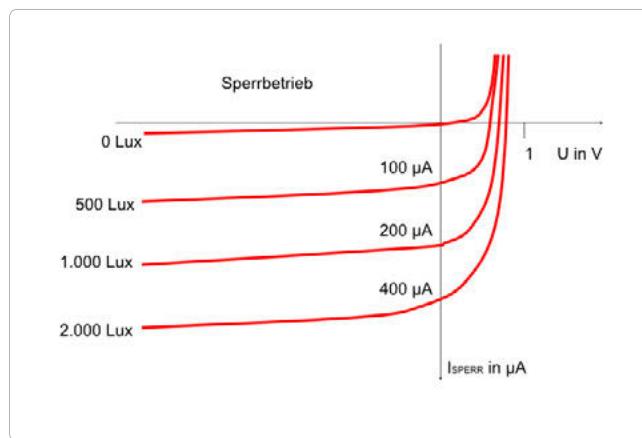


**Bild 2.36:** Schaltzeichen einer Fotodiode.

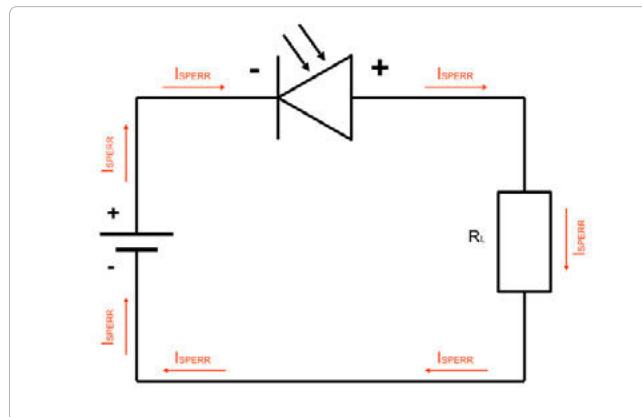


**Bild 2.37:** Der Sperrstrom einer Photodiode steigt proportional mit der Helligkeit.

Fotodioden reagieren äußerst schnell auf Helligkeitsänderungen. Sie eignen sich besonders gut für die Lichtmessung sowie für Lichtschranken und Fernsteuerungen mit Infrarotstrahlung.



**Bild 2.38:** Je heller es ist, umso größer ist der durch die Photodiode fließende Sperrstrom.



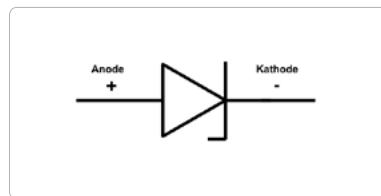
**Bild 2.39:** Der Fotowiderstand wird in Sperrrichtung betrieben.

## Z-Diode

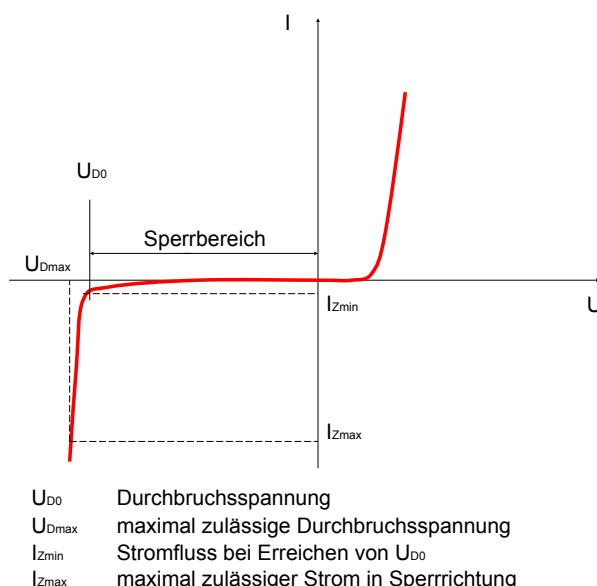
Die Z-Diode ist eine Siliziumhalbleiterdiode. Sie wird in Sperrrichtung betrieben, bei der der sogenannte Zener- oder der Lawinen-Effekt auftritt. Ab einer bestimmten Sperrspannung – man spricht auch von der Durchbruchsspannung – beginnt die Z-Diode schlagartig, den Strom zu leiten. Besitzt sie etwa eine Durchlassspannung von 5 V, beginnt Strom erst ab dieser Spannung in Sperrrichtung zu fließen. Steigt die Spannung weiter an, nimmt die Stromstärke rasch zu.

Die Höhe der Durchbruchsspannung lässt sich bei der Produktion der Z-Dioden im Bereich zwischen 2 und 600 V festlegen. Auch der maximal zulässige Strom in Sperrrichtung ist begrenzt und variiert je nach Typ. In Durchlassrichtung wirkt die Z-Diode wie eine herkömmliche Diode.

Z-Dioden kommen zum Stabilisieren pulsierender Gleichspannungen und zum Einstellen einer Bezugsspannung zum Einsatz.



**Bild 2.40:** Schaltbild einer Z-Diode.



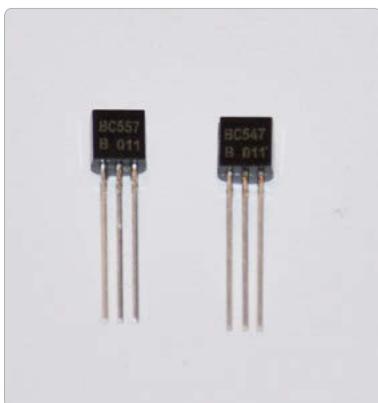
**Bild 2.41:** Die Grafik veranschaulicht den Stromfluss einer Z-Diode in Sperrrichtung.

### DER KLEINE UNTERSCHIED

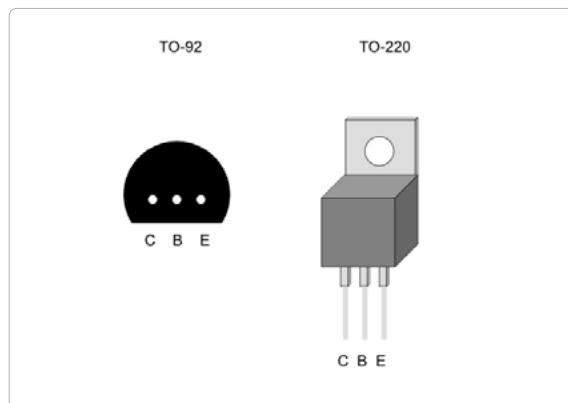
Z-Diode ist der Sammelbegriff für Zener- und Avalanche-Dioden. Ihre Leitfähigkeit in Sperrrichtung beruht jedoch auf unterschiedlichen Effekten. Von einer Zener-Diode spricht man, wenn die Sperrspannung unterhalb von 5 V auftritt. Ab 6,5 V tritt der Lawinen-Effekt auf, der der Avalanche-Diode zuzuschreiben ist. Zwischen 5 und 6,5 V treten beide Effekte auf.

## Transistor

Transistoren sind aktive Halbleiterbauelemente mit verstärkender Wirkung. Sie werden ausschließlich an Gleichspannung betrieben. Üblich sind bipolare Transistoren, die meist aus Silizium hergestellt werden, wobei drei Halbleiterschichten übereinander angeordnet werden. Hierbei wechseln sich n- und p-Leiter ab.



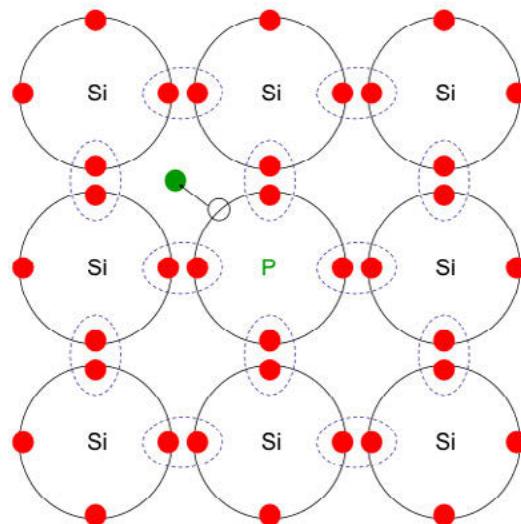
**Bild 2.43:** Transistoren haben drei Anschlüsse.



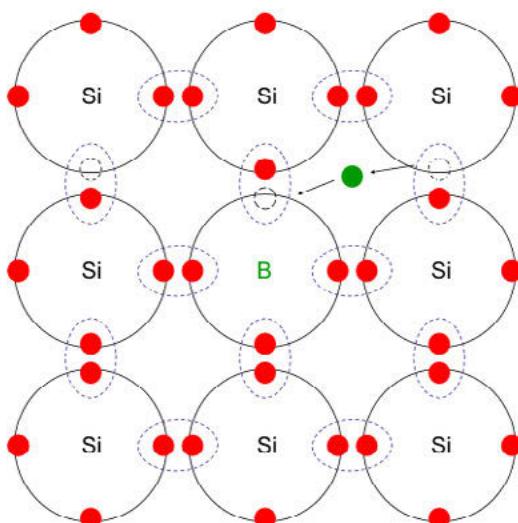
**Bild 2.42:** Bezeichnung der Anschlussdrähte von Transistoren der Gehäuseformen TO-92 und TO-220.

### n- und p-Leiter

Jene Elektronen, die ein Atom in seiner äußersten Schale besitzt, nennt man Valenzelektronen. Davon besitzt ein Siliziumatom vier Stück. Es ist somit vierwertig. Für einen Stromfluss braucht es freie Elektronen, also solche, die nicht fest mit Atomen verbunden sind. Deshalb werden die einzelnen Schichten eines Transistors mit anderen Materialien verunreinigt. Diesen Vorgang nennt man dotieren. Um eine n-Schicht zu erhalten, wird Silizium mit einem fünfwertigen Element, üblicherweise Phosphor, verunreinigt, wodurch ein Elektronenüberschuss entsteht. Um eine p-Schicht zu erhalten, wird dreiwertiges Bor zugefügt. Es sorgt für einen Elektronenmangel. Auf diese Weise wird die Leitfähigkeit von Silizium um den Faktor  $10^8$ , also um das Einhundertmillionenfache, erhöht.



**Bild 2.44:** n-Dotierung: Wird vierwertiges Silizium mit fünfwertigem Phosphor dotiert, besitzt die Anordnung ein Elektron zu viel.



**Bild 2.45:** p-Dotierung: Die freie Stelle an der äußereren Hülle des Bor-Atoms wird von äußereren Elektronen benachbarter Atome aufgefüllt. Diese Leerstellen wandern scheinbar gegen den Elektronenfluss.

## Ströme durch den Transistor

Transistoren besitzen drei Anschlussdrähte. Diese werden Basis, Emitter und Kollektor genannt. Im Schaltplan werden sie mit B, E und C angegeben. Durch einen Transistor fließen zwei voneinander unabhängige Stromkreise. Zwischen Basis und Emitter fließt der Basisstrom  $I_B$ . Er erreicht nur geringe Stromstärken und übernimmt die Aufgabe eines Steuerstromkreises. Er wirkt quasi als Schalter, der den Transistor einschaltet und zwischen seinem Kollektor- und Emitteranschluss das Fließen eines hohen Kollektorstroms  $I_C$  zulässt. Diesen Effekt nennt man Stromverstärkung.

Der Stromverstärkungsfaktor ist eines der grundlegenden Merkmale eines jeden Transistors und ein wichtiges Auswahlkriterium. Er wird üblicherweise neben dem Kollektorstrom angegeben. Damit ist nicht nur die maximale Stromstärke zwischen Kollektor und Emitter festgelegt, sondern auch, mit welchem Basisstrom zwischen Basis und Emitter er zum Fließen gebracht wird.

Die Stromverstärkung  $V$  errechnet sich aus dem Verhältnis zwischen Kollektor- und Basisstrom:

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

Der Basisstrom lässt sich entsprechend mit folgender Formel berechnen:

$$I_B = \frac{I_C}{B}$$

B Verstärkungsfaktor, ohne Einheit

$I_B$  Basisstrom, in Milliampere, mA

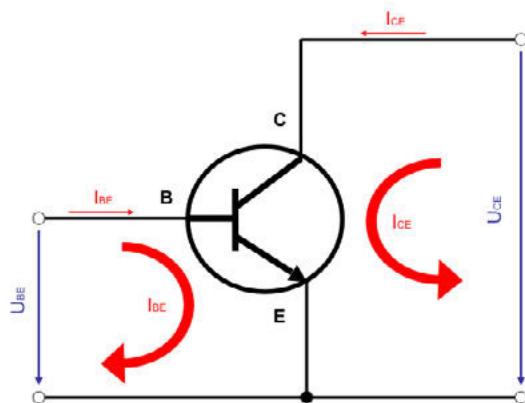
$I_C$  Kollektorstrom, in Milliampere, mA

### TRANSISTOREN ZUSAMMENGEFASST

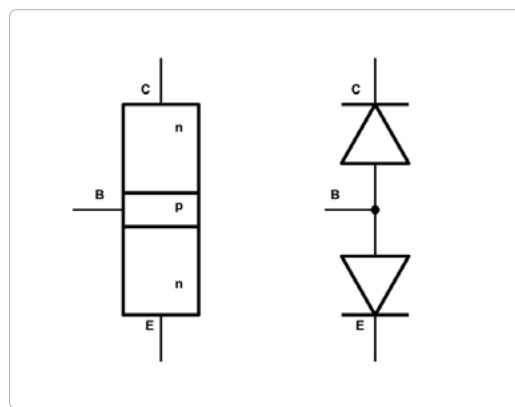
- Transistoren sind aktive Halbleiterbauelemente mit verstärkender Wirkung.
- Mit einem Transistor kann mit einem kleinen Steuerstromkreis ein bis zu 10.000-mal größerer Arbeitsstromkreis gesteuert werden.
- Für den Betrieb sind Transistoren immer an Gleichspannung anzuschließen.
- Im Transistor verursacht ein kleiner Basisstrom  $I_B$  einen großen Kollektorstrom  $I_C$ .
- Der Basisstrom  $I_B$  steuert den Kollektorstrom  $I_C$ . Für den Basisstromkreis wird nur eine geringe elektrische Leistung benötigt.

## Spannungen bei Transistoren

Da ein Transistor im Prinzip aus zwei gegenläufig zusammengeschalteten Dioden besteht, gilt auch bei ihm, dass es erst zu einem Stromfluss kommt, sobald die Durchlassspannung  $U_D$  erreicht ist. Erst nachdem zwischen Basis und Emitter der Spannungsschwellenwert von  $U_{BE}$  von 0,6 bis 0,7 V bei Siliziumtransistoren erreicht ist, beginnt auch der Basisstrom  $I_{BE}$  zu fließen. Bei Germaniumtransistoren liegt dieser Schwellenwert bei 0,3 V.



**Bild 2.46:** Erst wenn  $U_{BE}$  den Schwellenwert erreicht hat, beginnen  $I_{BE}$  und in Folge auch  $I_{CE}$  zu fließen.



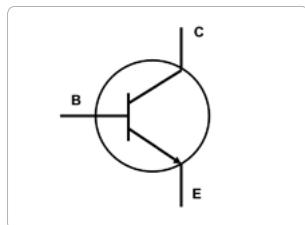
**Bild 2.47:** Im Aufbau entspricht ein npn-Transistor zwei Dioden, die so zusammengeschaltet sind, dass ihre Anoden den Basisanschluss bilden.

### npn-Transistor

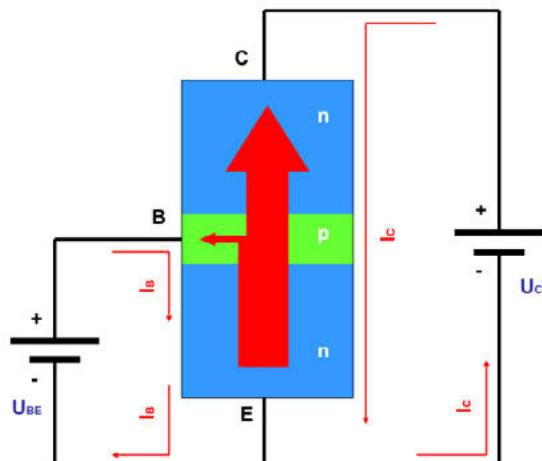
Der npn-Transistor besteht aus drei Halbleiterschichten. Die beiden äußeren sind negative n-Schichten, die mittlere ist eine positive p-Schicht. Üblicherweise verläuft der Hauptstrom zwischen dem Kollektor C und dem Emitter E. Seine Stärke wird von der Höhe des Stromflusses zwischen der Basis B und dem Emitter E bestimmt. Fließt hier kein Strom, ist auch die Kollektor-Emitter-Verbindung unterbrochen, sodass der Transistor als unendlich großer Widerstand wirkt und kein Hauptstrom fließt.

Fließt durch die Basis ein schwacher Strom, wird die Kollektor-Emitter-Strecke leitfähig. Die Höhe des durchweg sehr kleinen Basisstroms beeinflusst auch die Höhe des ungleich stärkeren Kollektorstroms. Dieser ist je nach Transistortyp rund 100- bis 500-mal höher. Damit kann zum Beispiel ein Basisstrom von 1 mA bei einem Verstärkungsfaktor B von 200 einen Kollektorstrom von 200 mA steuern.

Transistoren lassen sehr hohe Schaltfrequenzen bis über 100 MHz zu. Das entspricht etwa 100.000.000 Schaltvorgängen pro Sekunde. Legt man an Basis und Emitter eines Transistors etwa die Spannungsimpulse eines Audiosignals von 20 bis 20.000 Hz an, wird dieses verstärkt und steht als Kollektor-Emitter-Strom mit ungleich mehr Power zur Verfügung.



**Bild 2.48:** Schaltzeichen eines npn-Transistors.

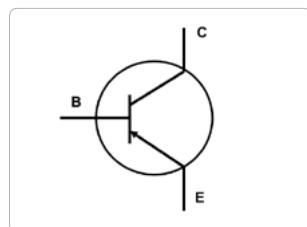


**Bild 2.49:** Funktionsprinzip eines npn-Transistors.

## pnp-Transistor

Der pnp-Transistor besteht ebenfalls aus drei Schichten. Allerdings sind seine beiden äußersten positiv und die mittlere ist negativ geladen. Da der pnp-Transistor im Vergleich zum npn-Transistor genau umgekehrt aufgebaut ist, fließen durch ihn die Ströme in entgegengesetzter Richtung, was durch den in die andere Richtung zeigenden Pfeil des Schaltzeichens kenntlich gemacht wird.

Beim pnp-Transistor ist die Polarität von Strom- und Spannungsverteilung im Vergleich zum npn-Transistor umgekehrt. In der Praxis gilt es lediglich auf die Polarität der Betriebsspannung zu achten. npn-Transistoren werden für positive Spannungen, pnp-Transistoren für negative Spannungen verwendet.



**Bild 2.50:** Schaltzeichen eines pnp-Transistors.

## STICHWORT: BAUTEILTOLERANZEN

Der Verstärkungsfaktor  $B$  gibt das Verhältnis zwischen dem Steuerstrom  $I_{BE}$  und dem Laststrom  $I_{CE}$  an. Dieser kann bei Transistoren gleichen Typs erheblich voneinander abweichen.

Zudem ist der Verstärkungsfaktor meist stark frequenzabhängig. Bei tiefen Frequenzen ist er höher als bei höheren. Deshalb lässt er sich schwer bestimmen. Verschiedene, üblicherweise billige Multimeter erlauben zwar die Ermittlung des Verstärkungsfaktors eines Transistors, mehr als ein grobes, kaum belastbares Messergebnis erhält man damit jedoch nicht.

Ein Transistortyp kann in mehreren Verstärkungsklassen angeboten werden. Den in unseren Breiten weitverbreiteten Typ BC547 gibt es etwa in drei Klassen. Sie werden mit einem an das Ende der Typenbezeichnung gestellten Buchstaben kenntlich gemacht. Ein Transistor des Typs BC547A hat einen Verstärkungsfaktor  $B$  von etwa 110 bis 220, jener des Typs BC547B von rund 200 bis 450 und ein BC547C von ca. 420 bis 800.

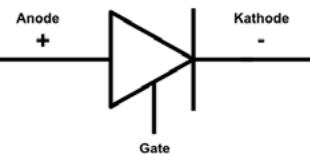
Wegen des produktionsbedingten hohen Schwankungsbereichs ist ein Transistor stets so auszuwählen, dass die von ihm geforderte Verstärkung  $B$  in seinem unteren Bereich liegt, was zum Beispiel bei einem BC547B rund  $B = 200$  bedeuten würde.

## Thyristor

Der Thyristor ist eine steuerbare Diode. Er besitzt drei Anschlüsse. Neben Anode und Kathode – auch von der Diode bekannt – besitzt der Thyristor zusätzlich einen Gate-Anschluss. Im Grundzustand sperrt ein Thyristor in beide Richtungen. Wird an seinen Gate-Anschluss ein kleiner Stromimpuls in Vorwärtsrichtung angelegt, beginnt er zu leiten. Man spricht auch vom Zünden des Thyristors. In Sperrrichtung verhält er sich wie eine herkömmliche Diode.

Während beim Transistor die Höhe des Laststroms  $I_{CE}$  von der Höhe des Steuerstroms  $I_{BE}$  abhängt, also in seinem Betrieb variabel ist, kennt der Thyristor nur zwei Betriebszustände. Entweder er leitet oder er leitet nicht. Zudem leitet der Transistor nur, so lange an ihm ein Steuerstrom  $I_{BE}$  anliegt. Der Thyristor bleibt indes auch leitend, wenn der Stromimpuls am Gate wieder abgeklungen ist. Damit wirkt er gewissermaßen als Schalter. Solange zwischen seiner Anode und Kathode eine Gleichspannung anliegt, bleibt der Thyristor leitend.

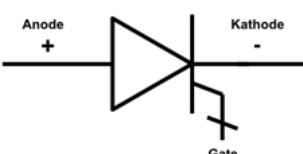
Damit lässt sich ein Thyristor nicht ohne Weiteres wieder abschalten. Das erfolgt etwa, indem der zwischen Anode und Kathode fließende Strom bis zum Unterschreiten der Haltestromstärke reduziert wird. Der Haltestrom ist der Mindeststrom, der durch den Thyristor fließt. Außerdem wird der Stromfluss durch den Thyristor unterbrochen, wenn die Spannungsrichtung an Anode und Kathode geändert wird. Liegt zwischen ihnen eine Wechselspannung an, schaltet der Thyristor bei jedem Spannungsnulldurchgang aus.



**Bild 2.51:** Schaltzeichen eines Thyristors.

## GTO-Thyristor

Der GTO-Thyristor ist ein abschaltbarer Thyristor. Zum Zünden eines GTO-Thyristors ist ein kurzer positiver Stromimpuls an das Gate anzulegen. Zum Löschen wird über das Gate ein negativer Stromimpuls geschickt.

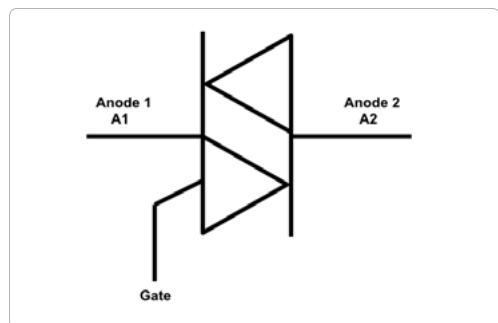


**Bild 2.52:** Schaltzeichen eines GTO-Thyristors.

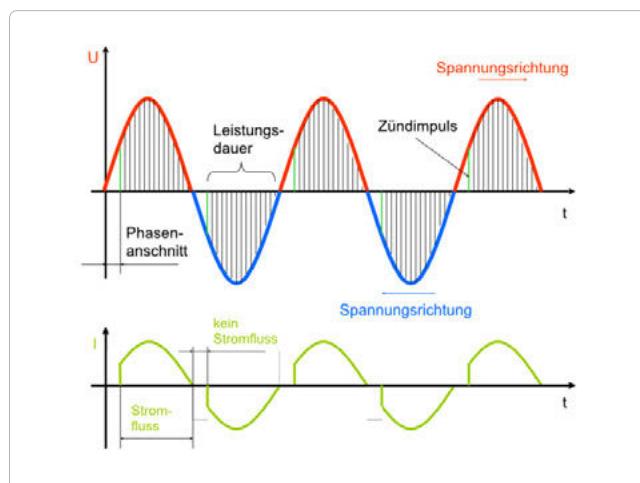
## Triac

Der Triac ist im Grunde ein Wechselspannungsschalter. Ihn nutzt man, um Wechselstromverbraucher ein- und auszuschalten und um ihre Leistung zu regeln. Wie das Schaltzeichen verrät, besteht ein Triac aus zwei zueinander gegenläufig parallel geschalteten Thyristoren in einem gemeinsamen Gehäuse, die sich einen gemeinsamen Gate-Steueranschluss teilen. Die beiden Hauptanschlüsse eines Triac werden als Anode 1 und Anode 2 bezeichnet. Anode 2 ist üblicherweise mit dem Kühlkörper des Bauteilgehäuses verbunden und steht somit unter Spannung. Deshalb ist beim Triac besonders auf einen isolierten Einbau zu achten. Er darf demnach nicht mit anderen leitenden Teilen wie etwa blanken Drähten in Verbindung stehen.

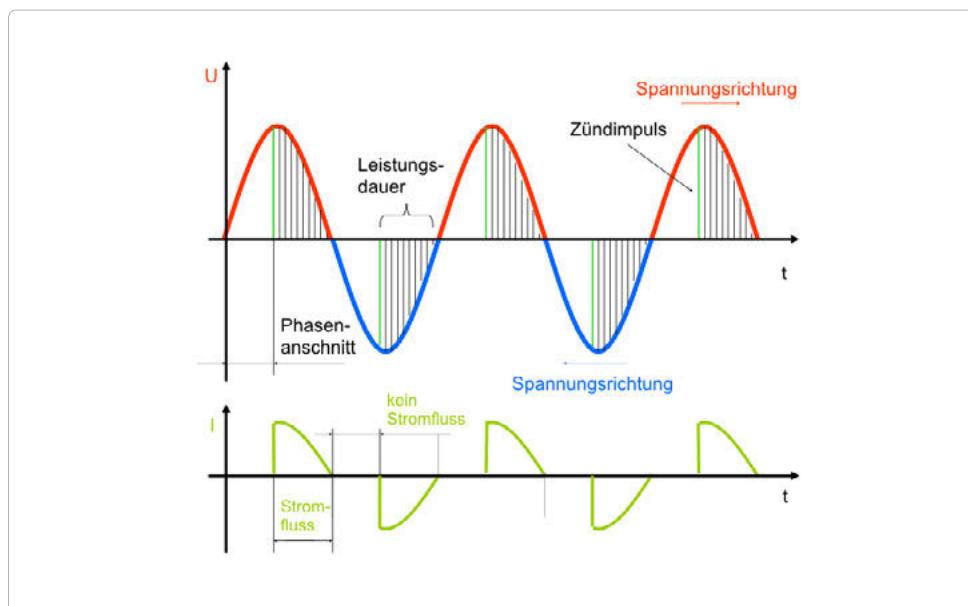
Der Triac unterscheidet sich vom Thyristor in einem entscheidenden Merkmal: Er leitet Strom in beide Richtungen und kann so auch in Wechselspannungen eingesetzt werden. Ferner lässt sich mit einem Triac die Leistung eines Verbrauchers regeln. Dieser gibt die maximale Leistung ab, wenn am Gate des Triacs unmittelbar nach dem Nulldurchgang der Wechselspannung ein Schaltimpuls anliegt. Je später dieser Impuls erfolgt, umso geringer ist die Leistungsabgabe. Diese Art der Leistungsregelung nennt man Phasenanschnittsteuerung. Das Prinzip begegnet uns etwa bei Dimmern zur Helligkeitsregelung der Beleuchtung.



**Bild 2.53:** Schaltzeichen eines Triacs.



**Bild 2.54:** Wird der Triac nahe des Nulldurchgangs gezündet, steht dem Verbraucher eine hohe Leistung zur Verfügung.

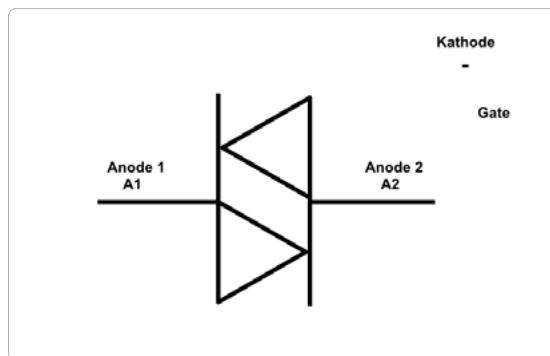


**Bild 2.55:** Je später der Triac gezündet wird, umso geringer ist die Leistungsabgabe des Verbrauchers.

## Diac

Ein Diac ist ein Triac ohne Gate-Anschluss. Durch ihn fließt im Aus-Zustand ein sehr geringer Sperrstrom. Ab Anliegen einer gewissen Mindestspannung – sie wird Schaltspannung genannt – schaltet der Diac durch. Diacs werden für Trigger-Schaltungen genutzt. Deshalb ist der Diac auch als Trigger-Diode bekannt. Die Polung des Diacs in einer Schaltung ist egal.

Diacs finden man in Zündschaltungen von Thyristoren, um einen kurzen Zündimpuls zu erzeugen. Des Weiteren können sie in der Steuerelektronik von Energiesparlampen verbaut sein.

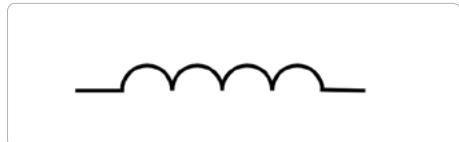


**Bild 2.56:** Schaltzeichen eines Diac.

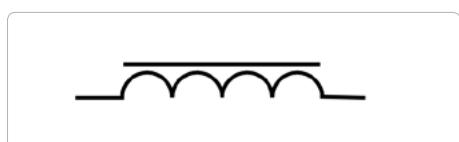
## Spule

Spulen, oder auch Induktivitäten, gibt es in zahlreichen Bauformen. Sie sind passive Bauelemente mit zwei Anschlüssen. Da bei ihnen nicht auf die Polung zu achten ist, können sie in einer Schaltung beliebig eingebaut werden.

Oft sind bei kleinen Induktivitäten, wie sie in Elektronikschaltungen Verwendung finden, die Spulenwindungen zu erkennen. Zum Teil sind sie anhand der runden Bauform nur zu erahnen. Mitunter sind Spulen auch in eckigen Gehäusen eingebaut.



**Bild 2.57:** Seit 1996 gültiges Schaltzeichen einer Spule.



**Bild 2.58:** Schaltzeichen einer Spule mit Eisenkern.



**Bild 2.59:** Das alte Schaltzeichen einer Spule ist heute ebenfalls noch oft anzutreffen.

## Anwendungsgebiete für Spulen

Spulen werden unter anderem für Relais, bei elektrodynamischen und elektromagnetischen Lautsprechern, dynamischen Mikrofonen, Transformatoren und Elektromagneten eingesetzt. Ferner findet man sie als frequenzbestimmende Elemente in Schaltungen. Sie sind ein wesentlicher Bestandteil von elektrischen Schwingkreisen. Darüber hinaus kommen sie zu Siebungszwecken zum Einsatz.

## Kennzeichnung von Induktivitäten

Bei den meisten Spulen ist die Induktivität als vierstelliger Buchstaben-Zahlen-Code aufgedruckt, etwa auf SMD-Bausteinen. Die ersten drei Stellen sind dem Zahlenwert in Mikrohenry vorbehalten. Besteht der Code aus drei Zahlen, geben die beiden ersten den Zahlenwert und die dritte die Anzahl der anschließenden Nullen an. 221 stünde dann etwa für 220 µH. Innerhalb der ersten drei Stellen signalisiert ein „R“ eine Kommastelle. 4R7 wäre dementsprechend 4,7 µH. Anstelle eines „R“ kann auch ein „N“ vorhanden sein, das sagt zusätzlich aus, dass die Induktivität in Nanohenry angegeben ist. 56N steht somit für 56 nH. Der Buchstabe an der vierten Stelle kennzeichnet die Toleranz.

Spulen gibt es in zahlreichen Bauformen. In der Elektronik können auch kompakte Zylinderspulen verbaut sein, deren Aussehen dem von Widerständen stark ähnelt. Zur Kennzeichnung ihrer Wertigkeit werden bei zylindrischen Induktivitäten ebenfalls Farbringe genutzt. Der Farbcode entspricht dabei grundsätzlich jenem, wie er auch zur Markierung von Widerständen üblich ist. Induktivitäten können mit vier oder sechs Farbringen gekennzeichnet sein. Dabei werden in beiden Fällen die Induktivitäten in  $\mu\text{H}$  angegeben.



**330K**

Toleranzcode	Toleranzwert
F	1%
G	2%
J	5%
K	10%
M	20%

einige Beispiele:

330K	33 $\mu\text{H}$	Toleranz 10%
R22K	0,22 $\mu\text{H}$	Toleranz 10%
2N2F	2,2 nH	Toleranz 1%
221K	220 $\mu\text{H}$	Toleranz 10%

**Bild 2.60:** Die Beschriftung vieler Spulen erfolgt auf Basis eines vierstelligen Codes.

Farbe	Ring 1 1. Ziffer	Ring 2 2. Ziffer	Ring 3 Multiplikator	Ring 4 Toleranz
<b>Schwarz</b>	0	0	1	
<b>Braun</b>	1	1	10	
<b>Rot</b>	2	2	100	
<b>Orange</b>	3	3	1.000	
<b>Gelb</b>	4	4	10.000	
<b>Grün</b>	5	5	100.000	
<b>Blau</b>	6	6	1.000.000	
<b>Violett</b>	7	7	10.000.000	
<b>Grau</b>	8	8	100.000.000	
<b>Weiß</b>	9	9	1.000.000.000	
<b>Gold</b>			0,1	5%
<b>Silber</b>			0,01	10%
<b>kein Ring</b>				20%

**Bild 2.61:** Sofern zylindrische Spulen mit vier Farbringen gekennzeichnet sind, kommt diese Farbtabelle zum Einsatz (alle Werte in  $\mu\text{H}$ ).

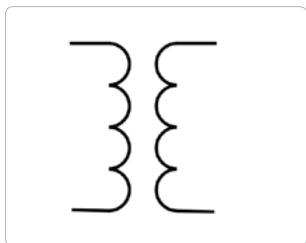
Farbe	Ring 1 (breit)	Ring 2 1. Ziffer	Ring 3 2. Ziffer	Ring 4 3. Ziffer optional	Ring 5 Multiplikator	Ring 6 Toleranz
<b>Schwarz</b>	0	0	0		1	
<b>Braun</b>	1	1	1		10	1%
<b>Rot</b>	2	2	2		100	2%
<b>Orange</b>	3	3	3		1.000	
<b>Gelb</b>	4	4	4		10.000	
<b>Grün</b>	5	5	5		100.000	0,5%
<b>Blau</b>	6	6	6		1.000.000	
<b>Violett</b>	7	7	7		10.000.000	
<b>Grau</b>	8	8	8		100.000.000	
<b>Weiß</b>	9	9	9		1.000.000.000	
<b>Gold</b>		Komma	Komma	Komma		5%
<b>Silber</b>	Anfang					10%
<b>kein Ring</b>						20%

**Bild 2.62:** Farbcode für Induktivitäten, die mit sechs Ringen gekennzeichnet sind.

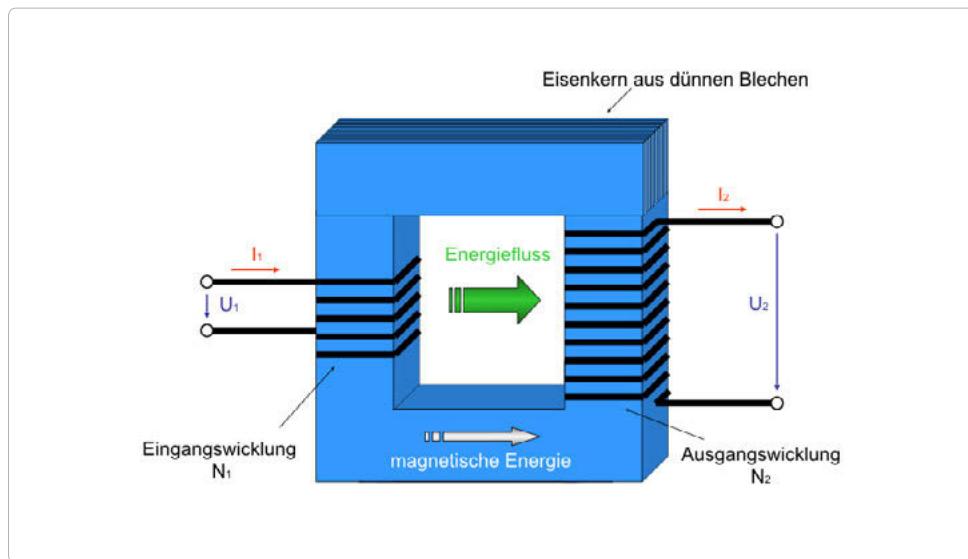
## Transformator

Mit einem Transformator kann eine Wechselspannung in höhere oder niedrigere Spannung umgewandelt werden.

Er besteht aus zwei voneinander unabhängigen Spulen, die sich auf den gegenüberliegenden Schenkeln eines Eisenkerns befinden. Die Spule, an der die Eingangsspannung anliegt, nennt man Primärspule, auch als  $N_1$  bezeichnet. Die Ausgangsspannung wird an den Anschlüssen der Sekundärspule  $N_2$  abgegriffen.



**Bild 2.63:** Schaltzeichen eines Transformators.



**Bild 2.64:** Aufbau eines Transformators.

### Trafo-Berechnungen

Das Verhältnis der Windungszahlen der beiden Spulen  $N_1$  und  $N_2$  entspricht dem Spannungsverhältnis an ihnen. Hat  $N_2$  im Vergleich zu  $N_1$  etwa die doppelte Windungszahl, ist die Ausgangsspannung  $U_2$  doppelt so hoch wie die Eingangsspannung  $U_1$ .

Gleichzeitig halbiert sich auf der Sekundärseite der Strom  $I_2$  im Vergleich zu dem auf der Primärseite  $I_1$ . Er ist somit zu den Spannungen umgekehrt proportional. Hintergrund ist, dass die dem Trafo zugeführte Leistung  $S_1$  der Leistung an der Sekundärspule  $S_2$  entspricht. Die dem Trafo zugeführte Leistung steht somit auch an seinem Sekundärausgang zur Verfügung.

Die Frequenz an der Eingangsseite des Trafos ist die gleiche wie an seiner Ausgangsseite.

Aus diesen Gesetzmäßigkeiten ergibt sich:

$$S_1 = U_1 \times I_1$$

$$S_2 = U_2 \times I_2$$

$$S_1 = S_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Daraus lassen sich folgende Formeln ableiten:

$$U_1 = U_2 \times \frac{N_1}{N_2}$$

$$U_2 = U_1 \times \frac{N_2}{N_1}$$

$$N_1 = U_1 \times \frac{N_2}{U_2}$$

$$N_2 = U_2 \times \frac{N_1}{U_1}$$

Für Ströme gilt beim Transformator:

$$I_1 = N_2 \times \frac{I_2}{N_1}$$

$$I_2 = N_1 \times \frac{I_1}{N_2}$$

$$N_1 = I_2 \times \frac{N_2}{I_1}$$

$$N_2 = I_1 \times \frac{N_1}{I_2}$$

$S_1$  zugeführte Leistung an der Primärspule in Watt, W

$S_2$  abgegebene Leistung an der Sekundärspule in Watt, W

$U_1$  Primärspannung in Volt, V

$U_2$  Sekundärspannung in Volt, V

$I_1$  Primärstrom in Ampere, A

$I_2$  Sekundärstrom in Ampere, A

$N_1$  Eingangswicklung

$N_2$  Ausgangswicklung

## Übersetzungsverhältnis

Eine weitere Kenngröße eines Transformators ist das Übersetzungsverhältnis. Es ist das Verhältnis der Eingangsspannung  $U_1$  zur Ausgangsspannung  $U_2$  und wird mit dem Formelbuchstaben  $\ddot{u}$  abgekürzt. Das Übersetzungsverhältnis  $\ddot{u}$  ist ohne Einheit.

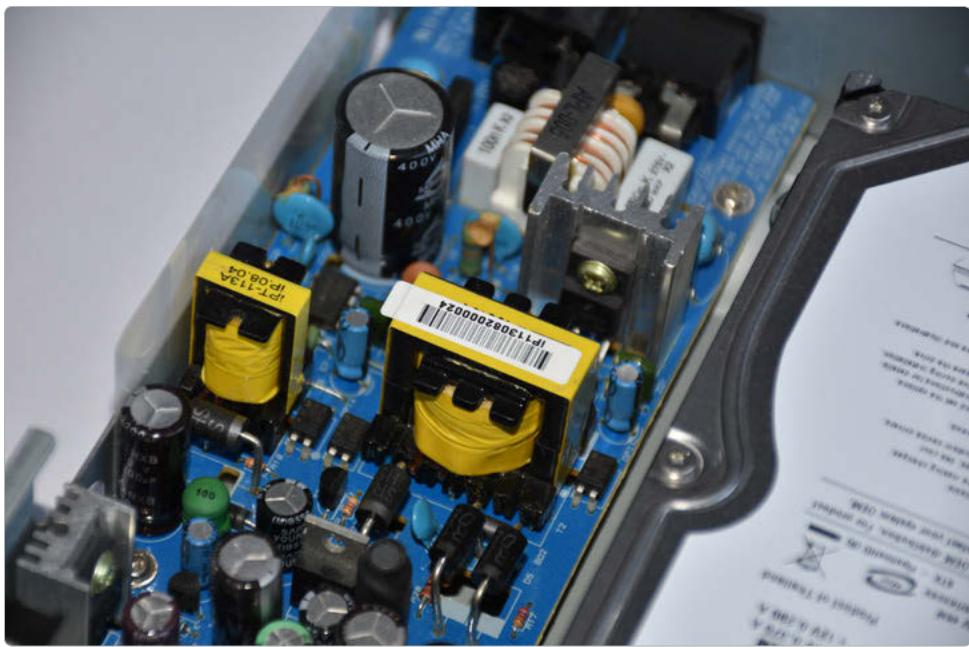
$$\ddot{u} = \frac{U_1}{U_2}$$

## Aufgaben des Transformators

Selbst wenn so gut wie alle im Haushalt vorhandenen Geräte per 230-V-Steckdose mit Strom versorgt werden, ändert das nichts an der Tatsache, dass die meisten für ihren Betrieb nur 12 V oder sogar weniger benötigen. Deshalb besitzen beinahe alle Geräte einen Transformator. Er ist der Hauptbestandteil eingebauter Netzteile und externer Netzgeräte. Des Weiteren werden die transformierten Spannungen per Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt.



**Bild 2.65:** Netzteile gehören zu unserem Alltag. In ihnen sind größere oder kleinere Transformatoren und Gleichrichter eingebaut. Das Typenschild der Netzteile verrät, auf welche Spannung die 230 V aus der Steckdose umgewandelt werden. Hier sind es 12 V.

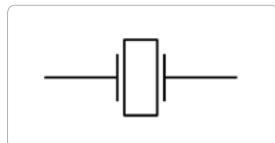


**Bild 2.66:** Bei diesem eingebauten Gerätenetzteil sind sehr gut zwei Transformatoren zu erkennen.

## Quarzoszillator

Ein Quarzoszillator ist eine in einem kompakten Gehäuse eingebaute Schaltung, die einen Schwingquarz enthält. Das ist ein frequenzbestimmtes Bauelement mit einer definierten Frequenz. In Digitaluhren werden Quarzoszillatoren als Taktgeber genutzt.

Die in Uhren eingebauten Quarzoszillatoren haben typischerweise eine Frequenz von 32,768 kHz. Daneben werden Quarzoszillatoren als Taktgeber für Prozessoren, Mikrocontroller und für Funkgeräte genutzt. Eine Eigenschaft dieser Bauteile ist, dass sie die von ihnen abgegebene Frequenz äußerst genau einhalten. Ihre Abweichung liegt unterhalb von 0,01 %. Die Frequenz eines Quarzoszillators wird üblicherweise auf seinem Gehäuse in MHz angegeben, seine Toleranz in ppm (*parts per million*). 1 ppm entspricht einer Toleranz von 0,0001 %.

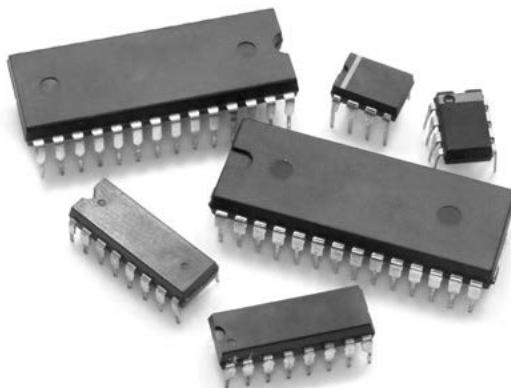


**Bild 2.67:** Schaltzeichen eines Quarzoszillators.

## Integrierte Schaltungen

Integrierte Schaltungen oder Schaltkreise sind unter dem Kürzel IC weitaus besser bekannt. Sie sind vollständige Funktionseinheiten, die in einem kleinen Gehäuse mit einer variablen Anzahl von Anschlüssen eingebaut sind. ICs vereinen auf kleinstem Raum unzählige aktive und passive Bauelemente. Zu den aktiven zählen Transistoren, zu den passiven gehören Widerstände, Dioden und Kondensatoren. Sie werden hier Funktionselemente genannt und sind untrennbar voneinander in einem Halbleiterkristall untergebracht.

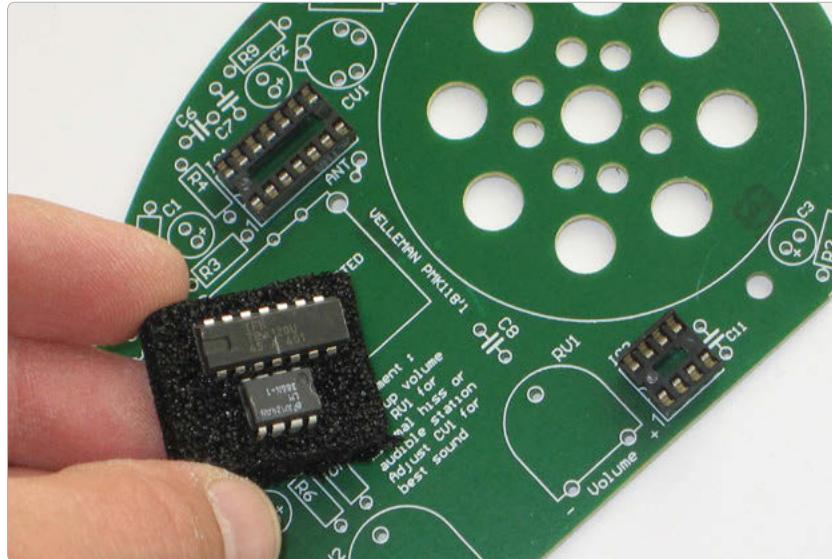
Es gibt Tausende von IC-Typen. Sie unterscheiden sich in ihrer Größe, der Zahl ihrer Anschlüsse und in ihrer Funktionalität. Im Laufe der letzten rund 20 Jahre haben sie in vielen Geräten klassische Bauteile weitgehend abgelöst, sodass diese ungleich kompakter aufgebaut werden können als früher. ICs sind heute allgegenwärtig. Auch die in PCs verbauten Mikroprozessoren zählen zu ihnen.



**Bild 2.68:** Es gibt Tausende von IC-Typen für die unterschiedlichsten Einsatzgebiete. (Foto: Shutterstock, Joe White)

## Richtiger Umgang mit ICs

ICs sind empfindliche Bauteile, bei denen besonders auf den korrekten Einbau und die richtige Polung zu achten ist. Da einige ICs bereits durch statische Aufladungen zerstört werden können, sollte man sie nur am Gehäuse anfassen, ohne die Anschlussbeinchen zu berühren.

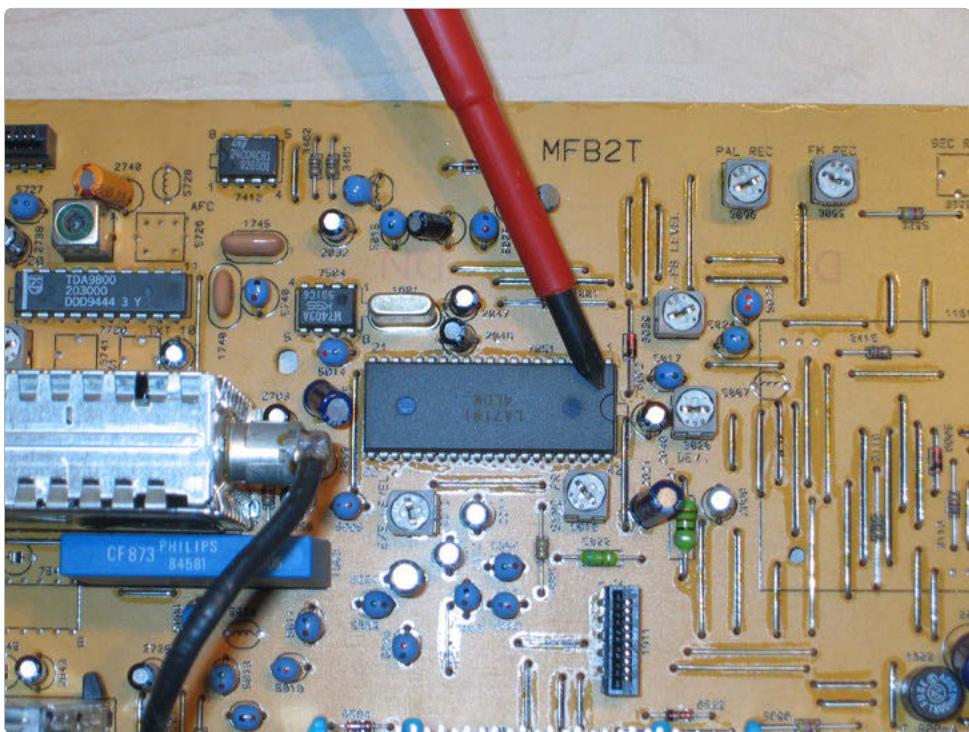


**Bild 2.69:** ICs erfordern einen behutsamen Umgang. Nach Möglichkeit sollte man ihre Anschlüsse nicht mit den Fingern berühren.

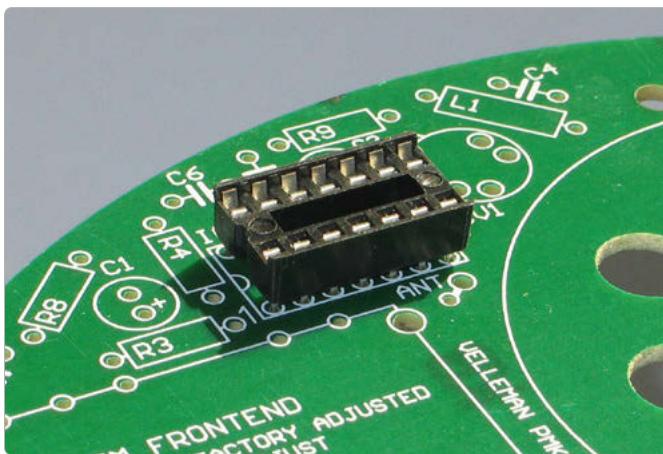
## ICs richtig einbauen

Soll ein IC auf einer Platine eingelötet werden, empfiehlt sich der Einsatz eines IC-Sockels. Dieser erlaubt zum einen das unkomplizierte Einlöten in die Schaltung, denn ICs können überaus hitzeempfindlich sein und bei zu hohen Temperaturen bereits während des Einlötzens kaputtgehen. Zum anderen erlaubt der IC-Sockel das bequeme und schonende Einsticken des ICs. Dieser lässt sich zudem auch jederzeit wieder aus der Schaltung abziehen, und zwar ganz ohne Lötarbeit.

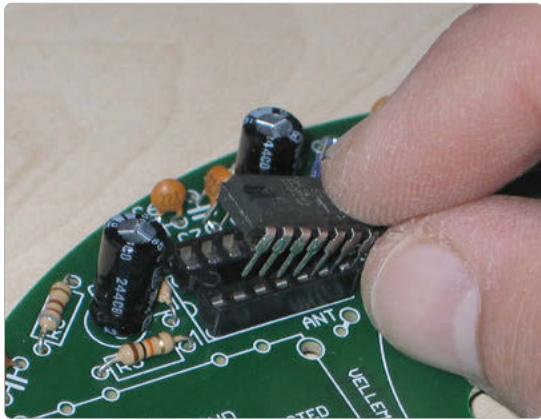
ICs und IC-Sockel haben eine festgelegte Einbaurichtung, die an einem Punkt oder einer Kerbe am IC und am IC-Sockel zu erkennen ist. Punkt oder Kerbe symbolisieren den ersten IC-Anschluss oder Pin 1. Auf der Bestückungsseite der Platine ist dieser Pin 1 eines IC meist mit einer „1“ und einem kleinen Halbkreis am Schaltzeichen markiert. Damit steht einem korrekten Einbau nichts mehr im Weg.



**Bild 2.70:** Eine Kerbe oder ein Punkt informiert bei allen ICs über die korrekte Einbaurichtung. Zudem hilft sie, die Pins richtig zuzuordnen.



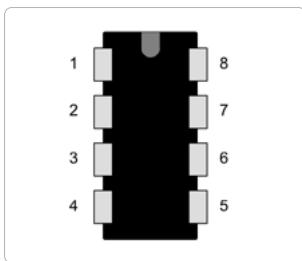
**Bild 2.71:** Zum Einbau eines ICs empfiehlt sich ein IC-Socket.



**Bild 2.72:** Der IC ist behutsam auf den Sockel zu stecken. Dabei ist die Lage der Kerbe am Sockel und am IC zu beachten.

### Anschlusspins von ICs

Wie viele Anschlüsse ein IC hat, hängt von seiner Größe ab. Bei üblichen ICs sind die Pins an den beiden Längsseiten angebracht. Es gibt aber auch solche, die an allen vier Seiten mit Anschlussbeinchen versehen sind. Betrachtet man einen IC so, dass seine Kerbe oben oder der Markierungspunkt links oben liegt, befindet sich Pin 1 an der linken oberen Seite. Die weiteren Pins werden gegen den Uhrzeigersinn der Reihe nach durchnummeriert.



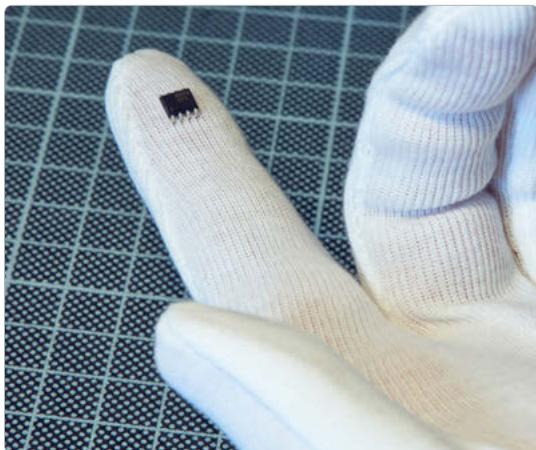
**Bild 2.73:** Pinbelegung eines ICs.

## SMD-Bauteile

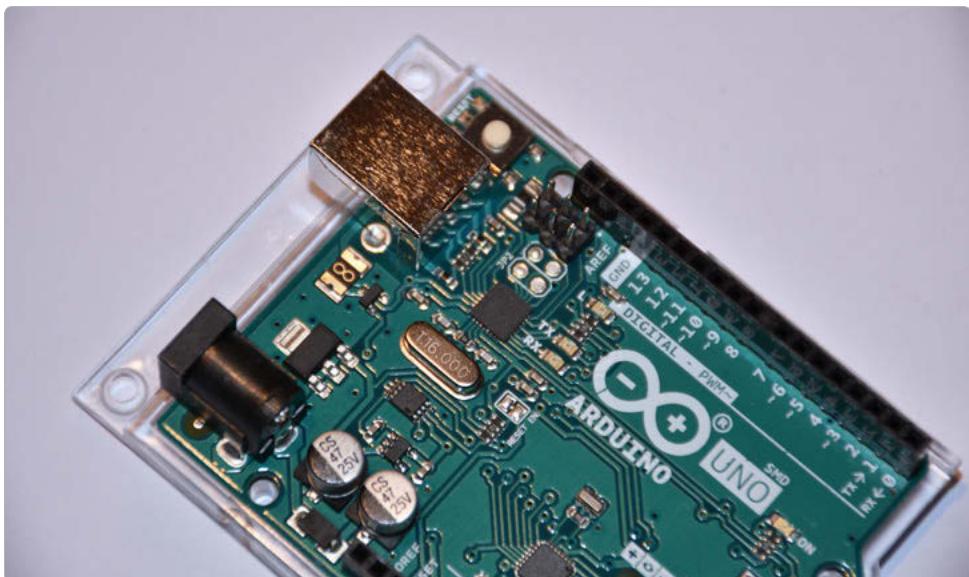
SMD ist die Abkürzung für *Surface Mounted Device*. Darunter versteht man durchweg sehr kleine elektronische Bauteile ohne Drahtanschlüsse. Stattdessen besitzen sie an ihrer Unterseite lötfähige Anschlussflächen, mit denen sie direkt auf Platinen aufgelötet werden.

Die Oberflächenmontagetechnik erlaubt es, Platinen beidseitig zu bestücken. Wegen ihrer sehr kleinen Abmessungen ist mit SMD-Bauteilen zudem eine sehr dichte Be-stückung möglich. Geräte lassen sich damit preiswerter herstellen und werden auch kleiner. Da SMD-Komponenten bereits zu klein sind, um sie per Hand in eine Schaltung einzubauen, werden sie üblicherweise maschinell verlötet. Das Bohren der Platine und das Vorbereiten der Bauteile entfallen ebenfalls.

Bei passiven SMD-Bauelementen überwiegt die rechteckige Chip-Bauform. Sie kommt in der Regel bei Widerständen und Kondensatoren zum Einsatz. Zur Bezeichnung der Bauformen dienen üblicherweise vier Ziffern. Die beiden ersten geben die Länge, die dritte und die vierte die Breite an, wobei als Maßeinheit 1/100 Zoll, also 0,254 mm, verwendet wird. Neben Widerständen und Spulen (Induktivitäten) gibt es auch Kondensatoren in SMD-Ausführung, wobei SMD-Kondensatoren nur für kleine Kapazitäten geeignet sind. Ab etwa 330  $\mu\text{F}$  kommen auch in SMD-Schaltungen herkömmliche Kondensatoren zum Einsatz. An aktiven Bauteilen gibt es in SMD-Ausführung Transistoren, Dioden und multifunktionelle ICs.



**Bild 2.74:** SMD-Komponenten sind außergewöhnlich klein und nur noch mit Pinzette und ruhiger Hand zu verarbeiten. (Foto: Shutterstock, sar14ev)



**Bild 2.75:** SMD-Bauteile sind mitunter so klein, dass sie in ihren Details nur noch schwer mit bloßem Auge zu erkennen sind.

Mit einem Multimeter lassen sich umfangreiche Messungen an elektrischen Anlagen und Schaltungen vornehmen. Sie dienen im weiteren Sinne der Kontrolle, Funktionsüberwachung und Fehlersuche. Damit gehört ein Multimeter zur Grundausstattung eines jeden Elektrikers und Elektronikbastlers.

## Zuverlässige Messgeräte

Multimeter werden in zahlreichen Ausführungen und in allen erdenklichen Preisklassen angeboten. Obwohl es sie ab kleinen einstelligen Eurobeträgen bis weit in den fünfstelligen Bereich gibt, scheinen alle in etwa die gleiche Ausstattung aufzuweisen. Hier ist es genauso wie bei Autos: Einen Neuwagen bekommt man bereits für unter 10.000 Euro. Man kann dafür aber auch ein Vielfaches davon ausgeben. Die Unterschiede liegen in den Ausstattungsdetails, der Qualität und der Sicherheit. So ähnlich ist es bei Multimetern.

Gute und zuverlässige Multimeter bekommt man ab etwa 60 Euro. Sie punkten mit gut lesbaren Displays und soliden Messwerken, die Messungen auch höherer Spannungen und Ströme zulassen. Zudem sind Geräte und Messspitzen so ausgeführt, dass man nicht unbeabsichtigt unter Spannung stehende Teile berühren kann, was man etwa am Abrutschschutz der Messspitzen erkennt. Billigergeräte weisen meist Gehäuse und Griffe aus minderwertigen, leicht brechenden Kunststoffen auf, wodurch man schneller als gedacht stromführende blanke Teile berühren könnte. Dabei geht es um nicht weniger als um den Schutz des eigenen Lebens. Punkten können solide Multimeter mit hoher Messgenauigkeit, während so manches Billigergerät aus Fernost mitunter nur den Pariser Wasserstand anzeigt.



**Bild 3.1:** Vergleich zwischen minderwertigen Messleitungen eines billigen (links) und eines hochwertigen Multimeters (rechts).



**Bild 3.2:** Multimeter der Preisklasse 60 bis 100 Euro.

## CAT-Zertifizierung

Multimeter müssen verschiedene Schutzkriterien erfüllen, die ihren sicheren Einsatz gewährleisten. Schließlich ist das Messen von Strom und Spannung keine Spielerei, sondern mit Gefahren verbunden.

Daher müssen Multimeter für eine Kombination von konstanten Spannungen und sogenannten transienten Überspannungen ausgelegt sein. Diese Schutzmaßnahmen sind in vier CAT-Klassen eingeteilt. Je höher die CAT-Klasse ist, umso universeller kann das Instrument eingesetzt werden.

### CAT-Klassen

- **CAT I** – Multimeter mit CAT-I-Zertifizierung bieten lediglich geringe Schutzmaßnahmen. Man darf sie nur für Messungen in geschützten Elektronikbereichen und zur Messung an Geräten verwenden. Diese müssen einen hinreichenden Schutz gegen transiente Überspannungen haben.
- **CAT II** – CAT-II-taugliche Instrumente erlauben den Einsatz an einphasigen, mit der Steckdose verbundenen Lasten. Dazu zählen Haushaltsgeräte und portables Werkzeug. Steckdosen und Leitungen dürfen nur eingeschränkt gemessen werden. Multimeter für Elektronikbastler sollten zumindest CAT II aufweisen. Billig-Multimeter erfüllen oft nur diese Anforderungen und sind kaum für Messungen an der Hausinstallation geeignet.
- **CAT III** – Multimeter mit CAT-III-Zulassung sind bereits für den Einsatz in Drehphasenverteilnetzen und einphasiger kommerzieller Beleuchtung geeignet. Mit ihnen kann man Drehstrommotoren oder etwa Steckdosen für große Lasten messen. CAT-III-zertifizierte Multimeter sind ideale Werkzeuge für beinahe alle Einsatzgebiete.
- **CAT IV** – CAT IV erlaubt zusätzlich den Einsatz ab dem Drehstromanschluss des Elektrizitätswerks und an Freileitungen. Hierbei handelt es sich also um Geräte für Messungen, die eine Privatperson nicht mehr ausführen darf.



**Bild 3.3:** Dieses Messgerät ist CAT-III-zertifiziert und kann für Messungen bis zu Spannungen von 1.000 V genutzt werden.

## Anschluss der Messstrippen

In der Regel besitzen Multimeter drei bis vier Buchsen, an die Messstrippen angeschlossen werden können. Messstrippen dürfen grundsätzlich nur an das Messgerät angeschlossen werden, solange sie noch keine Verbindung mit den zu messenden Teilen haben. Welche Strippe wo anzuschließen ist, lässt sich nicht pauschal beantworten, da dies vom Aufbau und den Möglichkeiten des Multimeters abhängt.

Die schwarze Strippe entspricht der Minusleitung (Rückleitung). Sie ist an „COM“ anzuschließen. In welche Buchse die rote Messleitung zu stecken ist, die der Plus- oder der Zuleitung entspricht, hängt von den Buchsenbeschriftungen und den durchzuführenden Messungen ab. Je nach Multimeter sind für verschiedene Messungen separate Buchsen vorgesehen, wobei vor allem zum Ermitteln von Strömen meist eine oder zwei Buchsen eingebaut sind – eine für geringe Stromstärken, wie sie in der Elektronik üblich sind, und eine weitere für Stromstärken im Ampere-Bereich. Über eine weitere Buchse erfolgen dann etwa Spannungs- und Widerstandsmessungen. Im Detail kommt es jeweils auf die Beschriftung der einzelnen Buchsen an. Sie variiert von Messgerät zu Messgerät.

Bei Unklarheiten empfiehlt es sich, in der Gebrauchsanleitung des Multimeters nachzuschlagen.

### FARBEN DER MESSLEITUNGEN

Schwarz Minuspol, ist stets an COM anzuschließen.

Rot Pluspol, ist an eine der Messbereichsbuchsen, wie etwa V für Spannungsmessungen, anzustecken.



**Bild 3.4:** Die Messstrippen sind je nach gewünschter Messung in die dafür erforderlichen Buchsen zu stecken.

## Sich mit dem Messgerät vertraut machen

Eine alte Elektronikerweisheit besagt: „Wer misst, misst Mist.“ In diesem Spruch steckt viel Wahres, vor allem, wenn man sich an Messungen begibt, ohne sich mit der Funktion eines Multimeters vertraut gemacht zu haben. Nur das Wissen, an welche Buchsen man die Messleitungen für die vorgesehenen Messungen anzuschließen und wie man das Gerät einzustellen hat, bewahrt vor groben Fehlmessungen, die in der Folge sogar das Leben kosten könnten. Zumindest, wie man Messbereiche einstellt und wie man Gleich- und Wechselgrößen misst, sollte man blind beherrschen. Zudem sollte man sich stets fragen, ob die abgelesenen Werte der Realität entsprechen können.

### AUF FUNKTION TESTEN

Um sicherzugehen, dass das Multimeter korrekt funktioniert, sollte man vor der eigentlichen Messung eine Probemessung durchführen, beispielsweise indem man an einer Steckdose, von der man weiß, dass sie funktioniert, die Spannung misst. Zeigt das Instrument etwa 230 V, ist es in Ordnung.

Nun kann man die eigentlich vorgesehenen Messungen vornehmen. Sind sie abgeschlossen, ist mit dem Multimeter noch einmal die Spannung an der Steckdose von vorhin zu messen. Zeigt es erneut die zuvor ermittelte Spannung an, weiß man, dass es auch jetzt noch funktioniert und die Ergebnisse der gewünschten Messungen jedenfalls korrekt sein müssen.

### Immer mit Vorsicht messen

Messen mit einem Multimeter heißt nicht weniger, als unter Spannung zu arbeiten. Somit besteht bei unsachgemäßem Vorgehen die Gefahr, durch Berühren blanker, stromführender Teile einen Stromschlag zu erleiden, der weitreichende gesundheitliche Folgen nach sich ziehen kann.

Deshalb ist bei allen Messungen stets höchste Konzentration gefordert. Sobald man etwa eine Messspitze in einen Steckdosenkontakt gesteckt hat, muss man sich im Klaren darüber sein, dass auch an der zweiten Messspitze 230 V anstehen, sodass diese zweite Prüfspitze unter keinen Umständen berührt werden darf. Es ist also höchste Vorsicht geboten. Vorsicht ist grundsätzlich angesagt. Denn durch einen Fehler an einer elektrischen Anlage oder Schaltung könnte man am Messpunkt mit ungleich höheren Strömen oder Spannungen konfrontiert sein, als man dort erwarten würde. Befolgen Sie also, genauso wie jeder verantwortungsbewusste Elektriker, den Grundsatz, elektrische Anlagenteile selbst dann nicht zu berühren, wenn sie ausgeschaltet sind. Ein Grundsatz, den jeder Elektronikbastler beherzigen sollte.

### Stichwort Messgenauigkeit

Die Messgenauigkeit eines Messinstruments wird in Prozentwerten bezogen auf den Skalenendwert des Messbereichs angegeben. Hat das Gerät etwa eine Messgenauigkeit von 1,5 %, macht das bei einem Skalenendwert, also dem oberen Ende des Messbereichs, von zum Beispiel 100 V 1,5 V aus. Zeigt das Gerät 100 V an, kann die Spannung demnach tatsächlich einen Wert zwischen 98,5 und 101,5 V haben. Dabei entspricht der Messfehler den 1,5 %.

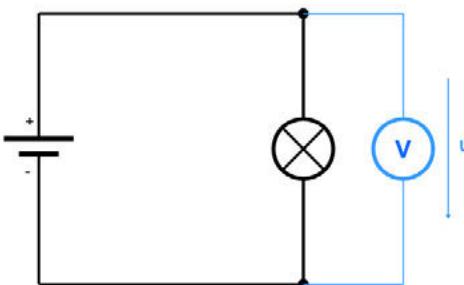
Die 1,5-V-Messgenauigkeit unseres Beispiels bezieht sich auf alle Messungen innerhalb des eingestellten Messbereichs. Misst man nur 50 V, liegt die tatsächliche Spannung zwischen 48,5 und 51,5 V, was hier bereits einem Messfehler von 3 % entsprechen würde. Wird eine Spannung von 5 V gemessen, kann sie in Wirklichkeit zwischen 3,5 und 6,5 V hoch sein. Damit entspricht der Messfehler bereits 30 %.

Bei üblichen digitalen Messgeräten spielt die Messgenauigkeit kaum mehr eine Rolle, da bei ihnen nur noch die Art der Messung, also etwa Spannung oder Widerstand, auszuwählen ist. Die Auswahl des richtigen Messbereichs erledigen sie sozusagen intern. Es gibt aber auch digitale Instrumente, die mehrere Messbereiche zur Auswahl haben. Bei ihnen beginnt man bei jeder Messung stets mit dem höchsten Bereich und schaltet erst nach Ablesen des Werts so weit auf kleinere Messbereiche herunter, bis die Anzeige im oberen Drittel des ausgewählten Messbereichs erfolgt. Dort ist der Messfehler nämlich vernachlässigbar.

Bietet ein Multimeter mehrere Messbereiche, ist also stets mit dem größten zu beginnen. Nur so kann man sicher sein, dass das empfindliche Messwerk nicht überlastet wird und Schaden nimmt, sollte der anstehende Messwert wider Erwarten doch höher sein als der voreingestellte Messbereich.

### Spannung messen

Die Spannung wird stets parallel zum Verbraucher oder der Spannungsquelle gemessen. Daher ist das Multimeter parallel zu diesen anzuschließen. Es zeigt den aktuellen Spannungswert an, wobei nur der Spannungsabfall an dem Verbraucher ermittelt wird, zu dem das Instrument parallel geschaltet ist.



**Bild 3.5:** Zur Ermittlung des Spannungsabfalls an einem Verbraucher ist das Multimeter parallel zu diesem anzuschließen.

## Gleich- oder Wechselspannung?

Vor der Spannungsmessung ist am Multimeter der Spannungsbereich einzustellen. Er ist üblicherweise mit „V“ gekennzeichnet. Des Weiteren ist die Art der Spannung auszuwählen. Nach dem Einschalten misst ein Multimeter grundsätzlich Gleichspannung. Wird mit dieser Voreinstellung eine Wechselspannung gemessen, zeigt das Voltmeter 0 V oder nur einige wenige Millivolt an, was nicht heißt, dass keine Spannung anliegt. Vielmehr deutet es auf ein falsch eingestelltes Multimeter hin. Es ist über die Taste für das Messen von Wechselgrößen umzuschalten. Erst danach zeigt das Multimeter etwa an einer Steckdose eine Wechselspannung von 230 V an.

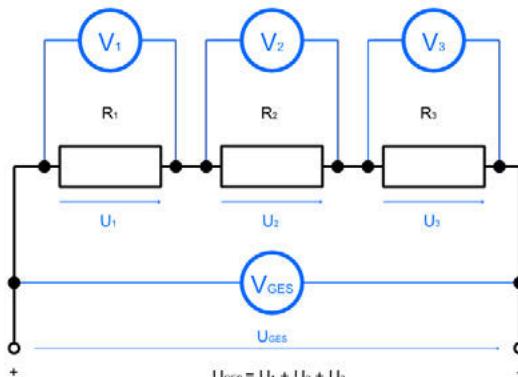
Zeigt das Messgerät bei einer Messung keine Spannung an, ist deshalb stets zu hinterfragen, ob dies wirklich möglich ist. Das ist besonders wichtig, wenn die Spannungsfreiheit eines Stromkreises zu ermitteln ist.

### AUF RICHTIGE POLUNG ACHTEN

Bei der Messung von Gleichspannungen ist auf die richtige Polung des Messgeräts zu achten. Werden die rote (Plus) und die schwarze Messleitung (Minus) vertauscht, zeigt das Display entweder einen negativen Spannungswert oder in seltenen Fällen gar keinen an.

## Teilspannungen messen

In einer Serienschaltung von mehreren Verbrauchern findet an jedem ein individueller Spannungsabfall statt. Er lässt sich ermitteln, indem die Spannung an diesem Verbraucher gemessen wird. Darüber hinaus kann man die Spannung an den weiteren Verbrauchern ermitteln. Die Summe der an ihnen gemessenen Teilspannungen entspricht der Gesamtspannung, an der die Schaltung liegt.

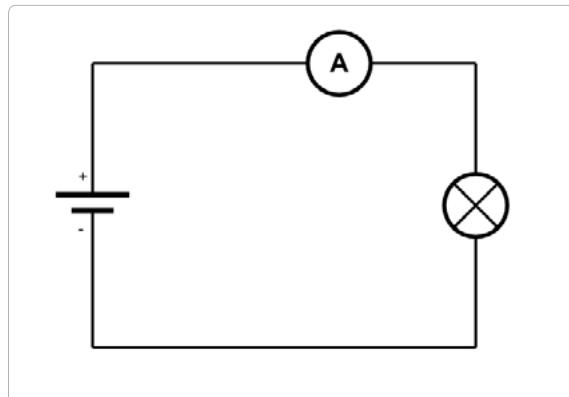


**Bild 3.6:** Ermitteln von Teilspannungen in einer Schaltung.

## Strom messen

Den durch einen Verbraucher oder eine Schaltung fließenden Strom zu messen, ist etwas komplizierter, denn dazu ist das Multimeter in die Schaltung zu schließen. Nur so kann durch das Multimeter derselbe Strom fließen wie der, der durch den oder die Bauteile fließt.

Um Elektrounfällen vorzubeugen und um die Schaltung vor Schäden zu bewahren, darf das Multimeter zur Strommessung nur bei Spannungslosigkeit in die Schaltung eingebaut werden.



**Bild 3.7:** Zum Messen des Stroms ist das Amperemeter in Serie zum Verbraucher zu schalten.

## Gleich- oder Wechselstrom?

Vor der Messung stellt man am Multimeter die zu erwartende Stromart ein. Ab dem Einschalten arbeitet jedes Multimeter üblicherweise im Gleichstrombereich. Versucht man so, Wechselstrom zu messen, wird man 0 A oder bestenfalls einige  $\mu\text{A}$  messen. Die Ursache liegt darin, dass sich der Stromfluss der positiven und der negativen Halbwelle des Wechselstroms aufheben, und zwar selbst dann, wenn sehr hohe Wechselströme fließen.

Die Umschaltung zwischen den Messungen von Gleich- und Wechselgrößen erfolgt üblicherweise mit einer Taste am Instrument. Ist es auf Wechselstrom eingestellt, wird dies im Display etwa durch die zusätzliche Einblendung von AC (*Alternating Current* = Wechselstrom) angezeigt.

Die indirekte Strommessung bietet sich als Alternative zur direkten Strommessung an, etwa dann, wenn ein Stromkreis nicht aufgetrennt werden kann. Zunächst ist der Spannungsabfall an einem bekannten Widerstand mit der Voltmeterfunktion zu ermitteln. Dazu ist das Multimeter parallel zu diesem zu schalten und auf den Volt-Bereich einzustellen. Die Messung des Widerstandswerts an einem Widerstand kann entfallen, da dessen Wertigkeit ohnehin an den Farbringten abgelesen werden kann.

Zuletzt ist der Stromfluss anhand der festgestellten Werte mithilfe des ohmschen Gesetzes zu berechnen:

$$I = \frac{U}{R}$$

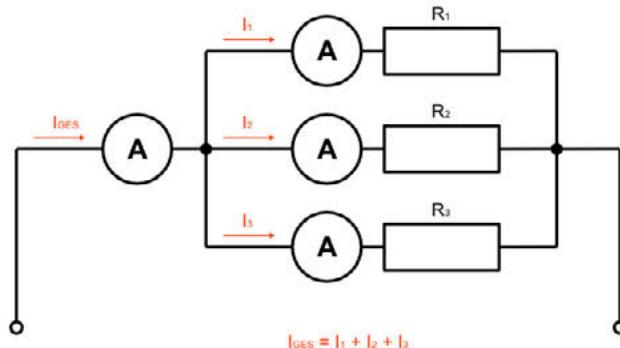
I Strom in Ampere, A

U Spannung in Volt, V

R Widerstand in Ohm,  $\Omega$

### Teilströme messen

In einer Parallelschaltung von mehreren Verbrauchern fließt durch jeden ein individueller Strom. Um diese Ströme zu ermitteln, ist für jeden parallel geschalteten Verbraucher eine separate Strommessung vornötig. Dazu ist das Multimeter der Reihe nach in den Leitungspfad jedes einzelnen Verbrauchers zu schalten, was ausschließlich bei spannungsloser Schaltung passieren darf. Nur zum Messen des Stromflusses ist die Parallelschaltung jeweils kurz unter Spannung zu setzen. Die Summe der durch sie fließenden gemessenen Teilströme entspricht dem Gesamtstrom, der durch die Parallelschaltung fließt.



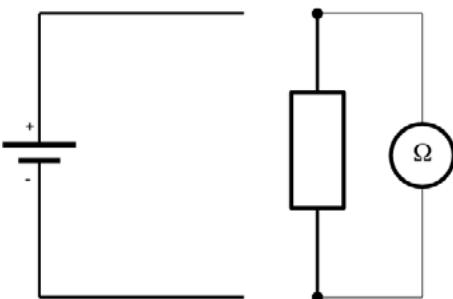
**Bild 3.8:** Zum Ermitteln der Teilströme ist in jedem Pfad der Parallelschaltung eine gesonderte Messung vornötig.

## Widerstand messen

Es gibt mehrere Methoden, einen Widerstand zu messen.

### Die direkte Methode

Die direkte Methode ist die übliche Vorgehensweise, bei der der Widerstandswert mit Hilfe der Ohmmeter-Funktion des Multimeters direkt vom Gerätedisplay abgelesen werden kann.



**Bild 3.9:** Bei der direkten Messung ist der zu messende Widerstand direkt an das Messgerät anzuschließen. Eine externe Spannungsquelle ist nicht nötig.

### So gehen Sie vor

Das zu messende Bauteil darf während der Messung nicht an einer externen Spannungsquelle angeschlossen sein. Außerdem darf es nicht in einer Schaltung eingebaut sein. Es ist deshalb mindestens an einer Seite von der Schaltung auszulöten. Ansonsten würden andere Bauteile das Messergebnis grundlegend verfälschen. Am Multimeter ist der Ohm-Messbereich einzustellen. Er ist üblicherweise mit einem  $\Omega$ -Zeichen markiert. Beim Ablesen gilt es, neben dem Zahlenwert auch die im Display angezeigte Einheit zu berücksichtigen. Kleine Widerstände sind im Ohm-Bereich ( $\Omega$ ) angesiedelt, mittelgroße im Kiloohm- ( $k\Omega$ ) und sehr große im Megaohm-Bereich ( $M\Omega$ ).



**Bild 3.10:** Zum Ermitteln von Widerständen ist das Multimeter in den Ohm-Messbereich ( $\Omega$ ) zu schalten.



**Bild 3.11:** Hier wurde der Widerstand mit zwei Krokoklemmen an das Messinstrument angeschlossen.



**Bild 3.12:** Neben dem Zahlenwert gilt es auch auf die Maßeinheit, hier Kiloohm ( $k\Omega$ ), zu achten.

## Die indirekte Methode

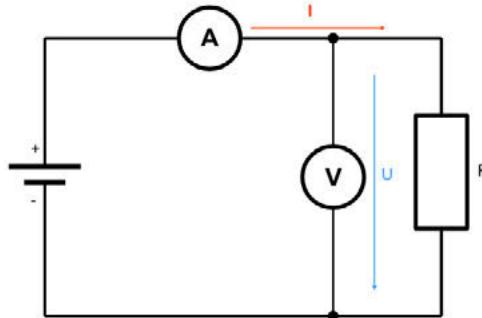
Bei der indirekten Messung werden der durch den Widerstand fließende Strom und der an ihm stattfindende Spannungsabfall ermittelt. Beide Messungen können gleichzeitig mit zwei Instrumenten oder hintereinander erfolgen. Die für Spannung und Strom gemessenen Werte sind zu notieren. Den Widerstandswert erhält man durch Berechnung mithilfe des ohmschen Gesetzes:

$$R = \frac{U}{I}$$

R Widerstand in Ohm,  $\Omega$

U Spannung in Volt, V

I Strom in Ampere, A



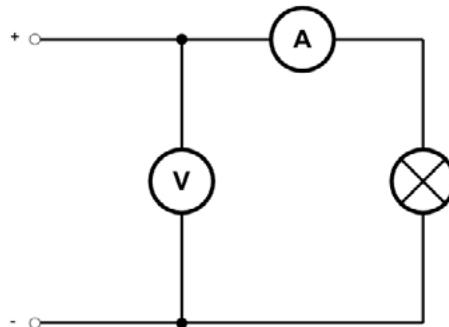
**Bild 3.13:** Bei der indirekten Messung werden der durch den Widerstand fließende Strom und der an ihm stattfindende Spannungsabfall ermittelt.

## Elektrische Leistung messen

### Indirekte Leistungsmessung

Zur Bestimmung der elektrischen Leistungsaufnahme eines Verbrauchers sind der an ihm stattfindende Spannungsabfall und der durch ihn fließende Strom zu ermitteln. Üblicherweise erfolgt dies bei der indirekten Leistungsmessung mit einem Multimeter, indem zuerst der Stromfluss und anschließend der Spannungsabfall gemessen werden. Selbstverständlich lassen sich Strom und Spannung gleichzeitig mit zwei Messgeräten feststellen.

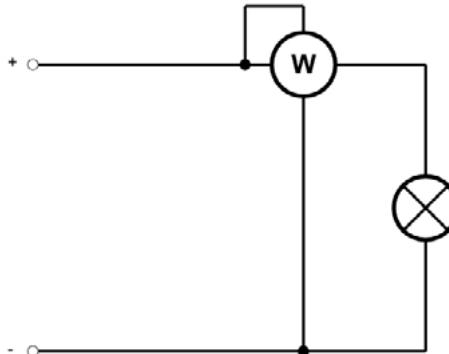
Zur aufgenommenen Leistung gelangt man, indem man die abgelesenen Strom- und Spannungswerte entsprechend der Formel  $P = U \times I$  miteinander multipliziert, wobei der Strom in A und die Spannung in V in die Formel einzusetzen sind.



**Bild 3.14:** Bei der indirekten Leistungsmessung werden Strom und Spannung separat gemessen.

### Direkte Leistungsmessung

Zur direkten Leistungsmessung wird ein Wattmeter, umgangssprachlich oft auch als Leistungsmessgerät bezeichnet, benötigt. Ihm wird man in der Praxis aber so gut wie nur in Form von Einbaugeräten begegnen. Das Wattmeter misst zwar ebenfalls gleichzeitig Strom und Spannung, erspart dem Anwender aber das nachträgliche Berechnen der Leistung, denn diese wird bereits vom Wattmeter angezeigt. Das Messinstrument verfügt über vier Anschlüsse. Je zwei sind für den Strom- und den Spannungspfad vorbereitet.



**Bild 3.15:** Direkte Leistungsmessung mit einem Wattmeter.

Schaltungen zu erdenken und auf einem Schmierzettel zu skizzieren, ist eine Sache, sie auf Platinen oder Steckplatten aufzubauen, eine andere. Für den Schaltungsaufbau ist ein Layout zu planen, das die exakten Einbauorte der einzelnen Bauteile sowie die zwischen ihnen erforderlichen Verbindungen vorsieht. Elektronik-Freaks ätzen sogar ihre selbst entworfenen Platinen selbst, was aber neben dem entsprechenden Know-how auch einiges an Arbeit und materiellem Aufwand bedeutet.

Einfacher geht es mit vorgefertigten, universell einsetzbaren Lochrasterplatten. Bei ihnen sind die vorgebohrten Löcher bereits in verschiedenen Variationen miteinander leitend verbunden, sodass man sich bei überlegtem Einbau Drahtbrücken erspart. Im Prinzip gilt das auch für Steckplatten. Ihr Vorteil: Bauteile werden nur gesteckt, sodass sich Schaltungen jederzeit verändern, aber auch wieder abbauen lassen. Bei Steckplatten erspart man sich das Löten.

## Pebble: virtuelles Steckboard

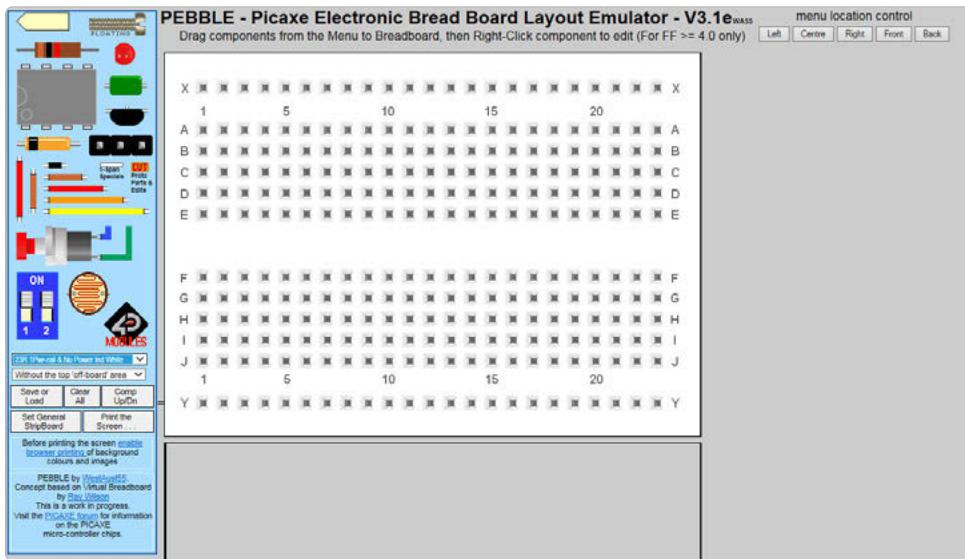
Lochraster- und Steckplatten erfordern eine genaue Planung dahingehend, an welchen Stellen die einzelnen Bauteile zu platzieren sind. Hier hilft die Gratissoftware Pebble, die im Wesentlichen ein virtuelles Steckboard ist, weiter. Sie kann unter <http://www.picaxe.com/Software/Third-Party/PEBBLE/> heruntergeladen werden.

### Pebble laden und starten

Pebble wird als gezippte Datei heruntergeladen, die am Rechner zu entpacken ist. Dabei wird der Ordner *PEBBLE* erzeugt. Darin ist die Datei *Pebble.html* anzuklicken, womit das Programm im Browser geöffnet wird. Eine Installation ist demnach nicht vonnöten.

Name	Änderungsdatum	Typ	Größe
css	16.10.2016 09:44	Dateiordner	
images	16.10.2016 09:44	Dateiordner	
javascript	16.10.2016 09:44	Dateiordner	
support	29.10.2016 15:12	Dateiordner	
How to use the shortcut icons	16.10.2016 09:44	Textdokument	1 KB
P_for_FF	16.10.2016 09:44	HTML-Dokument	117 KB
P_for_IE	16.10.2016 09:41	HTML-Dokument	117 KB
PEBBLE - shortcut1	16.10.2016 09:44	Verknüpfung	2 KB
PEBBLE - shortcut2	16.10.2016 09:44	Verknüpfung	2 KB
<b>PEBBLE</b>	16.10.2016 09:44	HTML-Dokument	1 KB

**Bild 4.1:** Zum Starten ist im Ordner *PEBBLE* die Datei *PEBBLE.html* anzuklicken.

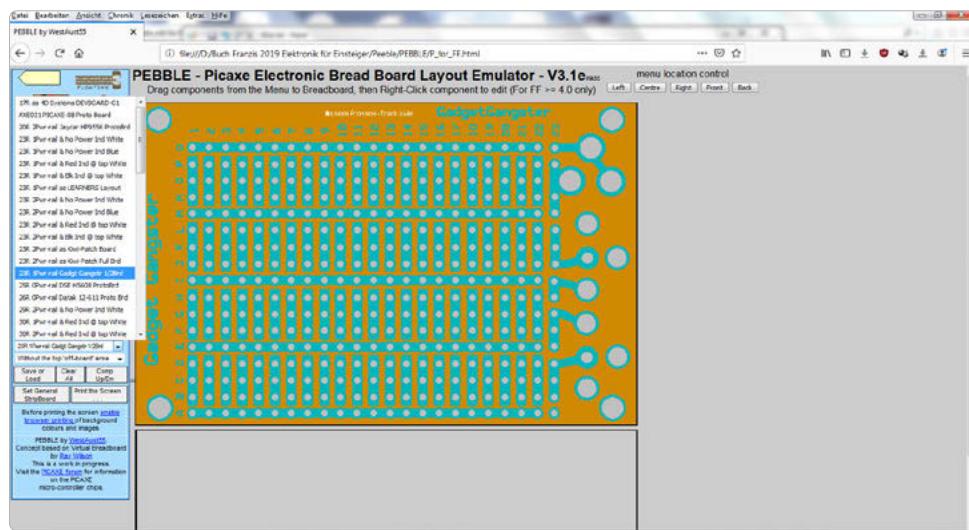


**Bild 4.2:** Nach dem Starten von Pebble kann man mit dem Planen einer Schaltung sofort loslegen.

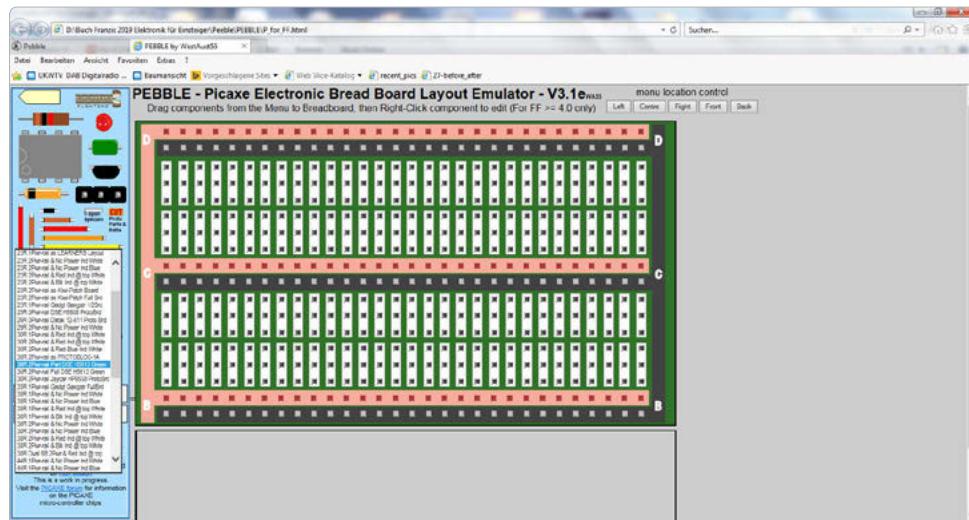
### Pebble Schritt für Schritt

- Als Erstes wählen Sie das Platinenlayout beziehungsweise die Art des Steckboards aus, auf dem die Schaltung aufgebaut werden soll. Pebble bietet 62 Varianten an, die im unteren Drittel der linken Menüleiste auszuwählen sind.
- Die obere Hälfte der Menüleiste ist Bauteilen vorbehalten. Sie sind dem nachempfunden, wie sie in Wirklichkeit aussehen. Das verbessert im Vergleich zu den genormten Schaltzeichen die Vorstellungskraft enorm.
- Die für die Schaltung benötigten Bauteile ziehen Sie aus dem Auswahlmenü in der linken oberen Hälfte der Menüleiste auf das virtuelle Steckbrett.
- Bewegen Sie anschließend den Cursor auf das Bauteil und drücken dann die rechte Maustaste, öffnet sich ein Submenü. Darüber lassen sich unter anderem die Einbaulage des Bauteils sowie weitere Parameter wie die Farbe einer LED, der Widerstandswert und die PIN-Anzahl eines ICs bis hin zur Farbe von Drahtbrücken auswählen. Selbstverständlich können bereits gezeichnete Pläne auch gespeichert und ausgedruckt werden.

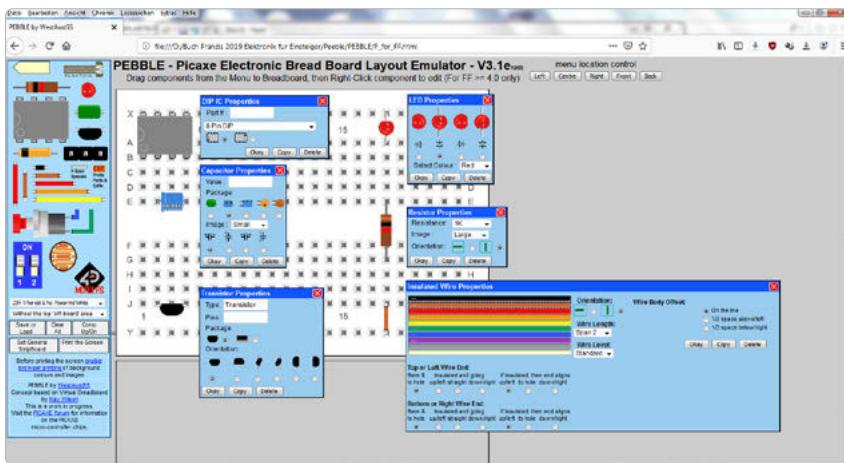
## 4 Schaltungen entwerfen



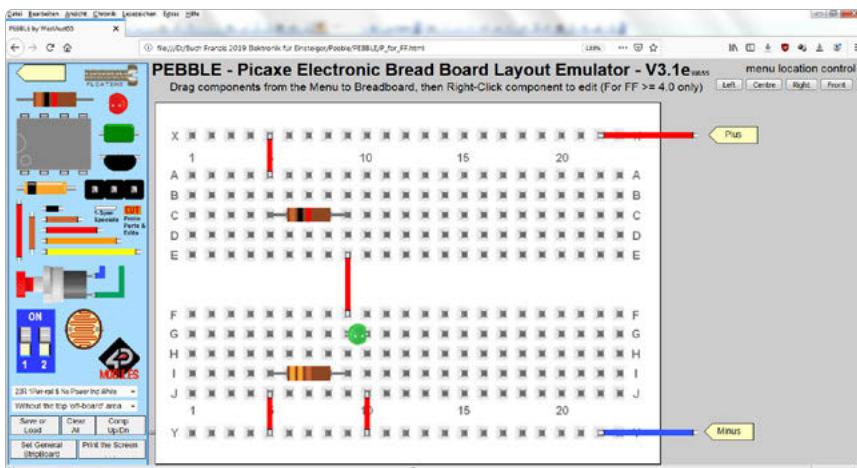
**Bild 4.3:** Pebble bietet 62 Varianten von Steckplatten und Platinen an.



**Bild 4.4:** Die Beschriftung der waage- und senkrechten Steckreihen der ausgewählten Steckplatte entspricht jener der Realität.



**Bild 4.5:** Über die rechte Maustaste lassen sich alle Bauteile den Anforderungen entsprechend konfigurieren.



**Bild 4.6:** Der Aufbau zeigt, wie die Bauteile eines simplen Testers für 9-V-Batterien auch in der Realität aussehen würden.

## Was Pebble nicht kann

Die Gratissoftware lässt fast keine Wünsche offen. Was sie jedoch nicht kann, ist, Bauteile schräg einzubauen. Auch die Länge der Anschlussdrähte von Widerstand & Co. wird in der Praxis gern den Erfordernissen angepasst, sodass sie mal kürzer, mal länger sind, was in der Praxis immer wieder gemacht wird, um sich das zusätzliche Einbauen von Drahtbrücken zu ersparen. Diesen vermeintlichen Nachteil von Pebble kann man aber auch als Vorteil auffassen. Schließlich erreicht man durch die rechtwinklige Lage aller Komponenten einen besonders übersichtlichen Aufbau.

Steckboards werden in verschiedenen Größen angeboten. Sie sind dazu gedacht, schnell mal kleine Schaltungen aufzubauen, um mit ihnen experimentieren zu können. Auf diese Weise lässt sich mit wenigen Handgriffen ermitteln, wie sich etwa die Helligkeit einer Leuchtdiode ändert, wenn unterschiedlich große Vorwiderstände eingebaut werden.

Der Abstand der Kontaktbohrungen auf Steckplatten ist nicht willkürlich gewählt, sondern beträgt exakt 2,54 mm. Damit können auf ihnen auch Bauteile mit nicht beweglichen Kontaktfüßchen, etwa ICs, eingesteckt werden.

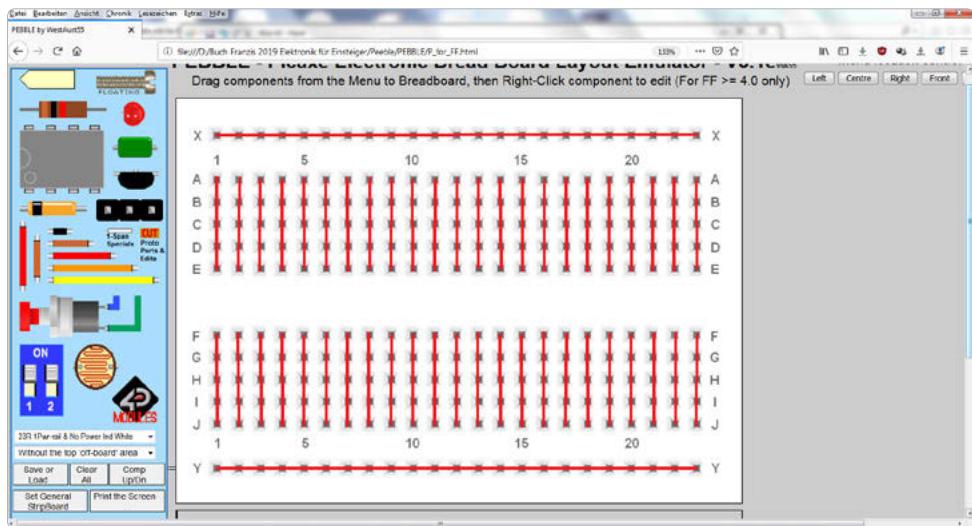
Das Besondere an Steckboards sind die in ihrem Inneren verbauten Brücken. Sie verbinden etwa alle senkrecht zueinander angeordneten Kontaktbohrungen miteinander. So kann man weitgehend auf Drahtbrücken verzichten.



**Bild 5.1:** Steckboards erlauben das schnelle Aufbauen von Schaltungen.

#### TIPP! GEGURTETE BAUELEMENTE

Widerstände, Kondensatoren, Dioden und so weiter werden in der Regel gegurtet geliefert. Das heißt, dass sie an ihren Drahtenden mit Klebeband zu einem Gurt zusammengeklebt sind. Wurde ein Bauteil vom Gurt gelöst, haften an seinen Drahtenden Kleberreste. Diese sorgen nicht nur für schlechte Kontakte, sondern verschmutzen auch die Kontakte von Steckboards. Deshalb sind die mit Kleberresten behafteten Drahtenden stets abzuzwickeln.



**Bild 5.2:** Die Grafik zeigt, welche Pins dieses Steckboards miteinander verbunden sind.

## NUR FÜR KLEINE SPANNUNGEN UND STRÖME

Steckboards sind in erster Linie für Elektronikschaltungen gedacht, die mit geringen Spannungen betrieben werden und durch die auch keine hohen Ströme fließen.

Steckplatten sind nicht für Spannungen über 60 V und Ströme über 2 A geeignet. Davon abgesehen, bewegt man sich bei solchen Niveaus längst in einem für Menschen gefährlichen Bereich. Laut Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik darf die maximale Berührungsspannung in Deutschland 50 V Wechselspannung oder 120 V Gleichspannung betragen.

## SMD-BAUTEILE

Steckboards sind für klassische Elektronikbauteile vorgesehen. Für die sehr kleinen SMD-Komponenten sind sie nicht geeignet. Es werden aber Adapterplatten angeboten, die die Anschlüsse eines SMD-Bauteils auf das 2,54-mm-Rastermaß einer Steckplatte umsetzen.

Logische Grundschatungen werden auch Gatter genannt. Sie stellen die Grundlage für die binäre Digitaltechnik dar und dienen der Umsetzung für die Rechenoperationen UND, ODER, NICHT sowie Exklusiv-ODER.

## Verknüpfungen

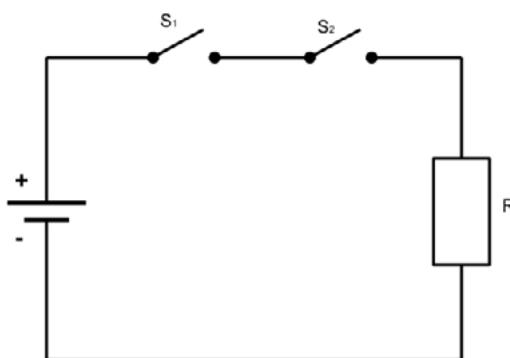
Diese Begriffe nennt man Verknüpfungen. Sie geben an, nach welchen Bedingungen eine Aktion ausgeführt werden soll. Kann man etwa ein Garagentor mit einem Taster oder einem Funksender öffnen, handelt es sich um eine typische ODER-Funktionalität.

Während die Analogtechnik unendlich viele Zustände kennt, wie dunkel, beginnende Dämmerung, fortgeschrittene Dämmerung und Tag, kennt die Digitaltechnik nur zwei Signalzustände. Sie würden etwa dunkler Nacht und hellem Tag entsprechen.

- **HIGH** entspricht dem hellen Tag. Man spricht von diesem Zustand etwa, wenn Spannung anliegt. In der Logik wird HIGH auch mit dem Begriff „wahr“ gleichgesetzt.
- **LOW** entspricht demnach der dunklen Nacht. Es entspricht dem spannungslosen Zustand und wird mit dem logischen Wahrheitswert „falsch“ identifiziert.

## UND-Schaltung

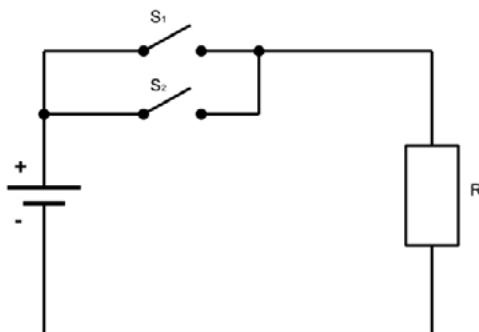
Vom Prinzip her entspricht die UND-Schaltung einer Serienschaltung. Nur wenn zwei oder mehrere bestimmte Kriterien gleichzeitig zutreffen, wird beispielsweise ein Gerät in Betrieb gesetzt. In der Praxis werden UND-Verknüpfungen mit zwei oder mehreren in Reihe geschalteten Schaltern oder Tastern realisiert. Sie finden zum Beispiel in der Sicherheitstechnik Anwendung.



**Bild 6.1:** Nur wenn die Schalter  $S_1$  und  $S_2$  geschlossen sind, fließt Strom und wird der Verbraucher R eingeschaltet.

## ODER-Schaltung

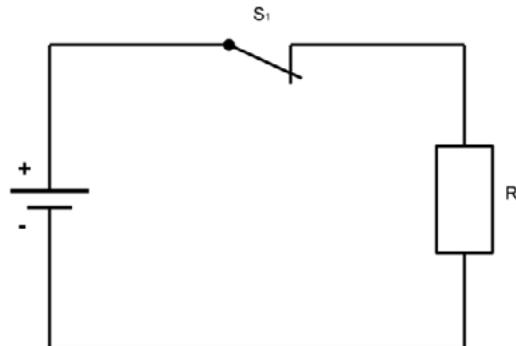
Der ODER-Schaltung liegt die Parallelschaltung zugrunde. Bei ihr sind zwei oder mehrere Schalter oder Taster parallel zueinander angeordnet. Zu einem Stromfluss im Stromkreis kommt es, wenn zumindest einer der Schalter eingeschaltet ist. Es muss also nur eines von mehreren möglichen Kriterien erfüllt sein, damit etwas in Betrieb gesetzt wird.



**Bild 6.2:** Der Stromkreis ist geschlossen, wenn Schalter  $S_1$  oder  $S_2$  oder beide geschlossen sind.

## NICHT-Schaltung

Die NICHT-Schaltung wird oft als das grundlegendste aller logischen Gatter bezeichnet. Es ist auch unter dem Namen Inverter bekannt. Ein NICHT-Gatter lässt sich aufbauen, wenn in einen Stromkreis ein Taster geschaltet wird, der in seiner Ruhelage geschlossen ist und bei Betätigen den Stromkreis unterbricht. Auch diese Schaltung kann Sicherheitsaufgaben erfüllen. So unterbricht etwa ein Geschirrspüler den Waschvorgang, wenn man seine Klappe öffnet, oder eine Beleuchtung wird ausgeschaltet, wenn es hell wird.

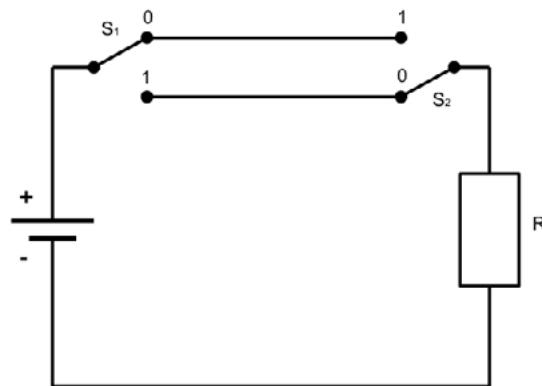


**Bild 6.3:** Bei der NICHT-Schaltung wird ein normalerweise ständig in Betrieb befindlicher Stromkreis unterbrochen.

### XODER-Schaltung

Die Exklusiv-ODER-Schaltung begegnet uns etwa bei einer Wechselschaltung mit unterschiedlicher Anschlussbelegung. Bei ihr kann Strom nur fließen, wenn entweder Schalter  $S_1$  oder  $S_2$  geschlossen ist. Sind beide geschlossen oder geöffnet, wird der Stromkreis unterbrochen und der Verbraucher  $R$  ausgeschaltet.

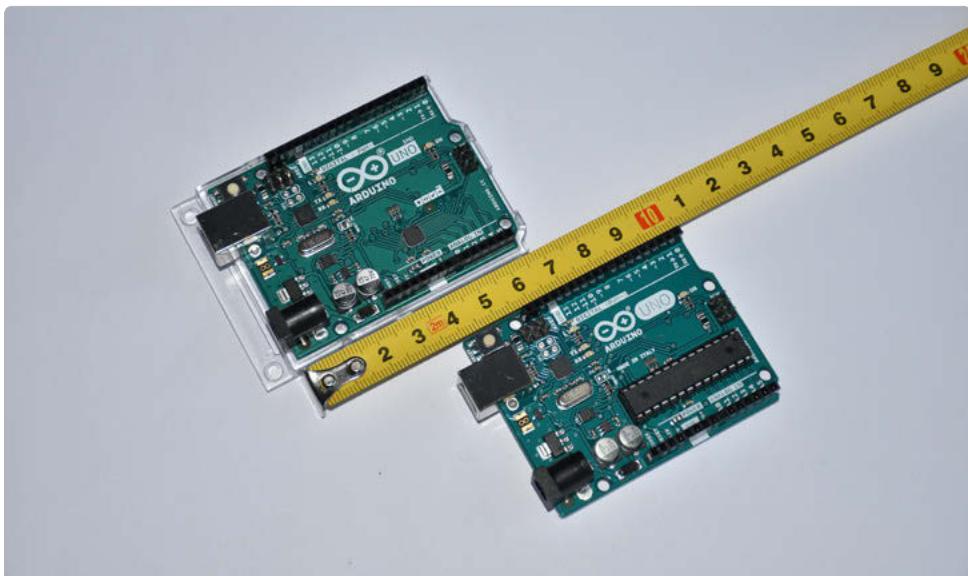
Damit ist diese Schaltungsvariante nur dann aktiv, wenn nur eines von zwei Kriterien erfüllt wird. Werden beide erfüllt oder tritt keines davon auf, bleibt der Stromkreis ausgeschaltet.



**Bild 6.4:** Bei der XODER-Schaltung kann nur Strom fließen, wenn einer der beiden Schalter, also  $S_1$  oder  $S_2$ , geschlossen ist.

.....

Es ist noch gar nicht so lange her, dass Elektronikbasteln ausschließlich eine Sache mit elektronischen Bauteilen, die irgendwie mit einem Lötkolben zusammengebaut wurden, war. Kleine, aber auch größere elektronische Anwendungen lassen sich heute ungleich komfortabler auch per Minicomputer und mit weniger Bauteilen erledigen. Im Prinzip geht es darum, intelligente Schaltungen zu kreieren, die mehr können, als etwas einfach nur ein- oder auszuschalten. All das und noch mehr lässt sich heute mit kleinen Entwicklerboards realisieren. Zu ihnen zählen die kleinen Arduinos. Das sind programmierbare Mikrocontroller, die sich per USB mit einem PC programmieren lassen. Sie sind für unzählige Elektronikprojekte einsetzbar.



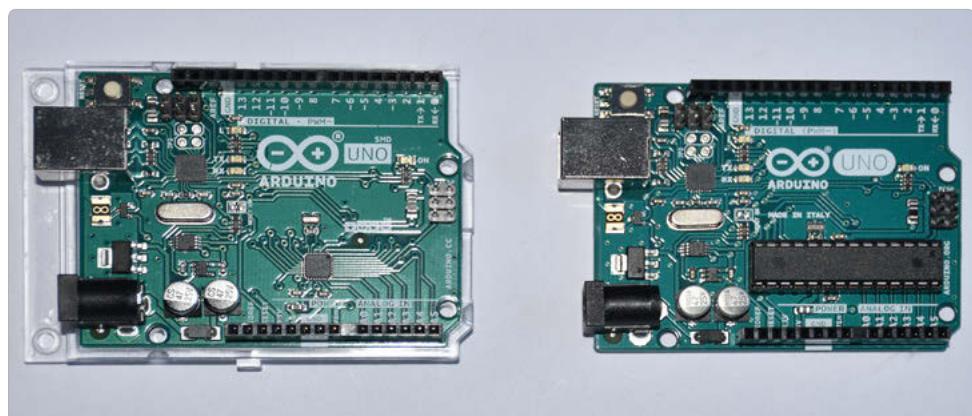
**Bild 7.1:** Der Arduino Uno, hier in zwei Ausführungen, ist ein kleines Entwicklerboard in Form eines programmierbaren Mikrocontrollers.

## Was ist ein Mikrocontroller?

Ein Mikrocontroller ist ein winziger Computer. Er besitzt eine kleine, aber in ihrer Leistungsfähigkeit dennoch nicht zu unterschätzende Rechnereinheit, die CPU, einen Arbeitsspeicher und einen dauerhaften Speicher. Außerdem gehören eine USB-Schnittstelle, eine Buchse zur Stromversorgung, ein Analog-Digital-Wandler und ein Displaycontroller zur Ausstattung. Einen großen PC vermögen diese kleinen Einheiten nicht zu ersetzen. Das sollen sie aber auch gar nicht.

## Arduino Uno – der Klassiker

Der Arduino Uno ist der Klassiker unter den Mikrocontrollern und wohl der weltweit am weitesten verbreitete Kleinstcomputer. Es gibt ihn aktuell in zwei Ausführungen, die sich nur in der Größe des Mikrocontrollers unterscheiden. Die ältere Variante hat einen abnehmbaren IC ATmega328 an Bord, die neuere Version kommt indes mit einem kleinen SMD-Baustein des Typs ATMEL M328P daher. Ansonsten gleichen sich beide Varianten aufs Haar. Mit seiner Größe von gerade einmal  $8 \times 5,7 \times 2$  cm findet sich für den Arduino Uno überall ein Plätzchen, von dem aus er die ihm zugedachten Aufgaben erledigen kann.



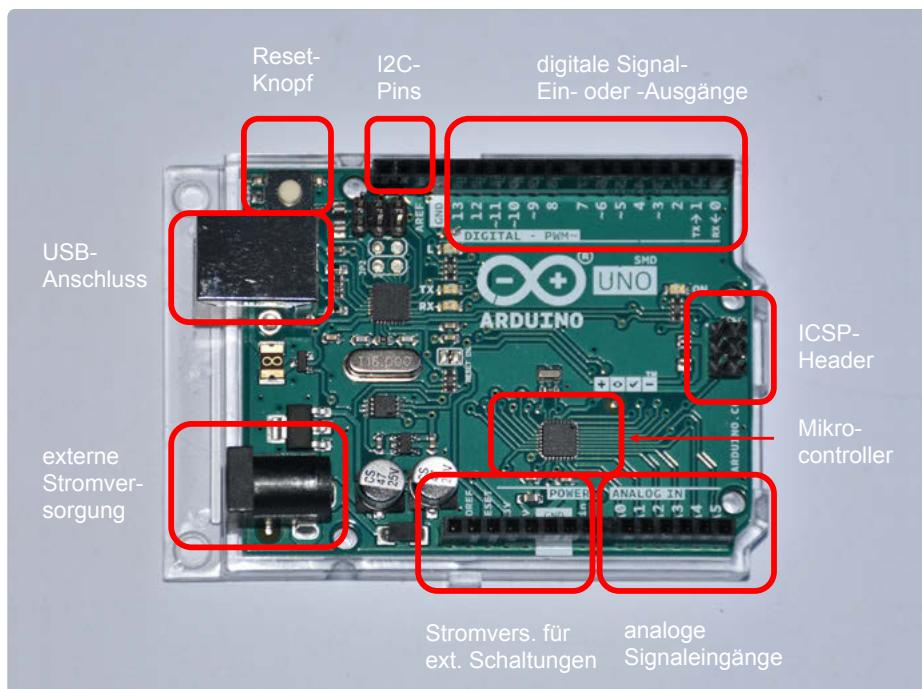
**Bild 7.2:** Den Arduino Uno gibt es mit SMD-Mikrocontroller (links) und Mikrocontroller auf IC-Basis (rechts).

## Arduino Uno – im Detail

Auf den ersten Blick mag man sich beim Arduino Uno fragen: „Was ist was?“ Schließlich sieht für Laien nur nach einer kleinen Platine aus, von der man nicht weiß, welche Teile welche Funktionen ausführen.

- An der linken Seite besitzt der Arduino Uno eine USB-Buchse. Über sie wird die Verbindung zum PC hergestellt – etwa um Programme auf den Arduino Uno zu spielen. Gleichzeitig wird der Minicomputer darüber mit Strom versorgt.
- Etwas darunter befindet sich eine Hohlbuchse mit 5,5 mm Außen- und 2,1 mm Innendurchmesser. Über sie kann der Arduino Uno über ein externes Netzteil mit Strom versorgt werden, wobei die zulässige Gleichspannung zwischen 7 und 12 V liegt. Der Pluspol muss mit dem Mittelleiter verbunden sein.
- Die linke Hälfte der unteren Steckleiste dient der Stromversorgung für externe Schaltungen, wobei 3,3 und 5 V zur Verfügung stehen.

- Die rechte Hälfte der unteren Steckleiste enthält sechs Signaleingänge für analoge Sensoren. Diese Analogpins sind mit A0 bis A5 beschriftet.
- Über der unteren Steckleiste befindet sich der Mikrocontroller. Er kann je nach Ausführung als IC oder kleines SMD-Bauteil ausgeführt sein. Er enthält die Recheneinheit, den Arbeitsspeicher und den Speicher für den Quellcode.
- An der rechten Seite bilden sechs Pins den ICSP-Programmierananschluss. Er wird nur benötigt, wenn Programme über einen Atmel-ISP-Programmer auf den Uno aufgespielt werden sollen.
- Der Großteil der oberen Steckleiste beinhaltet 14 Digitalpins, die von Pin 0 bis Pin 13 beschriftet sind. Sie können wahlweise als digitale Signal-Ein- oder -Ausgänge genutzt werden. Während die Pins 0 bis 12 Stromstärken bis zu 40 mA ausgeben, ist sie bei Pin 13 auf 20 mA begrenzt. Das erlaubt es, eine LED ohne Vorwiderstand direkt an ihn anzuschließen. Der GND-Pin ist gleich neben Pin 13 angeordnet.
- Die linken äußeren Kontakte der oberen Steckleiste beinhalten 12C-Pins (SCL und SDA). Sie dienen der seriellen Datenausgabe, etwa für LCD-Displays.
- Am linken oberen Rand findet sich zuletzt ein Reset-Knopf, mit dem der Arduino neu gestartet werden kann.



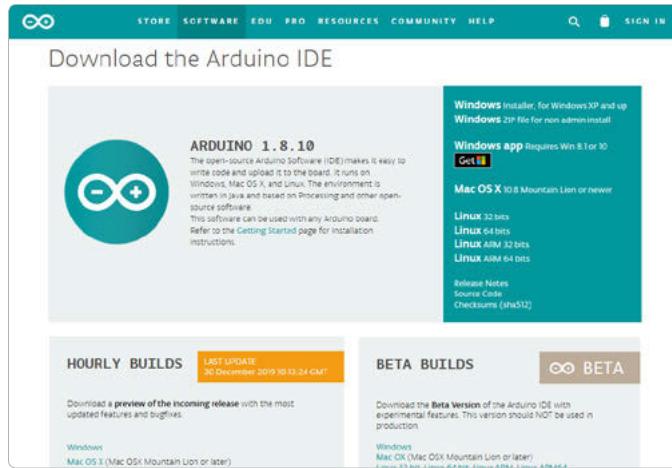
**Bild 7.3:** Die Grafik veranschaulicht die Lage der einzelnen Komponenten eines Arduino Uno.

## ANFORDERUNGEN AN DEN PC

Arduinos stellen absolute Minimalanforderungen an den Rechner. Die zu ihrer Programmierung erforderliche Software läuft ab Windows XP, das 2001 auf den Markt gebracht wurde. Selbstverständlich arbeitet die Programmiersoftware auch mit Windows 7, 8, 8,1 und 10 zusammen. Auch macOS sowie Linux werden unterstützt. Damit eignet sich für Arduino-Anwendungen eigentlich so ziemlich alles, was man an Computern zu Hause hat, also auch richtig alte Modelle, von denen man nicht mehr glaubte, sie noch einmal gebrauchen zu können. Einzige Voraussetzung: Sie müssen eine USB-Schnittstelle an Bord haben.

## Arduino-Software

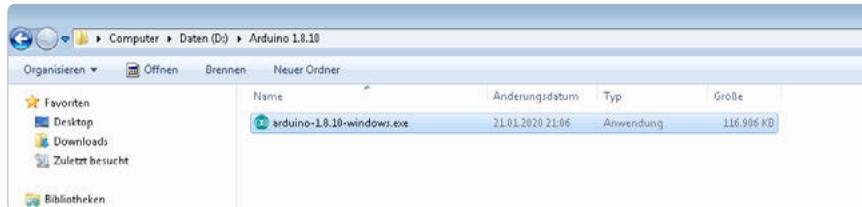
Zum Experimentieren und zum Programmieren des Arduinos braucht es ein kleines Programm, die Arduino-IDE. Die aktuelle Version der Arduino-Programmierumgebung kann man gratis unter <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> herunterladen. Dabei ist lediglich auf das Rechnerbetriebssystem zu achten, Stichwort Windows, Mac oder Linux. Die Software wird laufend weiterentwickelt und immer wieder mit Verbesserungen und zusätzlichen Funktionen ausgestattet. Es lohnt sich also, gelegentlich die vorhandene Version gegen eine neuere auszutauschen.



**Bild 7.4:** Herunterladen der aktuellen Arduino-IDE von [www.arduino.cc](https://www.arduino.cc).

## Installation der Arduino-IDE

- Die Arduino-IDE wird als gezippte Datei heruntergeladen und vor der Installation entpackt. Die Installation startet mit Doppelklick auf die EXE-Datei der Software.



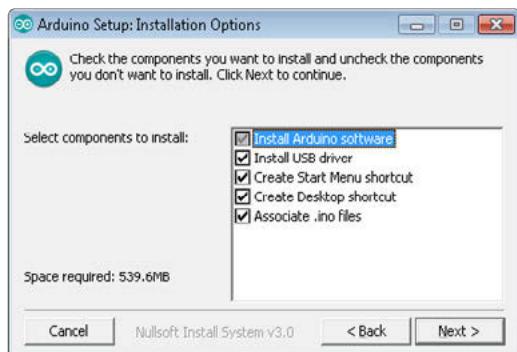
**Bild 7.5:** Die *arduino-1.8.10-windows.exe* im Explorer.

- Die Installation nehmen Sie in mehreren Schritten vor. Zunächst müssen Sie den Lizenzbestimmungen zustimmen, indem Sie auf *I Agree* klicken.



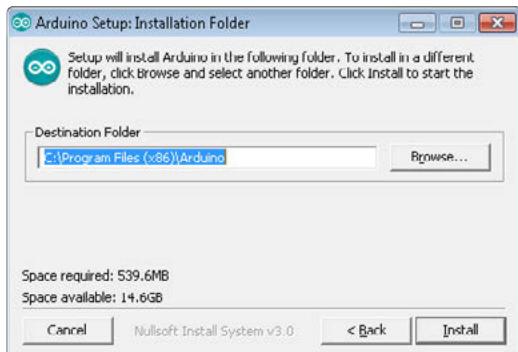
**Bild 7.6:** Auszug aus dem Arduino-Lizenzvertrag.

- Das nächste Fenster bietet eine Auswahl von Installationsoptionen an, die bereits alle mit einem Häkchen vorausgewählt sind. Das sollten Sie so belassen. In diesem Zuge wird gleich der USB-Treiber mit installiert. Mit einem Klick auf *Next* wird die Installation fortgeführt.



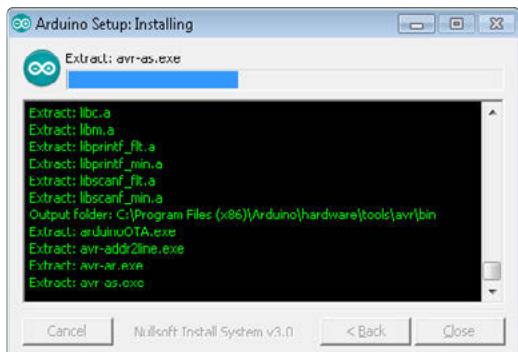
**Bild 7.7:** Optionale Komponenten auswählen.

- ④ Im anschließenden Fenster wählen Sie aus, wohin die Arduino-Software installiert werden soll. Sie können den vorgeschlagenen Pfad belassen. Mit einem Klick auf *Install* wird die Aktion fortgeführt.



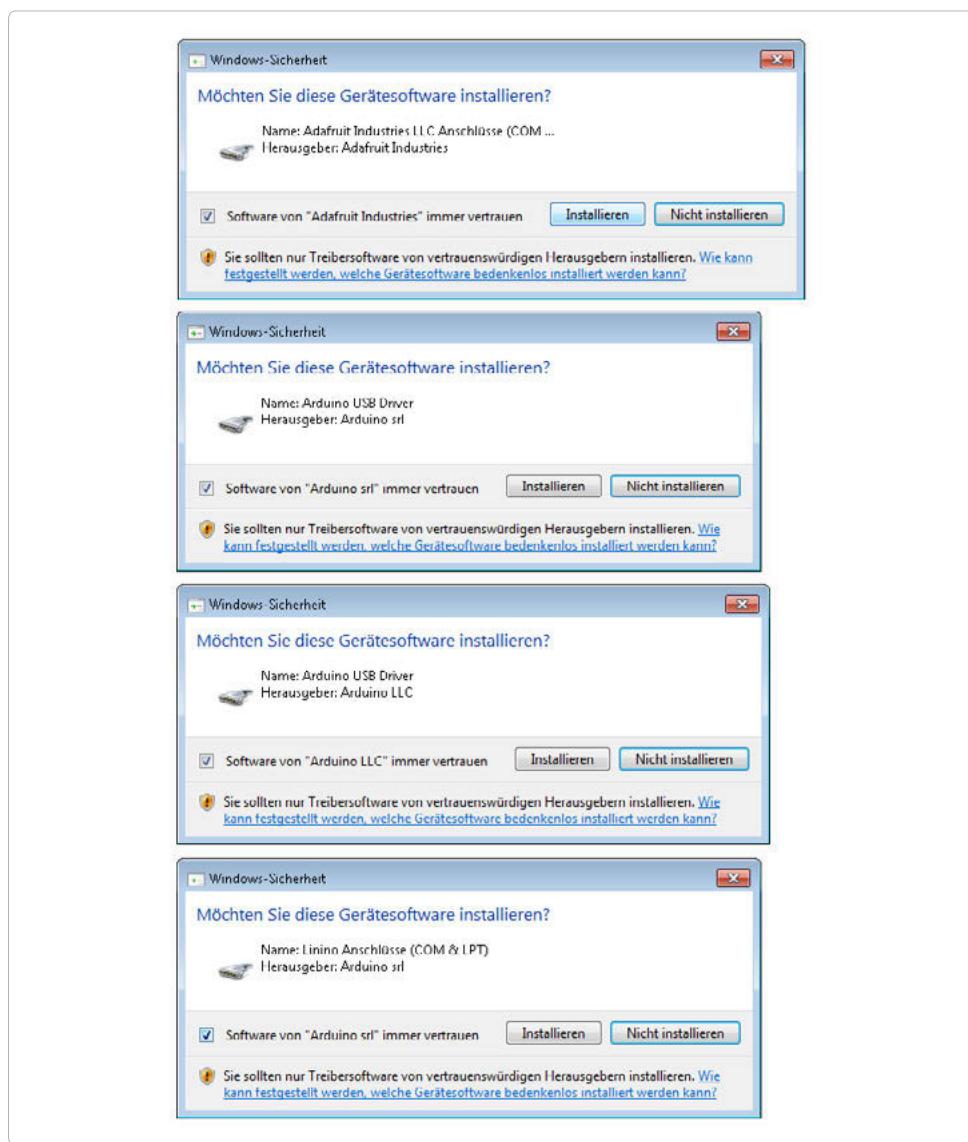
**Bild 7.8:** Den Installationsordner festlegen.

- ⑤ Die Installation auf dem PC kann bis etwa eine halbe Minute dauern.



**Bild 7.9:** Fortschrittsanzeige der Installation.

- ⑥ Gegebenenfalls kommt zwischendurch eine Meldung, bei der Sie gefragt werden, ob für den Arduino ein USB-Treiber installiert werden soll. Dem ist zuzustimmen, damit die Installation fortgesetzt werden kann. Im Zuge dieser Installationsroutine wurde insgesamt viermal nachgefragt, was Sie jedes Mal bestätigen müssen.



**Bild 7.10:** Meldungen der Installationsroutine.

## Arduino-Inbetriebnahme

Anschließend wird der Arduino per USB-Kabel mit dem PC verbunden. Windows wird jetzt versuchen, einen neuen Treiber zu installieren. Dieser Vorgang startet in der Regel automatisch. Allerdings wird der Computer den Treiber nicht in jedem Fall selbst finden. Deshalb muss ihm im entsprechenden Fenster mitgeteilt werden, dass er den benötigten Treiber nur auf dem Computer zu suchen braucht.

## Arduino-IDE einrichten

Wird die Arduino-IDE das erste Mal gestartet, präsentiert sie sich recht unspektakulär. Im Wesentlichen besteht sie aus der in Englisch beschrifteten oberen Menüzeile, einigen Buttons und einem großen weißen Feld, dem Texteditor.

- Als Erstes empfiehlt es sich, die Menüsprache auf Deutsch umzustellen, wozu Sie aus der oberen Menüleiste *File* und *Preferences* auswählen. Anschließend wählen Sie aus der Liste der angebotenen Sprachen *German* und bestätigen mit *OK*.

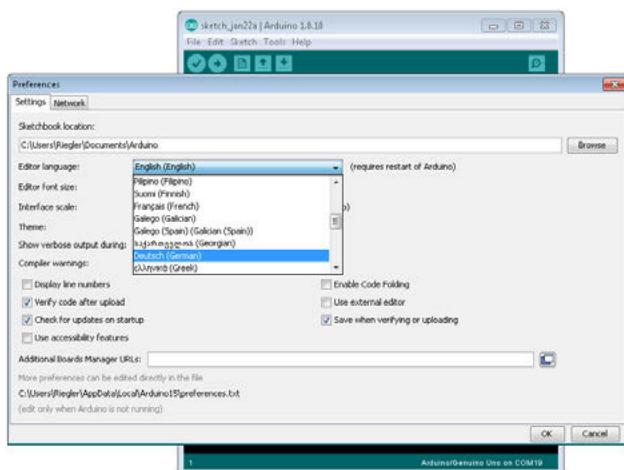


**Bild 7.11:** Die Arduino-IDE wird über das Icon auf der Menüoberfläche gestartet.

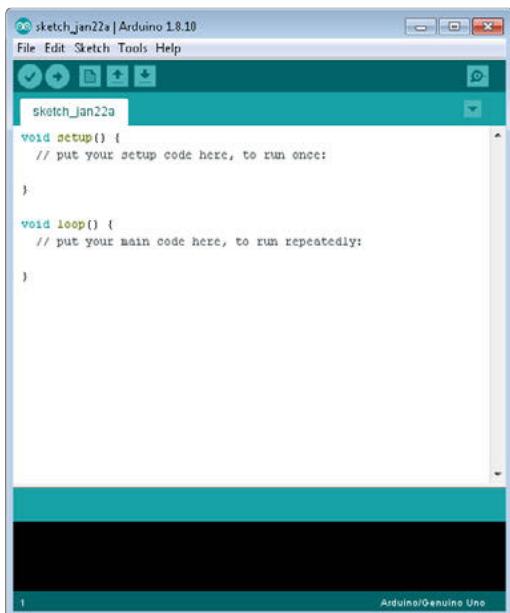


**Bild 7.12:** Im Zuge der Startroutine erscheint kurz der Splashscreen.

- Zunächst gibt sich die Arduino-IDE spartanisch und in Englisch. Zum Einstellen der Menüsprache wählen Sie *File* und *Preferences* aus.



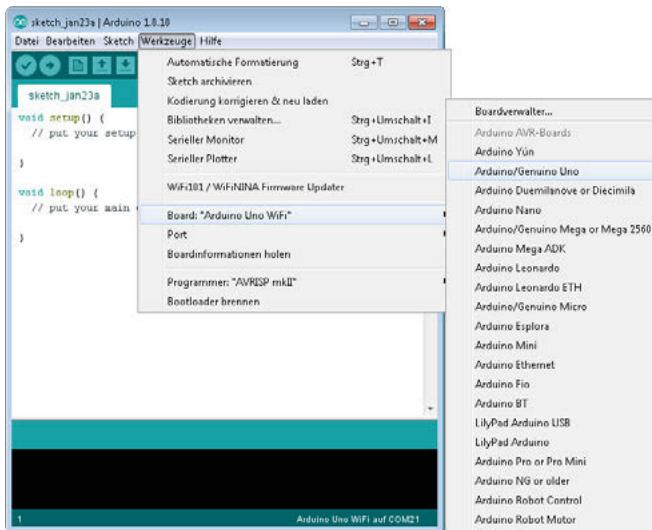
**Bild 7.13:** Sprache einstellen.



**Bild 7.14:** Nun präsentiert sich die Arduino-Entwicklungsumgebung in Deutsch.

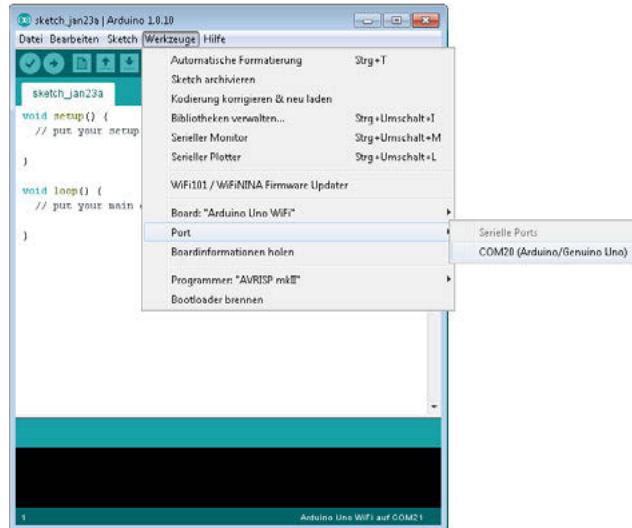
## Weitere Einstellungen

Damit sich die Programmiersoftware und der Arduino gegenseitig verstehen, ist an der Arduino-IDE der Typ des verwendeten Arduino einzustellen. Dazu wählen Sie aus der oberen Menüleiste *Werkzeuge* das Untermenü *Board* aus und darin aus der Liste der Arduino-Modelle das vorhandene. Für unser Beispiel nutzen wir einen Arduino Uno. Diese Einstellung passt sowohl für die Uno-Version mit IC- als auch für jene mit SMD-Mikrocontroller.



**Bild 7.15:** Damit sich die Programmiersoftware und der verwendete Arduino gegenseitig verstehen, wird er an der Arduino-IDE eingestellt.

Ebenfalls unter *Werkzeuge* ist der verwendete serielle Port auszuwählen. Nur wenn beide Parameter korrekt gesetzt sind, klappt es mit der Datenübertragung zum Mini-computer.

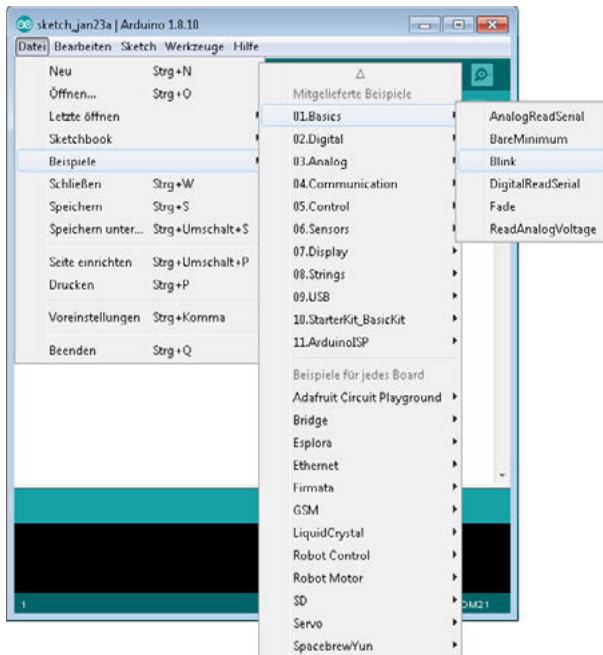


**Bild 7.16:** Ebenfalls unter *Werkzeuge* wird der verwendete serielle Port ausgewählt.

## Erster Arduino-Test

Die Arduino-IDE beinhaltet auch eine Reihe von Beispielprogrammen. Mit ihrer Hilfe lässt sich sehr gut kontrollieren, ob alle Programmierungen am Rechner korrekt vorgenommen wurden und ob die Kommunikation zwischen PC und Arduino ordnungsgemäß funktioniert.

- 1 Dazu öffnen Sie unter *Datei* das Untermenü *Beispiele*. Klicken Sie auf den Eintrag *01.Basics*. Darunter finden sich mehrere kleine Programme, die nur noch auf den Arduino zu übertragen sind. Für einen ersten Test bietet sich das kleine Programm *Blink* an. Mit ihm wird eine LED im gleichmäßigen Rhythmus von einer Sekunde zum Blinken gebracht.



**Bild 7.17:** Unter Datei/Beispiele/01. Basics sind bereits einige kleine Anwendungen vorprogrammiert. Für einen ersten Test bietet sich *Blink* an.

```

Blink | Arduino 1.8.10
Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe
Blink
by Colby Newman

This example code is in the public domain.

http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}

Arduinos/Genuins Uno auf COM2

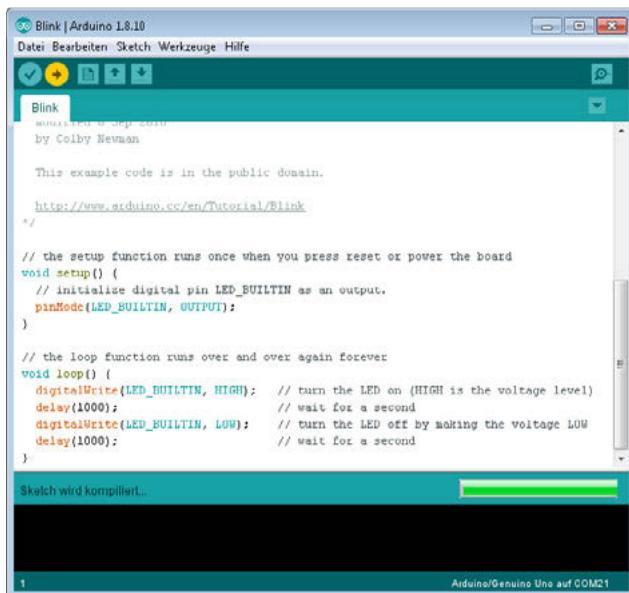
```

The screenshot shows the Arduino IDE with the 'Blink' sketch open. The code is a simple loop that alternates the state of the built-in LED. It uses the `digitalWrite` function to set the LED pin to HIGH or LOW, and the `delay` function to wait for a second between each state change. The sketch is attributed to Colby Newman and is in the public domain.

**Bild 7.18:** Die Anwendung *Blink* setzt sich aus wenigen Zeilen zusammen, die die Hell- und Dunkelzeiten der LED festlegen.

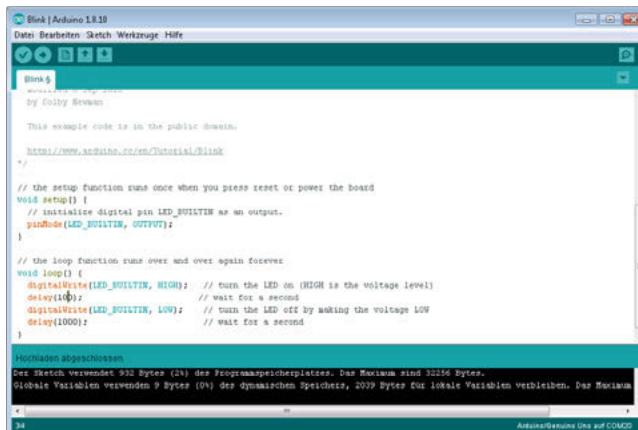
- 2 Stecken Sie an die Pins 13 und GND eine LED. Alternativ kann man sich auch mit der sehr kleinen LED in SMD-Bauweise des Arduino Uno begnügen. Sie befindet sich rund 1 cm von den beiden zuvor genannten Pins entfernt und ist auf der Platine mit *L* beschriftet.

- ③ Zum Hochladen der Anwendung müssen Sie in der grünen oberen Steuerleiste der Arduino-IDE auf das Symbol mit dem nach rechts zeigenden Pfeil klicken, wodurch im grünen Balken kurz *Hochladen* zu lesen ist. Während der Übertragung informiert ein grüner Statusbalken im unteren Bereich der Arduino-IDE über den aktuellen Stand des Hochladens.



**Bild 7.19:** Während der Übertragung informiert ein grüner Statusbalken im unteren Bereich über den aktuellen Stand des Downloads.

- ④ Ist das Überspielen abgeschlossen, wird dies von der Software ebenfalls im unteren Bereich gemeldet. Darin enthalten ist auch eine Arduino-Statusmeldung. Gleichzeitig beginnt die LED im Sekundentakt zu blinken, womit die ordnungsgemäße Funktion von Arduino-Software und -Gerät eindeutig festgestellt werden konnte.



**Bild 7.20:** Ist das Hochladen abgeschlossen, wird dies ebenfalls von der Software im unteren Bereich gemeldet. Darin enthalten ist auch eine Arduino-Statusmeldung.

## Ein wenig experimentieren

Nachdem mit der kleinen Beispielsoftware die in die Pins 13 und GND gesteckte LED zum Blinken gebracht wurde, bietet es sich an, mit dem Miniprogramm etwas zu experimentieren. Die Leucht- und Dunkelphasen der LED sind im Programm durch zwei Delay-Zeiten festgelegt, die beide auf 1000 stehen. Probieren Sie einmal, die beiden Werte zu ändern, beispielsweise indem Sie den oberen auf 3000 und den unteren auf 100 setzen. Anschließend ist dieses „neue“ Programm mit dem Pfeil nach rechts, *Hochladen*, in der oberen Menüleiste auf den Arduino zu übertragen. Die an ihm angesteckte LED leuchtet nun deutlich länger und hat nur noch sehr kurze Dunkelphasen.

```

Blink | Arduino 1.8.10
Datei Bearbeiten Sketch Werkzeuge Hilfe
Blink 5
By Colby Newman
This example code is in the public domain.
http://www.arduino.cc/en/Tutorial/Blink
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

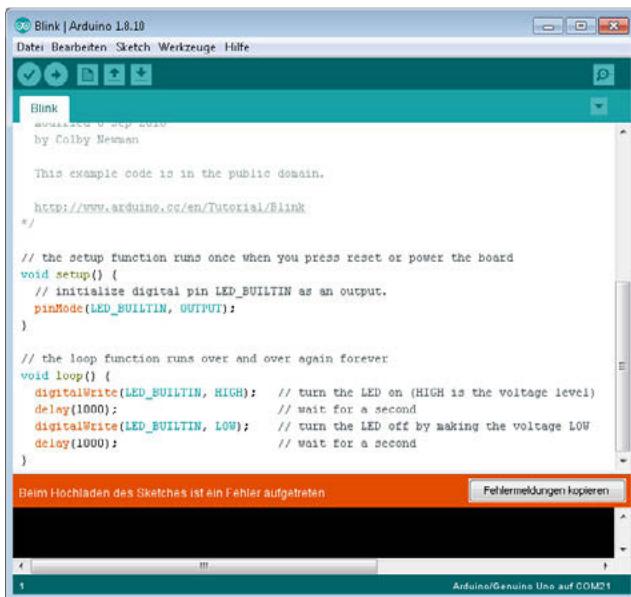
// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(3000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(100); // wait for a second
}

```

**Bild 7.21:** Das Blinkverhalten der LED lässt sich durch Verändern der beiden Delay-Zeiten variieren.

## Fehler beim Hochladen beheben

In seltenen Fällen kann, zum Beispiel unter Windows 7, die Übertragung fehlschlagen. Dies wird von der Entwicklungsumgebung ebenfalls gemeldet. Anstelle des grünen Balkens mit *Hochladen abgeschlossen* wird einer in Orange mit der Mitteilung *Problem beim Hochladen auf das Board* eingeblendet. Diese Fehlermeldung kann gelegentlich auftreten. Sie lässt sich leicht beheben, indem Sie unter *Werkzeuge* und *Port* einfach noch einmal den zuvor schon ausgewählten Port anklicken. Mitunter kann auch ein Neustart des Computers erforderlich sein.



**Bild 7.22:** In seltenen Fällen kann das Hochladen, zum Beispiel unter Windows 7, fehlschlagen. Eine Neuauswahl des Ports beseitigt in der Regel den Fehler.

## Mehrfarbige LED-Schaltung

Dass der Arduino tatsächlich etwas bewerkstelligt, erkennt man beim Aufbau einer ersten einfachen Schaltung. Für den ersten Versuch soll eine LED angesteuert werden, die in den Farben Rot, Grün und Blau leuchten kann. Des Weiteren soll jede Farbe separat gedimmt werden können. Da der Arduino konstant 5 V ausgibt, kann dies nicht über eine bloße Reduktion der Spannung erfolgen. Stattdessen kommt die Pulsbreitenmodulation, kurz PBM, zum Einsatz. Dabei wird die Gleichspannung an den dafür vorgesehenen Ausgängen pulsierend immer wieder unterbrochen, und zwar in so schnellem Rhythmus, dass das dem menschlichen Auge nicht auffällt. Da eine LED zudem äußerst schnell reagiert, schaltet sie entsprechend oft ein und aus und wirkt so dunkler.

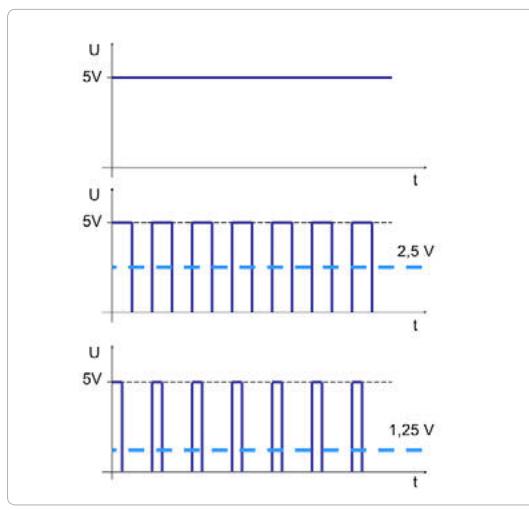
### PULSBREITENMODULATION

Die Pulsbreitenmodulation ist fester Bestandteil der Robotik. Mit ihr lässt sich zum Beispiel die Drehgeschwindigkeit eines Servomotors regeln, und damit kann dieser auch präziser gesteuert werden. Eine Funktionalität, die ebenfalls abseits der Robotik äußerst gefragt ist. Stellen wir uns einen an einer Batterie angeschlossenen Motor vor. Er dreht sich mit voller Drehzahl. Wird seine Stromzufuhr unterbrochen, bleibt er nicht augenblicklich stehen, sondern läuft noch etwas nach. Genauso dreht er sich unmittelbar nach dem Einschalten noch nicht mit voller Drehzahl, sondern erreicht diese erst etwas später.

### PULSBREITENMODULATION (FORTS.)

Lässt man den Motor stets nur für zwei Sekunden laufen und lässt ihn zwischendurch zwei Sekunden ausgeschaltet, lässt sich dieser Effekt gut beobachten. Wird die Pulsbreite jedoch so weit reduziert, dass er je eine Millisekunde ein- und wieder ausgeschaltet würde, bekäme man von diesem ständigen An- und Auslaufen gar nichts mit. Auffallen würde nur, dass der Motor lediglich die halbe Drehzahl erreichen würde. Wäre der Motor je für 1,5 ms an und nur für 0,5 ms aus, erreichte er dreiviertel seiner Nenndrehzahl und so weiter.

Die Dauer einer Ein-Aus-Sequenz nennt man Periode. Die Anzahl der Perioden pro Sekunde nennt man Frequenz.



**Bild 7.23:** Je kürzer die Einschaltzeiten im Vergleich zur kontinuierlichen Gleichspannung sind, umso geringer ist letztlich auch die wirksame Spannung.

### PWM-Pins für Pulsweitenmodulation

Der Arduino Uno besitzt sechs Pins, die für Pulsweitenmodulation geeignet sind. Sie sind mit einer Wellenlinie (~) markiert. Über sie wird die zuvor in der Programmierung festgelegte Intensität der Pulsweitenmodulation ausgegeben.



**Bild 7.24:** Die Digitalpins 3, 5, 6 und 9 bis 11 des Arduino Uno unterstützen PWM. Sie sind mit einer Wellenlinie markiert.

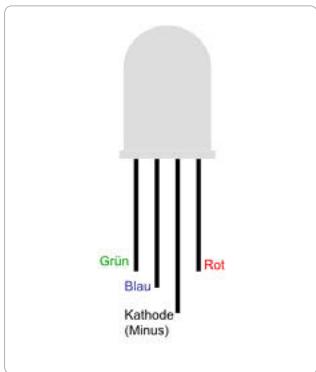
## Schaltung planen und bauen

Eine Schaltung mit dem Arduino Uno zu planen und aufzubauen, mag zunächst etwas komisch erscheinen. Denn dazu braucht es durchweg erstaunlich wenige Bauteile, die mitunter auf einem Steckboard recht verloren wirken. Sie sind mit wenigen Drähten mit dem Arduino verbunden, und das war's dann auch schon. Eine grobe Funktionalität einer solchen Schaltung lässt sich so kaum erkennen. Bei dieser Betrachtung vergisst man allzu leicht, dass der Arduino ein wesentliches, wenn nicht das alles entscheidende Bauteil ist. Die Funktionalität einer Schaltung wird nämlich vom Mikrocontroller bewerkstelligt. Das, was an Bauteilen noch gebraucht wird, beschränkt sich im Wesentlichen auf das zu steuernde Gerät, wie in diesem Beispiel die RGB-LED, Sensoren und zum Beispiel Schalter.

### RGB-LED

Eine RGB-LED vereint in einem gemeinsamen Gehäuse je eine rote, eine grüne und eine blaue LED. Das Merkmal dieses LED-Typs sind seine vier Anschlusspins. Betrachtet man die LED so, dass der längste Pin der dritte von links gesehen ist, entspricht der linke kurze Anschlussdraht der grünen LED, der daneben angeordnete mittellange der blauen und der rechte kurze Pin der roten LED. Der längste Anschluss bildet die gemeinsame Kathode (Minuspol).

Jedes dieser drei LED-Elemente bedarf eines eigenen Vorwiderstands, also in Summe drei.



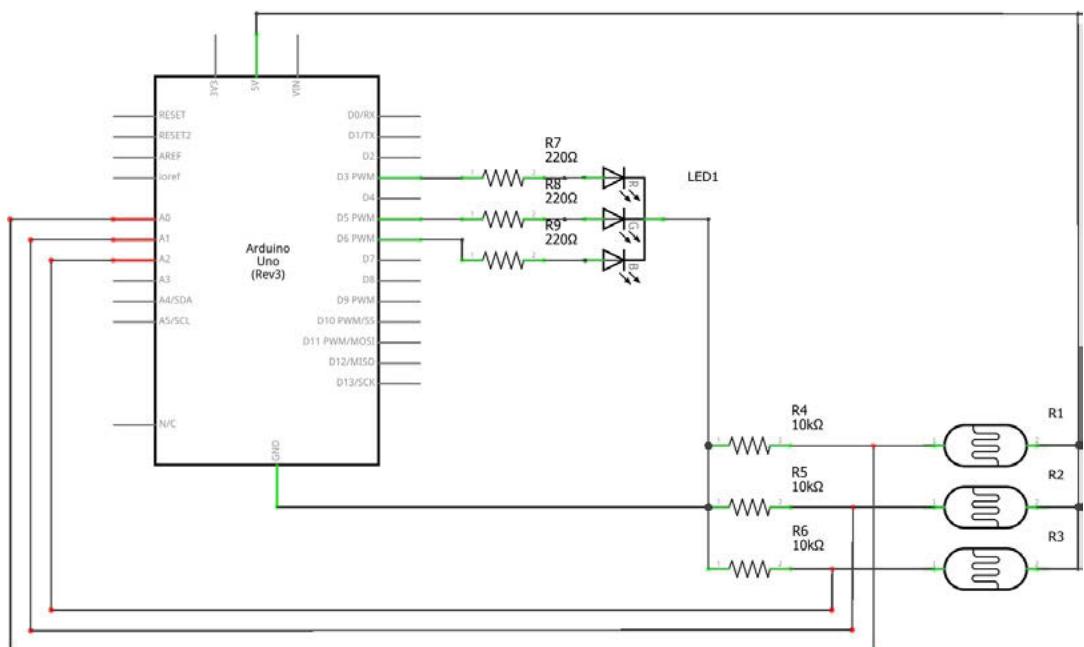
**Bild 7.25:** Anschlussbelegung einer RGB-LED

Zuerst platzieren Sie auf der Steckplatte die RGB-LED und die drei für sie benötigten Vorwiderstände. Von diesen sind Drahtbrücken zu drei digitalen PWM-Pins des Arduino Uno herzustellen. Für dieses Beispiel werden die digitalen Pins 3, 5 und 6 genutzt. Diese Festlegung ist insofern wichtig, als diese Pins auch im Steuerprogramm zu berücksichtigen sind. Die Kathode verbinden Sie mit dem Massepin (GND) des Arduino.

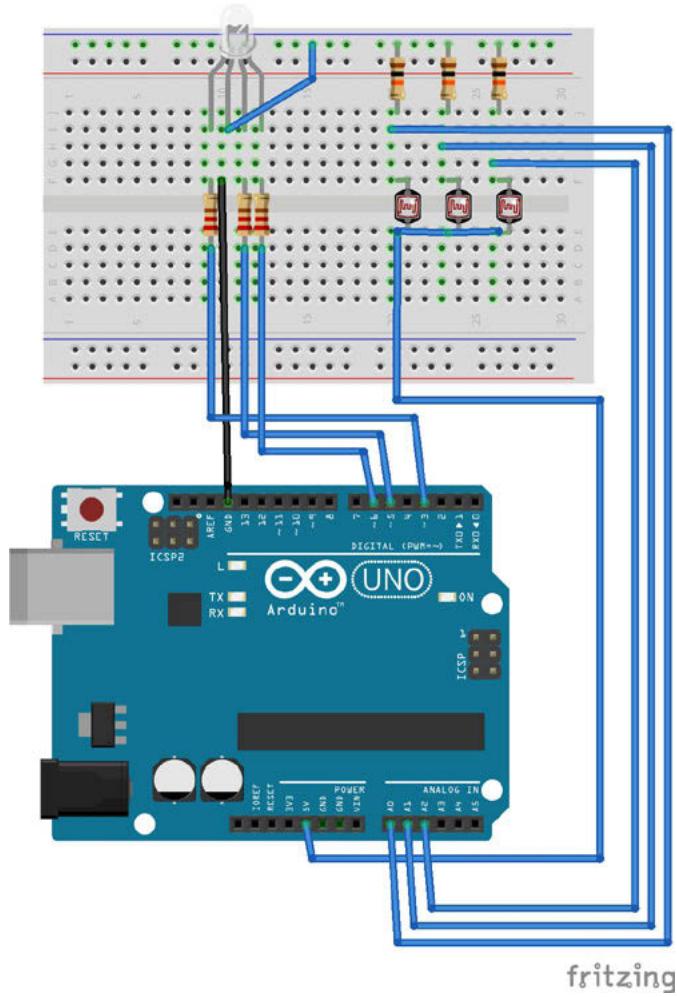
Des Weiteren sind auf der Steckplatte drei Spannungsteiler aufzubauen, für jede LED-Farbe einer. Für jeden Spannungsteiler werden ein hochohmiger und ein veränderbarer Widerstand, hier in Form eines Fotowiderstands, benötigt. Ein Ende der

drei Fotowiderstände ist per Drahtbrücke mit dem 5-V-Ausgang des Mikrocontrollers zu verbinden, die noch freien Enden der drei Widerstände mit dem Masseanschluss. Zuletzt verbinden Sie die drei Analogpins A0 bis A2 mit der Mitte der drei Spannungsteiler.

BENÖTIGTE BAUTEILE	
1	Arduino Uno
1	RGB-LED
3	Widerstände 220 $\Omega$ (rot, rot, braun)
3	Widerstände 10 k $\Omega$ (braun, schwarz, orange)
3	Fotowiderstände
9	Drahtbrücken



**Bild 7.26:** Schaltplan der mehrfarbigen LED-Schaltung.



**Bild 7.27:** So in etwa sieht der Aufbau der Schaltung auf dem Steckboard aus.

## Programmbeschreibung

Das Programm setzt sich aus mehreren Teilen zusammen.

- Zu Beginn wird festgelegt, welche Pins als Ein- und Ausgänge genutzt werden sollen.
  - Außerdem sind Variablen für die eingehenden Sensor- und Ausgangswerte festzulegen.

- Die Kommunikationsgeschwindigkeit wird mit 9.600 Bits pro Sekunde (bps) angegeben. Zudem sind alle die LEDs ansteuernden Pins als Ausgänge zu programmieren.
- Mit den anschließenden Zeilen wird dem Arduino erklärt, wie er die Sensorwerte an den analogen Eingängen auszulesen und weiter zu verarbeiten hat.
- Die anschließenden Zeilen dienen dazu, die analogen Messwerte in digitale Signale umzuwandeln. Hier wird die Helligkeit der LEDs mittels Pulsbreitenmodulation geregelt, wobei auch die LED-Lichtstärke festzulegen ist.

### Programmzeilen im Detail

```
const int greenLEDPin =3;
const int redLEDPin = 5;
const int blueLEDPin =6;

const int greenSensorPin = A0;
const int redSensorPin = A1;
const int blueSensorPin = A2;

int greenValue = 0;
int redValue = 0;
int blueValue = 0;

int greenSensorValue = 0;
int redSensorValue= 0;
int blueSensorValue = 0;

void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(greenLEDPin,OUTPUT);
pinMode (redLEDPin,OUTPUT);
pinMode (blueLEDPin,OUTPUT);
}

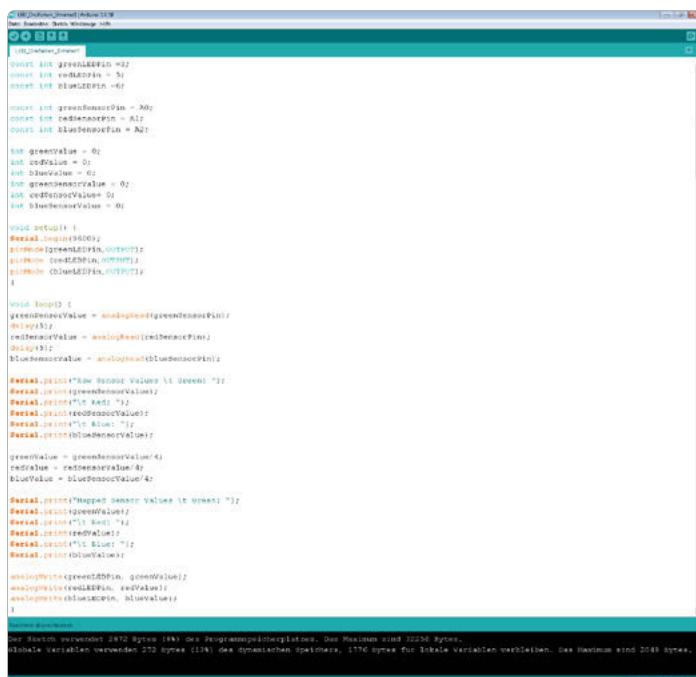
void loop() {
greenSensorValue = analogRead(greenSensorPin);
delay(5);
redSensorValue = analogRead(redSensorPin);
delay(5);
blueSensorValue = analogRead(blueSensorPin);
```

```
Serial.print("Raw Sensor Values \t Green: ");
Serial.print(greenSensorValue);
Serial.print("\t Red: ");
Serial.print(redSensorValue);
Serial.print("\t Blue: ");
Serial.print(blueSensorValue);

greenValue = greenSensorValue/4;
redValue = redSensorValue/4;
blueValue = blueSensorValue/4;

Serial.print("Mapped Sensor Values \t Green: ");
Serial.print(greenValue);
Serial.print("\t Red: ");
Serial.print(redValue);
Serial.print("\t Blue: ");
Serial.print(blueValue);

analogWrite(greenLEDPin, greenValue);
analogWrite(redLEDPin, redValue);
analogWrite(blueLEDPin, blueValue);
}
```



### Bild 7.28: Programmierung der mehrfarbigen LED-Schaltung aus Sicht der Arduino-IDE

## Funktion der Schaltung

Sobald das Programm auf den Arduino Uno geladen ist, beginnt die RGB-LED vermutlich weißgrau zu leuchten. Wird die Beleuchtung im Raum abgeschaltet, ändert sich die Lichtfarbe. Sie lässt sich auch variieren, indem einzelne Fotowiderstände abgedunkelt werden oder man auf sie Farbfilter legt. So reagieren sie nur auf bestimmte Wellenlängen des Lichts. Auf diese Weise lassen sich die einzelnen Farben der RGB-LED individuell verändern.

## LED-Dimmer bauen

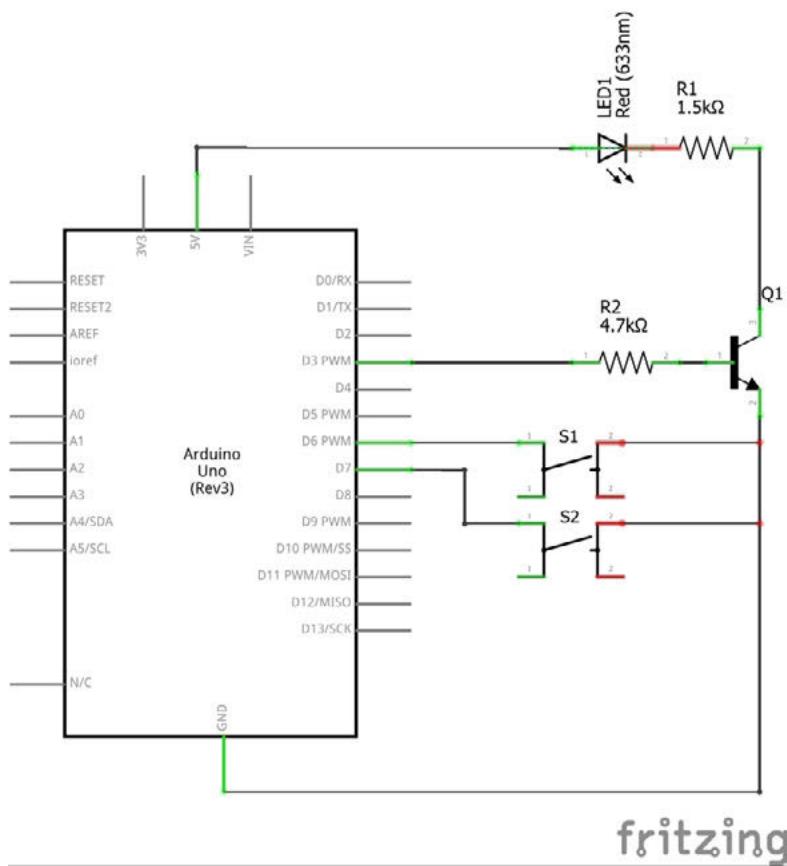
Mit wenigen Teilen lässt sich ein LED-Dimmer bauen, bei dem die Helligkeit über zwei Taster geregelt werden kann. Auch dies erfolgt auf Basis der Pulsbreitenmodulation, wobei über die Taster das Verhältnis zwischen Ein- und Ausschaltzeit innerhalb einer Periode manuell verändert wird.

Bei dieser Schaltung dient ein Transistor als Verstärker. Er wird über einen digitalen PWM-Ausgang angesteuert. Dem Transistor ist es zu verdanken, dass der Digitalausgang nur sehr wenig belastet wird, was insofern für Schaltungen relevant ist, als die Digitalausgänge beim Arduino Uno nur für Maximalströme von 40 mA ausgelegt sind. Eine Ausnahme bildet Pin 13. Seine Stromabgabe ist auf 20 mA begrenzt. Der Transistor erlaubt es so, mit einem sehr kleinen Steuerstrom deutlich größere Verbraucher zu schalten. So gesehen, könnte statt der LED in den Hauptstromkreis auch ein kleines Glühlämpchen mit einer Stromaufnahme bis zu 100 mA geschaltet werden.

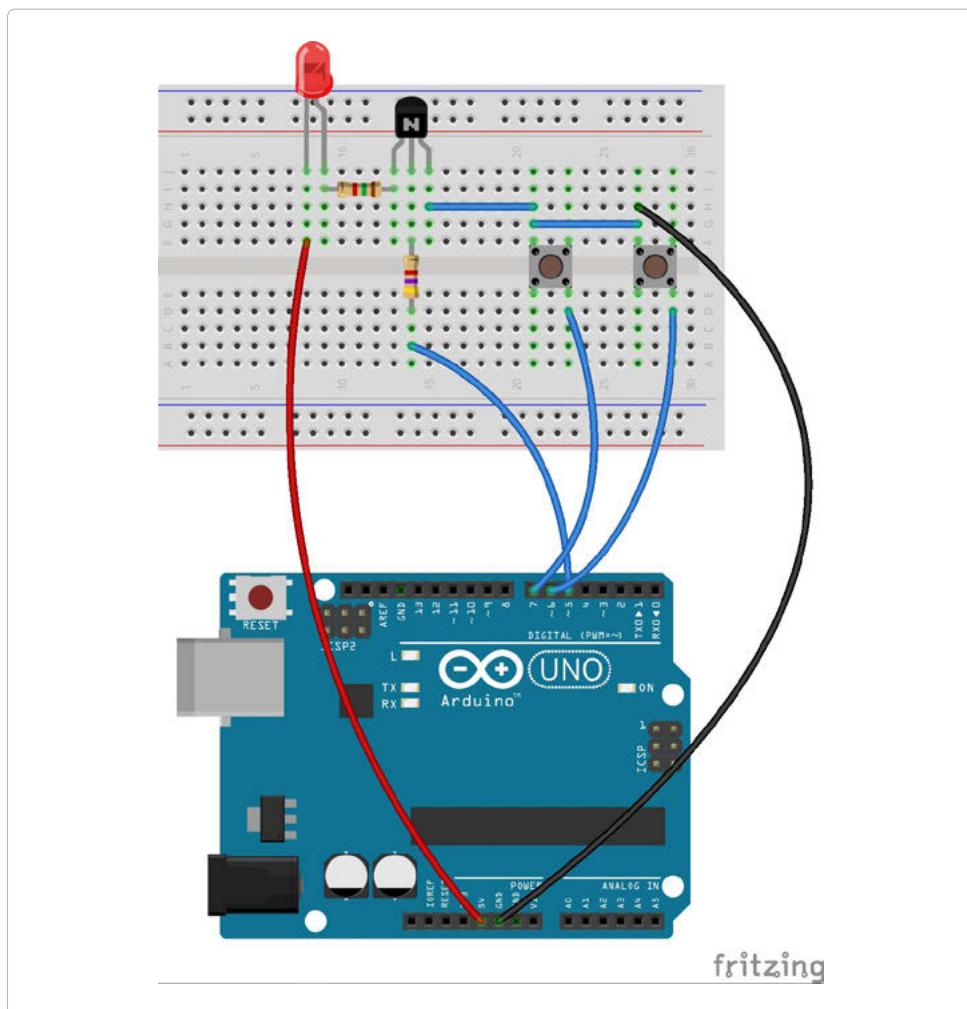
Die Helligkeit der Leuchtdiode kann durch Drücken der beiden Taster auf heller oder dunkler eingestellt werden. Das erfolgt, indem Sie direkt auf die Pulsbreitenmodulation zugreifen.

### BENÖTIGTE BAUTEILE

1	Arduino Uno
1	LED, rot
1	Transistor BC548C
1	Widerstand 1,5 kΩ (braun, grün, rot)
1	Widerstand 4,7 kΩ (gelb, violett, rot)
2	Taster
7	Drahtbrücken



**Bild 7.29:** Schaltplan des LED-Dimmers.



**Bild 7.30:** Aufgebaute LED-Dimmer-Schaltung.

### Programmbeschreibung

Dieses kleine Programm bietet sich an, wenn Sie sich ein wenig näher mit der Arduino-Programmierung beschäftigen wollen. Dabei werden Sie feststellen, dass sie hochflexibel ist. Sie lässt viele Freiheiten. So ist es etwa jedem selbst überlassen, wie zu Beginn bei den Initialisierungszeilen die einzelnen Komponenten benannt werden. Statt Taster1 könnte genauso gut T1, Schalter1 oder ein anderer Begriff eingetragen werden. Wichtig ist nur, dass die vergebenen Namen keine Leerzeichen enthalten. Diese erkennt die Arduino-IDE im Zuge der Überprüfung der Programmierung auf Plausibilität als Fehler. Diese Kontrolle lässt sich manuell über das Häkchensymbol in der

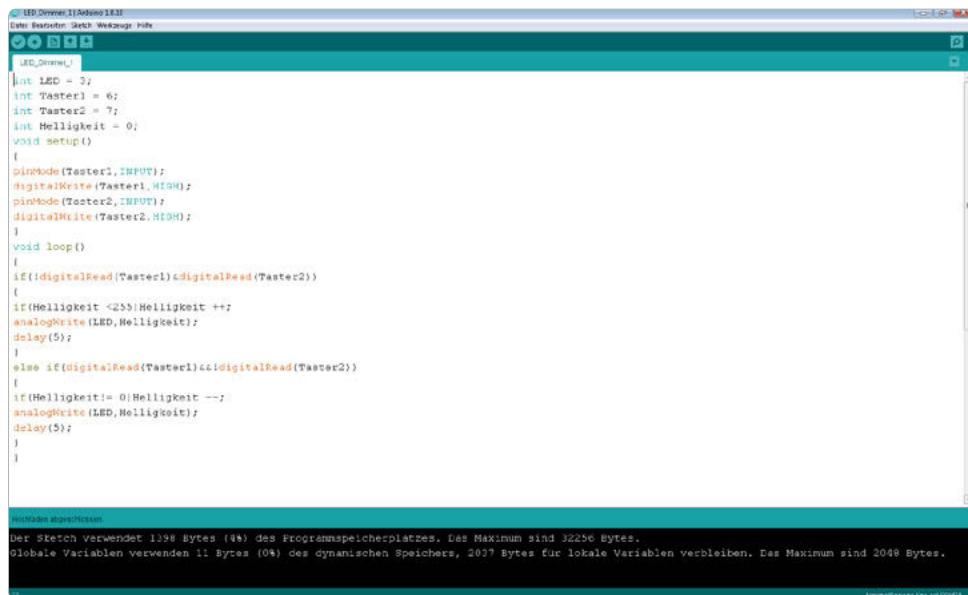
oberen Bedienleiste starten, abgesehen davon wird sie aber auch automatisch zu Beginn eines Hochladevorgangs auf den Mikrocontroller durchgeführt. Erkennt die Arduino-IDE einen Fehler, wird er im unteren Bereich der Menüoberfläche eingeblendet. Außerdem wird die fehlerhafte Software erst gar nicht auf den Arduino gespielt. Des Weiteren müssen vergebene Namen bis zum Ende der Programmierung beibehalten werden. Sie dienen schließlich im Programmaufbau auch dazu, einzelne Funktionen den richtigen Komponenten der Schaltung zuzuordnen.

In welchem Umfang die Programmoberfläche Freiheiten erlaubt, lässt sich gut überprüfen, nachdem ein funktionierendes Programm auf den Arduino Uno geladen und seine Funktionalität mithilfe der angeschlossenen Schaltung kontrolliert wurde. Nun können Sie in den Programmierzeilen einzelne Änderungen vornehmen. Dazu zählt auch, dass manche Programmierzeilen sogar untereinander ausgetauscht werden können. Nach einer solchen Änderung laden Sie diese „neue“ Programmversion auf den Arduino. Erfüllt das Programm seine Aufgabe weiter ohne Einschränkungen, ist diese Änderung zulässig. Das Beruhigende an diesem Probieren ist, dass man dabei nichts kaputt machen kann. Hat man zudem das funktionierende Originalprogramm zuvor gespeichert, kann man es jederzeit wieder auf den Arduino überspielen und so den Sollzustand wiederherstellen.

## Programmzeilen im Detail

```
int LED = 3;
int Taster1 = 6;
int Taster2 = 7;
int Helligkeit = 0;
void setup()
{
  pinMode(Taster1,INPUT);
  digitalWrite(Taster1,HIGH);
  pinMode(Taster2,INPUT);
  digitalWrite(Taster2,HIGH);
}
void loop()
{
  if(!digitalRead(Taster1)&digitalRead(Taster2))
  {
    if(Helligkeit <255)Helligkeit++;
    analogWrite(LED,Helligkeit);
    delay(5);
  }
  else if(digitalRead(Taster1)&&!digitalRead(Taster2))
```

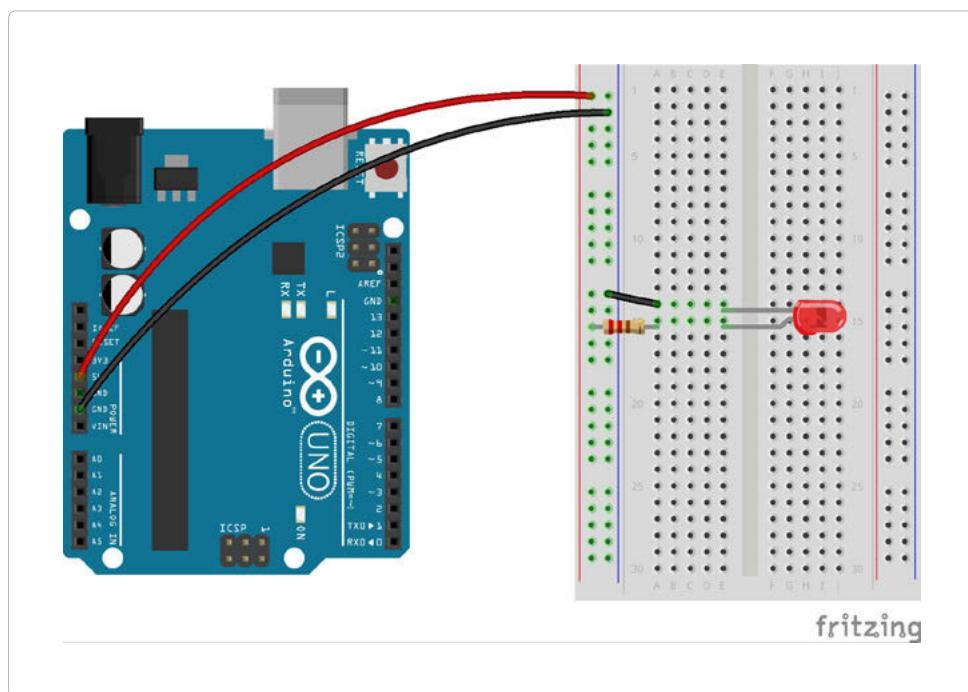
```
{
if(Helligkeit!= 0)Helligkeit --;
analogWrite(LED,Helligkeit);
delay(5);
}
}
```



**Bild 7.31:** Programmierung des LED-Dimmers aus Sicht der Arduino-IDE.

## ARDUINO ALS SPANNUNGSQUELLE

Die Qualitäten eines Arduino liegen nicht nur darin, dass man mit ihm intelligente Schaltungen aufbauen kann. Er bietet sich, ganz simpel, auch als Spannungsquelle für Schaltungen an. Über zwei Pins gibt er parallel 3,3 und 5 V aus. Vor allem 5 V gewinnt dank USB zunehmend an Bedeutung. Allerdings hat man nicht immer und überall eine USB-Buchse als Spannungsquelle zur Versorgung selbst gebauter Schaltungen zur Verfügung. Dann kann der Arduino Uno aushelfen, indem diese Spannung, gänzlich ohne programmiert werden zu müssen, ausgibt – selbst dann, wenn er über seine separate Netzteilbuchse mit Spannungen zwischen 7 und 12 V versorgt wird.



**Bild 7.32:** Der Arduino Uno kann auch als bloße Spannungsquelle für einfache Schaltungen genutzt werden.

## Würfeln mit dem Arduino

Mit dem Arduino lässt sich binnen weniger Minuten ein Würfelaufomat aufbauen. Er lässt sich auf mehrfache Weise realisieren. Die Luxusvariante ist, die möglichen Würfelbilder mit sieben LED auf der Steckplatine aufzubauen. Sieben deshalb, weil die ungeraden Zahlen eines Würfels auch in dessen Mitte ein Auge nutzen.

Es geht aber auch einfacher, indem man, wie in diesem Beispiel, nur vier LEDs nutzt. Dabei kann man auch mit dieser Variante bis sechs würfeln lassen. Es kommt dabei nur darauf an, welche und wie viele LEDs für die einzelnen Würfelzahlen leuchten sollen. Dies wird in der Programmierung anhand von in geschwungenen Klammern gesetzten Zahlengruppen realisiert. Für jede zu würfelnde Zahl ist eine separate Zahlengruppe zu programmieren.

Dabei werden die leuchtenden LEDs auf 1, die dunklen auf 0 gesetzt. Wird etwa die 1 gewürfelt, leuchtet entsprechend der Vorgabe in der Klammer  $\{1,0,0,0\}$  nur die erste, für die 4  $\{1,1,1,1\}$  leuchten alle vier LEDs. Für die Zahl 5 wurde mit  $\{0,1,1,0\}$  festgelegt, dass nur die beiden mittleren LEDs angehen sollen. Für die 6 sind entsprechend der Vorgabe  $\{1,0,0,1\}$  nur die beiden äußersten LEDs aktiv.

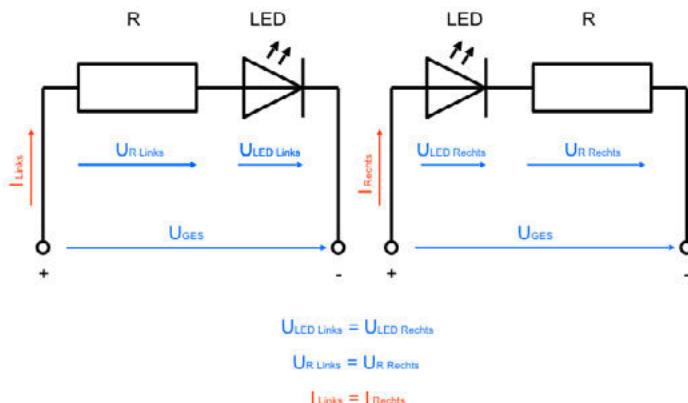
Zum Starten eines Würfelsvorgangs dient ein Taster. Mit ihm wird ein Zufallsgenerator aktiviert. Die wievielte Zahl ausgegeben werden soll, lässt sich in der Programmierung ebenfalls vorgeben. Soll die gewürfelte Zahl schnell erscheinen, ist unter `index1 <=` ein geringer Zahlenwert, zum Beispiel `20`, einzutragen. Würde man stattdessen etwa `50` wählen, würde der Arduino erst die `51`. Zahl anzeigen. Das dauert zwar etwas länger, ist aber auch effektvoller, da die LEDs währenddessen blinken und die Spannung steigt.

#### BENÖTIGTE BAUTEILE

- |   |   |
|---|---|
| 1 | Arduino Uno                                 |
| 4 | LEDs, rot                                   |
| 4 | Widerstände $220\ \Omega$ (rot, rot, braun) |
| 1 | Taster                                      |
| 7 | Drahtbrücken                                |

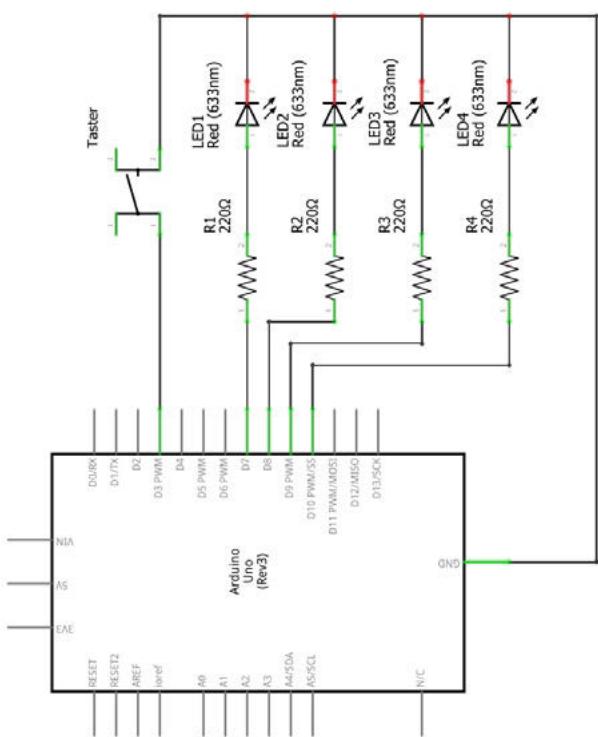
#### VORWIDERSTAND BEI EINER LED

Dass eine Leuchtdiode nur mit Vorwiderstand zu betreiben ist, ist bekannt. Üblicherweise wird dieser Vorwiderstand vor die Anode gesetzt. Sie ist der Pluspol und besitzt den längeren Anschlussdraht. Doch genauso gut kann der Vorwiderstand auch nach der Kathode, also dem Minuspol, geschaltet werden. Oft ist das schaltungstechnisch auch gar nicht anders möglich, etwa wenn es darum geht, das Platinenlayout übersichtlich zu halten und Drahtbrücken zu vermeiden. Bei beiden Varianten treten am Vorwiderstand und der LED jeweils dieselben Spannungsabfälle auf. Auch der Stromfluss ist bei beiden Schaltungsvarianten derselbe.

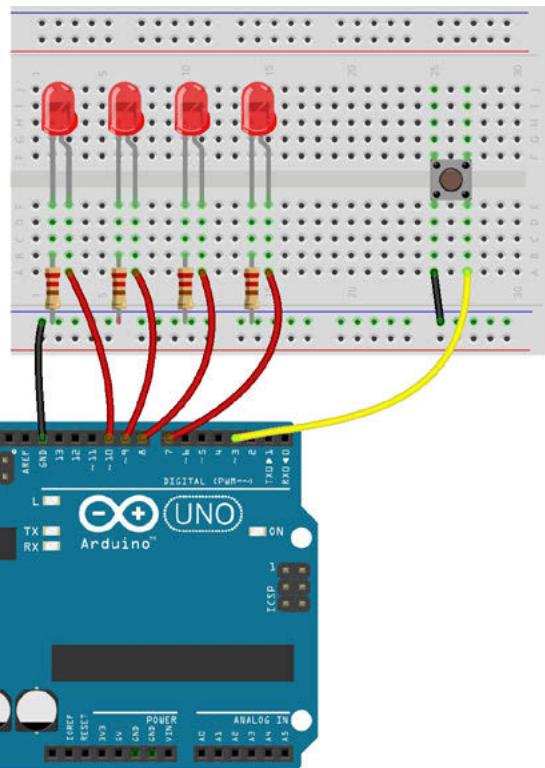


**Bild 7.33:** Den Spannungsabfällen und dem Stromfluss ist es egal, ob der Vorwiderstand an der Anode oder der Kathode der LED angeschlossen wird.

**Bild 7.34:** Aufgebaut Würfelschaltung.



fritzing



**Bild 7.35:** Schaltplan für den elektronischen Arduino-Würfel.

fritzing

## Programmbeschreibung

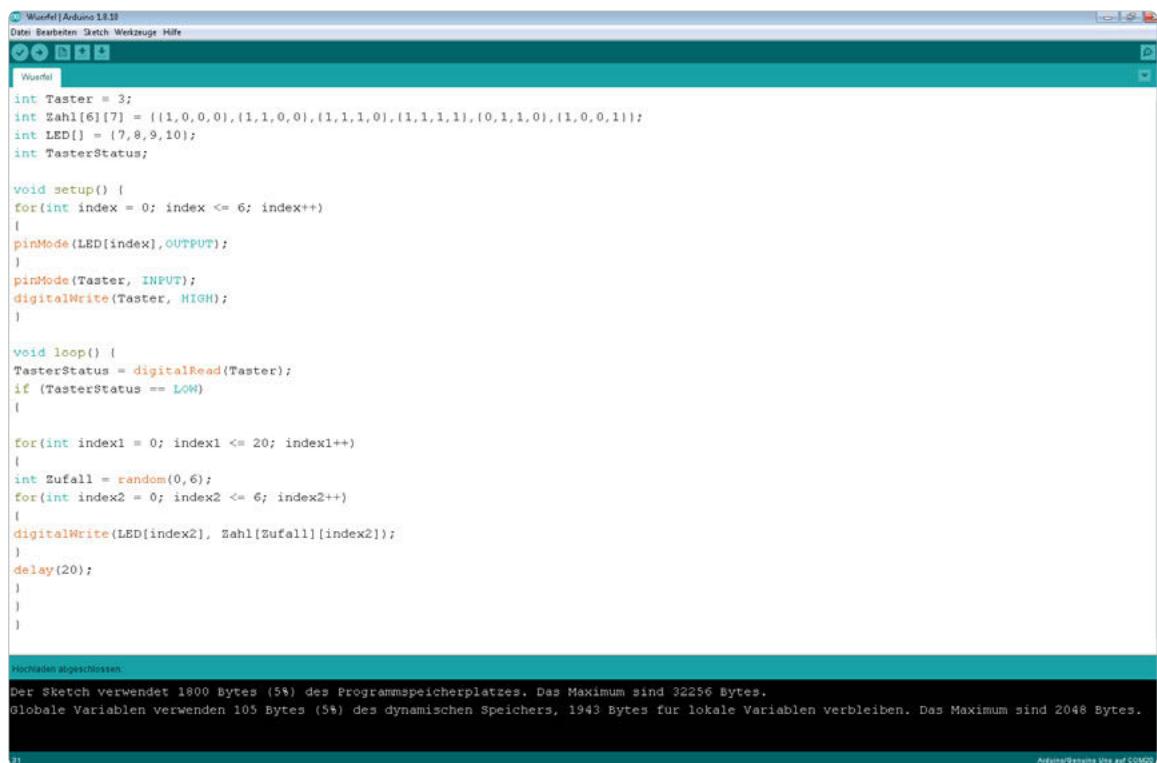
Die Programmierung für den elektronischen Würfel zeigt sich wieder überraschend simpel. Faszinierend ist auch, dass sie sich bequem an die aktuellen Erfordernisse anpassen lässt. So wäre etwa denkbar, den elektronischen Würfel nur bis vier zählen zu lassen, so wie es für verschiedene Spiele durchaus üblich ist. Zudem ist es der eigenen Fantasie überlassen, wie die gewürfelte Augenzahl dargestellt werden soll. Hier bietet sich ein reiches Feld an Kreationsmöglichkeiten.

## Programmzeilen im Detail

```
int Taster = 3;
int Zahl[6][7] = {{1,0,0,0},{1,1,0,0},{1,1,1,0},{1,1,1,1},{0,1,1,0},{1,0,0,1}};
int LED[] = {7,8,9,10};
int TasterStatus;

void setup() {
for(int index = 0; index <= 6; index++)
{
pinMode(LED[index],OUTPUT);
}
pinMode(Taster, INPUT);
digitalWrite(Taster, HIGH);
}

void loop() {
TasterStatus = digitalRead(Taster);
if (TasterStatus == LOW)
{
for(int index1 = 0; index1 <= 20; index1++)
{
int Zufall = random(0,6);
for(int index2 = 0; index2 <= 6; index2++)
{
digitalWrite(LED[index2], Zahl[Zufall][index2]);
}
delay(20);
}
}
}
```



```

Würfeln
Würfeln
int Taster = 2;
int Zahl[6][7] = {{1,0,0,0},{1,1,0,0},{1,1,1,0},{1,1,1,1},{0,1,1,0},{1,0,0,1}};
int LED[] = {7,8,9,10};
int TasterStatus;

void setup() {
for(int index = 0; index <= 6; index++)
{
pinMode(LED[index],OUTPUT);
}
pinMode(Taster, INPUT);
digitalWrite(Taster, HIGH);
}

void loop() {
TasterStatus = digitalRead(Taster);
if (TasterStatus == LOW)
{
for(int index1 = 0; index1 <= 20; index1++)
{
int Zufall = random(0,6);
for(int index2 = 0; index2 <= 6; index2++)
{
digitalWrite(LED[index2], Zahl[Zufall][index2]);
}
delay(20);
}
}
}
}

Nachladen abgeschlossen.

Der Sketch verwendet 1800 Bytes (5%) des Programmspeicherplatzes. Das Maximum sind 32256 Bytes.
Globale Variablen verwenden 105 Bytes (5%) des dynamischen Speichers, 1943 Bytes für lokale Variablen verbleiben. Das Maximum sind 2048 Bytes.


```

**Bild 7.36:** Programmierung des Würfels in der Arduino-IDE.

## Funktion der Schaltung

Die Handhabung der Schaltung ist simpel. Wird der Mikrocontroller mit Energie versorgt, sind zunächst alle LEDs dunkel. Erst mit kurzem Drücken auf den Taster startet der Zufallsgenerator. Der „gewürfelte“ Wert wird nach rund einer bis zwei Sekunden mit den LEDs angezeigt. Die Leuchtdioden zeigen den elektronisch gewürfelten Wert so lange, bis der Taster erneut betätigt wird.

Ein Nachteil der Schaltung ist, dass die Reihenfolge der gewürfelten Werte nach jedem Neustart die gleiche ist. Dieser Mangel lässt sich aber leicht beheben. Dazu müssen Sie in der Programmierung nur den unter *index1 <=* eingetragenen Wert verändern und diese neue Version auf den Arduino Uno laden.

# INDEX

## A

Akkus 29, 31  
Ampere 19  
Arduino 126  
Arduino-IDE 129  
einrichten 133  
Arduino-Inbetriebnahme 132  
Arduino-Mikrocontroller 126  
Arduino-Software 129  
Arduino Uno 127  
im Detail 127

## B

Batterien 29, 31  
Bauteiltoleranzen 89  
Brückengleichrichter 76  
Brummspannung 78

## C

CAT-Klassen 105  
CAT-Zertifizierung 105

## D

Diac 92  
Dielektrikum 35, 37, 72  
Dielektrizitätszahl 37  
Diode 45, 75  
Direkte Leistungsmessung 115  
Drehstrom 17  
Dunkelwiderstand 69  
Durchbruchsspannung 83  
Durchlassrichtung 45

## E

Einzelwiderstand 24  
Elektrische Arbeit 61  
Elektrische Feldkonstante 37  
Elektrische Ladung 34

Elektrische Leistung 60  
Elektrischer Leiter 19  
Elektrischer Strom 19  
Elektrischer Widerstand 19  
Elektrische Spannung 19  
Elektrolyt 73  
Elektrolytkondensatoren 72  
Elektronenüberschuss 35  
Elkos 72  
Emitter 88  
Energiewandler, Wirkungsgrad 62  
Erde 21  
Erstes kirchhoffsches Gesetz 33

## F

Farad-Wert 75  
Fotodiode 81  
Fotowiderstand 69  
Frequenz 58, 59

## G

Gemischte Schaltung 26  
Gepolte Kondensatoren 72  
Geräte, batteriebetrieben 32  
Gesamtwiderstand 24  
Glättungskondensator 78  
Gleichrichterschaltung 75  
Gleichspannung 13, 76  
Gleichstrom 15  
Gleichstromkreis 35  
GND 21  
Ground 21  
GTO-Thyristor 90

## H

Hausinstallation, Massepunkt 21  
Heißleiterwiderstand 68  
Hellwiderstand 69

## I

ICs 100  
Indirekte Leistungsmessung 114  
Indirekte Messung 114  
Indirekte Strommessung 110  
Induktiver Blindwiderstand 54  
Induktivitäten 93  
Integrierte Schaltungen 99  
Isolator 37  
Isolierstoff 72

## K

Kaltleiterwiderstand 68  
Kelvin 66  
Knoten 32  
Knotenpunktregel 33  
Kohleschichtwiderstände, Farbcode 64  
Kollektor 88  
Kondensator 35, 39, 72  
  Entladezeit 39  
  Ladezeit 39  
Kondensatoren 35  
  Beschriftung 74  
  Toleranzbereich 44  
Kondensatortypen 72  
Kreisspulen 49

## L

Laststrom 90  
Lawinen-Effekt 83  
LDR 69  
LDR-Widerstand 69  
LED  
  Aufbau 80  
  Funktion 80  
LED-Dimmer 146  
LEDs 79  
LED-Schaltung 139

LED-Vorwiderstand 81  
Leistungsaufnahme 60  
Leistungsmessung 114  
Leitungen 19  
Leitungsverlauf 20  
Leuchtdiode 79  
Lochrasterplatinen 116  
Logische Grundschaltungen 122  
Luftspulen 49

## M

Magnetischer Leitwert 49  
Maschenregel 33  
Masse 21  
Massepunkt, Hausinstallation 21  
Maximalwert 56  
Messen 104  
Messgenauigkeit 108  
Messgerät 104  
  Polung 109  
Messstrippen 106  
Metallschichtwiderstände 66  
  Farbcode 65  
Mikrocontroller 126  
Minuspol 35  
Multimeter 104

## N

Nanofarad 75  
Nennspannung 29  
Netzwerk 32  
Netzwerknoten 32  
Netzwerklisten 32  
NICHT-Schaltung 123  
n-Leiter 84  
npn-Transistor 88

## O

ODER-Schaltung 123  
Ohm 18, 19  
Widerstandswert 64  
Ohmsches Gesetz 19

## P

Parallelschaltung 23, 26, 30  
Induktivitäten 52  
Pebble, virtuelles Steckboard 116  
Periodendauer 59  
Permittivitätszahl 37  
Platinen 116  
Platinenlayout 117  
p-Leiter 84  
Pluspol 35  
pnp-Transistor 89  
Potenziometer 71  
PTC-Widerstand 68  
Pulsbreitenmodulation 139

## Q

Quarzoszillator 98

## R

Reihenschaltung 29  
Kondensatoren 42  
RGB-LED 141

## S

Schaltkreise 99  
Schaltpläne 20  
Schaltungen 116  
Schaltungsaufbau 116  
Scheitelwert 56  
Selbstinduktionsspannung 52  
Serien-Parallelschaltung 30  
Serienschaltung 22  
Siliziumdioden 45  
Siliziumhalbleiterdiode 83  
SMD 102

SMD-Bauteile 102  
Solarzellen 29  
Spannung 10, 12, 19  
messen 108  
Spannungsarten 13  
Spannungsmessbereich 109  
Spannungsquelle 10  
Sperrspannung 46, 83  
Spitzenwert 56  
Spitze-Spitze-Wert 57  
Spulen 49, 93  
Steckboards 120  
Steckplatten 116  
Steuerstrom 90  
Strom 10, 15, 19  
messen 110  
Stromkreis 16  
Stommesser 35  
Stromquelle 10  
Stromstärke 19  
Stromverstärkungsfaktor,  
Transistoren 86

## T

Tau 39  
Teilspannung 42  
messen 109  
Temperaturänderung,  
Widerstände 67  
Thyristor 90  
Trafo-Berechnungen 96  
Transformator 95  
Übersetzungsverhältnis 97  
Transistor 84  
Spannung 87  
Triac 91  
Trimmwiderstand 72

## U

UND-Schaltung 122  
Ungepolte Kondensatoren 72

**V**

Varistor 70  
VDR 70  
Verknüpfungen 122  
Verlustenergie 62  
Virtuelles Steckboard 116  
    Pebble 116  
Volt 19  
Vorwiderstand 35, 81

**W**

Wechselspannung 14, 39, 55  
    Arten 56  
Wechselstrom 17  
Wechselstromkreis 39  
Widerstand 18, 19, 26, 64  
    messen 112  
    Temperatur 67  
Widerstandswert, Ohm 64  
Wirkungsgrad  
    berechnen 62  
    Energiewandler 62  
Würfelautomat 151

**X**

XODER-Schaltung 124

**Z**

Z-Diode 83  
Zeitkonstante 39  
Zelle 31  
Zener-Effekt 83  
Zweites kirchhoffsches Gesetz 33  
Zylinderspulen 49



## Erste Schritte

# IN DER ELEKTRONIK

Für den perfekten Start in die Welt der digitalen Elektronik

Dieses Buch vermittelt Ihnen anhand vieler erklärender Bilder und Schaltpläne die Grundlagen der Elektronik. Kurz und bündig erläutert es alle wichtigen Zusammenhänge von z. B. Gleich-, Wechsel- oder Drehstrom, beschreibt die Unterschiede zwischen Serien-, Parallel- sowie gemischten Schaltungen und stellt die wichtigsten elektronischen Bauteile, vom Widerstand über den Kondensator und die Diode bis hin zum Thyristor und dem Quarzoszillator, vor. Natürlich lernen Sie auch integrierte Schaltungen und den richtigen Umgang mit ICs kennen.

Außerdem erfahren Sie, wie Sie mit dem Multimeter umfangreiche Messungen an elektrischen Anlagen sowie Schaltungen durchführen, und lernen Logik-Grundschaltungen und deren Verknüpfungen kennen.

Schließlich realisieren Sie erste spannende Elektronikprojekte mit dem Arduino-Mikrocontroller, indem Sie mit dem virtuellen Steckboard Pebble eigene Schaltungen entwerfen.

### IN DIESEM BUCH GEHT ES UM:

- Was ist elektrischer Strom?
- Spannungsquelle und Stromquelle
- Das ohmsche Gesetz
- Elektrische Leiter in Schaltplänen
- Serien- und Parallelschaltung
- Gemischte Schaltung
- Netzwerk und Netzwerkknoten
- Farbcodes in der Elektronik
- Elektrische Ladung
- Kondensatoren und Kapazität
- Basiswissen zur Diode
- Zylinder- und Kreisspulen
- Wechselspannung und -strom
- Elektronische Bauteile
- Einfache Gleichrichterschaltung
- Trafo-Berechnung vornehmen
- Der richtige Umgang mit ICs
- Messen mit dem Multimeter
- und vieles mehr