

Physik

Elektrizitätslehre bis zur 10. Klasse

Norbert Meier 2020

Vorwort

Wir wollen uns zunächst mit den elektrischen Größen wie die Spannung U , den Strom I und die Leistung P beschäftigen, die man auf fast allen elektrischen Geräten im Haushalt findet.

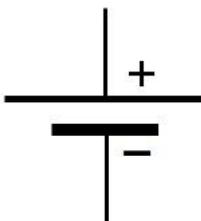
Batterien liefern eine Gleichspannung

Es gibt eine Vielzahl von unterschiedlichen Batterien. Eine Auswahl zeigt das nächste Bild:



Jede dieser Batterien hat eine Pluspol und einen Minuspol. Beim Einlegen dieser Batterien in ein Gerät ist darauf zu achten, zu welcher Seite der Pluspol und der Minuspol eingelegt werden muss.

Das Schaltzeichen einer Batteriezelle mit einer Spannung von $U = 1,5$ Volt ist sehr einfach gestaltet:



Batterie für ein Motorrad und für ein Auto

Motorrad-Batterie:

Neben der Angabe der Spannung von 12 V und der Kennzeichnung (+) für den Pluspol und (-) für den Minuspol



ist unten die Lademenge in 12 Ah, also den Ampere-Stunden, angegeben.

Auto-Batterie:

Neben den Angaben für die Spannung 12 V, der Lademenge und der Polarität ist der Minuspol im Durchmesser kleiner als der Pluspol. Damit wird das falsche Aufstecken der Kontaktklemmen verhindert.



Einzelteile einer Taschenlampe

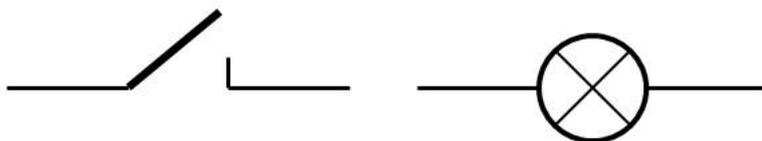
Eine Taschenlampe mit zwei Babyzellen und einer kleinen Glühbirne hat früher mal so ausgesehen:



Nr. 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Nr.: 1	Verschlusskappe	Nr.: 2	Spiralfeder
Nr.: 3	Batterie 1,5 Volt	Nr.: 4	Schiebeschalter
Nr.: 5	Magnethalter	Nr.: 6	Batterie 1,5 Volt
Nr.: 7	Außenhülle	Nr.: 8	Reflektor
Nr.: 9	Glühbirne	Nr.: 10	Schutzkappe

Das Schaltzeichen für einen Schalter und eine Glühbirne sieht so aus:



Schalter

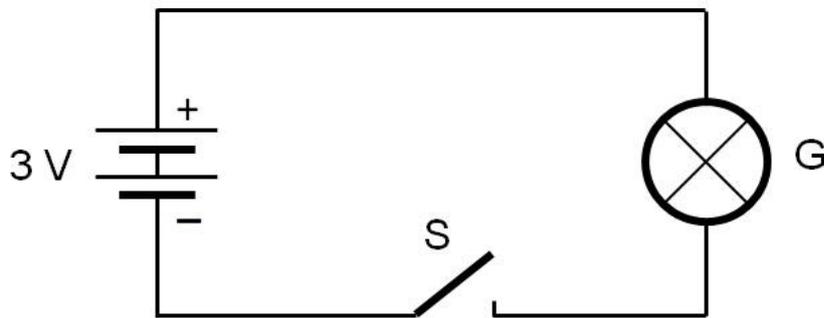
Glühbirne

Aufgabe:

Zeichne einen elektrischen Schaltplan für eine Taschenlampe mit den bekannten Symbolen in Schaltplänen: zwei Batterien hintereinander, ein Schalter in Ausstellung und eine Glühlampe.

Beachte dabei den Hinweis: Bei der Taschenlampe befindet sich der Schalter zwischen Minuspol der Batterie und der Glühlampe.

Der Schaltplan hat folgendes Aussehen:



Formel für die elektrische Leistung (P)

Bei elektrischen Geräten berechnet sich die elektrische Leistung (P) aus dem Produkt Spannung (U) multipliziert mit der Stromstärke (I) .

$$P = U \cdot I$$

Die Einheit der elektrischen Leistung ist das Watt (W)

$$1W = 1V \cdot 1A$$

Aufbau einer Glühbirne

Der Aufbau einer Glühbirne ist leicht zu überschauen.

Bilder



Skizze



Aufgabe:

Welche elektrischen Angaben Spannung in Volt, Stromstärke in Ampère und/oder die Leistung in Watt findet man auf den Glühbirnen ?

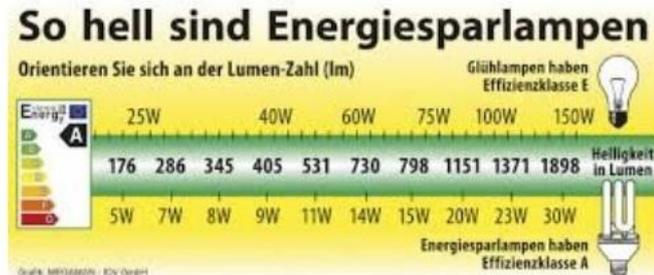
1. Alte Haushaltsglühbirne 230 V~ und 60 W
2. Taschenlampenlühbirne 3 V und 0,2 A
3. Bremslicht am Auto 12 V und 10 W

Achtung:

Im Haushalt dürfen aus Energiespargründen keine Glühbirnen mehr Verwendung finden. Es dürfen nur noch Neon-Lampen und LED-Lampen verwendet werden.

Energiesparlampen für 230 Volt

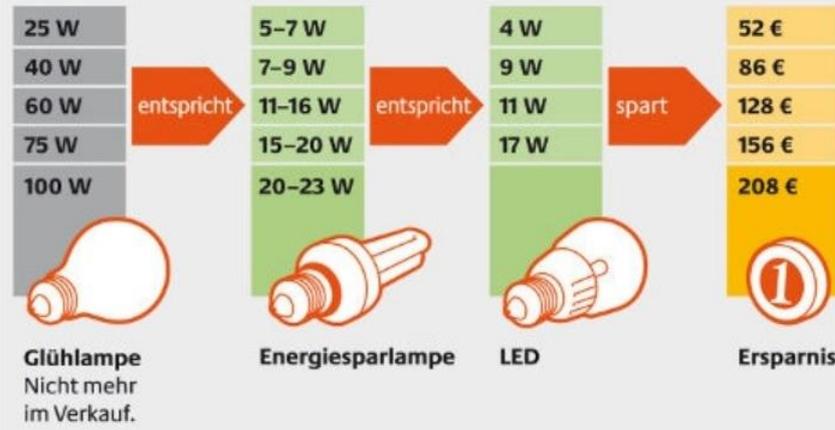
Nicht die Angabe der Wattzahl, sondern die Helligkeit, gemessen in Lumen (lm), und der Farbton bestimmen den Kauf einer Energiesparlampe.



Stromkosten sparen über die lange Lebensdauer:

So viel sparen effiziente Lampen.

Schon der Austausch einer Glühlampe gegen eine ebenso helle Energiesparlampe oder LED kann über die Lebenszeit bei einem Strompreis von 26 Cent pro kWh mehr als 200 Euro Stromkosten sparen.



Aufbau einer modernen kleinen Taschenlampe

Als Leuchtmittel bei der nachfolgend dargestellten LED-Taschenlampe wird eine Vielzahl von kleinen Leuchtdioden (LED), die radial angeordnet sind, als Flächenstrahler eingesetzt.

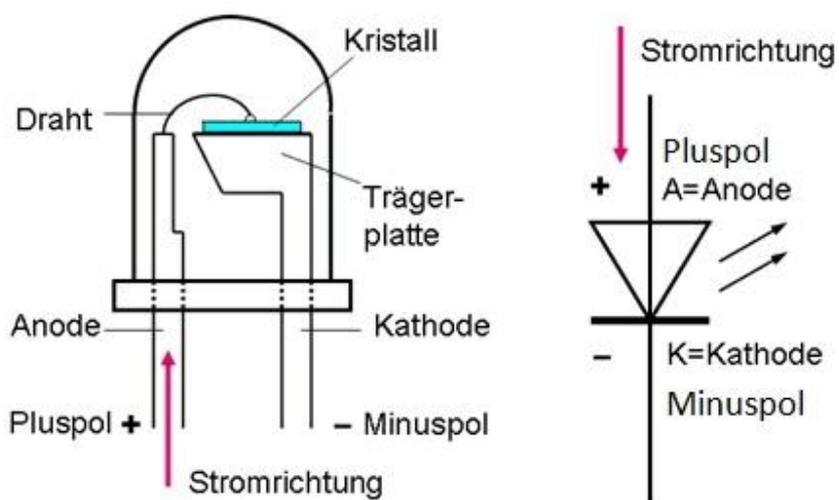


Aufbau einer Leuchtdiode (LED)

Klarsichtige Leuchtdioden erlauben es nur in wenigen Exemplaren den inneren Aufbau zu erkennen. In der folgenden Abbildung habe ich versucht, durch seitlichen Lichteinfall den Aufbau zu zeigen. Ein dünner Golddraht zeigt in einen pfannenförmigen Grundkörper, in dem sich ein leuchtfähiges Kristallplättchen befindet.



Schematischer Aufbau einer Leuchtdiode:

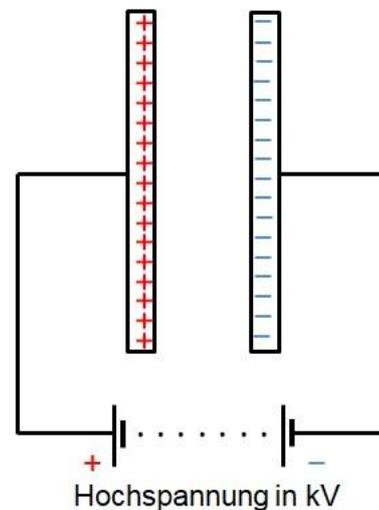
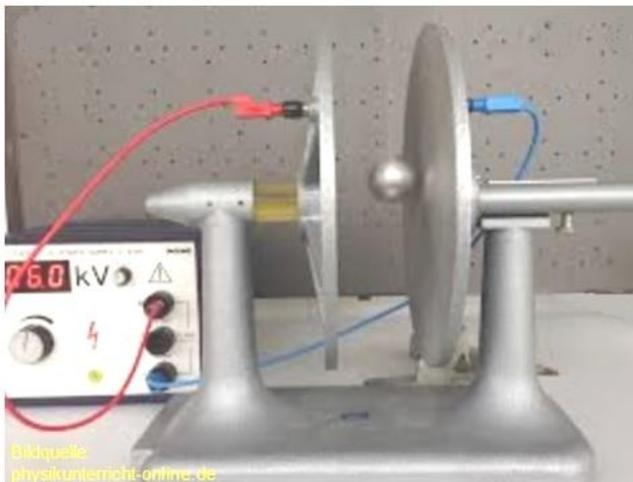


Elektrostatik

Wir behandeln dieses Kapitel an dieser Stelle, um den Begriff der elektrischen Spannung infolge der Ladungstrennung von positiven und negativen Ladungen zu definieren. Es wird über die Ladungsverteilung und den elektrischen geladener Körper berichtet. Auch über die Kraftwirkungen, die elektrische Ladungen aufeinander ausüben, wird berichtet.

Das elektrische Feld eines Plattenkondensators

Ein Plattenkondensator besteht aus zwei sich parallel gegenüberstehenden Metallplatten.



Legt man an die zwei Platten eines solchen Kondensators die Pole einer Gleichspannungsquelle, dann fließt kurzzeitig ein Strom $i(t)$. Dabei laden sich die Platten gegenseitig auf.

Die Ladungsmenge $Q = i(t) \cdot \Delta t$ auf den Platten ist proportional zur angelegten Spannung U . Aus der Proportionalität

$Q \sim U$ folgt $Q/U = \text{konst.}$

Der Quotient Q/U gibt an, welcher Ladungsbetrag Q beim Anlegen einer Spannung von 1 V auf die Platten fließt und heißt deshalb Kapazität des Plattenkondensators.

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

Die Kapazität hat die Einheit $[C] = 1 \text{ As/V} = 1 \text{ F}$ (Farad)

Die Größe der Kapazität eines Plattenkondensators

Die geometrischen Abmessungen eines Plattenkondensators bestimmen die Größe der Kapazität.

Wenn A die Fläche einer Kondensatorplatte ist und d der Abstand der beiden Platten, dann gilt die Proportionalität

$C \approx A/d$ Der Quotient $C \cdot d / A$ ist eine Konstante. Die Proportionalitätskonstante ist eine Naturkonstante und heißt Dielektrizitätskonstante ϵ_0 des Vakuums:

$$\epsilon_0 = 8,8518 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

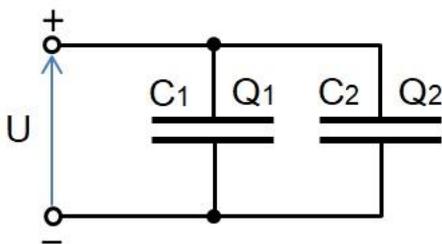
Wird zwischen die Kondensatorplatten ein Isolator - ein Dielektrikum - eingefügt, dann erhöht sich seine Kapazität um den Faktor ϵ_r

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

ϵ_r heißt relative Dielektrizitätskonstante und ist eine Materialkonstante.

Parallelschaltung von Kondensatoren

Zwei Kondensatoren C_1 und C_2 sind parallel geschaltet.



Wird an diese Parallelschaltung die Spannung U gelegt, dann laden sich die Kondensatoren auf mit

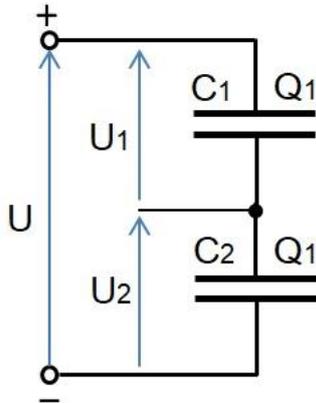
$$Q_1 = C_1 \cdot U \text{ bzw. } Q_2 = C_2 \cdot U$$

auf. Die Gesamtkapazität C_{ges} ist dann

$$C_{\text{ges}} = \frac{Q_1 + Q_2}{U} = \frac{C_1 \cdot U + C_2 \cdot U}{U} = C_1 + C_2$$

Reihenschaltung von Kondensatoren

Zwei Kondensatoren C_1 und C_2 sind in Reihe geschaltet.



Wird an diese Reihenschaltung die Spannung U gelegt, dann trägt jeder Kondensator die gleiche Ladung Q . Die Spannungen U_1 und U_2 addieren sich zur Gesamtspannung U .

$$U = U_1 + U_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

Daraus folgt

$$\frac{U}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

Für die Gesamtkapazität C_{ges} bei einer Reihenschaltung von zwei Kondensatoren wird dann mit

$$C_{ges} = \frac{Q}{U}$$

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

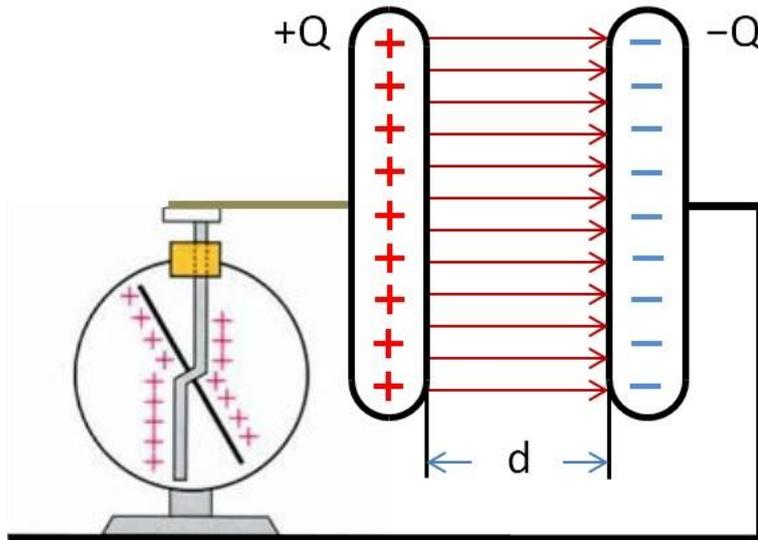
oder nach C_{ges} aufgelöst:

$$C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

In Worten: Bei der Reihenschaltung von zwei Kondensatoren C_1 und C_2 berechnet sich die Gesamtkapazität C_{ges} aus dem Produkt von C_1 und C_2 dividiert durch die Summe von C_1 und C_2 .

Feldstärke im Plattenkondensator

Ein Kondensator wird geladen und anschließend von der Spannungsquelle getrennt. Mit einem am Plattenkondensator angeschlossenen Elektroskop kann man feststellen, dass sich bei einer Vergrößerung des Plattenabstandes d die Spannung U vergrößert.



Erklärung:

Die unterschiedlich geladenen Platten werden entgegen ihrer Anziehungskraft voneinander mit der Wegstrecke s entfernt. An den Platten wird die Arbeit

$$W = F \cdot s$$

verrichtet. Auch an eine kleine Ladung q , die entlang der Feldlinien bewegt wird, wird diese Arbeit verrichtet. Ist der Weg über den ganzen Plattenabstand, so ist $s = d$. Für die an der Ladung q verrichtete Arbeit ist

$$W = F \cdot d \text{ mit } F = q \cdot E \text{ wird } W = q \cdot E \cdot d \text{ oder } W/q = E \cdot d$$

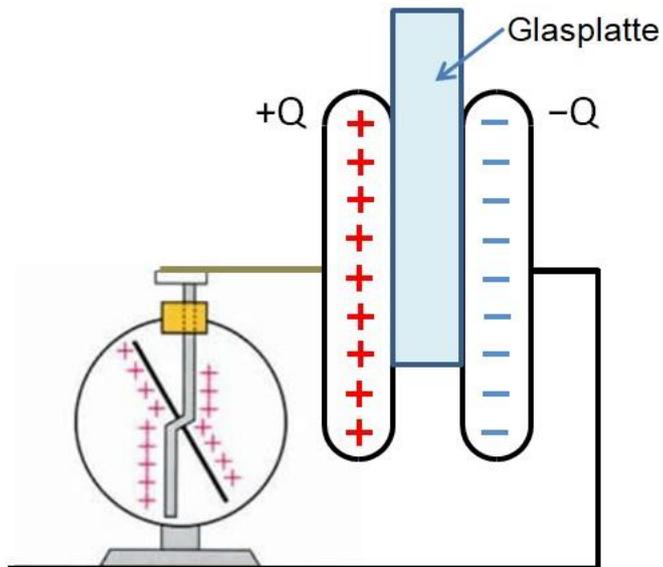
Mit dem Zusammenhang $U = W/Q$ folgt $U = E \cdot d$

Die elektrische Feldstärke E im homogenen Feld eines Plattenkondensators beträgt:

$$E = \frac{U}{d}$$

Dielektrikum im Plattenkondensator

Im Versuch wird ein Plattenkondensator zunächst mit angeschlossener Hochspannungsquelle aufgeladen. Die Hochspannungsquelle wird entfernt und eine Glasplatte wird zwischen die Kondensatorplatten geschoben. Am Elektroskop ist dabei zu beobachten, dass die Kondensatorspannung sinkt und beim Herausziehen der Glasplatte wieder ansteigt.



Erklärung:

Weil die Ladung Q konstant bleibt, bedeutet eine Verkleinerung von U eine Vergrößerung von C aufgrund der Beziehung $Q = C \cdot U$.

Das Dielektrikum vergrößert die Kapazität C um den Faktor ϵ_r .

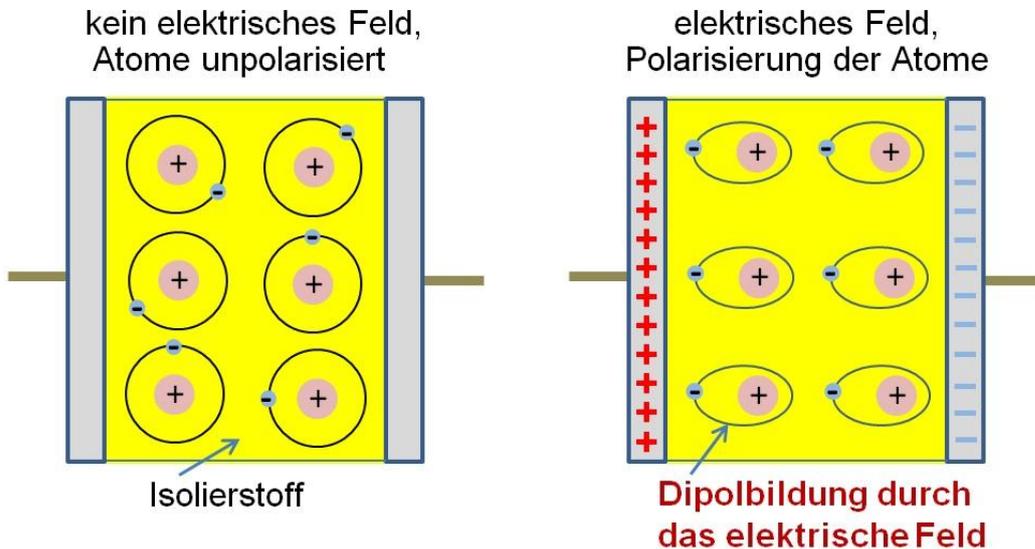
$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

Den Faktor ϵ_r nennt man Dielektrizitätskonstante. Von den Isolierstoffen sind folgende Werte bekannt:

Glas	5 – 10
Plexiglas	3,4
Papier	3,7
Öl	2,0
Nitrolack	5,2

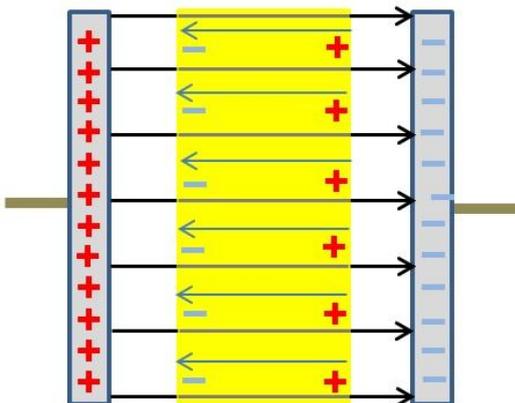
Polarisation eines Dielektrikums

Wir betrachten zunächst einen ungeladenen Kondensator mit Isoliermaterial zwischen den Kondensatorplatten. Um die Atomkerne im Isolierstoff kreisen die Elektronen ungeordnet, wie das linke Bild verdeutlichen soll.



Durch den Einfluss eines äußeren elektrischen Feldes tritt eine starke räumliche Verschiebung der Elektronen und eine geringfügige Lageänderung der schweren Atomkerne auf. Die einzelnen Atome werden durch die elektrischen Anziehungskräfte der geladenen Kondensatorplatten zu kleinen **Dipolen**, sie werden polarisiert. Man nennt den Isolator daher auch ein **Dielektrikum**, dieser Name erinnert an Dipol.

Die Polarisation hat den gleichen Effekt, wie eine Verringerung des Plattenabstandes beim Luftkondensator.



Das innere Dipolfeld wirkt dem äußeren Feld entgegen. Die Feldstärke E wird kleiner, da die Felder sich gegenseitig abschwächen. Mit der Feldstärke wird die Spannung U ebenfalls kleiner, da $E = U/d$ gilt. Entsprechend wird die Kapazität größer, wenn U kleiner wird ($C = Q/U$).

Das Ohmsche Gesetz

Der Physiker und Erfinder Georg Simon Ohm hat an Stromkreisen mit verschiedenen elektrischen Leitern und mit einfachen Messgeräten für die Spannung (U) und den Strom (I) erkannt, dass bei Erhöhung der Spannung der Strom proportional ansteigt. Die mathematische Formulierung lautet dann:

$$U = K \cdot I$$

Die Konstante K ist abhängig vom verwendeten Leitermaterial, z.B. Kupfer, Aluminium, Eisen usw.

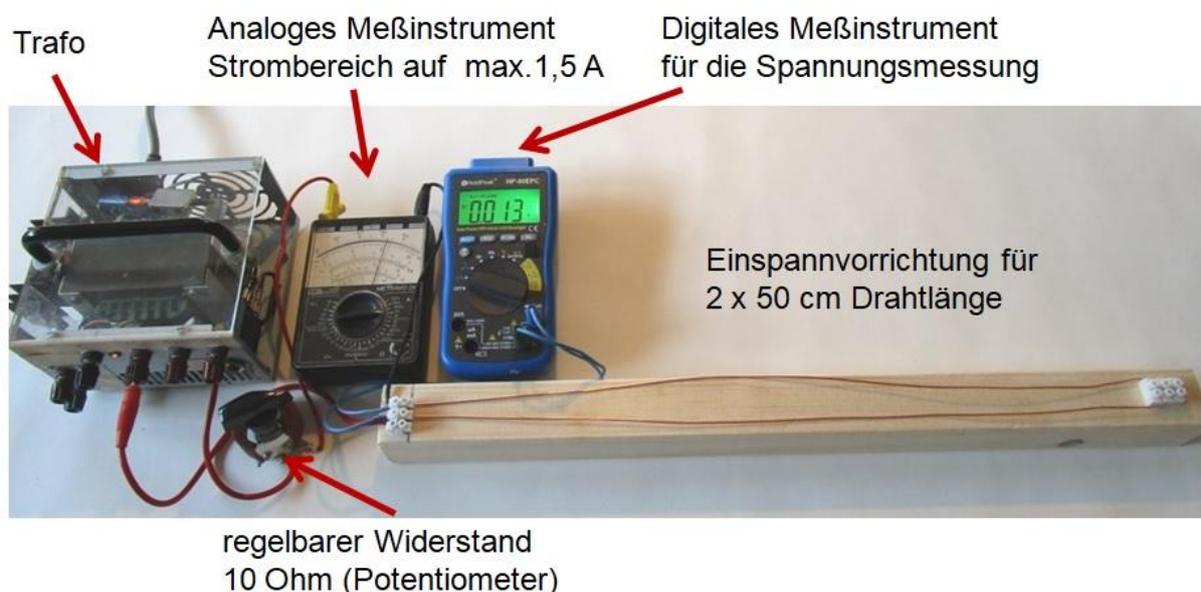
G. S. Ohm bezeichnet die Konstante K als elektrischen Widerstand R und hat dies 1826 als Ohmsches Gesetz veröffentlicht.

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{oder} \quad U = R \cdot I \quad \text{oder} \quad R = \frac{U}{I}$$

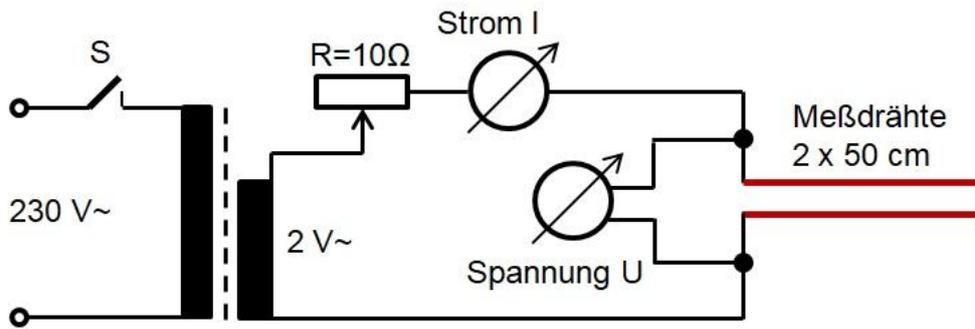
Im Jahre 1893 wurde das „Ohm“ (mit dem griechischen Symbol Ω) international als Einheit des elektrischen Widerstandes R eingeführt.

Experimentelle Bestimmung des Widerstandes von Drähten

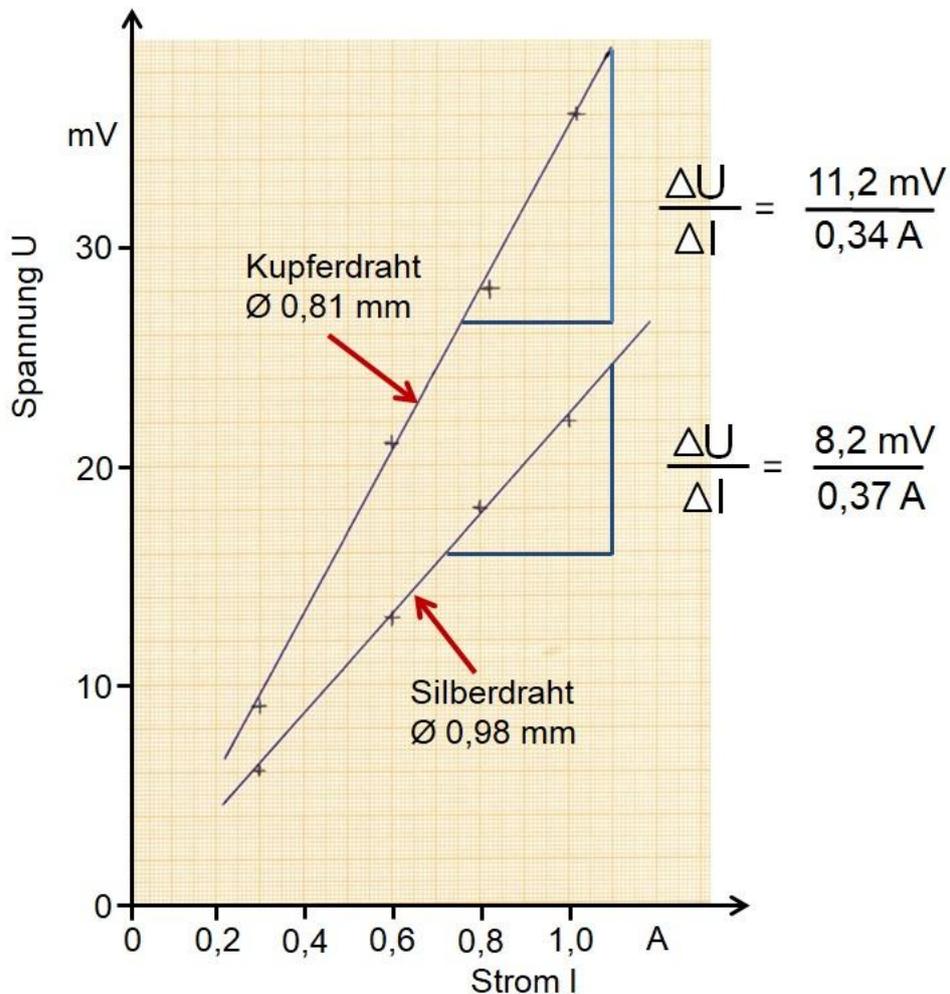
Für die Versuchsdurchführung befindet sich ein Draht mit einer Länge von 1 m in einem Stromkreis. Die Spannung U wird langsam erhöht und der Strom I bei verschiedenen Spannungen gemessen. Die Leitfähigkeit von Drähten aus Kupfer und aus Silber mit einer Länge von 1 m werden untersucht. Den Versuchsaufbau zeigt das nächste Bild:



Der Schaltplan für die Versuchsanordnung:



Grafische Darstellung der Messergebnisse:



Das Ohmsche Gesetz mit dem linearen Zusammenhang $U = R \cdot I$ kann nun in der Form $U = \frac{\Delta U}{\Delta I} \cdot I$ für die Gerade im Schaubild umgeschrieben werden.

Im Schaltungsaufbau war : $R_{\text{Kupfer}} = 33 \text{ m}\Omega$ und $R_{\text{Silber}} = 22 \text{ m}\Omega$.

Der spezifische Widerstand

Der spezifische Widerstand gibt an, welchen elektrischen Widerstand ein Leiter aus einem bestimmten Material besitzt, wenn der Leiter 1 m lang ist und eine Querschnittsfläche A von 1 mm^2 aufweist. Die Formel für die Bestimmung des spezifischen Widerstandes mit dem griechischen Buchstaben ρ lautet:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

R = elektrischer Widerstand des Leiters, A = Querschnittsfläche und L = Länge des Leiters in Metern. Die Dimension vom spezifischen Widerstand ist:

$$\rho \text{ in } \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

Aus unseren Versuchen mit Kupferdraht und Silberdraht kann ρ berechnet werden.

$$\rho_{\text{Kupfer}} = 33 \text{ m}\Omega \cdot \frac{\pi \cdot \frac{0,81^2}{4} \text{mm}^2}{1 \text{m}} = 0,017 \text{ und}$$

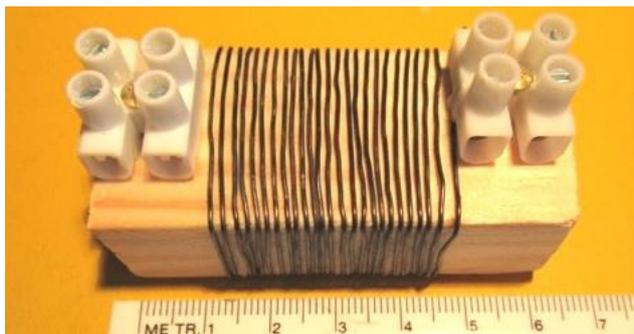
$$\rho_{\text{Silber}} = 22 \text{ m}\Omega \cdot \frac{\pi \cdot \frac{0,98^2}{4} \text{mm}^2}{1 \text{m}} = 0,016$$

Eigenbau eines 1 Ohm-Widerstandes aus Eisendraht

Eisen hat einen spezifischen Widerstand $\rho = 0,097 \text{ }\Omega\text{mm}^2/\text{m}$. Mit einem Drahtdurchmesser von $d = 0,5 \text{ mm}$ kann die Drahtlänge l aus der obigen Formel nach Umstellung berechnet werden

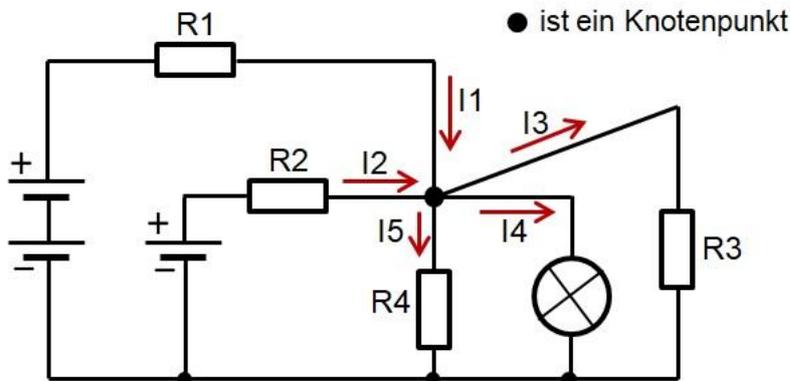
$$l = R \cdot \frac{A}{\rho} = 1 \Omega \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2 \text{mm}^2}{4 \cdot 0,097 \Omega\text{mm}^2/\text{m}} = 2,0 \text{ m}$$

Der auf einem Holzstück gewickelte Eisendraht mit $R = 1 \Omega$ sieht so aus:



1. Kirchhoffsche Regel (Knotenregel)

In einem Knotenpunkt eines elektrischen Netzwerkes ist die Summe der zufließenden Ströme gleich der Summe der abfließenden Ströme.

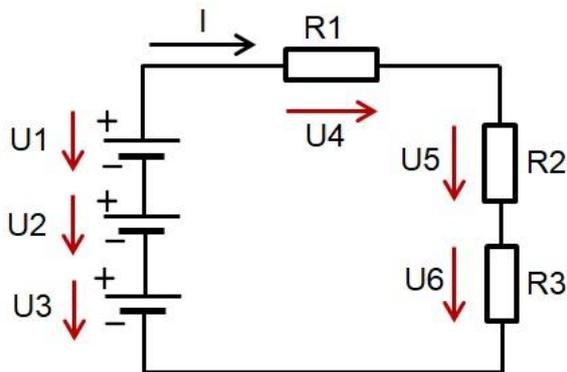


$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

Mit Hilfe der Knotenregel können ungekannte Ströme in einem Knotenpunkt berechnet werden.

2. Kirchhoffsche Regel (Maschenregel)

In jedem geschlossenen Stromkreis ist die Summe der Quellen-spannungen gleich der Summe aller Spannungsabfälle oder die Summe aller Spannungen ist Null.



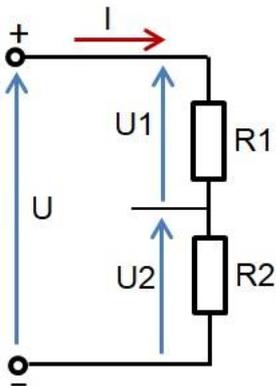
$$\begin{aligned} U_1 + U_2 + U_3 &= U_4 + U_5 + U_6 \\ &= R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I \\ &= I \cdot (R_1 + R_2 + R_3) \end{aligned}$$

Aus der obigen Gleichung geht hervor, dass der Gesamtwiderstand R_{ges} bei einer Reihenschaltung von Widerständen die Summe der Einzelwiderstände ist.

Von Gustav Robert Kirchhoff wurden 1845 die beiden Regeln formuliert.

Reihenschaltung und Parallelschaltung von Widerständen

In den folgenden einfachen Grundschaltungen mit zwei Widerständen R_1 und R_2 werden die Rechenregeln für die Reihenschaltung und Parallelschaltung unter Verwendung der beiden Kirchhoffschen Regeln und dem Ohmschen Gesetz erarbeitet.



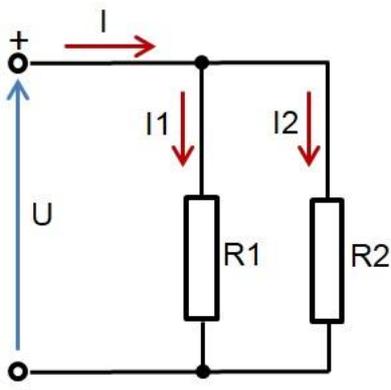
$$U = U_1 + U_2$$

$$U_0 = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = I \cdot (R_1 + R_2)$$

Also bei der **Reihenschaltung** von zwei Widerständen ist der Gesamtwiderstand R_{ges}

$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$$

Bei der Parallelschaltung von zwei Widerständen liegt an beiden Widerständen R_1 und R_2 die Spannung U an.



Nach der Kirchhoffschen Knotenregel gilt für den Strom

$$I = I_1 + I_2$$

Für die Ströme I_1 und I_2 ist nach dem Ohmschen Gesetz

$$I_1 = U / R_1 \quad \text{und} \quad I_2 = U / R_2$$

Nach dem Einsetzen der Stromgleichungen in die Summenformel folgt:

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = \frac{U}{R_{ges}}$$

Damit kann der Reziprokwert des Gesamtwiderstandes R_{ges} bei einer **Parallelschaltung** aus der Summe der Reziprokwerte der Einzelwiderstände berechnet werden:

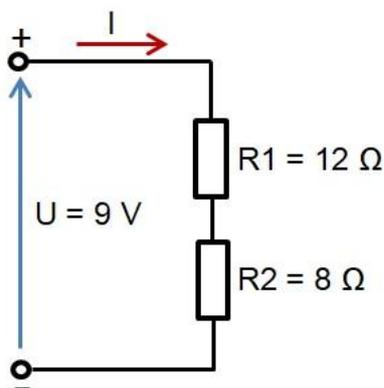
$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Wird die Gleichung nach R_{ges} aufgelöst folgt:

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

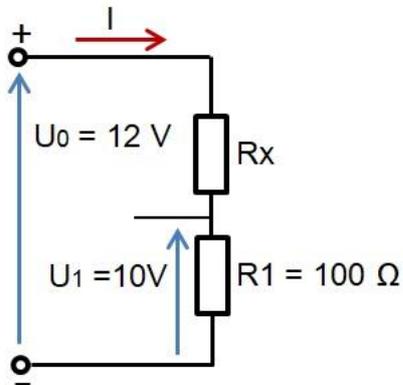
Berechnung von Widerstandsschaltungen

Aufgabe 1: Wie groß ist der Gesamtwiderstand R_{ges} ?



$$R_{ges} = R_1 + R_2 = 20 \Omega$$

Aufgabe 2 : Wie groß ist R_x , wenn an R_1 nur 10 V abfallen sollen ?

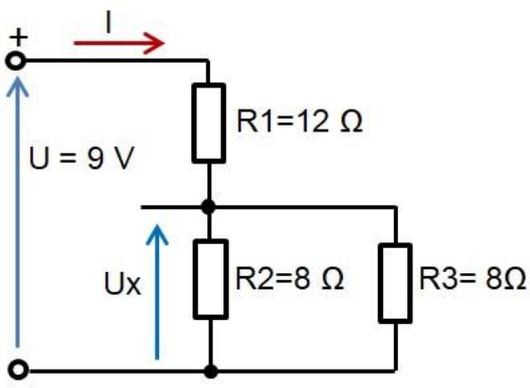


Der noch unbekannte Strom I fließt durch beide Widerstände R_x und R_1 .

Mit U_1 folgt $I = U_1 / R_1 = 10 \text{ V} / 100 \Omega = 0,1 \text{ A}$

Damit wird $R_x = (U_0 - U_1) / I = 2 \text{ V} / 0,1 \text{ A} = 20 \Omega$

Aufgabe 3 : Wie groß ist die unbekannte Teilspannung U_x ?



Der untere Teil des Spannungsteiler besteht aus einer Parallelschaltung von zwei 8Ω - Widerständen, dieser Ersatzwiderstand R_x beträgt:

$$R_x = R_2 \cdot R_3 / (R_2 + R_3) = 64 / 16 \Omega = 4 \Omega$$

Für den Strom I folgt dann nach dem Ohmschen Gesetz

$$I = U / (R_1 + R_x) = 9 \text{ V} / (12 \Omega + 4 \Omega) = 9 \text{ V} / 16 \Omega = 0,5625 \text{ A}$$

Berechnung des Widerstandes von einer Messingstange

Der Widerstand von einer runden **Messingstange** mit einem Durchmesser von $d = 4 \text{ mm}$ und einer Länge von 90 cm ist zu berechnen. Der spezifische Widerstand von Messing ist.

$$\rho_{\text{Messing}} = 7 \cdot 10^{-2}$$

Dann berechnet sich Widerstand aus:

$$R_{\text{Messing}} = \rho_{\text{Messing}} \cdot \frac{l}{A} = 7 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{0,9}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = 0,50 \Omega$$

Berechnung des Widerstandes von einem Aluminiumstab

Der Widerstand von einem **Aluminiumstab** mit einem quadratischen Querschnitt von $10 \times 10 \text{ mm}$ und einer Länge von 100 cm ist zu berechnen. Der spezifische Widerstand von Aluminium ist.

$$\rho_{\text{Aluminium}} = 2,65 \cdot 10^{-2}$$

Dann berechnet sich Widerstand aus:

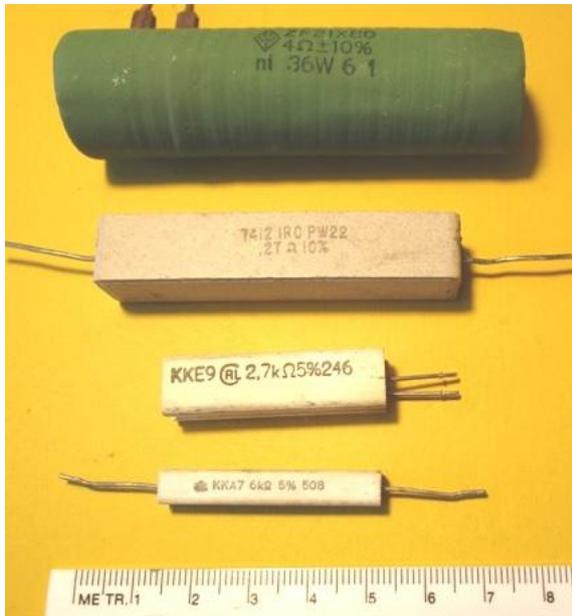
$$R_{\text{Aluminium}} = \rho_{\text{Aluminium}} \cdot \frac{l}{A} = 2,65 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{10^2} = 0,265 \text{ m}\Omega$$

Bild von beiden Profilen:



Bauformen und Kennzeichnungen von Widerständen

Bei erhöhter Strombelastung an größeren Widerständen wird die Wattzahl angegeben.



In Röhrenradios aus den 50er Jahren erfolgte die Kennzeichnung der Widerstände mit der Zahlenangabe, z.B. in Kiloohm ($k\Omega$)



Widerstände mit Farbringen

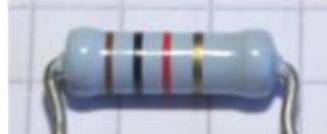
In den 60er Jahren begann die Codierung mit Farbringen auf den Widerständen. Der elektrische Widerstand bestand aus einer Kohleschicht mit überzogener Lackierung und verschiedenfarbigen Farbringen.



Die Bedeutung der Farbringe zeigt die folgende Tabelle:

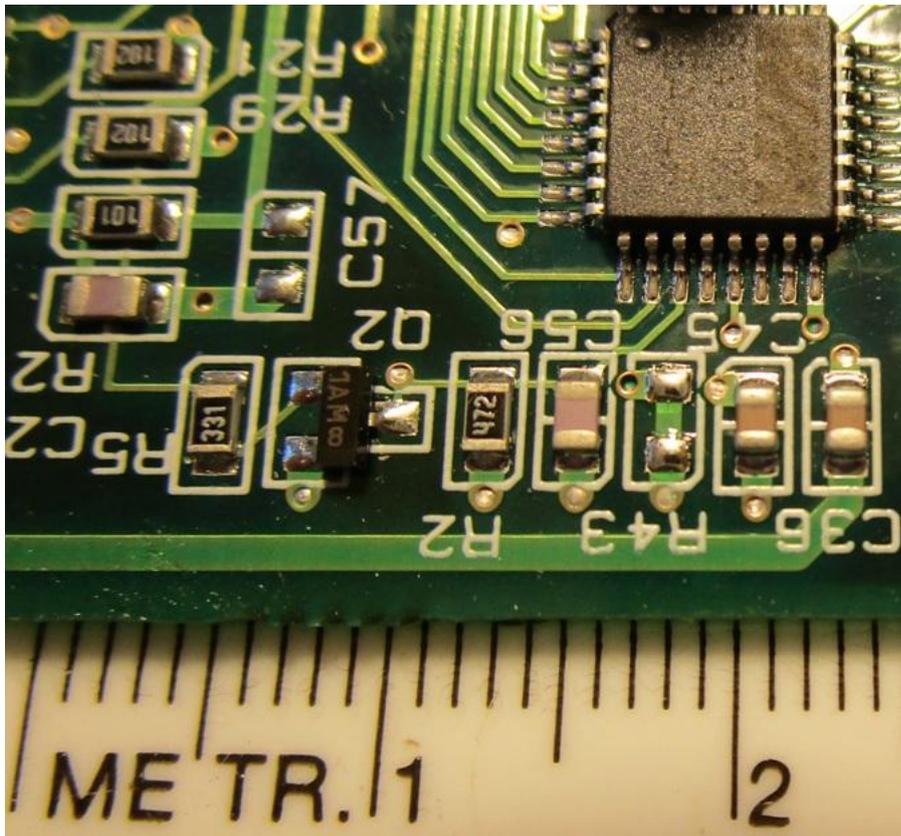
Farbcode von Kohleschichtwiderständen

		1. Ring Zahl	2. Ring Zahl	3. Ring Faktor	4. Ring Toleranz
si	silber	-	-	:100	± 10%
go	gold	-	-	:10	± 5%
sw	schwarz	-	0	.0	
br	braun	1	1	0	± 1%
rt	rot	2	2	00	± 2%
or	orange	3	3	000 - kΩ	
ge	gelb	4	4	0 000	
gn	grün	5	5	00 000	
bl	blau	6	6	000 000 - MΩ	
vi	violett	7	7		
gr	grau	8	8		
ws	weiß	9	9		

	Beispiel: br sw rt go 1 0 00 ±5% R = 1000 Ω = 1kΩ
--	---

Oberflächenmontierte Widerstände

Die sehr kleinen Widerstände auf modernen Computerplatinen werden mit einem Automaten positioniert und aufgelötet. Die Widerstände und andere Bauelemente auf der Platine haben seitlich lötfähige Anschlussflächen. Diese oberflächenmontierten Bauelemente werden im englischen SMD-Bauelemente (Surface-mounted device) genannt.



Im Bild sind auf der Platine die Widerstände mit einem 3-Zifferncode zu erkennen. Der Widerstandswert ist in Ohm angegeben.

Z.B. bedeuten für die Widerstände R2 und R5 auf der Platine:

472	$47 \cdot 10^2 = 4700 \Omega = 4,7 \text{ k}\Omega$
331	$33 \cdot 10^1 = 330 \Omega$

Dreh- und Schiebepotentiometer

Mit einem drehbaren Schleifer kann der Widerstand an einem Potentiometer von Null auf den maximalen Wert verändert werden:



$R = 60 \Omega \quad 40 \text{ W}$

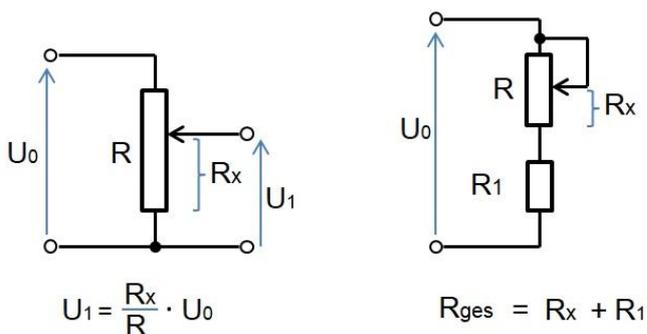


$R = 4 \text{ k}\Omega$

Bei einem Schiebepotentiometer wird mit einer drehbaren Spindel der Schleifer verstellt. Drehpotentiometer mit einer kreisförmigen Kohleschicht als Widerstandsmaterial zeigt das nächste Bild:

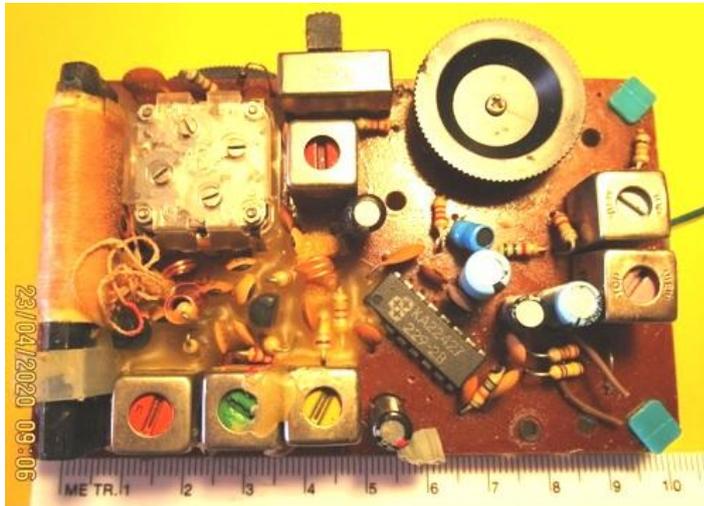


Schaltzeichen für Potentiometer:



Platinenbestückung mit Widerständen und anderen diversen Bauelementen aus der Radiotechnik

In einem kleinen Taschenradio mit UKW und MW aus den 80er Jahren wurden die Bauelemente auf einer Seite in die mit Bohrlöchern versehenen Platine eingesteckt.



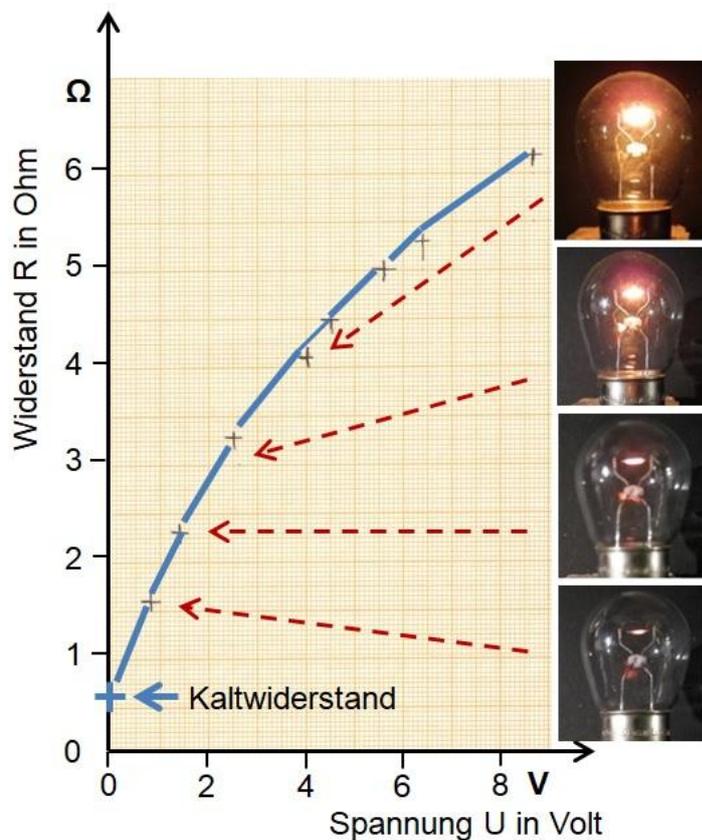
Auf der Rückseite der Platine befinden sich dann verzinnte Leiterbahnen mit den angelöteten Enden der Bauelemente.



Temperaturabhängigkeit von Widerständen

Bei den meisten elektrischen Leitern ändert sich der Widerstand pro °C um 0,4 %. Z.B. erhöht sich ein Widerstand von $R = 100 \Omega$ bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ auf $R = 100,4 \Omega$ bei $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Besonders eindrucksvoll kann man die Widerstandserhöhung bei schrittweiser Stromerhöhung an einer Autoglühbirne messen. Der Kaltwiderstand von einer Autobremseleuchte (12 Volt, 21 Watt) beträgt ca. $0,6 \Omega$. Das Schaubild zeigt die Widerstandserhöhung der Wolframwendel im Bereich von 0 bis 8 Volt. Im Bild ist der jeweilige Glühzustand dem vorherrschenden Innenwiderstand zugeordnet.



Bei der vollen Betriebsspannung von $U = 12 \text{ V}$ und $P = 21 \text{ W}$ mit maximaler Leuchtstärke berechnet sich Innenwiderstand aus der Formel

$$R = U^2/P = 144/ 21 \Omega = 6,8 \Omega$$

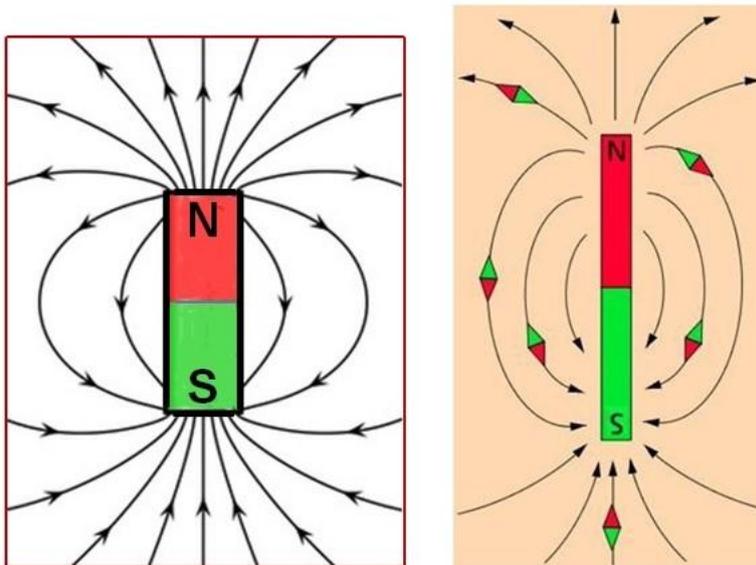
Der Kompass

Mit Hilfe eines mechanischen Magnetkompass kann anhand des Erdmagnetfeldes die Bestimmung der Nordrichtung durchgeführt werden. Die rote Seite der Magnetnadel zeigt nach Norden (N) wie im folgenden Bild zu erkennen ist:



Stabmagnet

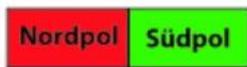
Es gibt zylindrische und quaderförmige Stabmagnete, die genau einen magnetischen Nord- und Südpol besitzen.



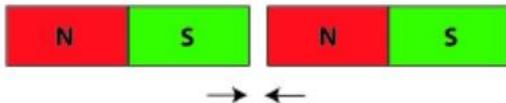
Die Richtung der umgebenden magnetischen Feldlinie geht von Nord nach Süd. Von einer Kompassnadel zeigt der rote Nordpol zum Südpol des Stabmagneten.

Anziehung und Abstoßung von Magnetpolen

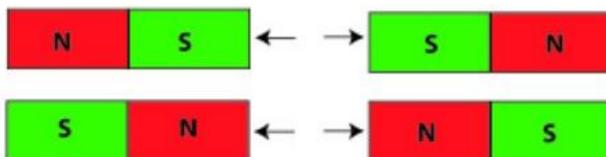
Auch kleinere Magnete besitzen immer einen Nordpol und einen Südpol. Mit zwei kleinen Magneten kann gezeigt werden, dass sich unterschiedliche Pole anziehen und sich gleiche Pole abstoßen.



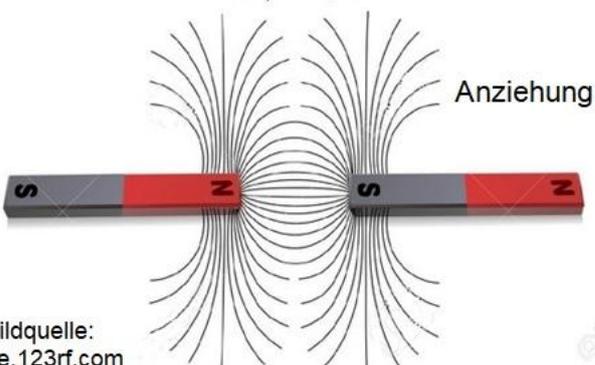
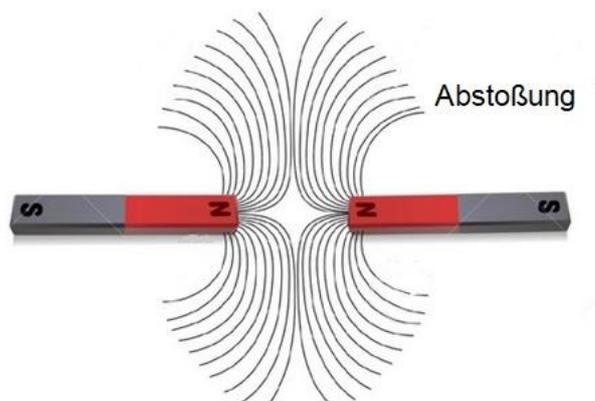
Unterschiedliche Pole ziehen sich an



Gleiche Pole stoßen sich ab



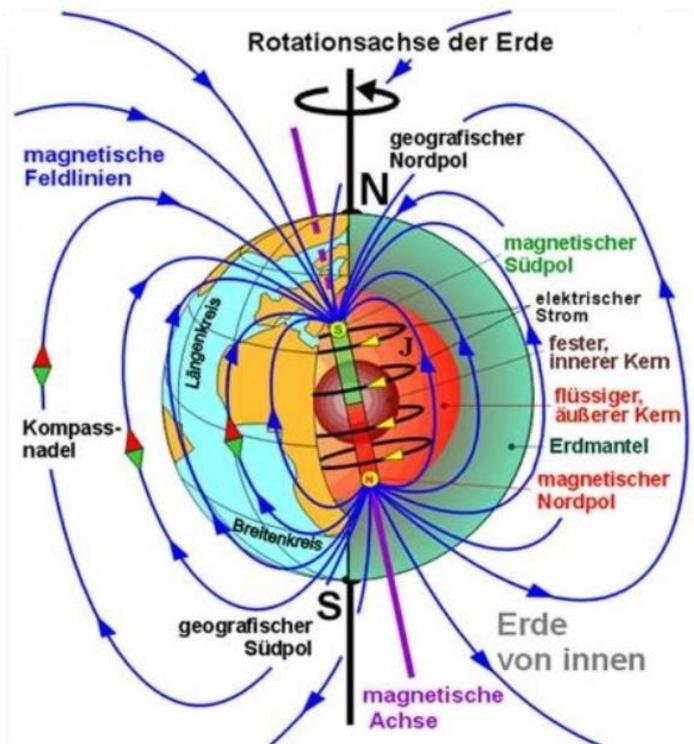
Darstellung mit Feldlinien:



Bildquelle:
de.123rf.com

Das Magnetfeld der Erde

Die gesamte Erdkugel wirkt im Innern wie ein riesiger Stabmagnet mit einem **Nordpol** und einem **Südpol**.



Die rote Spitze der kleinen Kompassnadel (links im Bild) zeigt zum geografischen Nordpol und wird daher mit Nordpol bezeichnet.

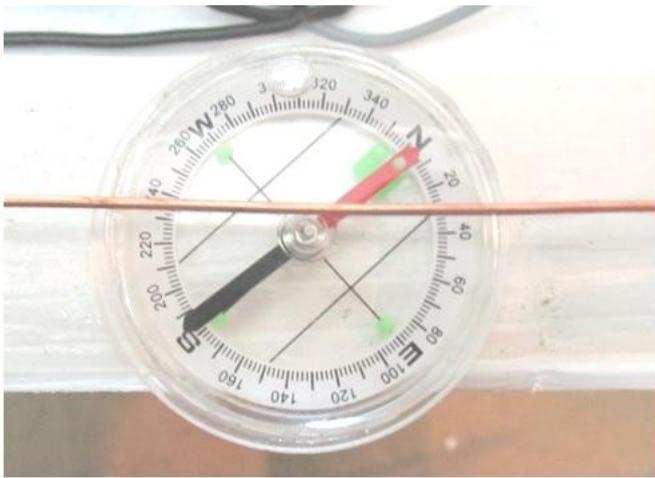
Der magnetische Südpol liegt neben dem geografischen Nordpol.



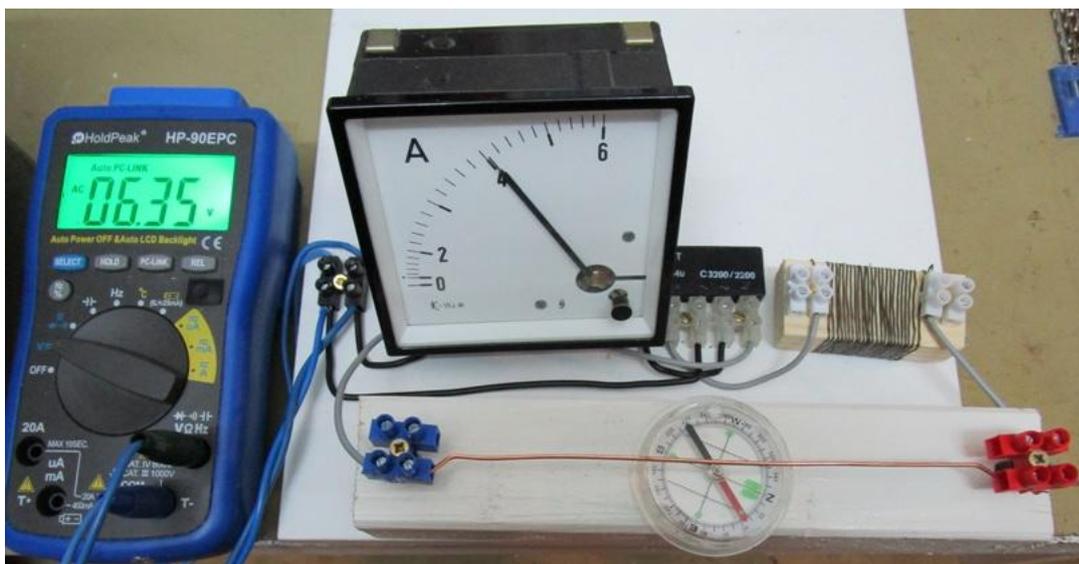
Das Magnetfeld um einen stromdurchflossenen Leiter

Es wird im Folgenden ein Experiment gezeigt, bei dem durch ein waagrecht liegenden Kupferdraht ein Gleichstrom von ca. 4 A fließt. Unter dem stromdurchflossenen Leiter wird dann ein für magnetische Felder empfindlicher Kompass gelegt und die Richtung der Kompassnadel beobachtet.

Im Anfangszustand, wenn kein Strom im Kupferleiter fließt, zeigt die Kompassnadel nach Norden:



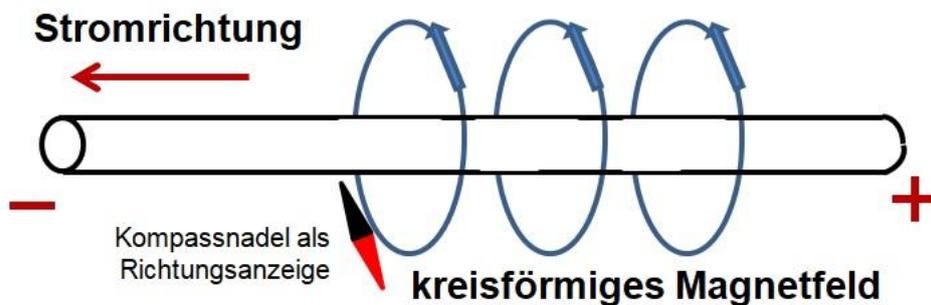
Bei einem Gleichstrom von 4 A ändert die Kompassnadel deutlich die Richtung:



Es muss also der stromdurchflossene Leiter ein Magnetfeld besitzen. Diese Ablenkung der Kompassnadel beobachtete der Däne Hans Christian Oersted 1819 als Strom durch einen Draht floss. In der Ebene

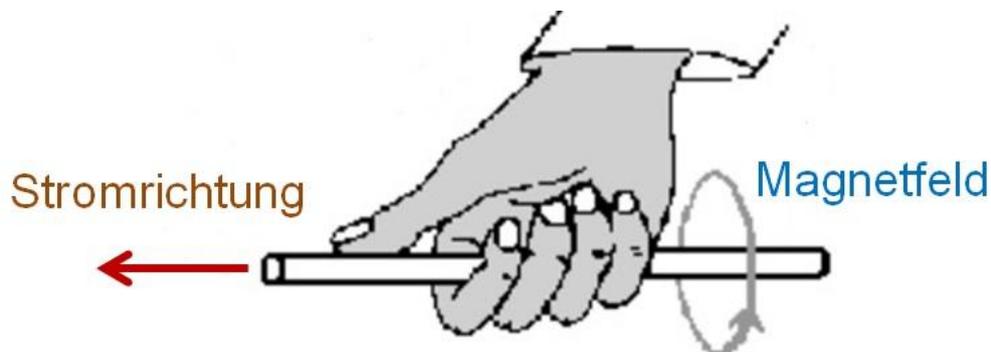
senkrecht zum Leiter verlaufen die Feldlinien kreisförmig um den Leiter herum. Diese Feldlinien laufen nicht vom Nordpol zum Südpol, sondern haben weder Anfang noch Ende. Es sind geschlossene Feldlinien.

Das experimentelle Ergebnis wird nun als schematische Zeichnung dargestellt:



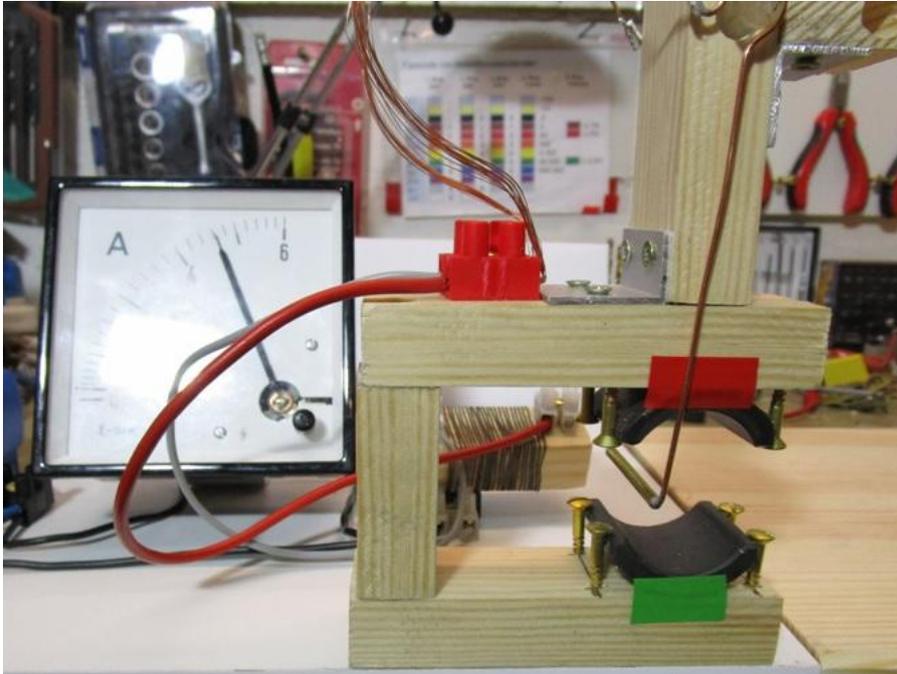
Bei bekannter technischer Stromrichtung kann man mit Hilfe der „Recht Handregel“ die Richtung der magnetischen Feldlinien bestimmen:

Wenn der Daumen in die Stromrichtung zeigt, geben die gekrümmten Finger die Richtung der kreisförmigen magnetischen Feldlinien an.

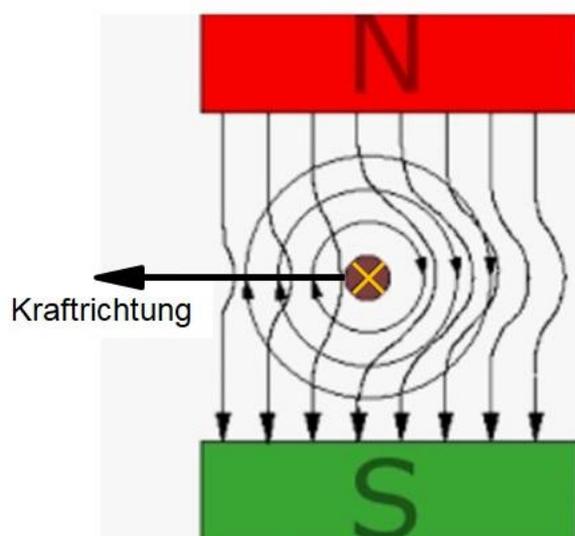


Ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld

Im Versuchsaufbau sind zwei schalenförmige Magnete zu erkennen mit einem Nordpol (rot) und einem Südpol (grün). Zwischen diesen beiden Magnetpolen herrscht ein starkes Magnetfeld.



Außerdem befindet sich in diesem Zwischenraum ein stromdurchflossener, waagerechter Messingstab, der schaukelförmig aufgehängt ist. Der durchfließende Gleichstrom mit einer Stärke von 4,6 A hat zur Folge, dass der Messingstab aus der Ruhelage heraus nach links abgelenkt wird.

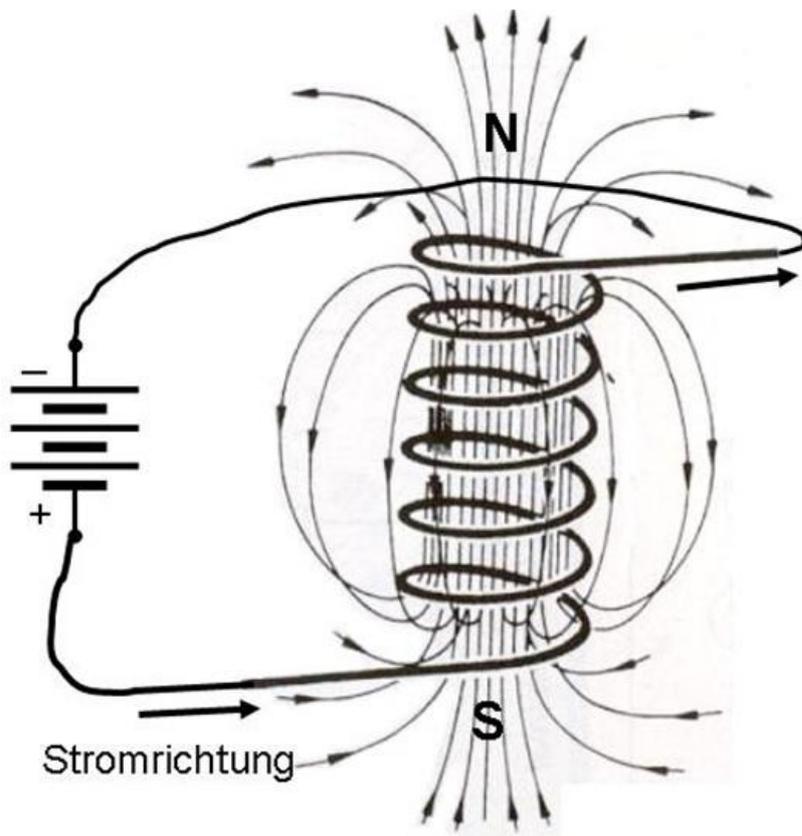


Die Feldlinien vom Dauermagnet und vom stromdurchflossenen Leiter überlagern sich. Stellt man sich die Feldlinien im Bild wie Gummibänder vor, so wird der Stromleiter nach links gedrückt.

Das Magnetfeld einer Stromspule

Auch mit einer zylinderförmigen und stromdurchflossenen Spule aus Kupferdraht kann man ein Magnetfeld mit Nordpol und Südpol erzeugen.

Die Richtung der magnetischen Feldlinien, wie im folgenden Bild dargestellt, wird von der Stromrichtung und vom Wickelsinn der Spule bestimmt.

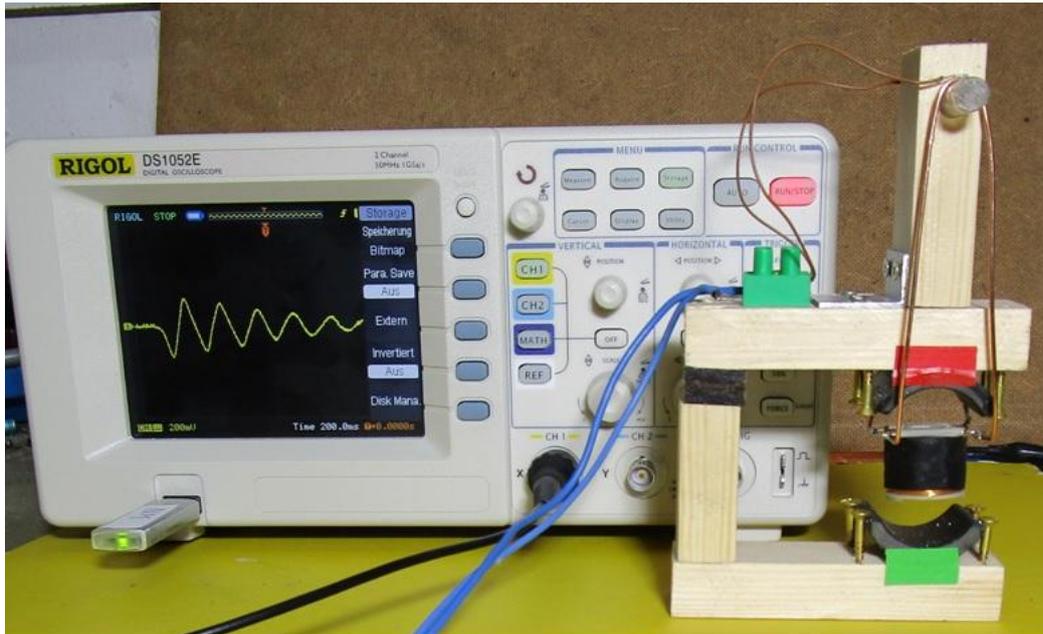


Wendet man vom Pluspol der Stromquelle ausgehend die rechte Handregel an, so zeigen die Finger der Faust auch für die folgenden Windungen immer in eine Richtung, also zum Nordpol der Spule.

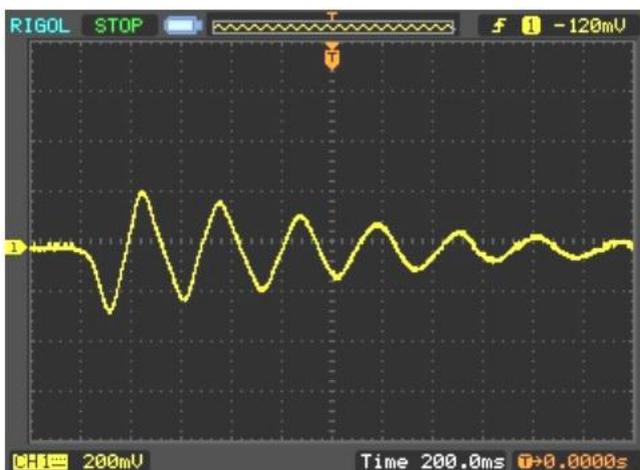
Die magnetische Induktion

Die magnetische Induktion ist ein Vorgang, bei dem durch **Bewegung** eines elektrischen Leiters im Magnetfeld oder durch **Änderung** des von einem Leiter umschlossenen Magnetfeldes eine elektrische Spannung und ein Stromfluss erzeugt wird.

Den Versuchsaufbau mit beweglicher Spule und konstantem Magnetfeld zeigt das folgende Bild:



Die Spule mit hoher Windungszahl hängt an einer Schaukel. Zu Beginn der Aufzeichnung mit einem digitalen Speicheroszilloskop wird die Schaukel soweit als möglich nach links ausgelenkt und dann losgelassen. Die Pendelbewegung erzeugt in der Spule eine wechselnde Spannung, deren Amplitude abklingt, bis die Schaukel anhält.



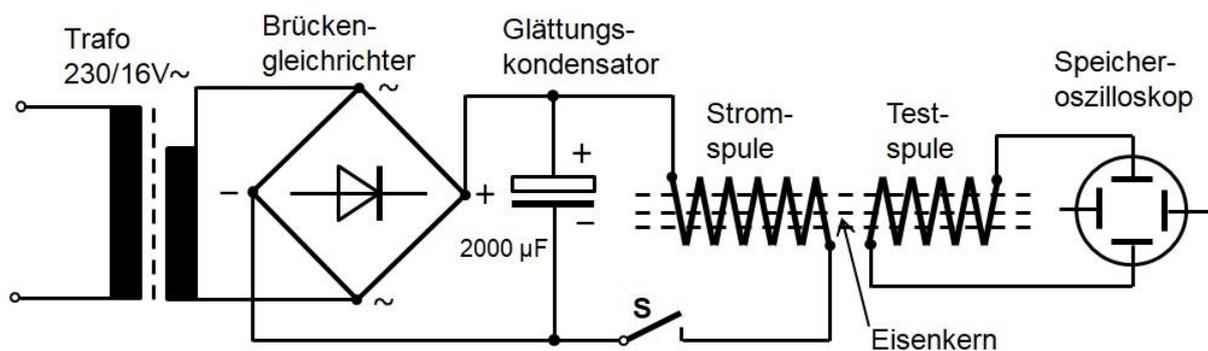
Die induzierte Spannung in der Spule liegt zu Beginn nur in der Größenordnung von ca. 200 mV .

Die magnetische Induktion bei veränderlichem Magnetfeld

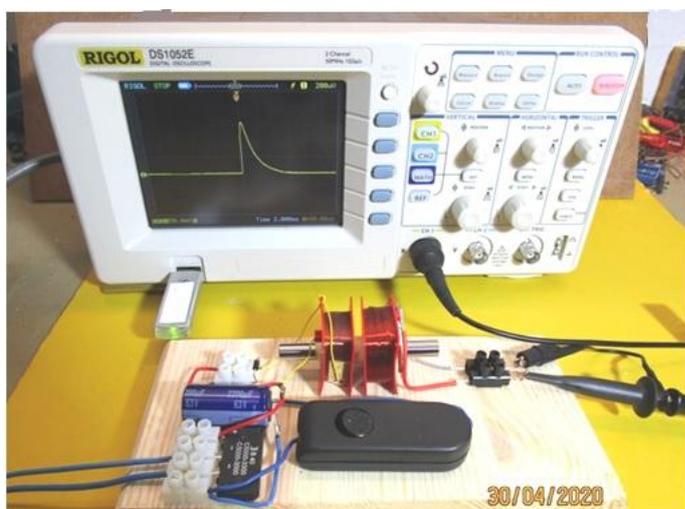
Zwei Spulen mit Kupferdraht bewickelt liegen nebeneinander. Durch die beiden Spulenkörper ist eine kurze Stahlstange gesteckt.



Es soll untersucht werden, was passiert, wenn im Bild in der linken Spule ein Gleichstrom eingeschaltet wird und gleichzeitig der Spannungsverlauf an der rechten Spule gemessen wird. Das Schaltbild zeigt das folgende Bild:



Der Versuchsaufbau sieht wie folgt aus:



Beim Versuchsablauf ist festzustellen, dass beim Einschalten des Schalter S sofort in der Testspule nur ein einzelner Spannungsimpuls oszillographiert werden kann. Daraus ist zu folgern, dass sich beim Einschalten in der Stromspule ein Magnetfeld

schnell aufbaut und das dann erhalten bleibt, also keine zeitliche Änderung mehr erfolgt.

Nur die zeitliche Änderung des Magnetfeldes hat einen Spannungsimpuls in der Testspule erzeugt.

Die Amplitude und die Zeitdauer vom Spannungsimpuls zeigt das folgende Bild vom Bildschirm des Oszilloskops.

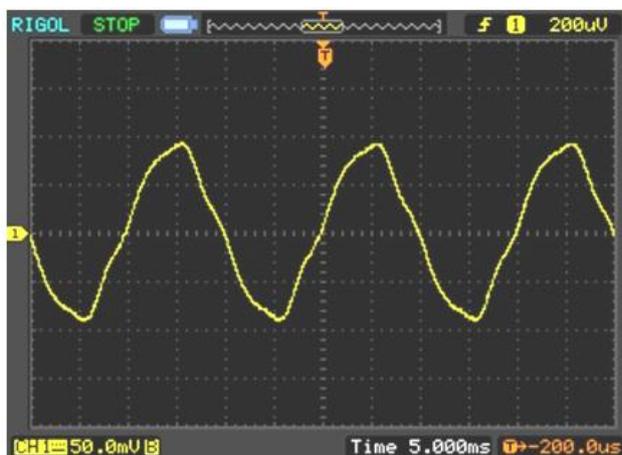


Der induzierte Spannungsimpuls hat eine Amplitude von ca. 150 mV und ist nach etwa 4 Sekunden abgeklungen.

Magnetische Induktion bei Wechselspannung

Im obigen Versuchsaufbau wird nur der Brückengleichrichter und der Glättungskondensator entfernt.

Wie zu erwarten kann nun infolge des wechselnden Magnetfeldes in der Stromspule eine Wechselspannung in der Testspule beobachtet werden:

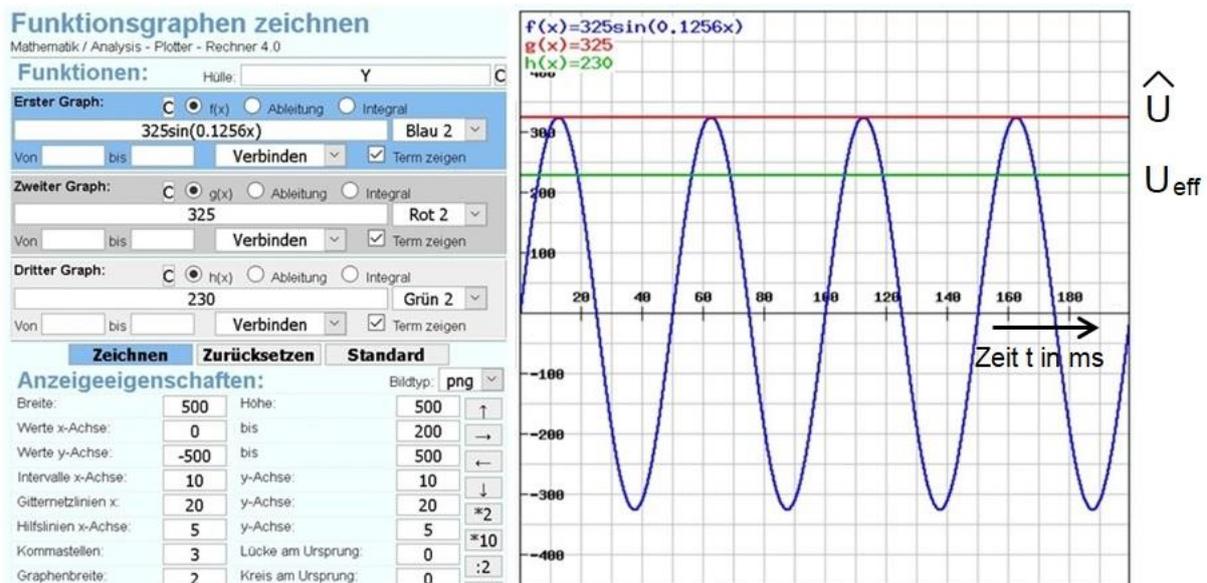


Die Periodendauer ist $T = 20$ ms. Eine bessere Sinuskurve ist zu erwarten, wenn beide Spulenkörper einen Kern aus Eisenblechen erhalten.

Wechselspannung mit Netzfrequenz

Unser Stromnetz im Haushalt mit mehreren Steckdosen in den Räumen und den Ein/Aus-Schaltern für die Raumbelichtung liefert eine Wechselspannung mit einer Frequenz von $f = 50 \text{ Hz}$.

Die folgende Graphik zeigt eine Wechselspannung (blau) mit dem Spitzenwert 235 V~ (rot) und dem Effektivwert von 230 V~ (grün).



Eine Periode T von einer sinus-förmigen Schwingung beträgt 50 ms, wie auf der Zeitachse zu erkennen ist. Der Zusammenhang zwischen Frequenz f und Schwingungsdauer T ist:

$$f = \frac{1}{T}$$

Der Effektivwert des Wechselstroms ist der Strom, der bei einer Gleichspannung die gleiche Leistung umsetzen würde. Mit anderen Worten, ein Wechselstrom von 1 A (Effektivwert) bewirkt dieselbe Wärmeleistung in einem Widerstand R wie ein Gleichstrom von 1 A.

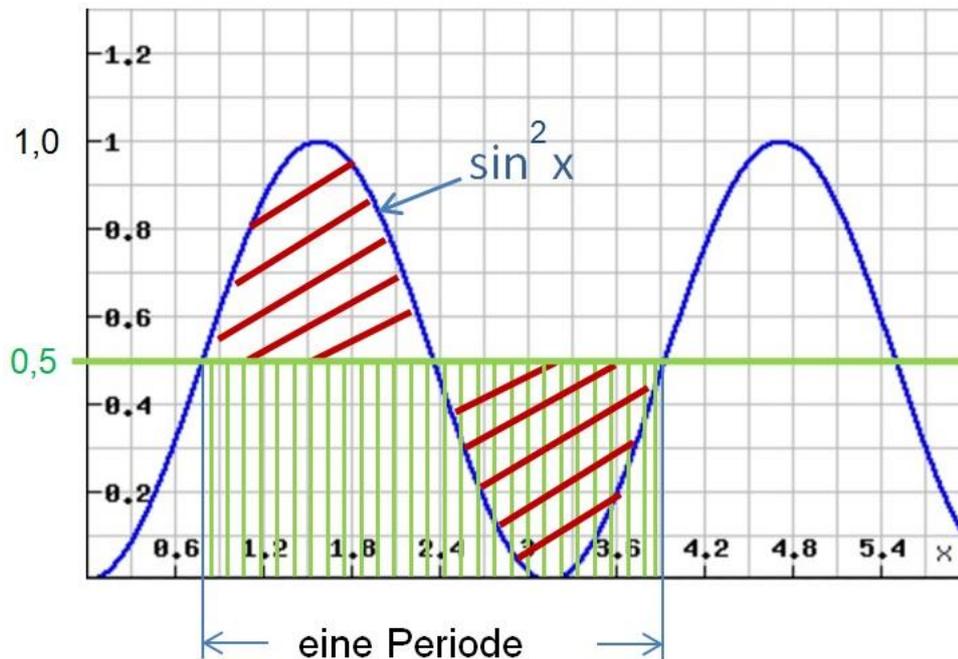
$$u_{eff} = \hat{u} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot \hat{u}$$

Beachte:

In der Elektrotechnik werden die zeitlich veränderlichen Größen wie z.B. die Spannung und der Strom mit Kleinbuchstaben geschrieben, also $u(t)$ wird u und $i(t)$ wird i .

Mathematisch-geometrische Lösung für den Effektivwert

Der Zusammenhang zwischen dem Spitzenwert \hat{U} und dem Effektivwert U_{eff} einer sinusförmigen Wechselspannung soll anhand der folgenden Grafik erklärt werden:



Die Formel für die elektrische Leistung lautet:

$$P = U \cdot I \quad \text{mit dem ohmschen Gesetz } I = U/R \quad \text{wird} \quad P = U^2 / R .$$

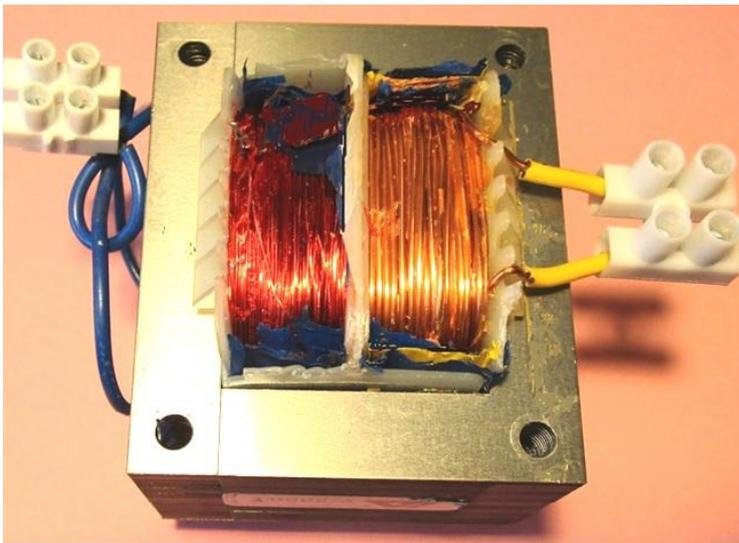
Betrachtet man die blaue Kurve während einer Periode, so ist die Fläche unter der blauen Kurve gleich der grünen Fläche unter der grünen Geraden, also der mittleren Leistung.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{U}^2}{R} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} .$$

$$\text{Also ist } U_{\text{eff}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{U}$$

Der Netztransformatoren

Der Aufbau eines Kleintransformator ist einfach zu überschauen: In einem Spulenkörper mit zwei Kammern befinden sich die Wicklungen aus isolierten Kupferdrähten. Durch beide Spulen geht ein aus dünnen Blechen bestehender Eisenkörper, der auch außerhalb der Wicklungen herum geführt wird, wie das folgende Bild zeigt:



Betrachtet man die Wicklungen genauer, so stellt man fest, dass die Wicklung links im Bild aus dünnem Kupferdraht mit sehr vielen Windungen besteht (Primärwicklung). Dagegen ist die rechts daneben liegende Spule (Sekundärwicklung) mit dickerem Kupferdraht gewickelt und besitzt weniger Windungen.

Bei angelegter effektiver Wechselspannung (U_1) aus dem Haushaltsnetz erzeugt der effektive Wechselstrom I_1 in der Primärwicklung N_1 des Trafos ein sich änderndes Magnetfeld im Eisenkern. Das sich ändernde Magnetfeld mit hoher Dichte befindet sich im Trafokern (Faktor 10000 bei Eisenblechen) und induziert dort in der Sekundärwicklung N_2 eine effektive Wechselspannung U_2 .

Ohne Verbraucher an der Sekundärseite lautet das Spannungsverhältnis bei Leerlauf

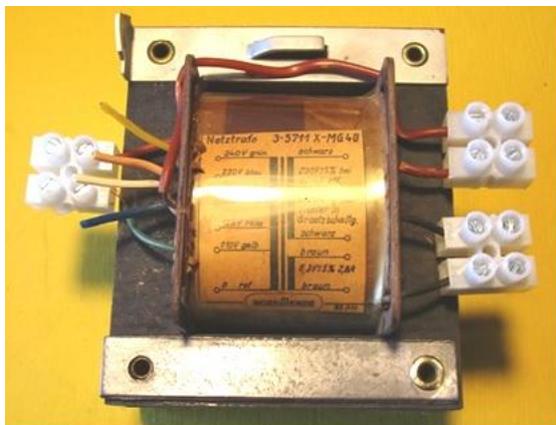
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Bei Belastung auf der Sekundärleistung mit dem Strom I_2 kann für die elektrische Leistung auf beiden Trafoseiten geschrieben werden:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Frage: Wenn auf der Sekundärseite ein elektrischer Verbraucher bei 20 V~ einen Strom von 1 A benötigt, welche Stromstärke I_1 fließt dann auf der Primärseite bei einer Netzspannung von 230 V~ ?

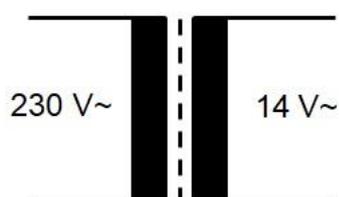
Bei anderen Netztransformatoren befindet sich über der Primärwicklung mit einer äußeren Isolierfolie die Sekundärwicklung:



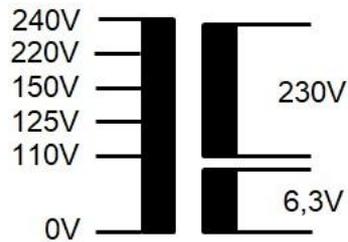
Schaltzeichen von Netztransformatoren

Die Primärwicklung und die Sekundärwicklung mit möglichen Anzapfungen werden dargestellt und die Eingangs- und Ausgangsspannung werden eingezeichnet:

Schaltbild von einem Netztrafo Primärwicklung und einer Sekundärwicklung:



Schaltbild von einem Netztrafo für verschiedenen Eingangsspannungen und zwei Wicklungen auf der Sekundärseite:



Elektronik ersetzt den Netztransformator

In der heutigen Zeit werden die Netztransformatoren durch einen sogenannten „Elektronischen Transformator“ (ET) ersetzt.

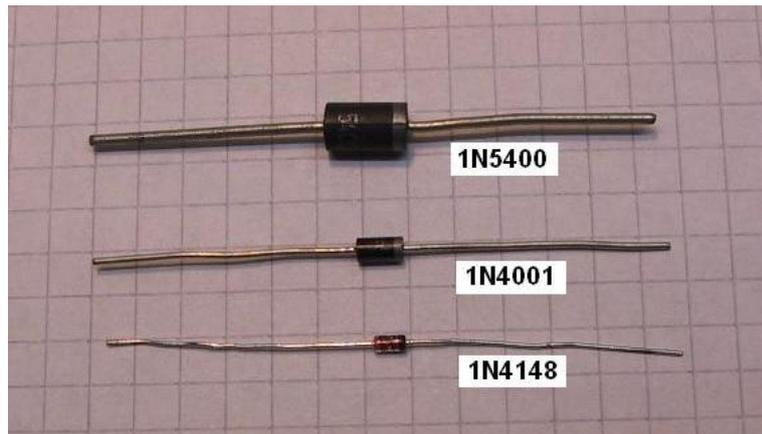


Die Wechselspannung am Eingang liegt im Bereich von 100 bis 240 V~ mit einem Strom von maximal 1,5 A.

Die Schaltung ist so ausgelegt, dass am Ausgang eine Gleichspannung von 12 V= erzeugt wird und eine Belastung von maximal 2 A angeschlossen werden kann.

Messwerte einer Diodenkennlinie darstellen

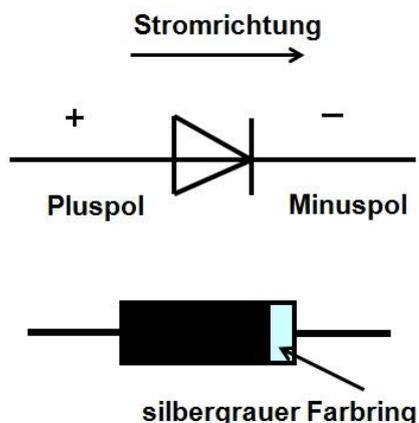
Als Beispiel einer Diode wird die Siliziumdiode 1N4001 ausgewählt. Es handelt sich bei dieser Diode um ein Halbleiterelement mit einem p- und n-Übergang aus Silizium. Dioden lassen den Strom nur in einer Richtung, der Durchlassrichtung (R_d klein) passieren und sperren in der anderen Richtung (Sperrrichtung R_d groß).



Zum Vergleich sind im obigen Bild drei Silizium-Dioden dargestellt. Die maximalen Ströme in Durchlassrichtung sind:

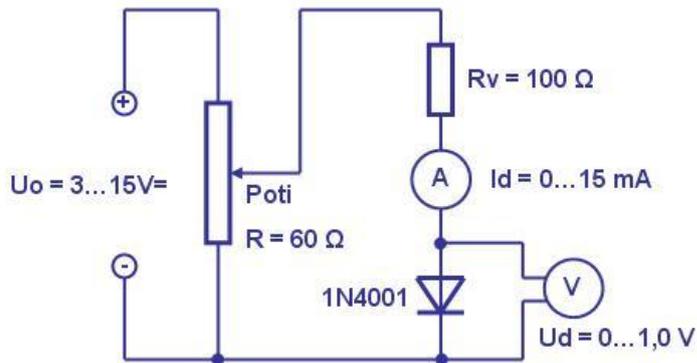
1N5400 $I_{dmax} = 3 \text{ A}$, 1N4001 $I_{dmax} = 1 \text{ A}$, 1N4148 $I_{dmax} = 100 \text{ mA}$

Der silbergraue Farbring an einer Seite der Diode kennzeichnet den Minuspol. Die Stromrichtung verläuft vom Pluspol zum Minuspol. Das Symbol einer Diode wird in Schaltplänen wie folgt gezeichnet:



Testschaltung für die Messwerterfassung

Als Spannungsquelle U_0 wird ein regelbares Netzgerät verwendet. Ein Potentiometer ist parallel an das Netzgerät geschaltet. Der Potentiometerabgriff ermöglicht die Feineinstellung der Spannungshöhe für den daran angeschlossenen Stromkreis bestehend aus einem Vorwiderstand ($R_v = 100 \Omega$), einem Strommessgerät und der zu untersuchenden Diode 1N4001. Parallel zur Diode ist ein hochohmiges Voltmeter geschaltet.



Diodenstrom messen

Um den Diodenstrom messen zu können, muss der Stromkreis zwischen Diode und dem Vorwiderstand zunächst aufgetrennt werden. Mit dem Strommessgerät wird der Stromkreis wieder geschlossen. Wir verwenden ein analoges Universalmessgerät mit Zeiger und Skalenteilung.



Der Messbereichschalter zeigt auf den Bereich $0 \dots 15 \text{ mA}$ und Gleichstrom (A =).

Durchlass-Spannung messen

Die Messung der Diodenspannung erfolgt mit einem hochohmigen Digitalvoltmeter, das parallel zur Diode geschaltet ist.

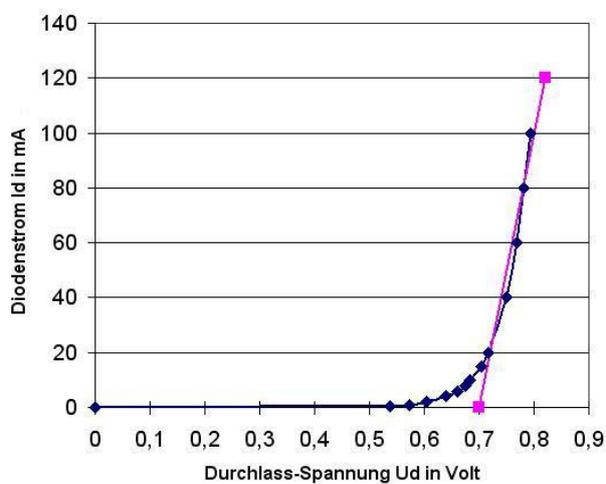


Messwerte der Diodenkennlinie in Tabellenform messen

Die Tabelle der Wertepaare Diodenstrom und Durchlass-Spannung:

Id in mA	0,5	1	5	10	20	40	60	80	100
Ud in Volt	0,537	0,573	0,652	0,683	0,716	0,749	0,769	0,782	0,793

Schaubild der Durchlass-Kennlinie einer Silizium-Diode



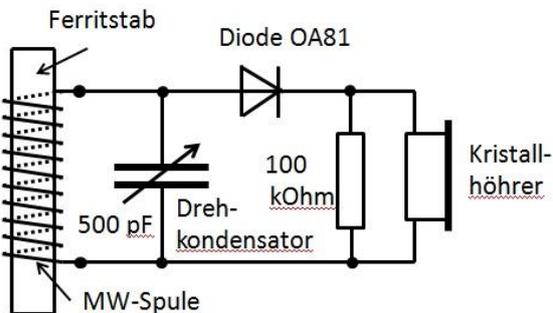
Die rote Gerade ist eine vereinfachte Diodenkennlinie und beginnt bei = 0,7 Volt. Der Durchlasswiderstand R_d im Bereich bis 120 mA beträgt dann nur noch 0,8 Ohm.

Die Spitzendiode OA 81

Die Germanium-Spitzendiode OA 81 ist eine Halbleiter-Diode, bei der eine Drahtspitze auf ein einkristallines Halbleiterplättchen drückt.



Mit der niedrigen Durchlassspannung der OA 81 von nur 0,5 Volt war es damals möglich, mit einer Detektorschaltung Radiosendungen auf Mittelwelle zu empfangen. Die Schaltung eines Detektors mit der OA 81 ist ganz einfach:



Mit wenig Aufwand habe ich vor einigen Jahren einen Detektor aufgebaut und den Ortssender empfangen.



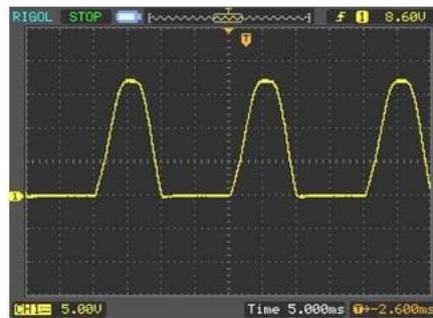
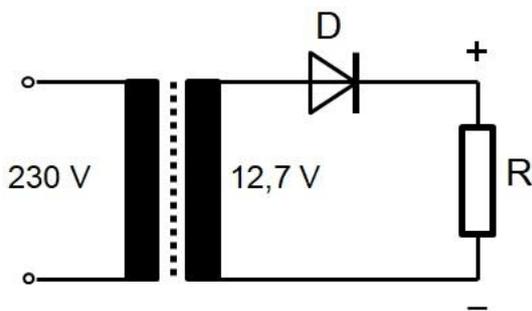
Inzwischen sind alle Mittelwellensender in Deutschland abgeschaltet.

Pulsierende und geglättete Gleichspannung

Ein am Haushaltsnetz (230 V~, 50 Hz) angeschlossener Netztransformator liefert über die Sekundärwicklung eine potentialfrei Wechselspannung. Mit Dioden lassen sich daraus pulsierende Gleichspannungen erzeugen.

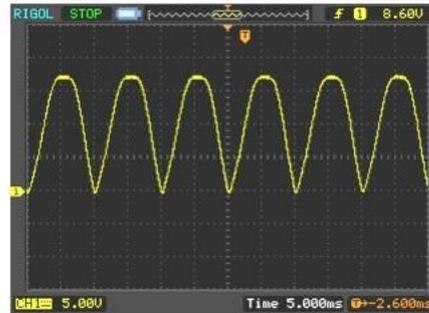
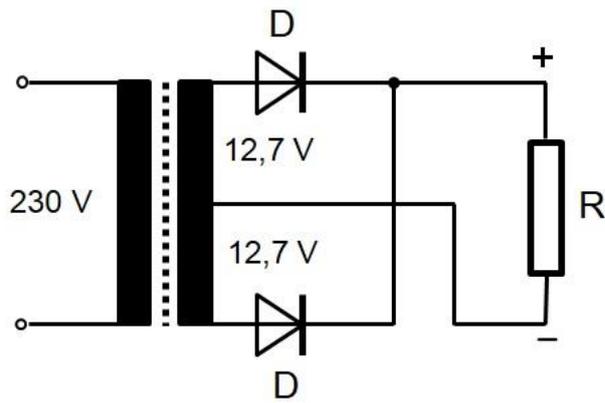
Einweggleichrichtung

Mit einer Diode D kann eine Halbwelle der Wechselspannung an den Verbraucher R gelegt werden:



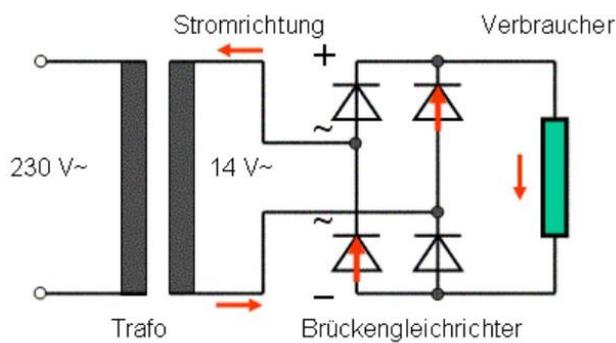
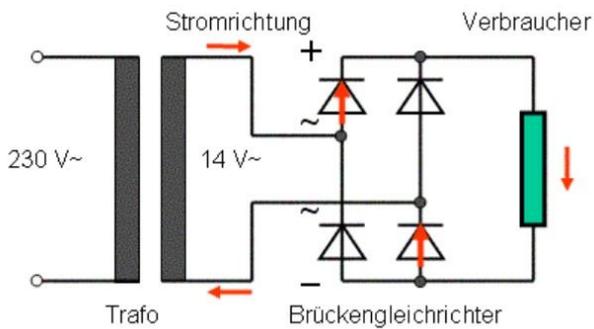
Zweiweggleichrichtung

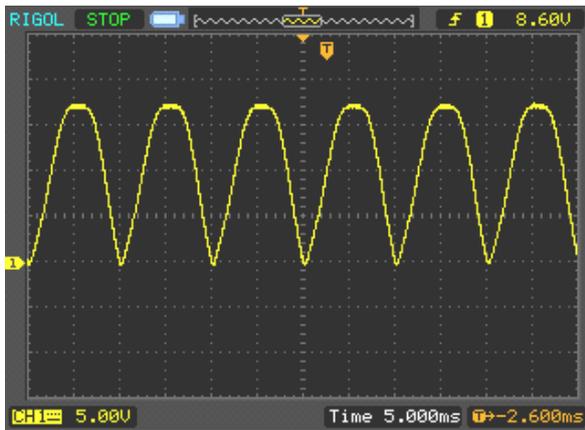
Mit zwei Dioden D gelangen beide Halbwelle der Wechselspannung an den Verbraucher R:



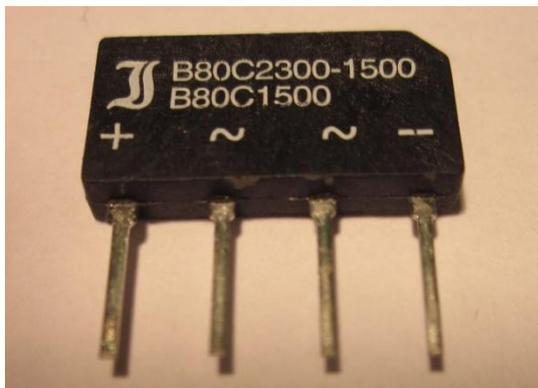
Brückenschaltung mit vier Dioden

Mit vier Dioden gelangen beide Halbwelle der Wechselspannung an den Verbraucher:





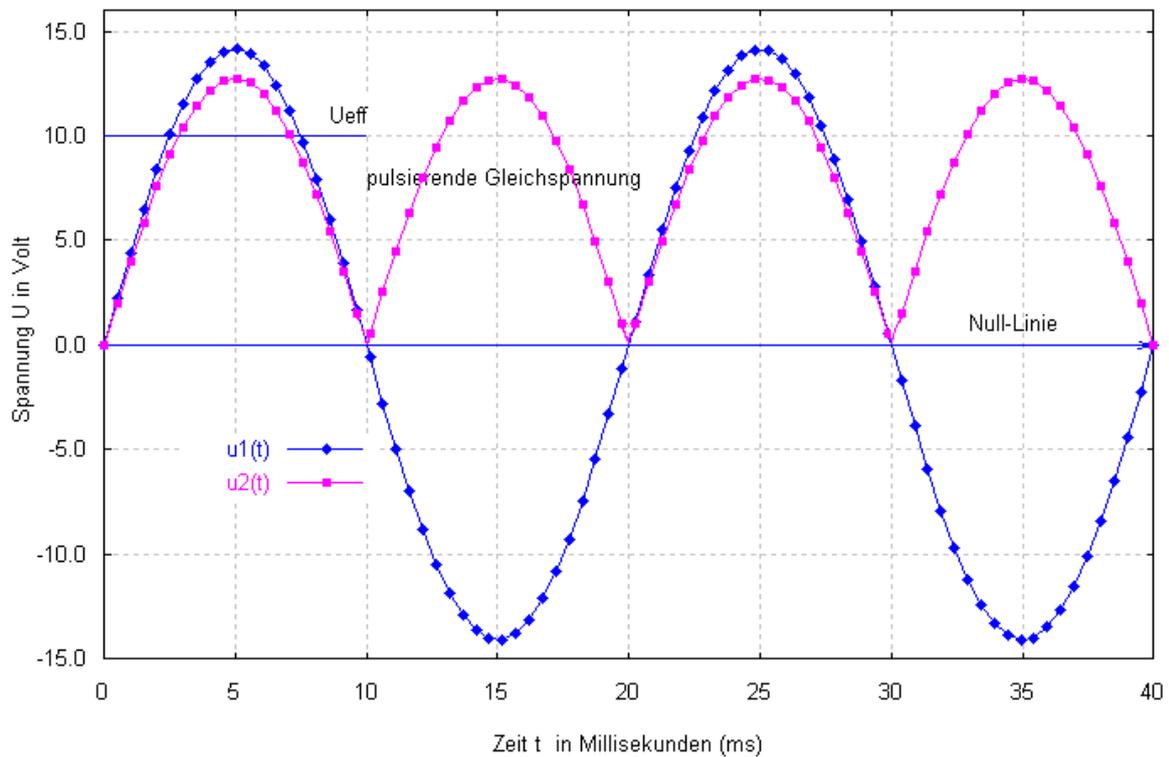
Brückengleichrichter für 80V bei maximal 1,5 A :



Zeitlicher Verlauf einer pulsierenden Gleichspannung

Der zeitliche Verlauf einer pulsierenden Gleichspannung im Vergleich zu einer 50 Hz Wechselspannung mit einem Effektivwert von 10 Volt ist in der folgenden Grafik dargestellt:

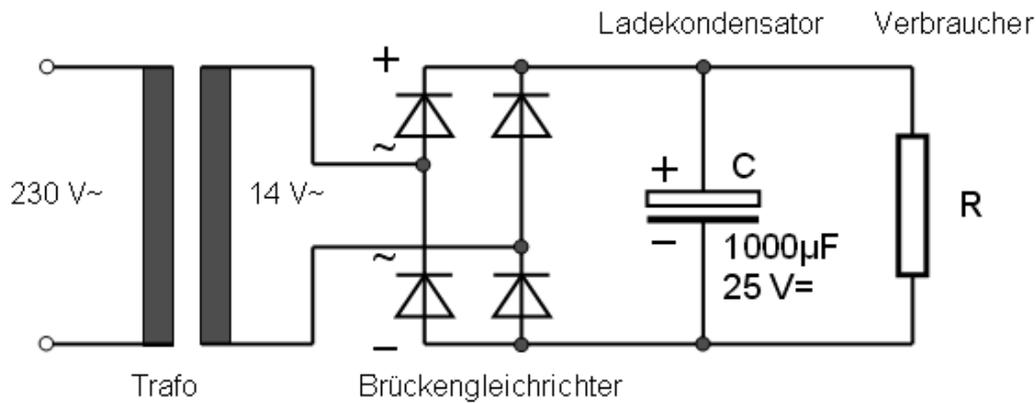
Wechselspannung $U_{\text{eff}} = 10 \text{ V}$ und pulsierende Gleichspannung am Ausgang des Brückengleichrichters



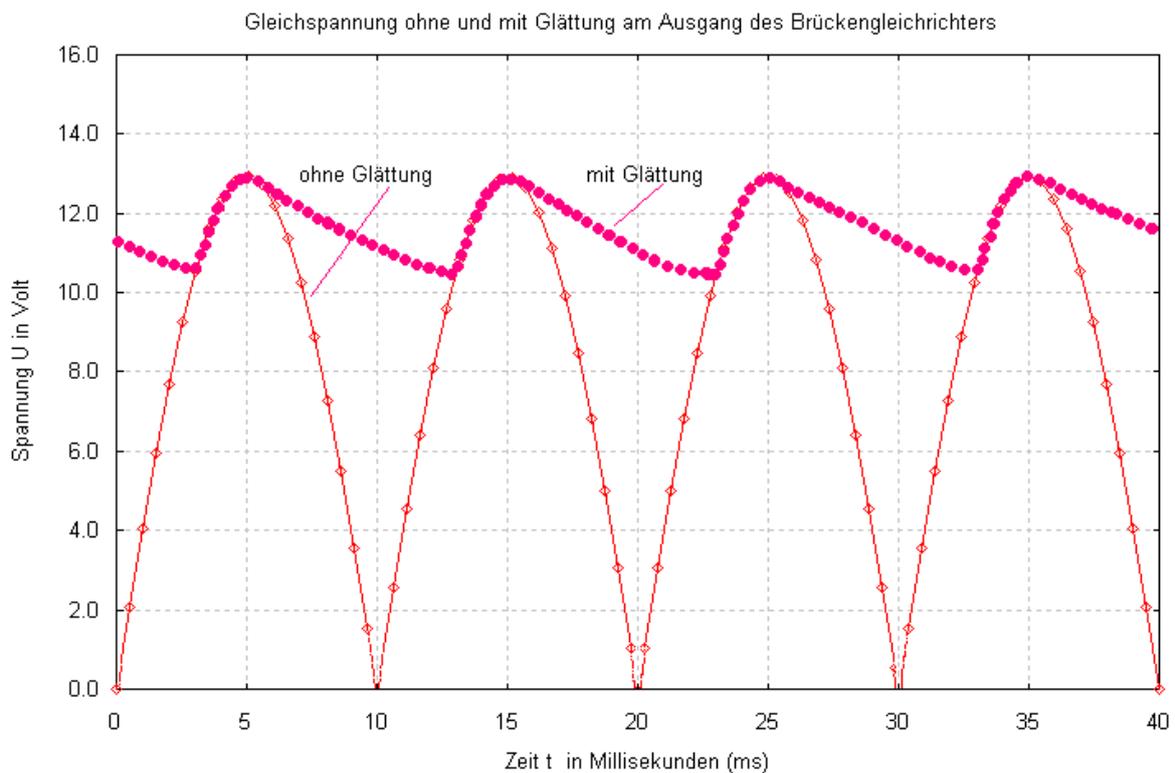
Es hat in der Grafik den Anschein, als wenn die Dioden lediglich die negativen Halbwellen in den positiven Bereich „umgeleitet“ haben. Bei genauerer Betrachtung ist aber zu erkennen, dass infolge eines kleinen Spannungsabfalles von 0,7 Volt pro beteiligter Diode, die Höhe der pulsierenden Gleichspannung etwas kleiner ist.

Geglättete Gleichspannung

Ein polaritätsabhängiger Elektrolytkondensator mit der Kapazität $C = 1000 \mu\text{F}$ wird vom Brückengleichrichter aufgeladen und vom Verbraucher mit dem Widerstand R teilweise entladen. Der Ladekondensator C ist parallel zum Verbraucher geschaltet.



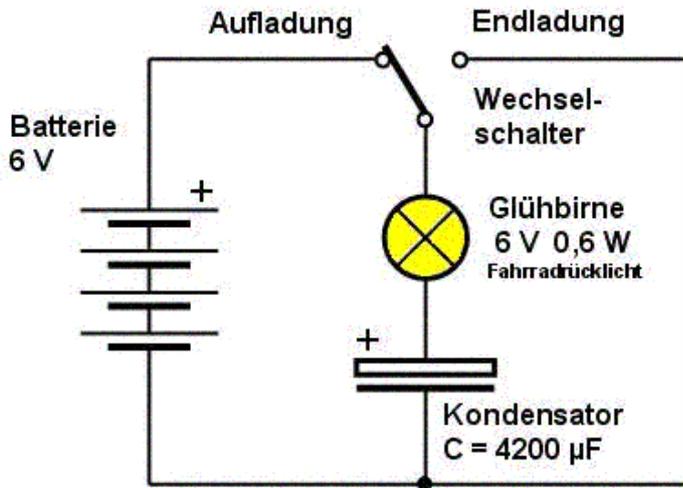
In der Testschaltung mit einer Trafospannung auf der Sekundärseite von $U_{\text{eff}} = 14 \text{ V} \sim$ und $C = 1000 \mu\text{F}$ und $R = 50 \text{ Ohm}$ erhält man im nachfolgenden Bild den eingezeichneten geglätteten Spannungsverlauf:



Der Kondensator C wird immer wieder vom Brückengleichrichter aufgeladen, wenn die treibende Spannung größer ist als die momentane Kondensatorspannung und entlädt sich teilweise über den Widerstand R bis zur nächsten Aufladung von einer nachfolgenden positiven Halbwelle.

Auf- und Entladung eines Kondensators

Mit einfachen Bauelementen soll die Auf- und Entladung eines Kondensators im Experiment untersucht werden.

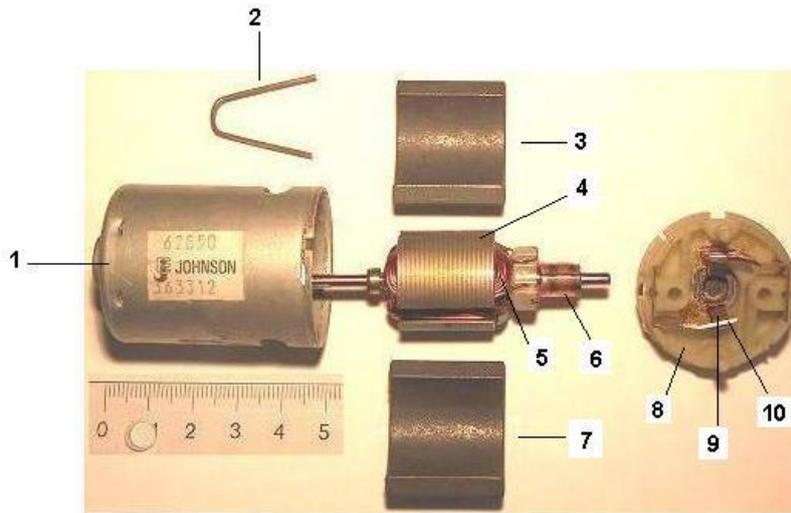


Die Schaltung besteht aus einer Fahrradglühbirne, einem Elektrolytkondensator, einem Wechselschalter und einer Batterie. Der Wechselschalter ist in Stellung Aufladung. Die Glühbirne leuchtet kurz auf, der Kondensator ist damit aufgeladen auf 6 V, durch die Glühbirnen fließt kein Strom mehr.

Der Wechselschalter wird nun in Stellung Entladung geschaltet. Wieder leuchtet die Glühbirne kurz auf. Der Kondensator ist auf 0 Volt entladen.

Aus welchen Bauteilen besteht ein Gleichstrommotor ?

Ein robuster Gleichstrommotor (6 Volt) wird vorsichtig (zerstörungsfrei) auseinandergebaut, um die einzelnen Baugruppen betrachten zu können.



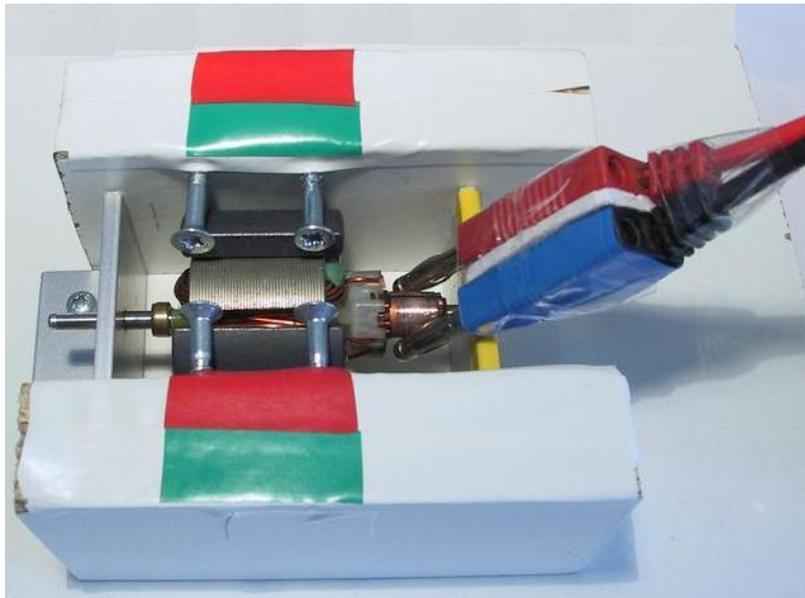
Wir erstellen eine Liste von den demontierten Bauteilen:

1. Ein topfförmiges Metallgehäuse mit einem Gleitlager (1)
2. Eine Klammer (2)
3. Ein schalenförmiger Dauermagnet (3) mit innen einem Südpol (S) und außen einem Nordpol (N).
4. Ein dreipoliger Rotor (4) mit drei Wicklungen (5) und drei Kommutatorsegmenten (6)
5. Ein Lagerdeckel (8) aus Isolierstoff
6. Zwei Schleifkohlen (9) mit Stromzuführung (10)

Es wird nun versucht, mit den wesentlichen Einzelteilen einen funktionsfähigen Gleichstrommotor zu montieren.

Der Testmotor auf dem Holzbrett

Der einfache Zusammenbau erfolgt in Form eines Bretttaufbaues. Alle Bauteile sind sichtbar angeordnet.

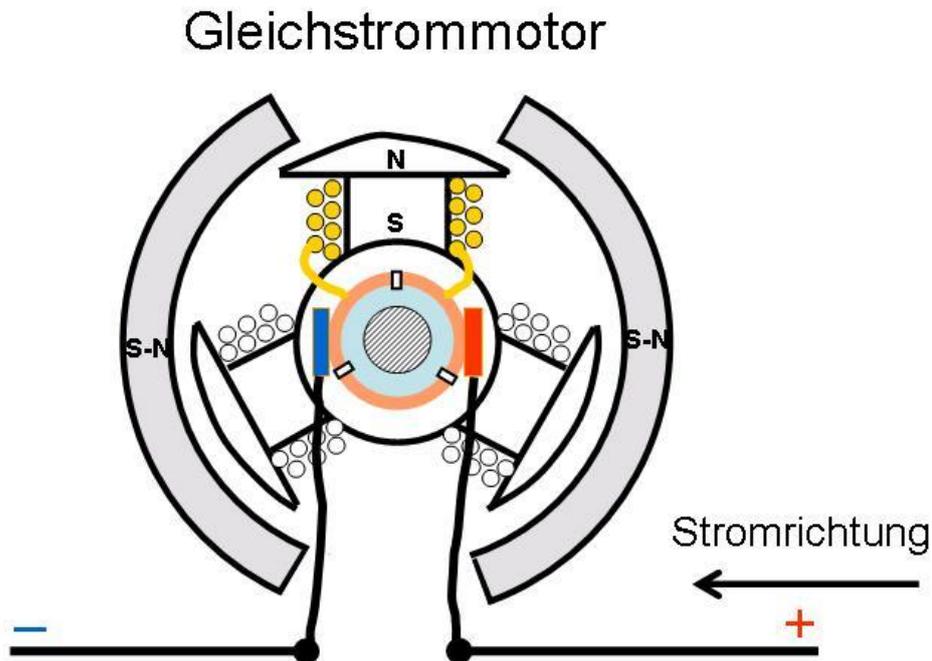


Als Achsenlager sollte eine 3mm-Bohrung in einem Winkelprofil aus Aluminium ausreichen. Auf zwei beweglich angeordneten Holzklötzen ist jeweils ein Dauermagnet mit Holschrauben positioniert. Zwei Bananenstecker dienen für die Stromzuführung. Mit dieser provisorischen Stromzuführung gelingt es, den Testmotor bei etwa 5 Volt wieder zum Drehen zu bringen. Werden beiden Bananenstecker vertauscht, ändert sich die Drehrichtung des Testmotors.

Das Schema des Gleichstrommotors

Es wird versucht, mit Hilfe der Kraftwirkungen zwischen den Magnetpolen, die Drehung des Rotors zu erklären. Hierzu muss

angenommen werden, dass auch im Rotor infolge des Stromflusses in der gerade stromführenden Wicklung ein Magnetfeld mit einem Nordpol und eine Südpol auftritt. Siehe das folgende Bild:

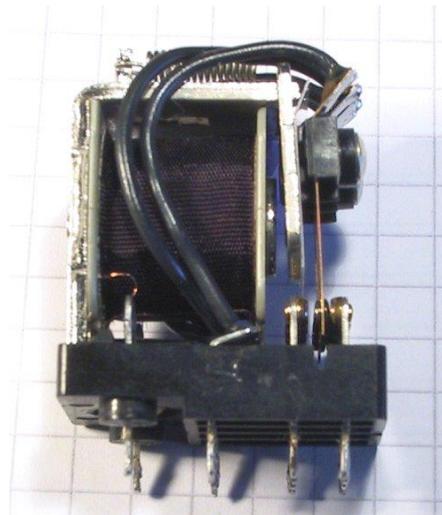
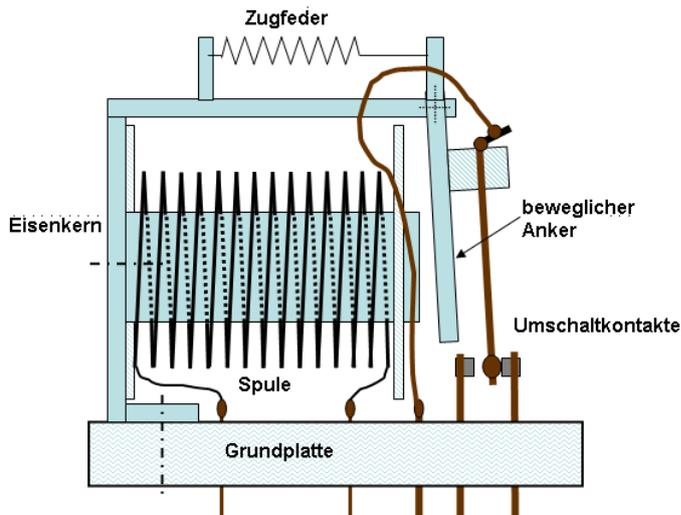


Mit dem Wissen, ungleichnamige Magnetpole ziehen sich an und gleichnamige Magnetpole stoßen sich ab, sollte es nun möglich sein, im obigen Bild die Drehrichtung zu bestimmen.

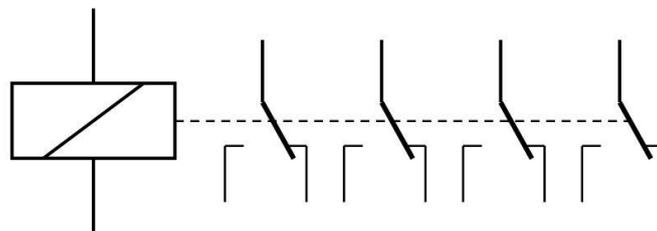
Also der Rotor dreht nach rechts !

Was ist ein Relais

Am PC wurde mit dem Zeichenprogramm PowerPoint von Microsoft eine schematische Darstellung von einem Relais so gezeichnet, dass der Betrachter unmittelbar das Funktionsprinzip verstehen kann: Ein Strom in der Spule erzeugt ein Magnetfeld, das den beweglichen Anker an den Eisenkern zieht. Dadurch wird der Umschaltkontakt bewegt. Dieser sog. Arbeitskontakt, z.B. für 230 V~ und 4 A, ist galvanisch vom Erregerstrom (z.B. 100 mA bei 12 V=) getrennt. Fließt kein Strom mehr in der Spule, wird der Anker von einer kleinen Zugfeder in die Ausgangsposition (Ruhestellung) zurückgezogen.



Das Foto rechts zeigt das reale 12-Volt-Relais mit vier hintereinander liegenden Umschaltkontakten. Im Schaltplan wird dieses Relais mit einfachen Symbolen wie folgt dargestellt:



Beachte: In einer Schaltung wird immer nur die Ruhestellung der Kontaktsätze gezeichnet !!!

Frage1:

Mit welcher Leistung $P_1 = U \cdot I$ wird das Relais geschaltet ?

$P_1 = _ , _ \text{ Watt}$

Frage2:

Das Relais soll 4 getrennte Stromkreise mit je 5 Lampen à 60 Watt ein- und ausschalten. Wie hoch ist dabei die geschaltete Leistung? $P = _ _ _ _ \text{ Watt}$

Übersicht der Dokumentationen

„Algebra bis zur 10. Klasse“

siehe www.normei-weinheim.de/Mathe/Algebra.pdf

„Geometrie bis zur 10. Klasse“

siehe www.normei-weinheim.de/Mathe/Geometrie.pdf

„Trigonometrie bis zur 10. Klasse“

siehe www.normei-weinheim.de/Mathe/Trigonometrie.pdf

„Elektrizitätslehre bis zur 10. Klasse“

siehe www.normei-weinheim.de/Elektro/Elektrizitätslehre.pdf

„Mechanik bis zur 10. Klasse“

siehe www.normei-weinheim.de/Mechanik/Mechanik.pdf

