

1. Grundlagen

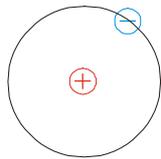
1.1 Elektrische Ladung

Grundgesetz

Ungleiche Ladungen ziehen sich an.
Gleiche Ladungen stoßen sich ab.

1.2 Atom und Ladung

Das Borsche Atommodell geht vom einfachsten Element, dem Wasserstoff (H) aus.



Elektron umkreist den Kern mit negativer Elementarladung e^-

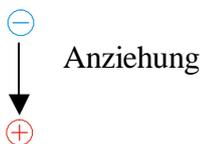
Proton im Atomkern mit Positiver Elementarladung e^+

$$e = 1,602 \cdot 10^{-18} \text{ As oder C}$$

As = Amperesekunden
C = Culom

1.3 Elektronenbewegung

1. Fall: Elektron in Ruhe

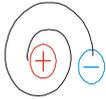


Ungleiche Ladungen ziehen sich an, das heißt die Ladungen gleichen sich aus
→ Neutralisation

2. Fall: Elektron bewegt sich um den Kern

Damit sich die kreisförmige Bahn / Atomhülle bildet, muss sich das Elektron so schnell bewegen, dass eine Kraft nach außen entsteht (Fliehkraft), die genau so groß ist wie die Anziehungskraft.

1. Fall: Ist die Fliehkraft etwas kleiner als die Anziehungskraft, so dreht sich das Elektron spiralförmig in den Kern und neutralisiert sich.



2. Fall: Ist die Fliehkraft größer, dann löst sich das Elektron vom Atom - ist ein sogenanntes freies Elektron und hinterlässt ein einfach positiv geladenes Atom, was man Ion nennt.

1.4 Grundgesetze des Atoms

Damit wird die sichtbare Natur als fest erleben müssen die Atome zunächst die Atome neutral (stabil) sein.

1. Atomgesetz

Jedes Atom ist nach außen neutral, weil die Ladung der Elektronen durch die entgegengesetzte gleich großen Ladungen der Protonen ausgeglichen werden.

$$N \cdot e^+ = N \cdot e^-$$

2. Atomgesetz

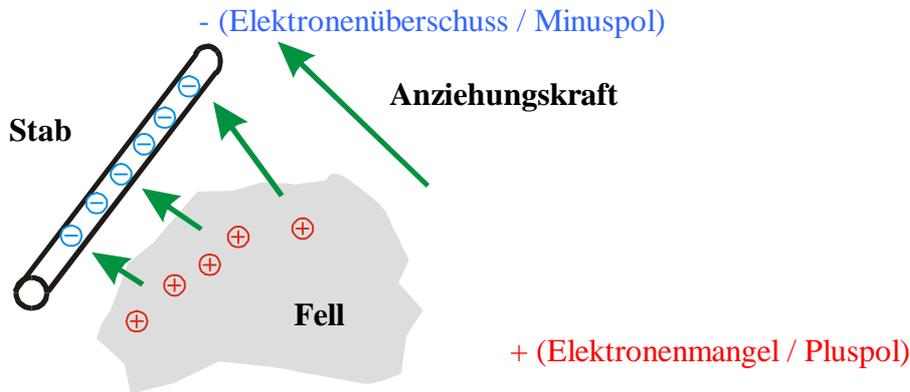
Damit sich entgegengesetzte Kräfte oder Ladungen durch Anziehung nicht auflösen und Körper fest erscheinen dreht sich das ferschwindend kleine Elektron mit 2200 km/s um den Kern.

1.5 Ladungserzeugung

Gemäss dem 1. Atomgesetz sind alle Atome nach außen neutral, das heißt alle Ladungen sind im Atom gebunden und müssen durch einen äußeren Eingriff (Kraft) getrennt werden. Diesen Vorgang nennt man Ladungstrennung.

Versuch:

Ein Kunststoffstab wird an einem Fell gerieben (äußere Kraft)

**Erläuterung:**

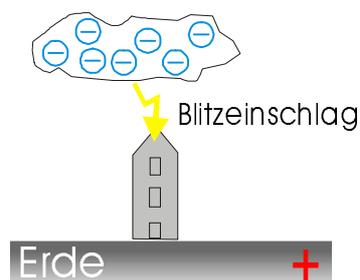
Beim reiben werden Elektronen vom Fell in den Stab geschoben. Jedes Elektron erzeugt eine einfache negative Ladung (e^-) und hinterlässt in dem Fell eine einfache positive Ladung (e^+).

1.6 Elektrische Spannung (U)

Werden Ladungen durch äußere Einwirkung getrennt, dann entsteht eine Spannung, die umso größer ist je mehr Ladungen voneinander getrennt werden. Eine Anagolie ist eine Metallfeder oder Gummiband etc. die nach dem ausziehen gehalten werden muss sonst schnappt sie wieder zurück in die ruhe. Die Elektrische Spannung ist das bestreben die Ladungstrennung wieder rückgängig zumachen d. h. die Elektronen wollen wieder an den ursprünglichen Ort zurück gehen.

U in V (Volt)

Ein Praktisches Beispiel in der Natur ist das Gewitter:



Wolken reiben sich in der Luft und geben entweder Elektronen ab und werden zu positiv aufgeladene oder nehmen Elektronen von der Luft auf und werden negativ. Sammeln sich zu viele Ladungen in der Wolke (zu große Ladung) dann erfolgt ein überschlag wonach die Wolke wieder neutral ist.

1.7 Der Elektrische Strom (I)

Die gerichtete Bewegung (z.B. überschlag von der Wolke zur Erde) von freien Elektronen nennt man Elektrischen - Strom. E-Strom kann nur fliesen wenn eine Spannung (U) anliegt; die Spannung ist die Ursache (oder quelle) des E-Strom.

I in [A] Ampere

1.8 Das Periodensystem

Anhand der Anzahl der Protonen im Kern, werden die Elemente nacheinander (82 natürliche Elemente bis zum Blei [Pb]) angeordnet. Elemente über 82 werden als radioaktiv bezeichnet, weil sie nach einer bestimmten Zeit wieder zu Blei zerfallen. Atome werden durch das Schalen-Modell (vgl. Zwiebel) beschrieben, die von innen nach außen mit Elektronen aufgefüllt werden. Die Anzahl der Außenelektronen oder Valenzelektronen (in der äußersten Schale) bestimmen die Hauptgruppe (I-VIII) in die die Elemente eingeteilt werden. In der Natur sind nur Edelgase stabil (VIII) und treten daher atomar auf. Andere Elemente müssen sich mit anderen Atomen verbinden (Molekül) damit sie den Edelgaszustand (stabil) erreichen.

1.9 Atombindung

Den Edelgaszustand erreicht man durch die Oktettregel (8er-Regel) d.h. es müssen 8 Elektronen auf der äußersten Schale sein - Ausnahme bildet das Helium.

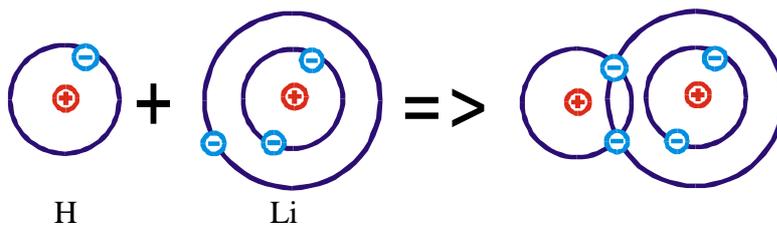
Übung:

1. Beispiel

H (Ordnungszahl 1, Gruppe 1) Sichert auf → Edelgaszustand He
He (Ordnungszahl 2, Gruppe 8)

→ H fehlt 1 Elektron um den Edelgaszustand zu erreichen → alle Elemente der Gruppe 1 können mit H diese Verbindung eingehen

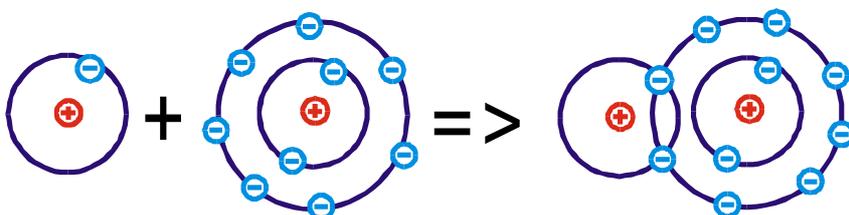
z.B.



Diese Bindung nennt man Elektronenpaarbindung, weil die Elektronen H und Li sowohl zum Wasserstoffatom und Lithiumatom gehören.

2. Beispiel

H geht mit Gruppe VII eine Verbindung ein z.B.



Merke je weiter Elektronen vom Kern entfernt sind; umso besser können sie Verbindungen mit anderen Elementen eingehen oder vom Atomverband gelöst werden, weil die Bindungsenergie zwischen Kern und Hülle nach außen abnimmt. Deshalb kommen für den Stromtransport oder Atombindungen nur die Valenzelektronen in betracht.

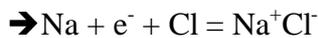
1.10 Ionenbildung

Durch abgabe (Elektronen mangel +) oder aufnahme (Elektrone überschuss -) entsteht aus dem zuvor neutralem Atom ein Polares Atom ein Polare Ion. Ist es negativ geladen dann sucht es sich ein positives Ion oder umgekehrt.

z.B. Kochsalz (siehe Blatt) NaCl.

Na (I) kann ein Elektron abgeben $\rightarrow \text{Na}^+$

Cl (VII) kann ein Elektron von Na aufnehmen $\rightarrow \text{Cl}^-$



Ionen spielen hauptsächlich bei Flüssigkeiten, z.B. Batterien Akkus eine rolle.

1.11 Frei Elektronen

Voraussichtlich für den Stromfluss sind freie Elektronen, d.h. Elektronen die den Atomverbund verlassen haben und durch eine Spannung gerichtet bewegt werden können. Freie Elektronen sind von der äußersten schale, die am wenigsten gebunden sind.

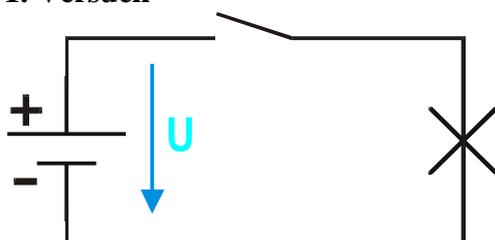
1.12 Metallbindungen

Jedes Metall hat schon bei Zimmertemp. ein freies Elektron das für den Stromtransport zur ferfügung steht (Elektronen Gas) man nennt sie auch Ladungsträger. Deswegen leiten Metalle den Strom sehr gut und werden Leiter genant. Nichtleiter oder Isolatoren haben nur wenige freie Ladungsträger und Leiten den Strom sehr schlecht. dazwischen stehen die Halbleiter.

1.13 Der Elektrische Stromkreis

Der E-Stromkreis besteht aus einer hin- und einer Rückleitung, einer Spannungsquelle und einem Verbraucher (z.B. Lampe)

1. Versuch

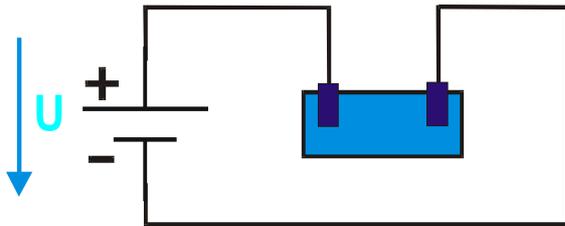


Merke: Bezugspfeile gehen von + nach -

Beobachtung: Die Lampe leuchtet trotz aller Bestandteile nicht weil der Stromkreis unterbrochen ist, beim schlissen des Schalters leuchtet die Lampe.

Merke: Schalter werden für die Betätigung gezeichnet; der Schalter in Versuch 1 nennt man Schließer.

2. Versuch



1. Beobachtung: Lampe bleibt dunkel.

Deutung: Wasser leitet den Strom schlecht und wirkt wie eine Unterbrechung im Stromkreis.

Veränderung: Es wird Kochsalz in das Wasser gegeben.

2. Beobachtung: Je mehr Salz in das Wasser gekippt wird desto heller Leuchtet die Lampe.

Deutung: NaCl zerfällt (dissoziiert) im Wasser zu Ionen Na^+ Cl^- wodurch Ladungsträger entstehen.

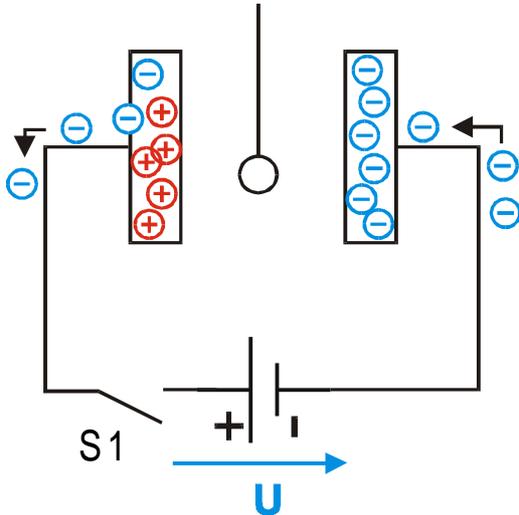
1.14 Ladungstransport

Damit eine E-Spannung entsteht, muss von außen Arbeit verrichtet werden (z.B. reiben eines Stabes) nimmt man zum vergleich oder als Analogie die Metallfeder so wird z.B. die Muskelkraft in der Feder gespeichert und kann beim loslassen eine Arbeit verrichten. Beim Bogen kann nach dem Spannen ein Pfeil abgeschossen werden. Genauso verhält es sich bei dem E-Stromkreis, wobei der Bogen die Spannungsquelle ist und die Pfeile die sich im Stromkreis drehen. In festen Körpern sind die Elektronen die Ladungsträger und in Flüssigkeiten die Ionen.

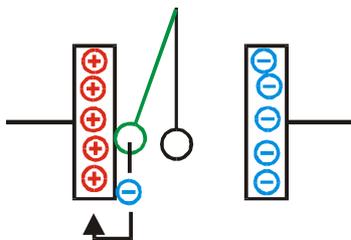
1.15 Zusammenhänge zwischen Ladungsträger und dem E-Strom

Versuch:

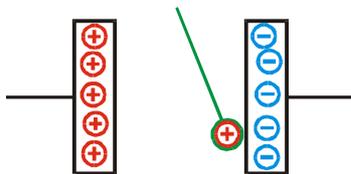
2 Metallplatten werden mit einer Spannungsquelle aufgeladen und ein Tischtennisball frei hängend dazwischen gebracht.



1. Schritt: S1 Schließen
2. Schritt: Tennisball an + Platte
S1 geöffnet
→ Spannung liegt an den Platten



3. Schritt: Abstoßung des Balles



Drei Elektronen des - Poles neutralisieren den pos. TP; danach werden 2 Elektronen vom neutralen Ball angezogen → Abstosung auf den + Pol. An den + Pol strömen die verbleibenden Elektronen an die + Palette und bauen die Spannung ab, wodurch der Vorgang beendet ist.

1.16 Arten der Spannungserzeugung

A.) Chemische Vorgänge

Zink gibt positive Metallionen ab und wird daher negativ;
Kupfer gibt negative Metallionen ab und wird positiv

B.) Wärmewirkung von verschiedenen Metallen

Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von freien Elektronen, wandern durch die Wärmeenergie angeregt, wandern die Elektronen vom Metall mit der höheren Elektronendichte in das Andere Metall ab - Ladungstrennung - Spannung

C.) Lichtwirkung

Durch die Bestrahlung von Licht steigt die Spannung; die Lichtenergie (Photonen) erzeugen freie Ladungsträger in der Solarzelle - Ladungstrennung - Spannung.

D.) Verformung von Kristallen

Durch Druck in Piezo - Kristallen entsteht eine Spannung (Piezoeffekt) - Ladungstrennung.

E.) Induktion

Bewegt man eine Spule (Leiter) im Magnetfeld dann entsteht eine Spannung. Freie Elektronen werden in eine Richtung abgelenkt - Ladungstrennung.

F.) Reibung

1.17 Wirkung des Stromes

A) Wärmewirkung

Durch Erhöhung der Spannung wird der Strom und damit die Anzahl und die Geschwindigkeit der Ladungsträger vergrößert. Dadurch entstehen mehr Zusammenstöße mit den Metallatomen was zu einer Erhöhung der Temperatur führt..

B) Magnetische Wirkung

Elektrische und Magnetische Wirkung bedingen sich wechselseitig; fließt ein Strom durch ein Leiter, dann wird ein Magnetfeld erzeugt.

C) Lichtwirkung

Der erwärmte Draht Glüht so stark das er licht abgibt.

D) Chemische Wirkung

Der Strom bewirkt die Trennung (Dissoziation) von Molekülen.

E) Physiologische Wirkung

Elektrischer Strom ist mit Vorsicht und Sachverstand zu behandeln, da schon kleine Ströme Tödlich sein können (ab 50 mA).

2. Grundgrößen des Elektrischen Stromkreis

2.1 Physikalische Größen

Alle Messbaren Eigenschaften von Physikalischen Objekten, zustände oder Vorgänge werden durch einen Zahlenwert und eine Einheit dargestellt

$$\text{Größe} = \text{Zahlenwert} \cdot \text{Einheit}$$

Beispiel:

$$\text{Gewicht} = 30 \cdot 1 \text{ Kilogramm}$$

$$\text{Kurzschreibweise} \quad m = 30 \text{ kg}$$

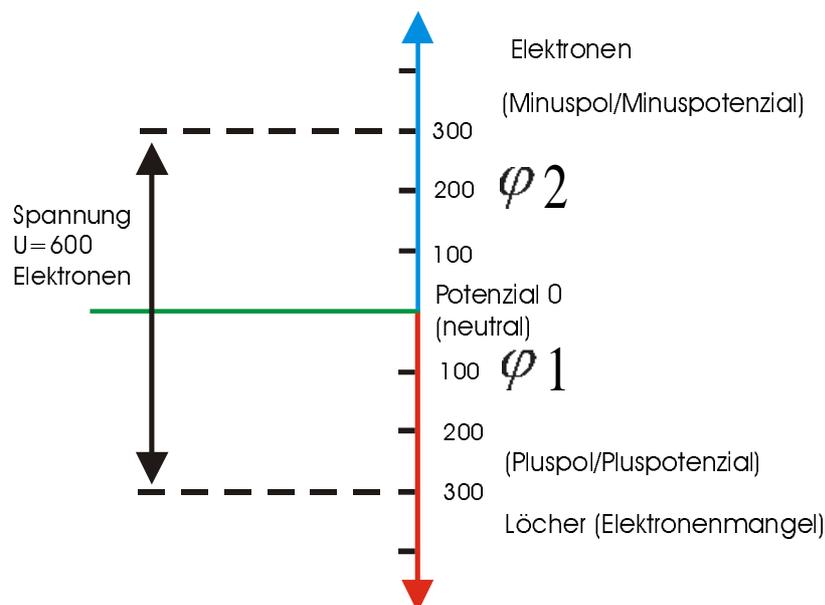
m = Formelzeichen

kg = Einheit

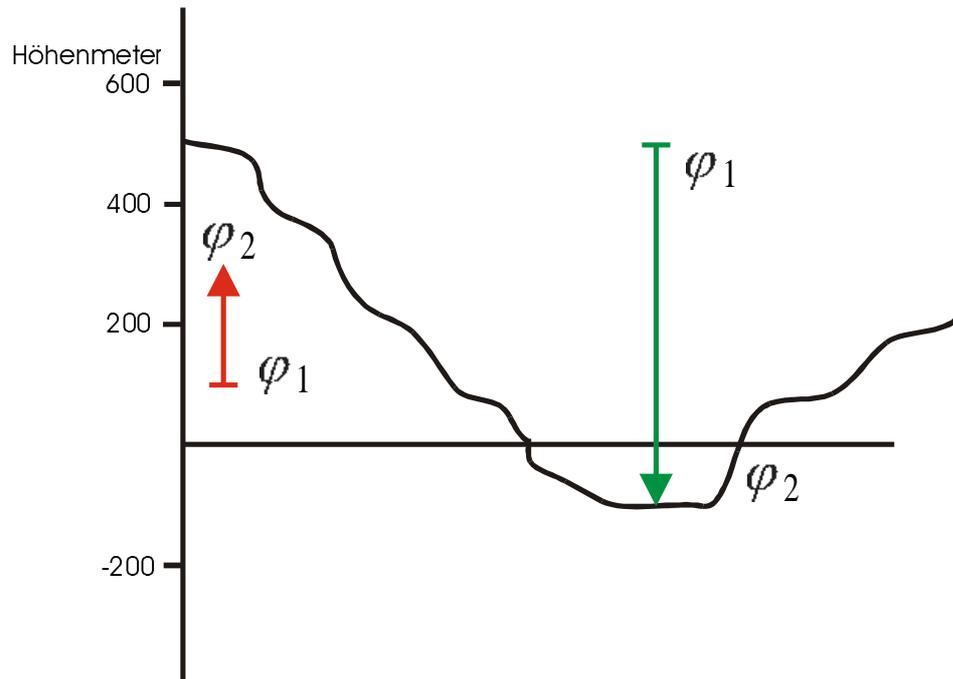
2.2 Elektrische Spannung (Potenzialdifferenz)

Durch Ladungserzeugung entsteht eine Spannung, die umso größer ist, je mehr Ladungen getrennt werden d.h. je größer der Minus-Pol oder das Minuspotenzial und der Plus-Pol oder Pluspotential sind.

$$\text{Potenzial} = \varphi \text{ (Phi)}$$



Die elektrische Spannung ist die Differenz zwischen dem höheren (Pluspotenzial) und dem niedrigen (Minuspotenzial). Eine Analogie hat man in den Höhenmeter bezüglich des Meeresspiegel in der Geographie.



Rot:

Aufstieg => (Potenzial Hohe) $\varphi_2 - \varphi_1 = 300\text{m} - 100\text{m} = 200\text{m}$

Grün:

Abstieg => (Negative Höhe) $\varphi_2 - \varphi_1 = -100\text{m} - 500\text{m} = -600\text{m}$

$$U = \varphi_2 - \varphi_1 \text{ in[V]}$$

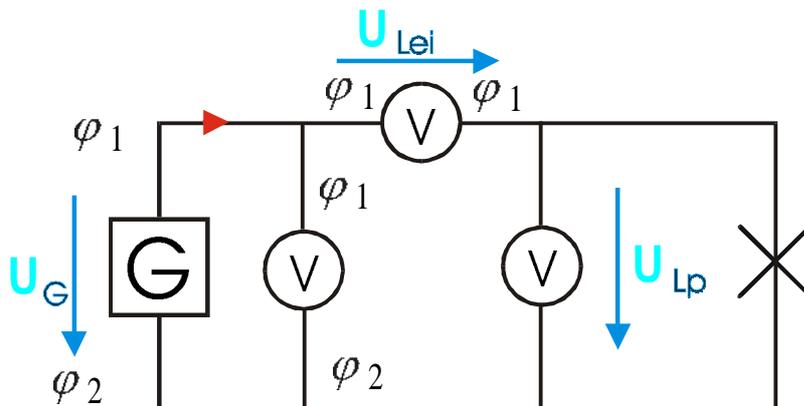
Große Spannungen:

1 Gigavolt	= 1 GV	= 10^9 V	= 1 000 000 000 V
1 Megavolt	= 1 MV	= 10^6 V	= 1 000 000 V
1 Kilovolt	= 1 kV	= 10^3 V	= 1 000 V

Kleine Spannungen:

1 Millivolt	= 1 mV	= 10^{-3}	= 0,001 V
1 Mikrovolt	= 1 μ V	= 10^{-6}	= 0,000 001 V
1 Nanovolt	= 1 nV	= 10^{-9}	= 0,000 000 001 V
1 Pikovolt	= 1 pV	= 10^{-12}	= 0,000 000 000 001 V

Messschaltung



Messergebnis

$$U_{LP} = U_G$$

$$U_{Lei} = 0$$

Bei der Parallelschaltung ist die Spannung ($\varphi_2 - \varphi_1$) überall gleich groß daraus folgt $U_{LP} = U_G$

Wird eine Spannungsmesser in Reihe geschaltet dann ist die Spannung null, weil beide Messanschlüsse auf dem gleichen Potenzial liegen. Spannungsmesser werden deswegen immer parallel zur Messgröße angeschlossen.

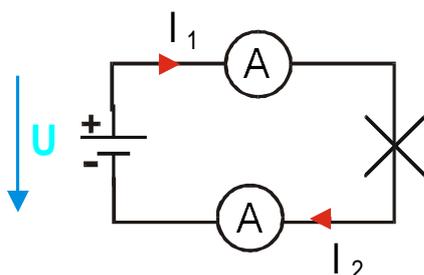
Merke: Die Spannung und Strompfeile sind Bezugspfeile die angeben in welcher Richtung der Strom oder die Spannung Positiv Gerechnet wird.

2.3 Der elektrische Strom (I)

Eine gerichtete Bewegung von Ladungsträgern (Elektronen) nennt man Strom. Eine Analogie dazu ist der Wasserfluss der durch Druck und Gefälle in einem Rohr entsteht.

I in [A]

Messschaltung:



Der Strom kann an beliebigen Stellen in der Leitung (in Reihe) gemessen werden und ist immer gleich groß ($I_1 = I_2$).

2.4 Die elektrische Stromdichte (J)

$J \sim I$

J proportional I

$$J \sim \frac{I}{A}$$

J antiproportional Querschnitt

$$J = \frac{I}{A} \text{ in } \left[\frac{A}{\text{mm}^2} \right]$$

Ab einer bestimmten Stromdichte (J) die von I und dem Querschnitt (A) abhängt kann die Leitung durchbrennen. Bei Erhöhung der Stromdichte erhöht sich die Reibung oder die Zusammenstöße der Ladungsträger mit dem Metallgitter wodurch die Schwingungen der Metallatome und damit die Temperatur erhöht wird.

Die DIN VDE 0298 schreibt deshalb entsprechende Leitungsquerschnitte je nach Stromstärke vor (siehe FK-Buch)

2.5 Die elektrische Ladung (Q)

$$Q \text{ in } [\text{As}, \text{C}]$$

C = Coulomb

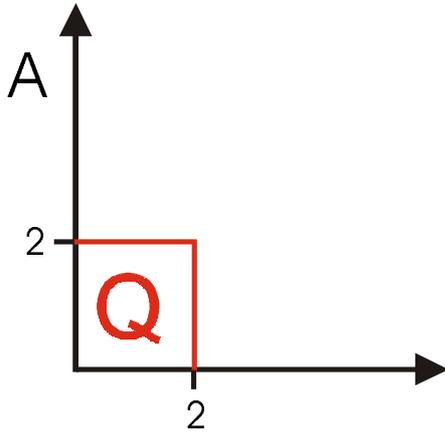
As = Amperesekunden

Elektrische Ladungen sind in allen Körpern gleich verteilt (Anzahl der Protonen gleich der Anzahl der Elektronen) und erscheinen nach außen neutral und daher als fest. Ladung können nicht erzeugt sondern getrennt werden.

Elementarladung

Elektron: $e^- = -1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Proton: $e^+ = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



$$Q = n \cdot e$$

n = Anzahl
e = Ladungsträger

$$Q \sim t$$

$$Q \sim I$$

$$Q = I \cdot t$$

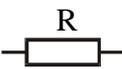
t = Zeit

2.6 Der Elektrische Widerstand (R)

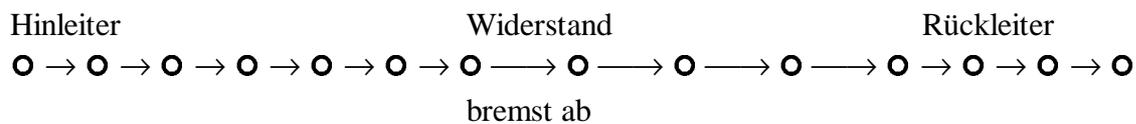
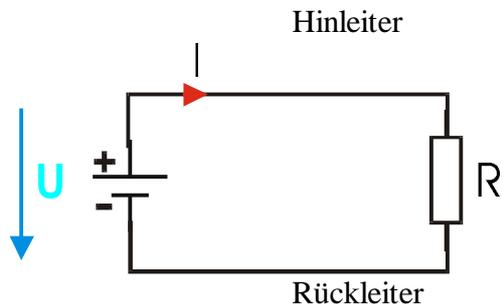
A) Allgemein

Unter einem E - Widerstand versteht man die Behinderung des Elektronenflusses (Strom) durch einen Stoff.

$$R \text{ in } [\Omega]$$

Schaltzeichen: 

B) Physikalische Erklärung



Die Spannungsquelle stößt die Ladungsträger an; der Stoß wird umso schlechter weitergeleitet je größer der weg zwischen zwei freien Ladungsträger ist. Leiter haben eine hohe dichte von freien Ladungsträgern (pro Atom 1 Ladungsträger) und leiten den E-Strom sehr gut - d.h. der Widerstand ist sehr klein. bei Widerstandsmaterialien sinkt die Elektronendichte und somit auch die Leitfähigkeit - das heißt der Widerstandswert wird größer.

2.7 Der Leitwert (G)

$$R \sim \frac{1}{G}$$

$$G = \frac{1}{R} \text{ in [S] Siemens}$$

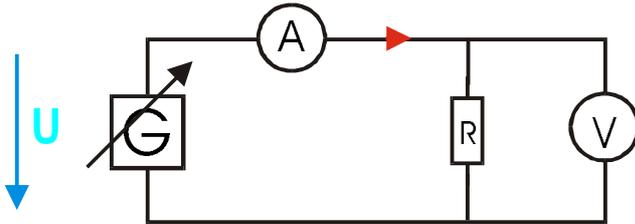
3. Das Ohmsche Gesetz

Aufgabe: Messtechnische Bestimmung der Zusammenhänge von U, I und R.

Messschaltung:

Fall 1

U verändern, I messen, R konstant



$R = 560 \Omega$

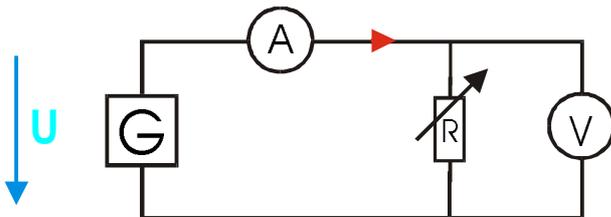
U in V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I in mA	0	1,9	4	6,6	8,1	12	14	16	18	20	23

Verdoppelt man die Spannung so verdoppelt sich auch der Strom.

$I \sim U$

Fall 2

R verändern, I messen, U konstant



$U = 1 \text{ V}$

R in Ω	10	47	82	100
I in mA	80	24	13	8,4

$I \sim \frac{1}{R}$

Ohmsche Gesetz

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

3.1 Der Leiterwiderstand

Das Ohmsche Gesetz

$$R_{20} = \frac{U}{I}$$

Das Ohmsche Gesetz gilt nur bei konstanter Temperatur (ϑ (Theta) 20°C). R_{20} der Leitungswiderstand, hängt von verschiedenen Physikalischen großen ab.

A) Versuch



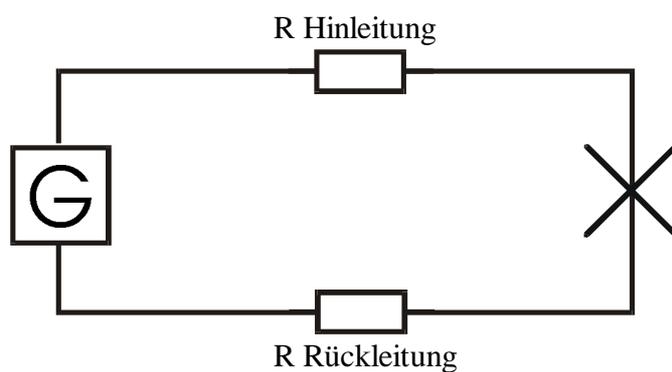
Messung

$$U_1 > U_2$$

Die Spannung am Generator ist größer als am Verbraucher

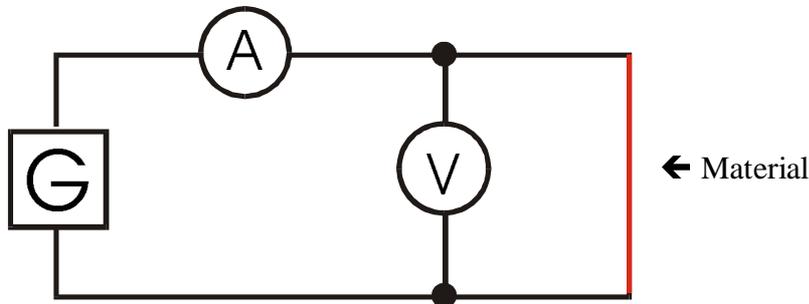
Deutung

Die Differenzspannung fällt an der Leitung ab, die durch den Leiterwiderstand bestimmt wird. Deshalb ergibt sich bei längerer Leitung folgendes Ersatzschaubild.



B) Zusammenhang

B1) Schaltung



B2) Tabelle

Material	Länge in m	Quersch. in mm ²	I in A	U in V	R in Ω
Konstantan	0,5	0,1	0,5	1,3	2,6
Konstantan	1	0,1	0,5	2,8	5,6
Konstantan	1	0,2	0,5	1,4	2,8
Kupfer	1	0,1	0,5	0,3	0,6

$R \sim l$

$$R \sim \frac{1}{A}$$

$l = \text{Länge}$ $A = \text{Querschnitt}$

R ist Materialabhängig was durch die Materialkonstante ρ (Rho) beschrieben wird.

$$\rho_{\text{Cu}} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\rho_{\text{Konstantan}} = 0,49 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$\rho_{\text{Konstantan}} > \rho_{\text{Cu}} \Rightarrow R \sim \rho$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \text{ in } [\Omega]$$

Die Materialkonstante ρ_{Hoh} gibt für die Länge von einem Meter und dem Querschnitt von 1 mm².

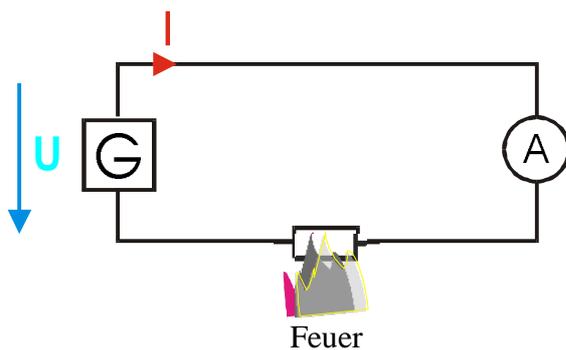
Die Materialkonstante ρ nennt man den Spezifischen Widerstand (FK Buch S. 311)

B3) Übung

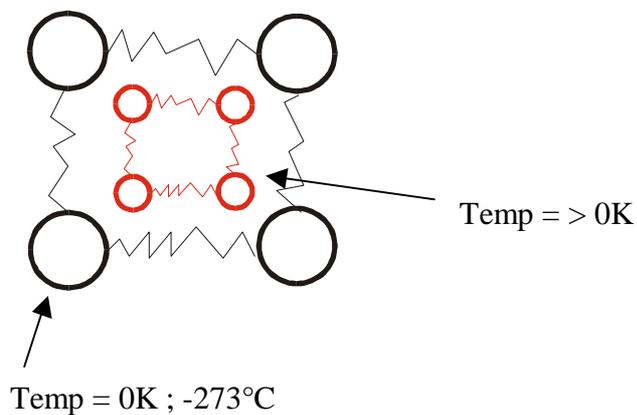
siehe Blatt

B4) Spezifische LeitfähigkeitDie Materialabhängige konstante für die Leitfähigkeit nennt man γ (Gamma) oder Kappa

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \rightarrow R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

3.2 WärmewiderstandWie bereits in 3.1 beschrieben gilt das Ohmsche Gesetz oder der Leiterwiderstand nur bei $\vartheta 20^\circ\text{C}$.**A) Versuch****Beobachtung**

Mit zunehmender Erhitzung sinkt der Stromfluss das heißt der Widerstand nimmt zu.

B) Physikalische Erklärung

Molekülverbindungen kann man sich wie mit Federn verbundene Kugeln denken. Im absoluten Nullpunkt (0 Kelvin [K]) bleibt das Gitter unbewegt und behindert den Stromfluss nicht das heißt $R = 0$ (Supraleitung). Mit zunehmender Temperatur erhöhen sich die Gitterschwindungen und auch damit die Behinderung des Stromflusses $R > 0$.

C) Auswertung

$$R \sim \vartheta$$

$$R \sim \text{Temperaturkonstante } \alpha \text{ (Alpha)}$$

Alpha nennt man den Temperaturkoeffizienten oder Temperaturbeiwert, der die Widerstandsänderung bei einer Temperatur Änderung von 1K angibt.

(1)

$$\begin{array}{ccc}
 & \text{Nennwiderstand} & \\
 & \text{(Kaltwiderstand } R_K) & \\
 & \downarrow & \\
 R_W = & R_{20} + \Delta R & (\Delta \text{ Delta}) \\
 \uparrow & \uparrow & \\
 \text{Wärmewiderstand} & \text{Widerstandsänderung} &
 \end{array}$$

(2)

$$\Delta R = R_{20} \cdot \Delta \vartheta \alpha$$

$$\text{wobei } \Delta \vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$

↑
Endtemp.

(1) in (2)

$$R_W = R_{20} + R_{20} \Delta \vartheta \alpha$$

$$R_W = R_{20} (1 + \Delta \vartheta \alpha)$$

D) Versuch zum Temperaturkoeffizienten

siehe Blatt

Auswertung

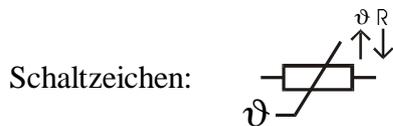
Mit zunehmender Spannung werden die Gitterzusammenstöße erhöht und daher auch die Temperatur (Draht leuchtet). Die Wolframlampe erhöht mit der Temperatur den Widerstand (Gitterschwingungen) sinkt die Leitfähigkeit und wird deshalb Kaltleiter genannt. Bei Kohle verhält es sich umgekehrt, weil die Behinderung der Gitterschwingungen kleiner sind als das entstehen von neuen Ladungsträger (FK Buch S. 27) deshalb nennt man Materialien wie Kohle Heißeiter.

3.3 Temperaturwiderstände

Erwärmungsarten:

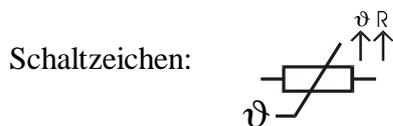
- Fremderwärmung => zusätzliche Wärmequelle von außen
- Eigenerwärmung => hohe Stromdichte => mehr Zusammenstöße => Temperaturerhöhung

A1 Heißeiter (NTC; Negativer Temperatur Koeffizient)



Mit steigender Temperatur sinkt der Widerstand, was durch ein negatives α (α kleiner 0).

A2 Kaltleiter (PTC; Positiver Temperatur Koeffizient)



Mit steigender Temperatur steigt auch der Widerstand => α größer 0

B) Übersichtstabelle

Material	α in 1/K	bei st. Temp. nimmt R
Kupfer	$3,9 \cdot 10^{-3}$	zu
Konstantan	$4 \cdot 10^{-2}$	zu
Kohle	$-5 \cdot 10^{-4}$	ab

3.4 Bauformen von Widerständen

A) Einleitung

IEC-Reihen: Die Widerstandswerte ergeben sich:

Maximaler Wert = $x \cdot 10^n \Omega$, wobei x bei 1 beginnt

z.B. $n = 1 \Rightarrow x \cdot 10^1 \Omega = 10 \Omega$ (maximalwert)

z.B. E6-Reihe: 1. Wert: 1Ω
 2. Wert: $1,5 \Omega$
 6. Wert $6,8 \Omega$

Berechnungsformel:

$$\text{Wert} = x \cdot \text{Faktor} = x \cdot \sqrt[m]{10^n} = x \cdot \overset{E\text{-Wert}}{\sqrt[n]{\text{Normalwert}}}$$

1. Wert = 1Ω

2. Wert = $1 \Omega \cdot \sqrt[6]{10\Omega} = 1,46 \Omega$

3. Wert = $1,46 \cdot \sqrt[6]{10\Omega} = 2,15 \Omega$

...

IEC - Reihe

E6

1. Wert = 1
 2. Wert = 1,467799268
 3. Wert = 2,15443469
 4. Wert = 3,16227766
 5. Wert = 4,641588834
 6. Wert = 6,812920691

E12

1. Wert = 1
 2. Wert = 1,467799268
 3. Wert = 2,15443469
 4. Wert = 3,16227766
 5. Wert = 4,641588834
 6. Wert = 6,812920691
 7. Wert = 10
 8. Wert = 14,67799268
 9. Wert = 21,5443469
 10. Wert = 31,6227766
 11. Wert = 46,41588834
 12. Wert = 68,12920691

B) Toleranz

Widerstände können nie genau den Nennwert erreichen, sondern werden je nach Präzision der aufwand der Herstellung mit Toleranzen angegeben. In den IEC-Reihe oder anhand der

Farbringe wird die Toleranz festgelegt; z.B. E6 mit $\pm 20\%$; $R_n = 100 \text{ k}\Omega \pm 20\% \Rightarrow$
Nennwert - Toleranz < nennwert < nennwert + Toleranz
 $80 \text{ k}\Omega < 100 \text{ k}\Omega < 120 \text{ k}\Omega$

E6-Reihe

Nennwert

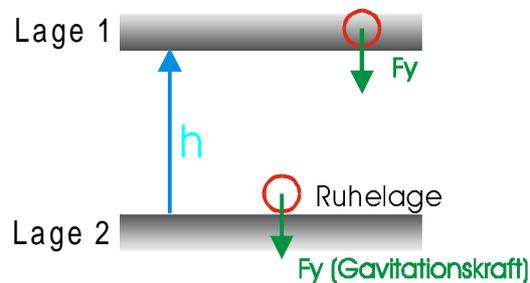
1. Wert	10 k Ω	8 k Ω
		12 k Ω
2. Wert	15 k Ω	18 k Ω
		17,6 k Ω
3. Wert	22 k Ω	26,4 k Ω
		39,6 k Ω
4. Wert	33 k Ω	38,6 k Ω
		56,4 k Ω
5. Wert	47 k Ω	54,4 k Ω
		81,6 k Ω
6. Wert	68 k Ω	

C) Belastbarkeit

Je besser die Stromwärme an die Umgebung abgegeben wird, desto höher die Belastbarkeit, die in Leistung mit der Maßeinheit Watt angegeben wird. Mit der Belastung steigt auch die Abmessung (Kühlkörper)

4. Arbeit, Energie und Leistung

A) Mechanische Arbeit



Aufgrund der Gravitationskraft bleibt ein Massenbehafteter Körper in seiner Lage (Ruhelage). Damit sich die Lage verändert, muss eine Kraft von außen entlang einem Weg eingesetzt werden. Das Produkt von Kraft \cdot Weg nennt man Mechanische Arbeit. Die am Apfel verrichtete Arbeit wird im Apfel so lange als Lageenergie oder als potentielle Energie gespeichert, bis der Apfel wieder losgelassen wird und in die natürliche Ruhelage zurückkehrt. Die gespeicherte Arbeit (Energie oder Möglichkeit Arbeit zu verrichten) wird durch die Gravitationskraft, die eine Masse mit $9,81 \text{ m/s}^2$ beschleunigt, wieder in Arbeit bis zur Ruhelage umgesetzt.

$$W_{\text{mech}} = F \cdot s \quad \text{in [Nm, Wm]}$$

$$W_{\text{pot}} = F \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

W = Arbeit (J = Joule)

F = Kraft (N = Newton)

s = Weg

m = Masse, Gewicht (kg)

g = Gravitation

Energie ist in Massenbehafteten Körpern gespeichert, lässt sich nicht gewinnen sondern nur umwandeln; Energie ist Quasi ein Speicherzustand. Bei der Umwandlung in eine andere Energiezustand wird Arbeit verrichtet, was als ein Vorgang zwischen zwei Energiezuständen zu verstehen ist.

B) Mechanische Leistung

Wird eine Mechanische Arbeit in einer bestimmten Zeit verrichtet dann spricht man von Leistung.

$$P = \frac{W}{t} \left[\frac{Nm}{s}, \frac{J}{s}, W \right]$$

P = Leistung (Watt)

W = Arbeit, Energie (Joule)

t = Zeit

Leistung könnte man auch als ein Maß für die Schnelligkeit der Energieumwandlung bezeichnen.

C) Energieumwandlung

C1) Bekannt Formeln

$$\begin{aligned} W_{\text{mech}} &= F \cdot s & (1) & \quad \} \\ F &= m \cdot g & (2) & \quad \} \text{ Mechanische Arbeit} \\ W_{\text{pot}} &= m \cdot g \cdot h & (3) & \quad \} \\ P_{\text{mech}} &= \frac{W_{\text{mech}}}{t} & (4) & \quad \text{Mechanische Leistung} \\ I &= \frac{Q}{t} & (5) & \quad \text{Elektrischer Strom} \end{aligned}$$

C2) Zusammenhang zwischen elekt. und mech. Größen

siehe Blatt

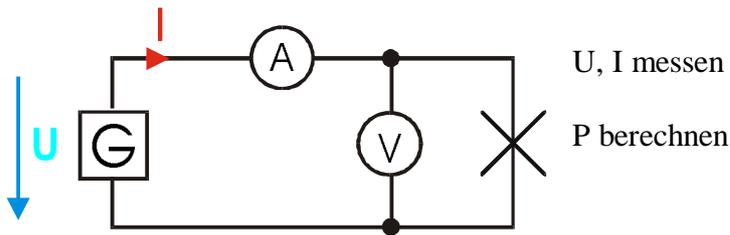
D) Elektrische Leistung

D1) Allgemein

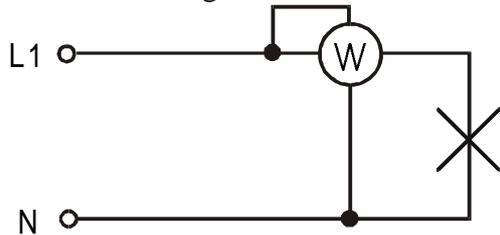
$$P = U \cdot I \text{ in [W]}$$

D2 Leistungsmessung

indirekte Messung

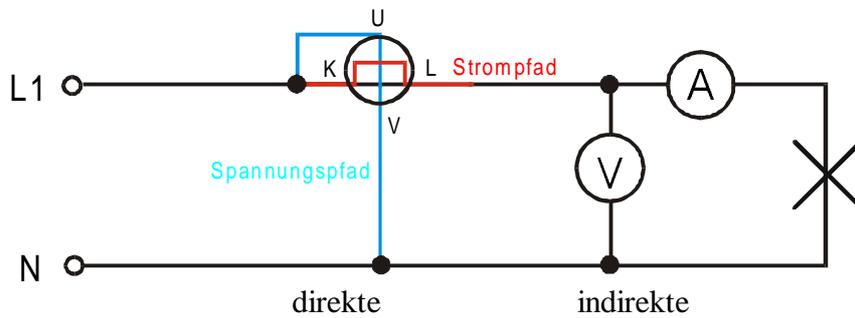


direkte Messung



Leistungsmesser haben 4 Anschlüsse: 2 für die Spannungsmessung und 2 für die Strommessung.

Messschaltung



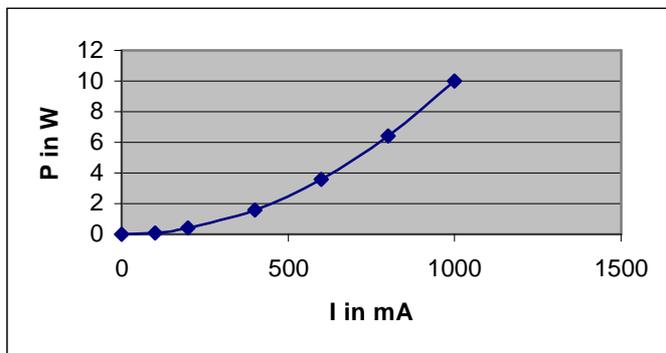
Lampe in W	25	40	60	100
U in V	200	200	200	200
I in mA	100	160	220	400
P_{indirekt} in W	20	32	44	80
P_{direkt} in W	19	30	45	84

E) Leistung in Abhängigkeit vom Strom

$$\begin{array}{l}
 P = U \cdot I \quad \left. \vphantom{P = U \cdot I} \right\} \\
 \phantom{\left. \vphantom{P = U \cdot I} \right\}} \Rightarrow \boxed{P = I^2 \cdot R} \\
 U = R \cdot I \quad \left. \vphantom{U = R \cdot I} \right\}
 \end{array}$$

R = 10 Ω

I in mA	0	100	200	400	600	800	1000
P in W	0	0,1	0,4	1,6	3,6	6,4	10

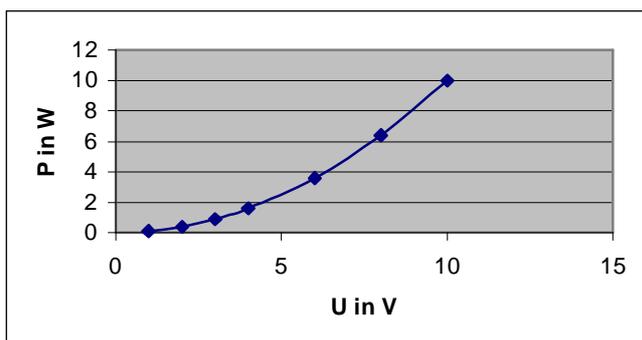


F) Leistung in Abhängigkeit von der Spannung

$$\begin{array}{l}
 P = U \cdot I \quad \left. \vphantom{P = U \cdot I} \right\} \\
 \phantom{\left. \vphantom{P = U \cdot I} \right\}} \phantom{P = \frac{U}{R} \cdot U} \Rightarrow \boxed{P = \frac{U^2}{R}} \\
 I = \frac{U}{R} \quad \left. \vphantom{I = \frac{U}{R}} \right\}
 \end{array}$$

R = 10 Ω

U in V	1	2	3	4	6	8	10
P in W	0,1	0,4	0,9	1,6	3,6	6,4	10
I in A	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1



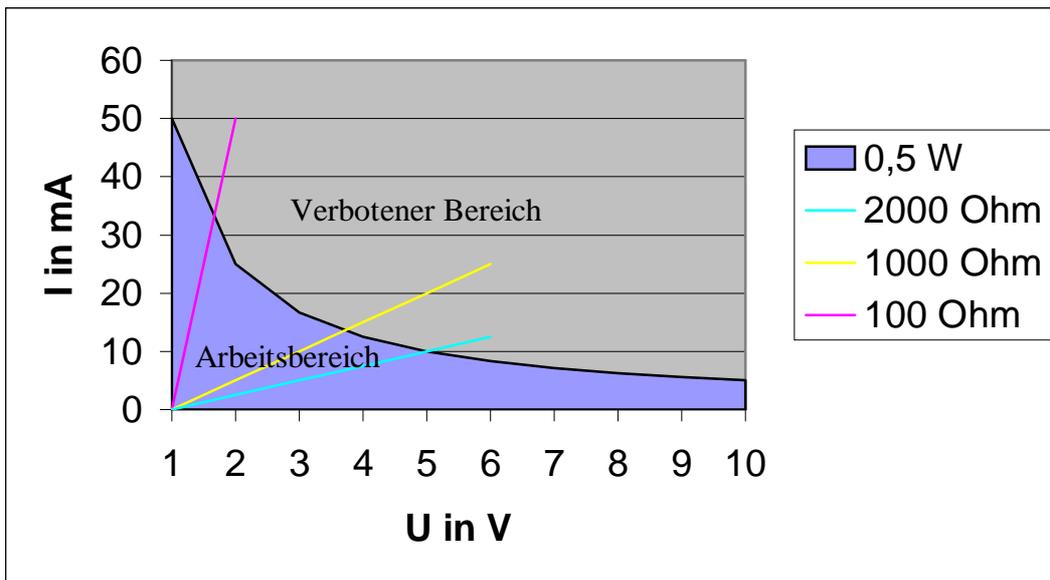
H) Leistungshyperbel

Damit sich der Widerstand nicht zu sehr erhitzt und zerstört wird, sind alle Widerstände mit einer Maximalen Leistung (P_{Max}) versehen. Die Leistungshyperbel zeigt den erlaubten Bereich (Arbeitsbereich) für Strom und Spannung.

$$P_{max} = U_{max} \cdot I_{max}$$

$$P_{max} \text{ in W} = 0,5$$

U in V	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I in mA	50	25	16,67	12,5	10	8,333	7,143	6,25	5,556	5



I) Elektrische Arbeit

$$W_{el} = P \cdot t \text{ in [Ws]}$$

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t$$

Das EVU stellt die verbrauchte Arbeit in Rechnung

Arbeitspreis: Pf /kWh (19 -27 Pf/kWh)

+ Grundgebühr Je nach Einstufung

Stromkosten

Beispiel: Eine Glühlampe mit 60W leuchtet 3h und ein Kocher mit 1 kW läuft 5min. Wie groß ist die el Arbeit? Kosten bei 23 Pf/kWh ?

$$\begin{aligned} W_{el} &= P \cdot t \\ &= 60 \cdot 3 \\ &= 180 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{el} &= P \cdot t \\ &= 1000 \cdot \frac{1}{12} \\ &= 83,3 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$W_{ge} = 180 \text{ Wh} + 83,3 \text{ Wh} = 263 \text{ Wh} = \mathbf{0,263 \text{ kWh}}$$

$$0,263 \text{ kWh} \cdot 23 \text{ Pf} = \mathbf{6,049 \text{ Pf}}$$

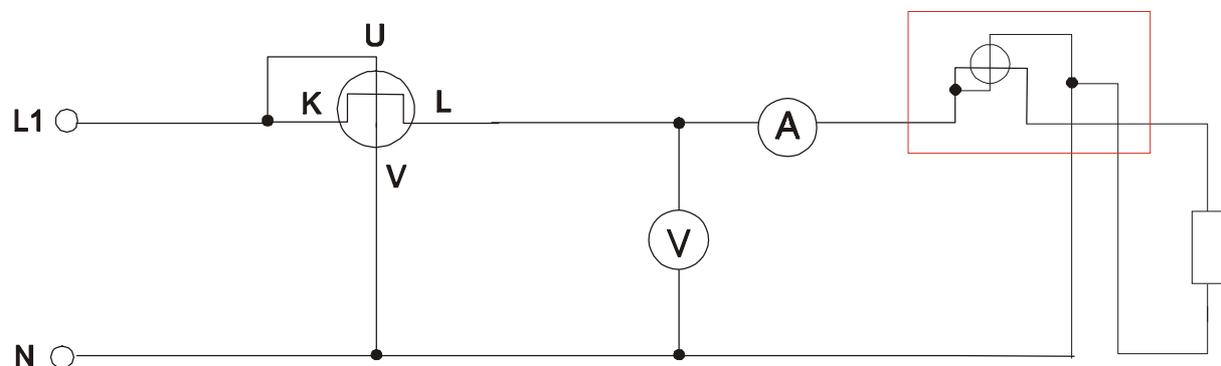
I 1) Messung der el Arbeit

- 1.) $W_{el} = U \cdot I \cdot t$)
 }
 } indirekt
- 2.) $W_{el} = P \cdot t$)
- 3.) Zähler) direkt

- Zählwerk
- Zählscheibe
- Strompfad, Spannungspfad

Prinzip: gebremster Elektromotor

Messschaltung



Zähler

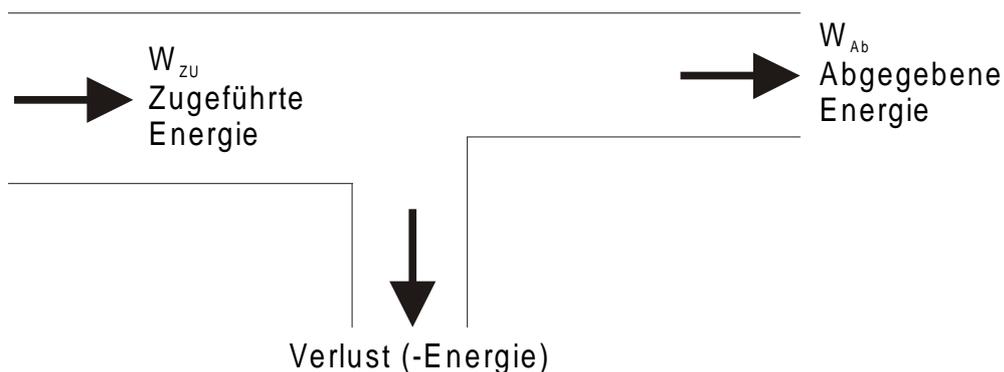
Die Zählerkonstante C_Z ist auf jedem Zähler aufgedruckt, sie gibt an wie viele Umdrehungen einer kWh entsprechen

$$C_Z = \frac{\text{Umdrehungen}}{\text{kWh}}$$

Herdplatte	U in V	I in A	P in W	P direkt	t in s	Ws indirekt	C_Z	Ws Zähler	Umdrehungen
Stufe 1	220	0,84	184,4	210	20	3696	960	4681	1,25
Stufe 2	220	2,9	638	680	20	12760	960	13130	3,5
Stufe 3	220	5,6	1232	1350	20	24640	960	26250	7

J) Wirkungsgrad

Energie kann man nicht gewinnen, sondern nur umformen. Bei der Energieumformung geht immer Energie verloren; deshalb ist die zugeführte Energie immer größer als die abgegebene Energie.



Das Verhältnis von W_{ab} zu W_{zu} nennt man Wirkungsgrad

η in %
Eta

$$\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} = \frac{P_{ab} \cdot t}{P_{zu} \cdot t} = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$0 < \eta < 1$$

$$0\% < \eta < 100\%$$

1 η wäre das „Perpeduum mobile“ das mit einmal zugeführter Leistung ewig dreht - nur Theorie.

Bsp:

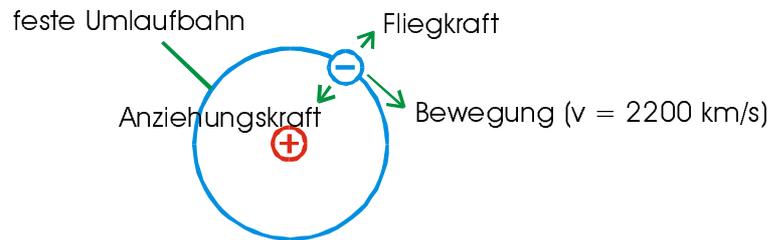
Elektromotor => $\eta = 0,4 - 0,98$

Verbrennungsmotor => $\eta = 0,2 - 0,45$

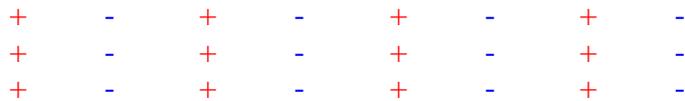
K) Energie und Ladung

Die neutrale (stabile) Natur

- Ein Atom

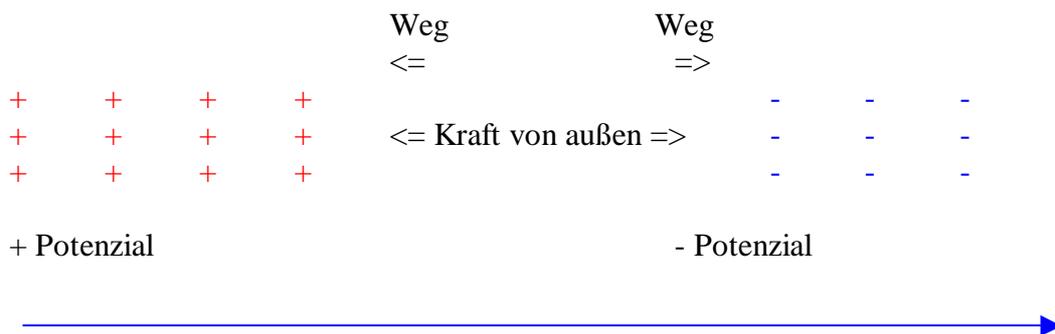


- Mehrere Atome



Die Ladungen gleichen sich aus und sind Elektrisch neutral (Nullpotenzial).

Eingriff in die neutrale Natur



Spannung V (Potentialdifferenz)

Merke:

Damit in der neutralen Natur eine Spannung entsteht muss man von außen eine Kraft entlang einem Weg - eine Arbeit verrichtet werden (vgl. Wasserturbine)

Jede Ladung benötigt einen Kraftanteil zur Trennung einer $\Rightarrow W \sim Q$

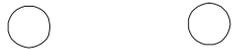
Je mehr und je weiter die Ladungen voneinander getrennt werden desto größer ist U (Spannung) $\Rightarrow W \sim U$

$$W = U \cdot Q$$

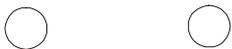
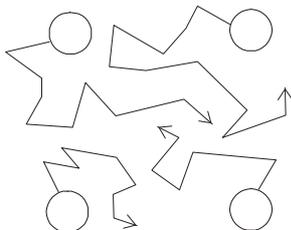
$$U = \frac{W}{Q}$$

L) Wärme

Wärme ist eine Energieform die sich bei Gasen durch die sogenannte Brownsche Molekularbewegung äußert.

Gas bei 0K (Null Kelvin)

Atome oder Moleküle sind in ruhe

**Gas > 0K**

Je größer die Temp. wird desto schneller bewegen sich die Moleküle in einer art Zick-Zack-Bewegung.

L1) Wärmeenergie in Stoffen

Stoffe sind fest miteinander wie mit Federn verbunden. Will man einen Stoff erwärmen dann muss man von außen eine Wärmeenergie zuführen, die wie die Ladung (Ladungsmenge) mit Q (Wärmemenge) bezeichnet wird.

$$Q \sim m$$

$$Q \sim \Delta \vartheta$$

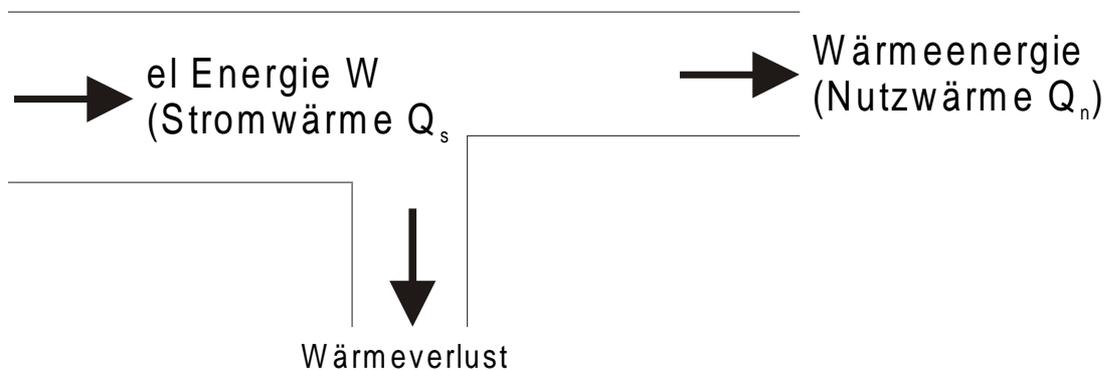
$$Q \sim c \text{ (Spezifische Wärmekapazität)}$$

$$c \text{ in } \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$$

Die Spezifische Wärmekapazität gibt die Wärmemenge an die 1kg eines Stoffes um 1K erwärmt.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta \vartheta \text{ in [J] Joule}$$

L2) Erwärmung von Stoffen durch el Energie



Wärmewirkungsgrad

$$\eta_w = \frac{Q_n}{Q_s} = \frac{Q_n}{W}$$

$$W = \frac{Q_n}{\eta} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta \vartheta}{\eta}$$

L3) Wärmetransport

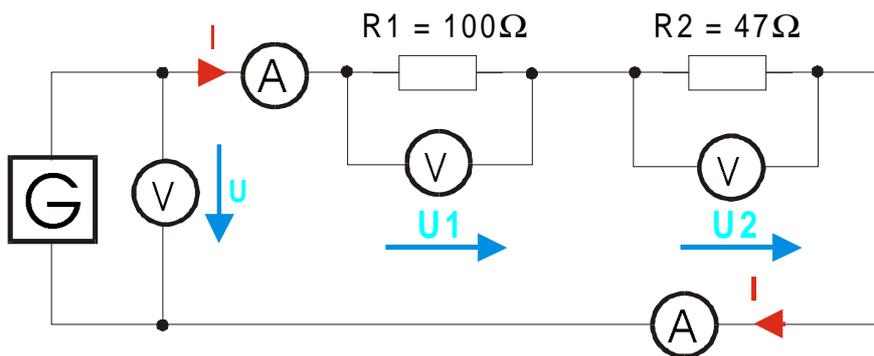
Transportform	Transportmittel	Beispiel
Wärmeleitung	Feste Stoffe	Tauchsieder, Lötkolben,...
Wärmeströmung	Flüssigkeiten oder Gase	Heizung
Wärmestrahlung	Gase (Luft)	Heizkörper, Sonne

5. Grundsaltungen von ohmschen Widerständen

5.1 Reihenschaltung (hintereinander)

Grundlage ist das Ohmsche Gesetz

A) Messschaltung



B) Messtabelle

	U_1	U_2	U
U in V	6,4	3	10

	I_1	I_2
I in mA	70	703

C) Ausertung

Strom

Der Strom ist konstant

$$(1) \quad I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

Spannung

Die angelegte Spannung ist gleich der Summe der Teilspannung

$$(2) \quad U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$$

Spannungsteiler - Verhältnisse

Ohmsche Gesetz in (1)

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \dots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R}$$

$$\Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} \Rightarrow \boxed{\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}}$$

Widerstände

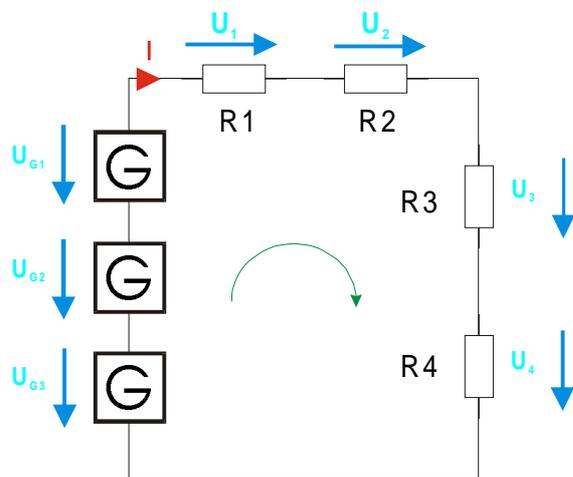
Ohmsche Gesetz in (2)

$$\frac{U}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \frac{U_3}{I} + \dots + \frac{U_{n1}}{I}$$

$\wedge \wedge \quad \wedge \wedge \quad \wedge \wedge \quad \wedge \wedge \quad \wedge \wedge$
 $R \quad R_1 \quad R_2 \quad R_3 \quad R_n$

$$\Rightarrow R_G = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

2. Kirchhoffsche Regel (Maschenregel)



$$U = 0 \Rightarrow 0 = -U_{G1} - U_{G2} - U_{G3} + U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

$$U_{G1} + U_{G2} + U_{G3} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
 angelegte Spannung Teilspannung

Regel: Spannung die mit der mache laufen Zählen Positiv, die anderen negativ

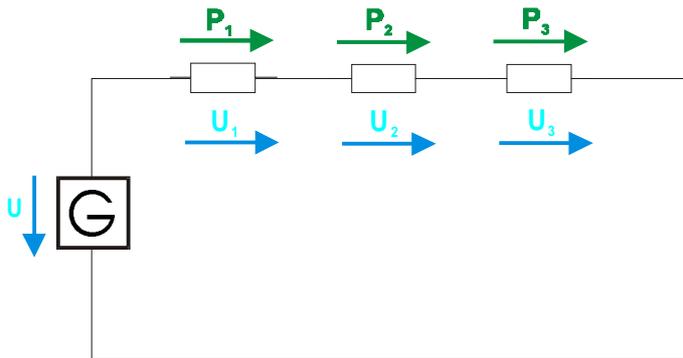
Merke: In einer Masche ist die Summe der Erzeugerspannung (Spannungsquelle) so groß wie die Spannung an den Verbrauchern (Spannungsabfälle an den widerständen). Widerstände bremsen den Strom ab und werden dadurch aufgeheizt. Diese Wärmeenergie (Verlustenergie)

reduziert die angelegte Spannung; dies nennt man Spannungsabfall. Alle Widerstände reduzieren oder verbrauchen die Energie, die ständig durch die Spannungsquelle nachgeliefert werden muss.

D) Übung

Blatt

E) Leistung bei der Reihenschaltung



$$P_G = U_G \cdot I = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P = U_1 \cdot I + U_2 \cdot I + U_3 \cdot I$$

$$P = I (U_1 + U_2 + U_3)$$

5.2 Anwendung der Reihenschaltung

A) Einführungsversuch

Eine Lampe mit einer Nennspannung von 2,2V und einem Nennstrom von 0,25° soll an eine Spannungsquelle von 5V angeschlossen werden.

Lösungsansatz

Lampe mit Vorwiderstand

Messung der Nenndaten $U_N = 2,2V$; $I_N = 0,3A$

Bestimmung des Vorwiderstand R_V

$$U = U_{RV} + U_{LP} \Rightarrow U_{RV} = U - U_{LP} = 5V - 2,2V = 2,8V$$

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_N} = \frac{2,8V}{0,3A} = 9,3\Omega$$

Problem:

Eine Lampe mit $U_N = 18V$ und $I_N = 0,1A$ soll an die Netzspannung (220V) geschaltet werden.

$$U = U_{RV} + U_{LP} \Rightarrow U_{RV} = U - U_{LP} = 220V - 18V = 202V$$

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_N} = \frac{202V}{0,1A} = 2020\Omega = 2,02K\Omega$$

$$P_{RV} = U_{RV} \cdot I_N = 202V \cdot 0,1A = 20,2 W \Rightarrow \text{Problem } R_V \sim 1W$$

Lösung

Widerstand mit $> 20W \Rightarrow$ Lampe mit 25W

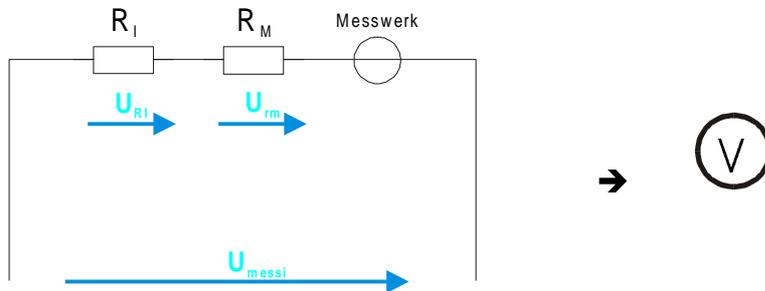
Vorwiderstände ermöglichen die Anschaltung höherer Nennspannungen. Die Überschüssige Spannung fällt an dem R_V ab und erzeugt dabei Wärme; deshalb sollte die Spannungsreduzierung mit Vorwiderstand nur bei Verbrauchern mit kleinen Leistungen oder kleinen Spannungsdifferenz eingesetzt werden. Die Schaltung von Vorwiderständen an Verbraucher nennt man auch Spannungsteiler, weil sich die angelegte Spannung proportional zu den Widerständen aufteilt.

B) Übung

Blatt

C) Messbereichserweiterung

C1) Aufbau Spannungsmesser

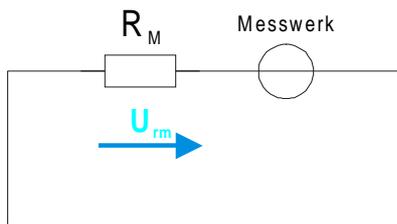


R_I (Leitungswiderstand) muss klein gegenüber R_m sein ($R_I = R_m \Rightarrow 50\%$ Messfehler)

$\Rightarrow R_m \gg R_I$

(sehr viel größer)

Ersatzschaltung



C2) Messbereich

Der Messbereich ist der Spannungswert, den ein Messgerät bei Fohllausschlag erreicht.

Beispiel:

Ein Messgerät hat einen Messbereich von 10V und einen Messwiderstand von 100Ω. Welcher Strom fließt dabei.

Geg.

$$U_{\text{Mess}} = 10\text{V} = U_{R_m}$$

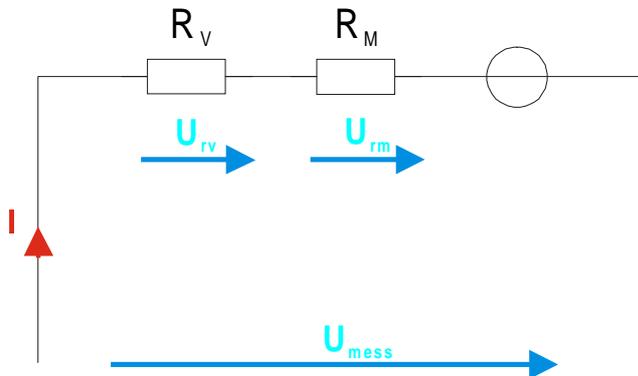
$$R_M = 100\Omega$$

$$I_{\text{max}} = \frac{U_{\text{Mess}}}{R_M} = \frac{10\text{V}}{100\Omega} = 0,1\text{A} = 100\text{mA}$$

Damit diese Messgerät nicht zerstört wird darf der Strom nicht über 100mA liegen.

C3) Messbereichserweiterung

Durch zuschalten eines Vorwiderstandes kann der Messbereich erweitert werden.



$$U_{\text{mess}} = U_{R_V} + U_{R_M}$$

Berechnen von R_V

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I} = \frac{U_{\text{mess}} - U_{R_m}}{I}$$

Verhältnis R_V zu R_M

Ohmsche Gesetz: $U \sim R$

$$2 \cdot U_{\text{Mess}} \quad \Rightarrow 2 \cdot R \quad \Rightarrow 1 R_V + 1 R_m$$

(doppelter Messbereich)

$$4 \cdot U_{\text{Mess}} \quad \Rightarrow 4 \cdot R \quad \Rightarrow 3 R_V + 1 R_m$$

$$8 \cdot U_{\text{Mess}} \quad \Rightarrow 8 \cdot R \quad \Rightarrow 7 R_V + 1 R_m$$

$$R_V = (n-1)R_m$$

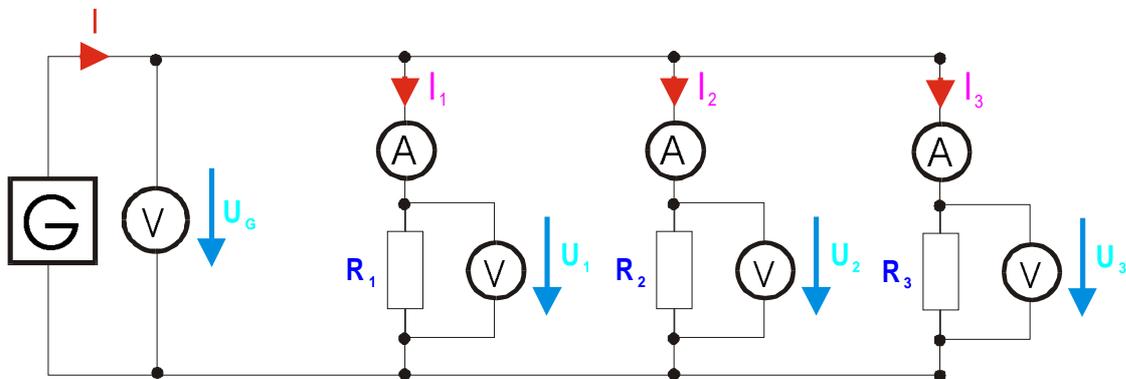
n = Faktor der Messbereichserweiterung

Beispiel

Blatt

5.3 Parallelschaltung

A) Messschaltung



B) Auswertung

Spannungsgesetz

$$U_G = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n \quad (1)$$

Bei parallel geschalteten Verbrauchern liegt überall die selbe Spannung.

Stromgesetz

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (2)$$

Der Gesamtstrom ergibt sich aus der Summe der Teilströme

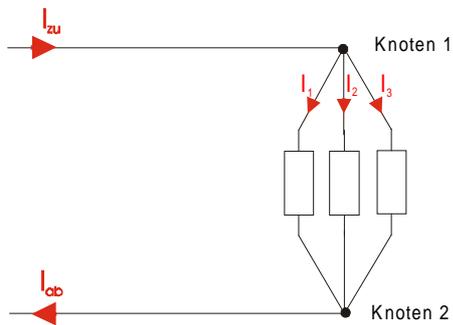
Widerstandsgesetz

$$\frac{1}{R_G} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

Knotenregel (1. Kirchhofsche Gesetz)

Anwendung auf die Messschaltung



Die Summe der auf den Knoten zufließenden Ströme ist gleich der Summe der abfließenden Ströme.

$$\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$$

\sum = Summe

Knoten1:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

$\wedge \quad \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge \wedge$
 $I_{zu} \quad I_{ab}$

Stromteilerregel

$$I \sim \frac{1}{R}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

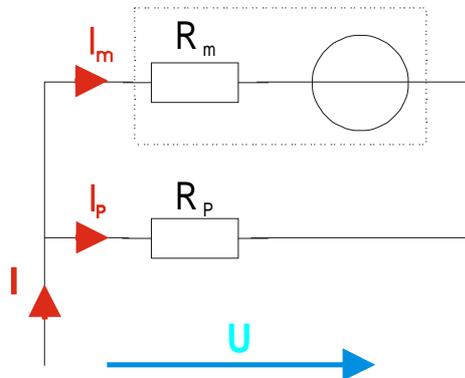
$$I_1 = \frac{1}{R_1} \quad ; \quad I_2 = \frac{1}{R_2}$$

C) Übung

Blatt

D) Anwendung von Parallelschaltung

D1) Messbereichserweiterung



Durch zuschalten eines Parallelwiderstand R_p kann man den Strombereich erweitern.

Berechnung

$$(1) \quad I = I_p + I_m$$

$$(2) \quad R_p = \frac{U}{I_p} = \frac{U}{I - I_m}$$

$$(3) \quad R \sim \frac{1}{I} \Rightarrow \frac{R_p}{R_m} = \frac{I_m}{I_p} \Rightarrow R_p = R_m \cdot \frac{I_m}{I_p}$$

Verhältnis R_m zu R_p

- Verdopplung des Strombereichs

$\Rightarrow \frac{I}{2}$ dürfen durch das Messwerk fließen

$\Rightarrow \frac{I}{2}$ wird umgeleitet durch R_p

$\Rightarrow R_p = R_m$

- Versiebenfachung des Strombereichs

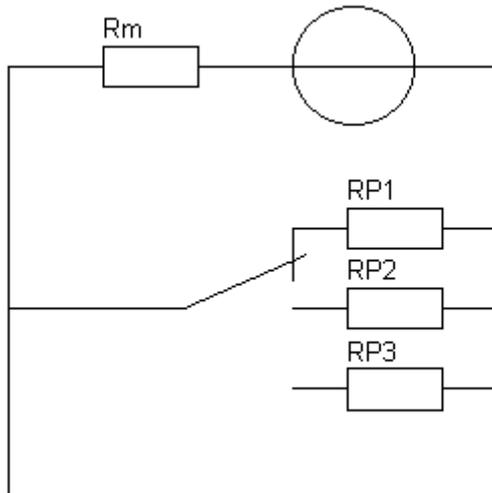
$\Rightarrow \frac{I}{7}$ fließen durch R_m

$\Rightarrow \frac{6I}{7}$ fließen durch R_p

$\Rightarrow R_p = \frac{1}{6} R_m$

$$(4) \quad R_p = \frac{1}{n-1} \cdot R_m$$

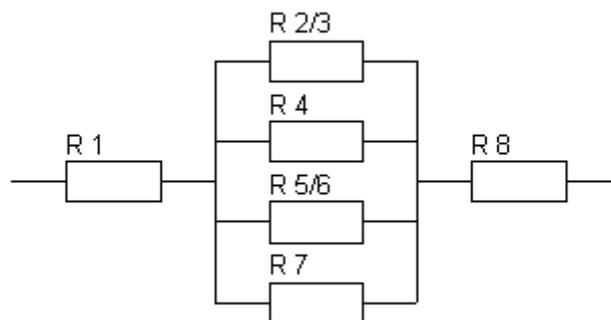
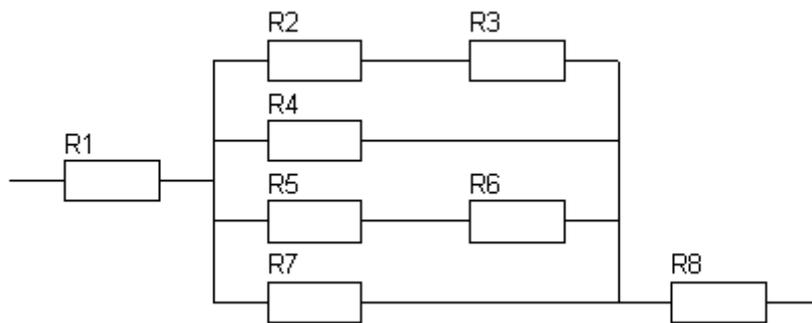
Ersatzschaltung des Strommessers



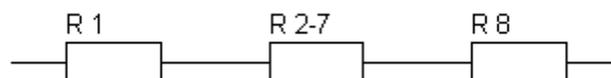
5.4 Ersatzwiderstand bei gemischten Schaltungen

Ersatzwiderstand = Gesamtwiderstand

Alle Widerstände 1Ω

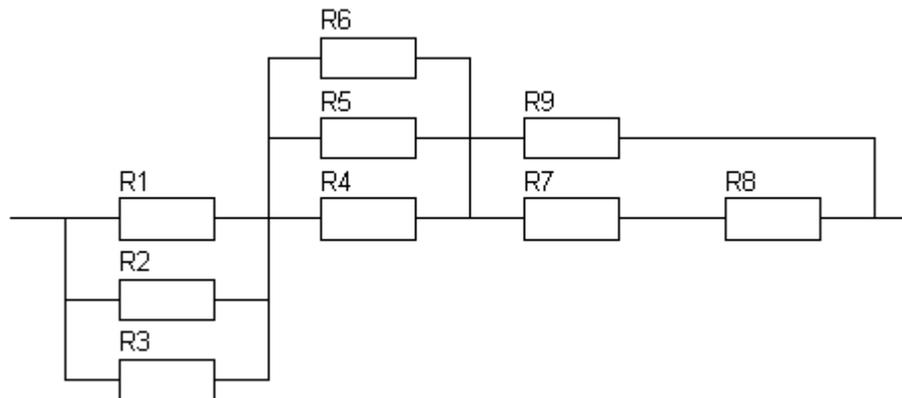


$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{2-7}} &= \frac{1}{R_{2/3}} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_{5/6}} + \frac{1}{R_7} \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} \\ &= \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2} + 1 \\ &= 0,3 \bar{\Omega} \end{aligned}$$



$$R = R_1 + R_{2-7} + R_8 = 2,3 \Omega$$

Alle Widerstände $2\ \Omega$



$$\frac{1}{R_{1-3}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 0,6\bar{6}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{4-6}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 0,6\bar{6}\Omega$$

$$R_{7-8} = 4\Omega$$

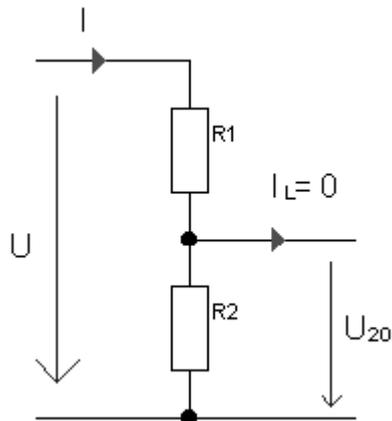
$$\frac{1}{R_{7-9}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = 1,3\bar{3}\Omega$$

$$R = 2,67\ \Omega$$

5.5 Der Spannungsteiler

A) Der unbelastete Spannungsteiler ($I_L = 0$)

A1) Prinzipschaltung



A2) Berechnung

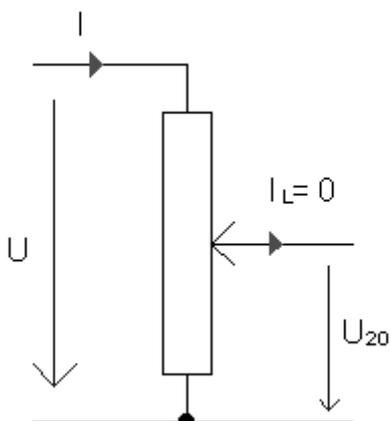
$$I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

Grenzfälle

$$1) U_{20} = 0V \Rightarrow R_2 = 0 \Omega \quad I = \frac{U}{R_1} \quad (\text{Kurzschluss})$$

$$2) U_{20} = U \Rightarrow R_1 = 0 \Omega \quad I = \frac{U}{R_2}$$

A3) Spannungsteiler



$$\frac{U_{20}}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow U_{20} = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

A4) Veränderbarer Spannungsteiler

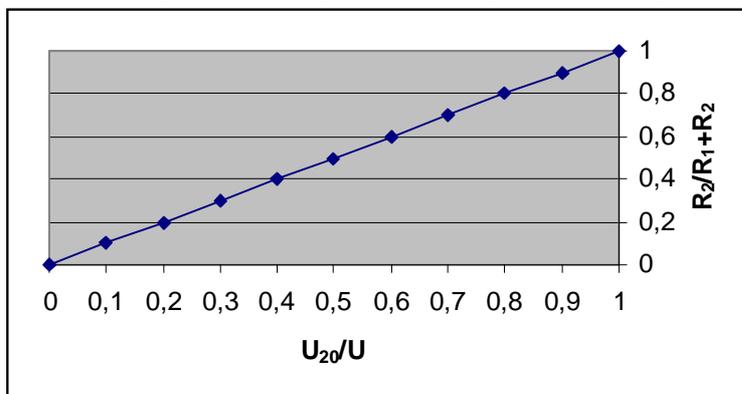
Merke:

Mit einem Poti lassen sich beliebige Ausgangsspannungen zwischen 0 und U einstellen.

Tabelle

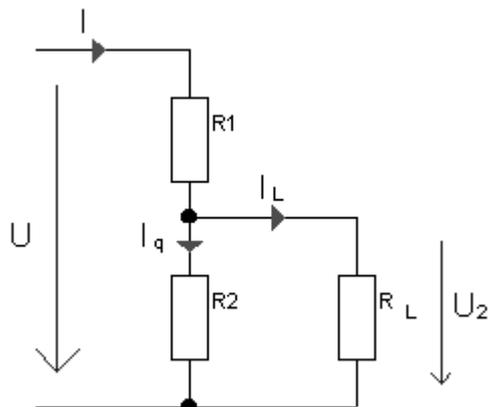
 $U = 10 \text{ V}$
 $R = 100 \text{ } \Omega$

R_1 in Ω	R_2 in Ω	U_{20} in V	U_{20} / U	$R_2 / (R_1 + R_2)$
0	100	10	1	1
10	90	9	0,9	0,9
20	80	8	0,8	0,8
30	70	7	0,7	0,7
40	60	6	0,6	0,6
50	50	5	0,5	0,5
60	40	4	0,4	0,4
70	30	3	0,3	0,3
80	20	2	0,2	0,2
90	10	1	0,1	0,1
100	0	0	0	0



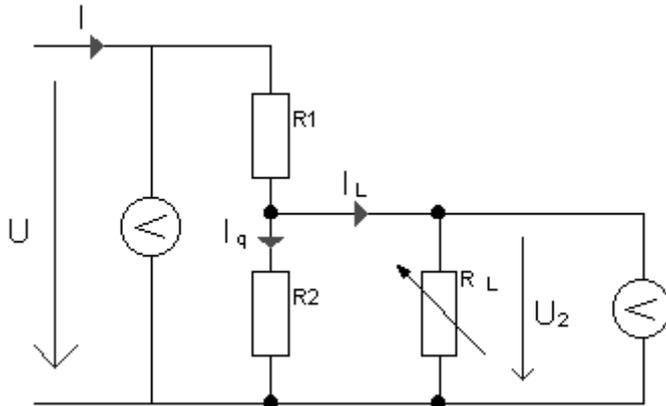
B) Der Belastete Spannungsteiler ($I \neq 0$)

Ein Verbraucher (R_L) wird durch einen Spannungsteiler an eine Nennspannung angeschlossen, die kleiner als die Betriebsspannung U ist.

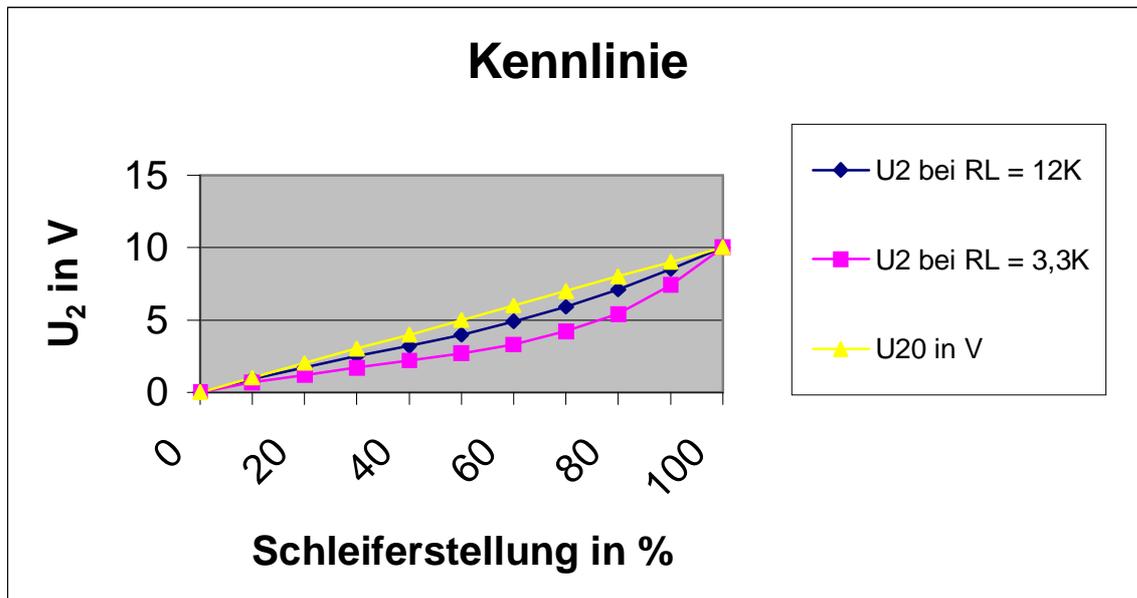

 $I_q = \text{Querstrom}$

B1) Abhängigkeit der Belastungsspannung

Messschaltung



Schleiferstellung in %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U ₂ bei R _L = 12K	0	0,9	1,7	2,5	3,2	4	4,9	5,9	7,1	8,5	10
U ₂ bei R _L = 3,3K	0	0,7	1,2	1,7	2,2	2,7	3,3	4,2	5,4	7,4	10
U ₂₀ in V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



B2) Auswertung

Die eingestellte Spannung am Verbraucher (U₂) stimmt nur im Leerlauf (unbelasteter Spannungsteiler) oder für große Widerstände.

Regel:

Der Ersatzwiderstand einer Parallelschaltung ist kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

Ein belasteter Spannungsteiler ist eine gemischte Schaltung, die R_1 in Reihe zu der Parallelschaltung von R_2 und R_L schält.

Beispiel 1

$$R_2 = R_L = 10 \Omega$$

$$R_{2/L} = 5 \Omega$$

Beispiel 2

$$R_2 = 1 \Omega$$

$$R_L = 100 \Omega$$

$$R_{2/L} = 0,99 \Omega$$

B3) Folgerung

Durch zuschalten eines Parallelwiderstandes (Belaastung) sinkt der Gesamtwiderstand weil der Ersatzwiderstand von R_2 und R_L kleiner wird; dies hat zur Folge das der Strom steigt und die Spannung sinkt. Je kleiner der Verbraucher im Verhältnis zu R_2 ist desto mehr sinkt die gewünschte (ideale) Ausgangsspannung.

Merke:

der Spannungsteiler sollte nur hochohmig belastet werden damit die Ausgangsspannung U_2 nur geringfügig absinkt.

Wenn z.B. R_L 10 X größer als R_2 ist dann sinkt die Ausgangsspannung um 1/10 ab weil $I_q = 10 X I_L$.

Das Verhältnis von R_2 parallel zu R_L wird durch den Querstromfaktor bestimmt.

Querstromfaktor

$$p = \frac{I_p}{I_L}$$

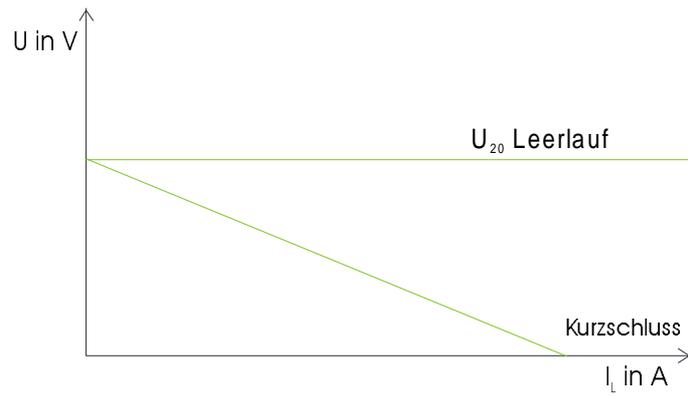
In der Elektronik wird häufig $q = 4$ gewählt.

C) Konstruktion der Strom - Spannungs - Kennlinie

Grenzfälle

• Leerlauf: $I_L = 0 \Rightarrow U_2 = U_{20}$ (unbelasteter Spannungsteiler) $\Rightarrow U_2 = I \cdot R_2$

• Kurzschluss: $U_2 = 0 \Rightarrow I = \frac{U}{R_2}$



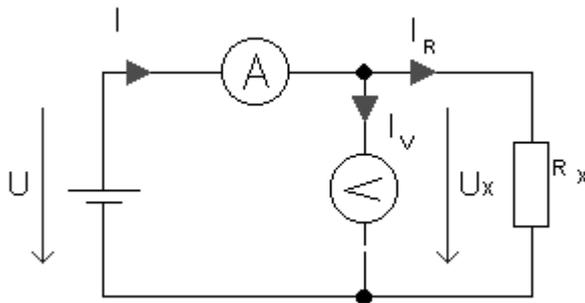
D) Spannungsteilerregel

$$\frac{U_2}{U} = \frac{\frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}} \implies U_2 = U \frac{1}{1 + R_1 \left(\frac{R_2 + R_L}{R_2 \cdot R_L} \right)}$$

5.6 Widerstandsbestimmung

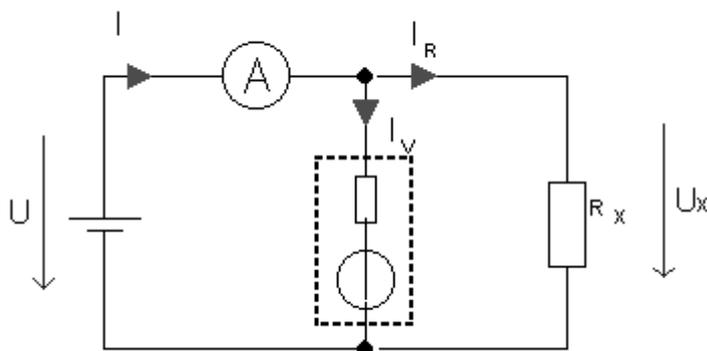
A) Indirekte Widerstandsbestimmung

A1) Stromfehlerschaltung



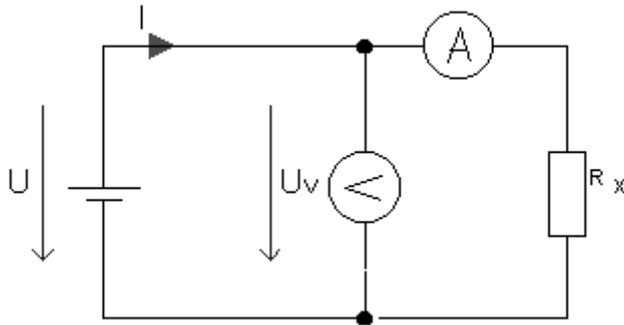
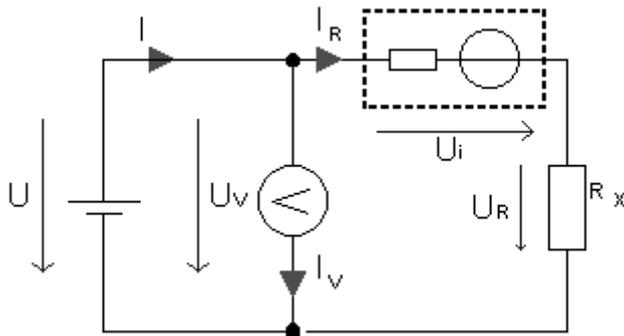
$$R_x = \frac{U}{I}$$

Ersatzschaltung



$$R_x = \frac{U_x}{I - I_V}$$

Die Stromfehlerschaltung ist nur für kleine Widerstände geeignet, damit $I_R \gg I_V$ ist und der fehler vernachlässigt werden kann.

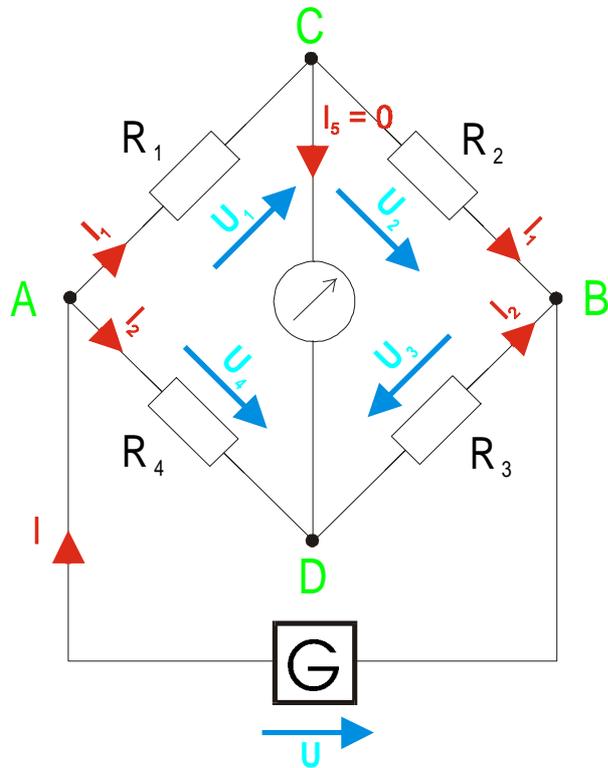
A2) SpannungsfehlerschaltungErsatzschaltung

$$R_x = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U - U_i}{I_R}$$

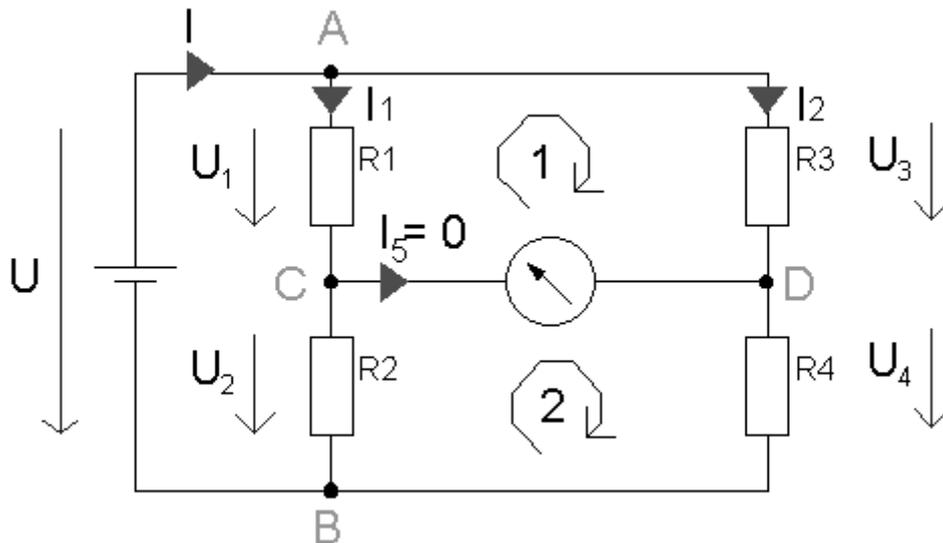
Spannungsfehlerschaltung ist nur für große Widerstände geeignet damit $U_R \gg U_i$ ist und der Messfehler damit vernachlässigbar ist.

B) Direkte Widerstandsbestimmung (Brückenschaltung)

B1) Grundschaltung



Ersatzschaltung:



Die Messbrücke besteht aus 2 parallel geschalteten Spannungsteilern, zwischen denen ein Messgerät geschaltet ist. Ist der Strom $I_5 = 0$ dann spricht man von einer abgeglichenen Brücke. Dann gilt:

Mache 1:

$$0 = U_3 - U_1 \Rightarrow U_1 = U_3 \quad (1)$$

Mache 1:

$$0 = U_4 - U_2 \Rightarrow U_2 = U_4 \quad (2)$$

$$(1) + (2) \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{U_3}{U_4} \Rightarrow \boxed{\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}} \quad \text{Abgleichbedingung}$$

B2) Wheatstone-Brücke

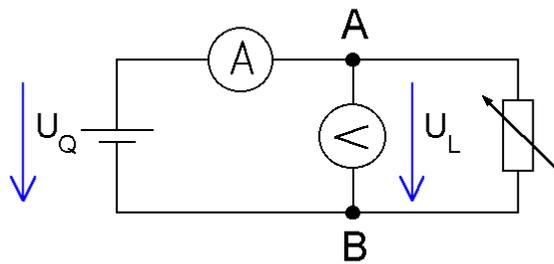
wenn das Verhältnis von 2 Widerständen und einem Vergleichswiderstand (Normalwiderstand) bekannt sind, dann kann ein beliebiger nach folgender Gleichung bestimmt werden.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_4} \Rightarrow \boxed{R_x = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_2}}$$

6. Spannungsquellen

A) Bestimmung der Ersatzschaltung

A 1) Messschaltung



A 1.1) Leerlauf ($R_L = \infty$ oder Klemmen A+B offen)

Im Leerlauf ist U (Quellenspannung, Leerlaufspannung U_0) gleich groß wie die Klemmenspannung (U_L)

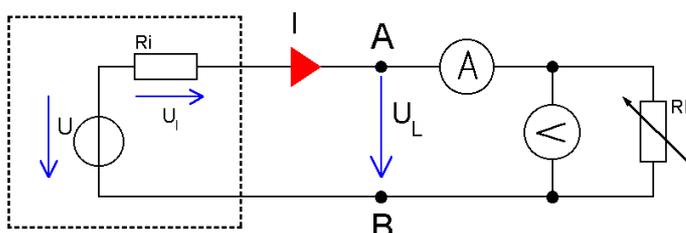
A 1.2) Belastung

Wird an den klemmen A, B ein Widerstand angeschaltet, also die Spannungsquelle belastet, dann sinkt die Klemmenspannung

A 1.3) Folgerung

Die reale Spannungsquelle hat einen Innenwiderstand, der so klein wie möglich sein sollte; bei $R_I \ll U_0$ wäre die Klemmenspannung für jede beliebige Belastung konstant.

A 2) Ersatzschaltung



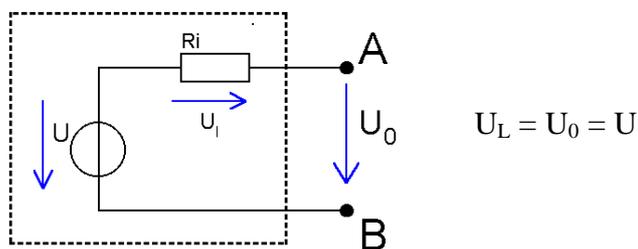
B) Bestimmung des Innenwiderstandes

Berechnungsformel:

$$R_i = \frac{U_i}{I} = \frac{U - U_L}{I}$$

B 1) Bestimmung der Leerlaufspannung

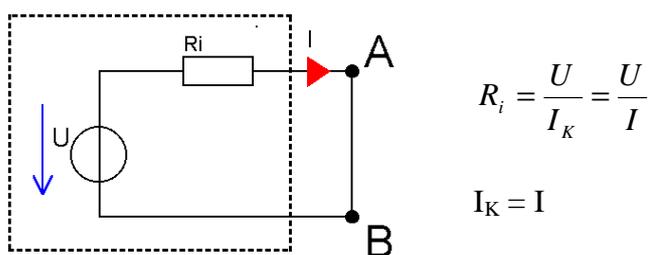
A, B Klemmen offen



B 2) Belastung

U_L und I gemessen $\Rightarrow R_i = \frac{U - U_L}{I}$

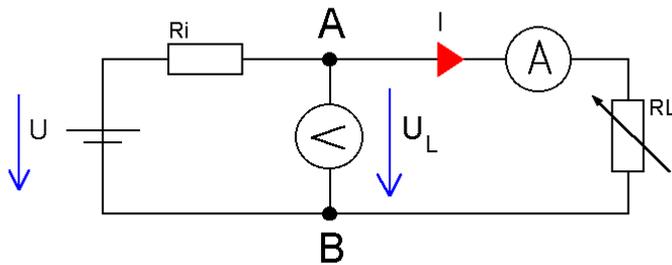
B 3) Kurzschlussmessung



Die Kurzschlussmessung kann in der Praxis selten durchgeführt werden weil aufgrund des kleinen Innenwiderstandes der Kurzschlussstrom recht groß wird.

C) Kennlinie

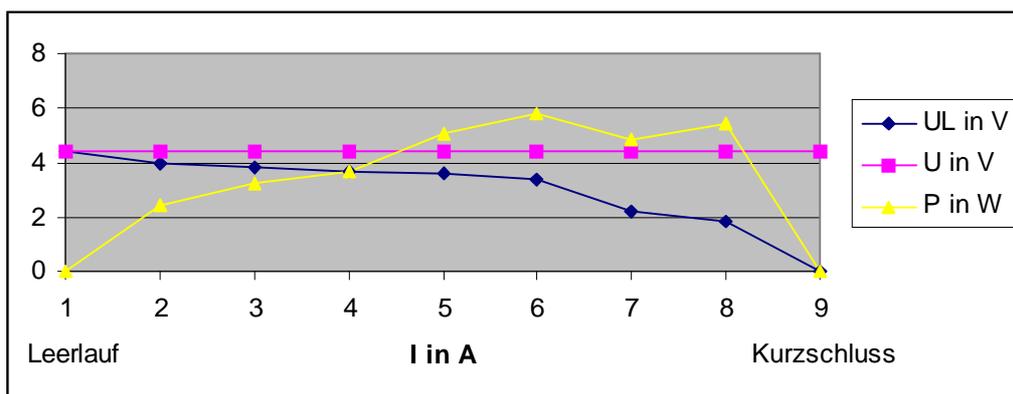
C 1) Messschaltung



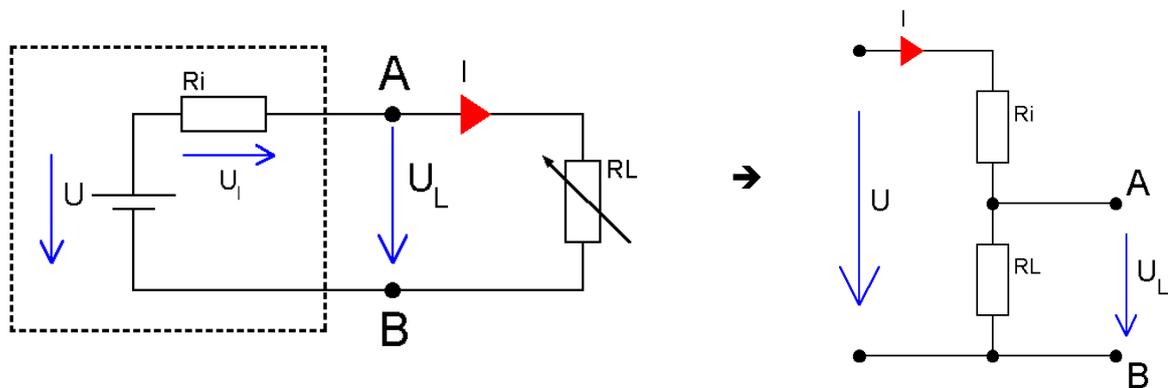
C2) Tabelle

	Leerlauf									Kurzschluss
U_L in V	4,4	3,95	3,8	3,7	3,6	3,4	2,2	1,8		0
U in V	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
I in A	0	0,6	0,85	1	1,4	1,7	2,2	3		6
R_i in Ω		0,75	0,071	0,7	0,57	0,59	1	0,87		0,73
P in W	0	2,4	3,23	3,7	5,1	5,8	4,84	5,4		0

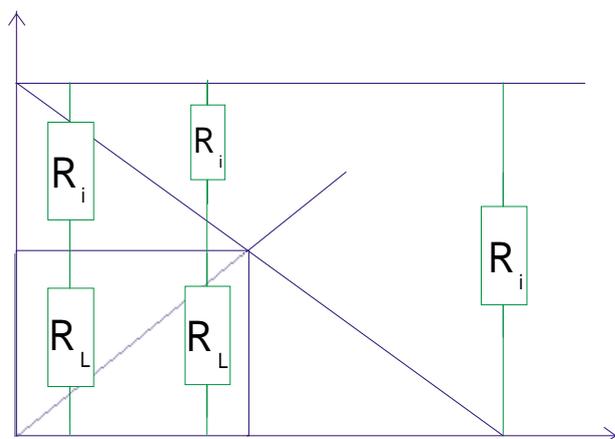
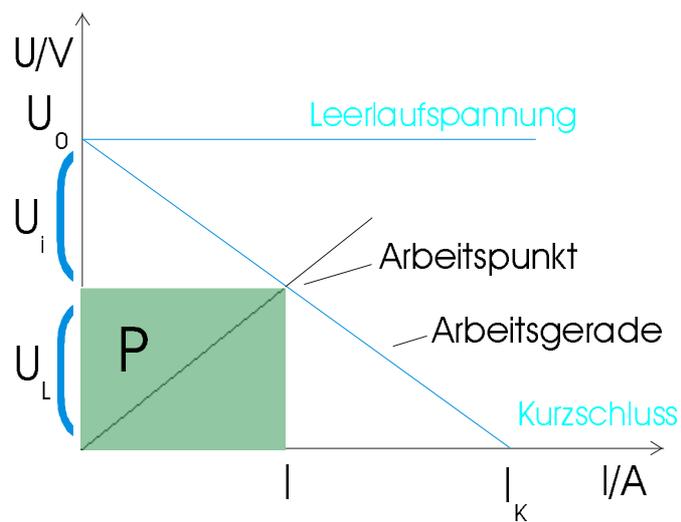
C3) Diagramm



D) Ersatzschaltung (Spannungsteiler)



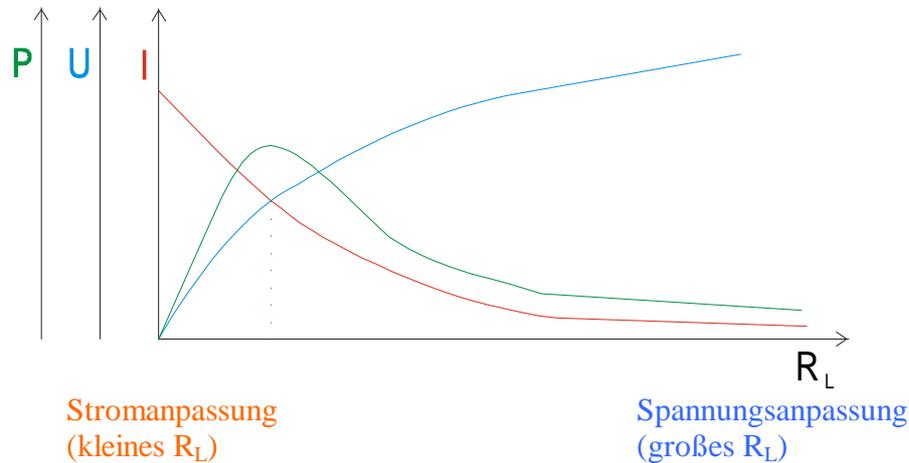
E) Lastkennlinie (Betriebskennlinie)



Die Kennlinie des R_i liegt zwischen den beiden Betriebszuständen Leerlauf und Kurzschluss. Die in Reihe geschalteten Widerstände verhalten sich wie eine Poti Schaltung. Am Schnittpunkt oder Arbeitspunkt kann die Betriebsspannung und der Betriebsstrom ermittelt werden. Die Fläche unter U und I entspricht der Leistung P , die am größten ist wenn $R_i = R_L$

Dann sind Strom und Spannung jeweils die Hälfte vom max. Wert: $\frac{I_K}{2}$ und $\frac{U_o}{2}$

F) Betriebszustände von Strom, Spannung und Leistung



Leistungsanpassung

$$R_i = R_L$$

$$U = \frac{U_0}{2}$$

$$I = \frac{I_K}{2}$$

G) Messmethoden zum Bestimmen von R_i

1) Bestimmung von R_i im Netz

A) Leerlaufspannung (V_0) messen

$$U = U_0 = 237V$$

B) Messung von U_L bei Belastung

$$U = U_L = 234V$$

$$I = 6A$$

$$R_i = \frac{U_0 - U_L}{I} = \frac{237V - 234V}{6A} = 0,5\Omega$$

2. Bestimmung von Klemmenspannung von z.B: Monozellen

A) Leerlaufspannung ermitteln

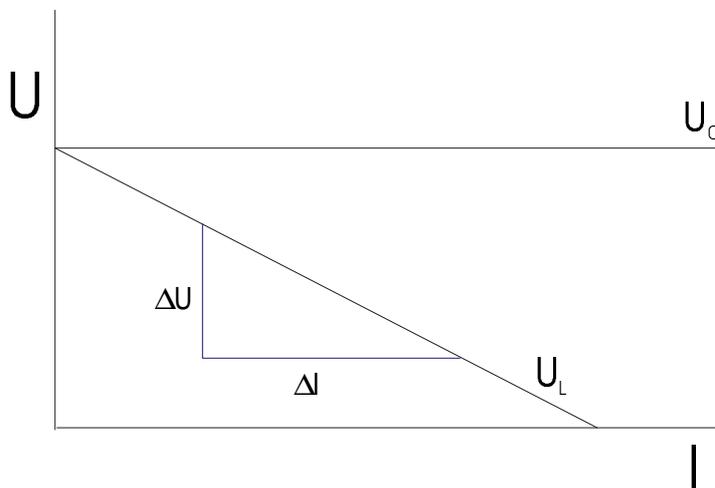
U in V

B) Kurzschlussstrom messen

$$R_i = \frac{U_i}{I_K} = \frac{U - 0}{I_K} = \frac{U}{I_K}$$

Kurzschlussspannung = 0V

3. R_i aus Kennlinie bestimmen

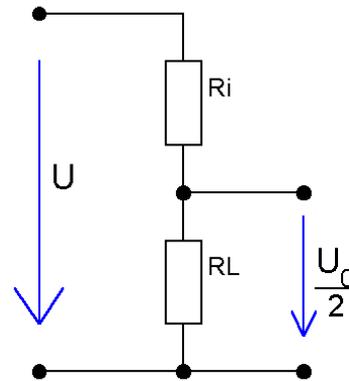
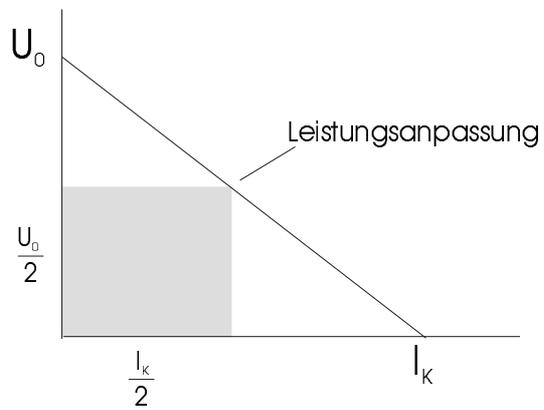


$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

4. R_i mit Leistungsanpassung

A) Leerlaufspannung

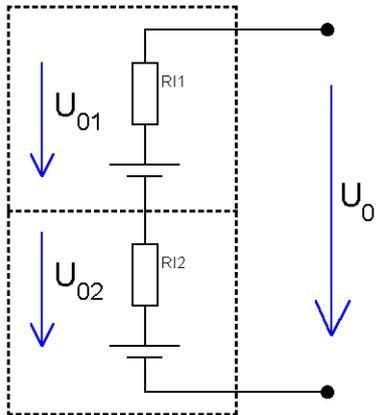
B) Belastung bis $\frac{U_0}{2}$



$$R_i = R_L$$

H) Schaltungen von Spannungsquellen

H1) Reihenschaltung



Merke:

Die Spannungsquellen verhalten sich wie Ohmsche Widerstände

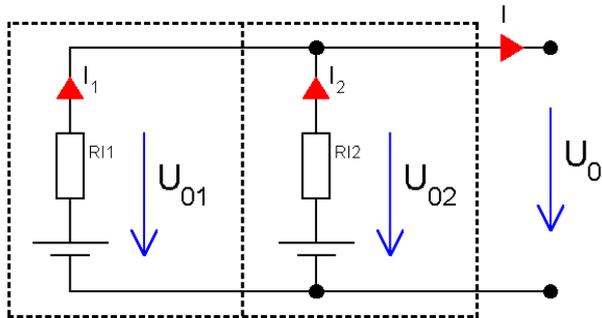
Spannung:

$$U_0 = U_{01} + U_{02} + U_{03} + \dots + U_{0n}$$

Innenwiderstand:

$$R_I = R_{I1} + R_{I2} + R_{I3} + \dots + R_{In}$$

H2) Parallelschaltung



Strom:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

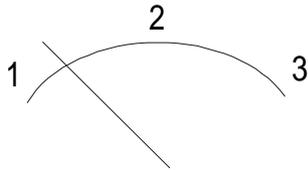
Innenwiderstand:

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_{i3}} + \dots + \frac{1}{R_{in}}$$

7. Digitaltechnik

7.1 Digitale und Analoge Systeme

analoge Messgeräte



Vorteile:

- Tendenzen ablesbar
- Kontinuierliche Anzeige

Nachteil:

- Ablesefehler

digitales Messgerät

5.939

Auflösung +/- 0,001

Vorteile:

- schnelles und exaktes ablesen

Nachteile:

- Änderungen und Tendenzen schwer ablesbar
- anzeige in Stufen

Anwendung in Computern oder Automatisierungssysteme

Wandlung zwischen analoger- zu digitaler Technik

- 1.) **AD-Wandler:** Wandlung eines analogen Signals in ein für den Computer verständliches (binäres) Signal.
- 2.) **DA-Wandler:** Digitale Signale vom Computer werden in analoge Werte umgewandelt und für analoge Geräte (Lampe, Motor) zur Verfügung gestellt.

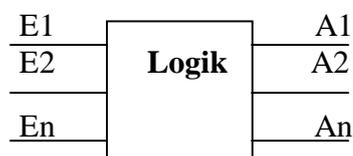
7.2 Grundlagen der Digitaltechnik

Die Digitaltechnik kennt nur zwei Werte:

1. Schalter EIN = "1" = "High" = "Spannung (TTL) 5V" (positive Logik)
2. Schalter AUS = "0" = "Low" = "Spannung (TTL) 0V" (positive Logik)

Die Funktionen werden durch das Binäre (Duale = 2) Zahlensystem geschrieben.

7.3 Grundlagen der Logikbausteine

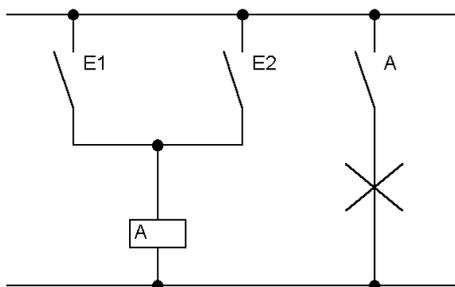


7.4 Logische Verknüpfungen

Die Logischen Grundgatter: UND, ODER, NICHT verknüpfen Eingänge und Ausgänge mit verschiedenen Schaltfunktionen.

A) Die ODER-Verknüpfung (Disjunktion)

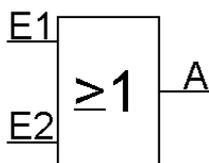
A1) Schützschtung



A2) Wahrheitstabelle

E1	E2	A
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

A3) Schaltsymbol

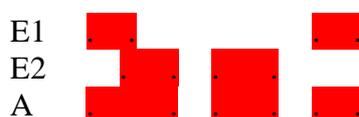


A4) Funktionsgleichung

$$A = E1 \vee E2$$

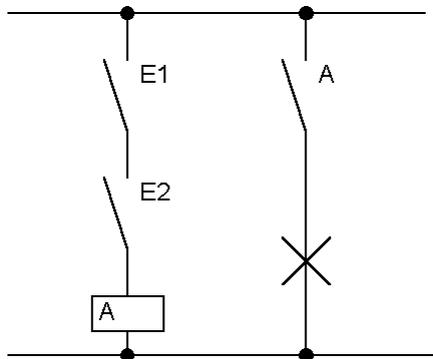
Ausgang = Eingang 1 oder Eingang 2

A5) Impulsdiagramm



B) Die UND-Verknüpfung (Konjunktion)

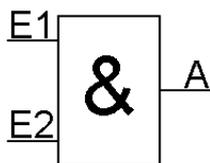
B1) Schützschtung



B2) Wahrheitstabelle

E1	E2	A
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

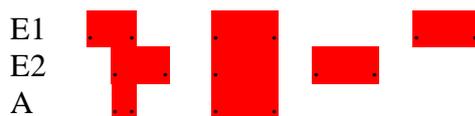
B3. Schaltsymbol



B4) Funktionsgleichung

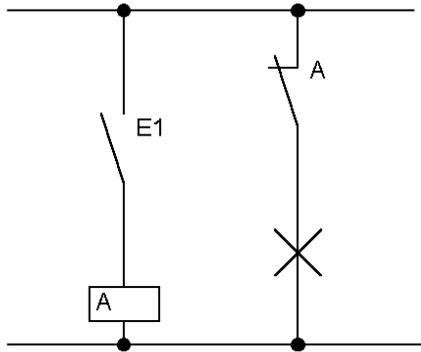
$$A = E1 \wedge E2$$

B5) Impulsdiagramm



C) Die NICHT-Verknüpfung (Inverter)

C1) Schützschtung



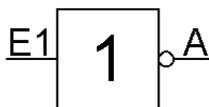
C2) Wahrheitstabelle

E1	A
0	1
1	0

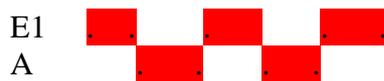
C3) Funktionsgleichung

$$A = \overline{E1}$$

C4) Schaltsymbol



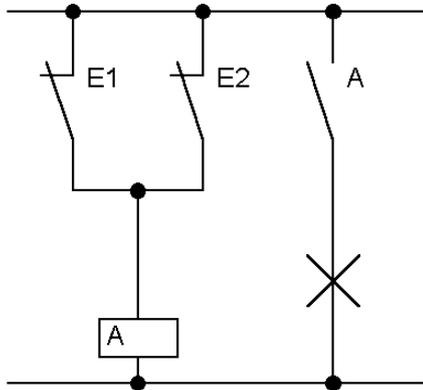
C5) Impulsdiagramm



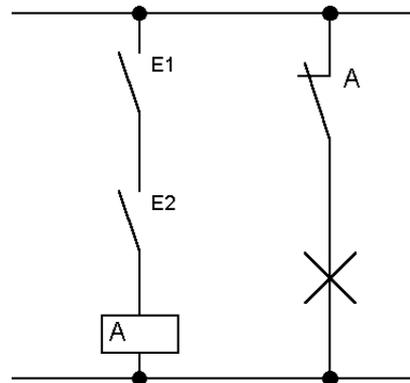
D) NAND (Not And)

D1) Schützschtung

Möglichkeit 1:



Möglichkeit 2:



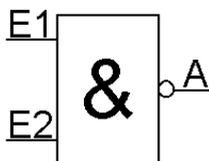
D2) Wahrheitstabelle

E1	E2	A Und	A Nand
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

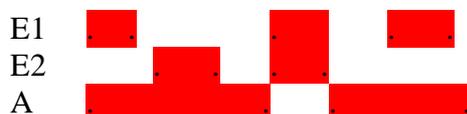
D3) Funktionsgleichung

$$A = \overline{E1 \wedge E2}$$

D4) Schaltsymbol



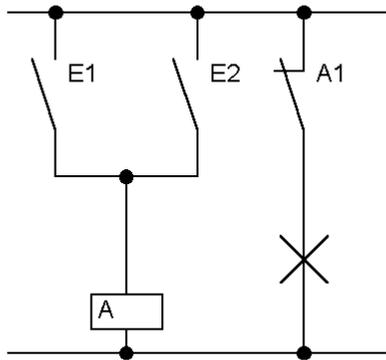
D5) Impulsdiagramm



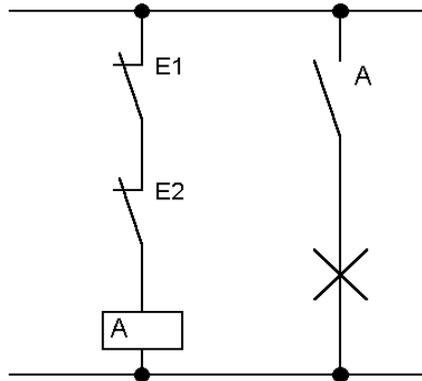
E) NOR (Not Or)

E1) Schützschtung

Möglichkeit 1:



Möglichkeit 2:



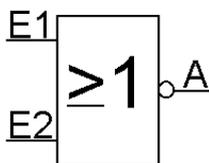
E2) Wahrheitstabelle

E1	E2	A Oder	A Nor
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

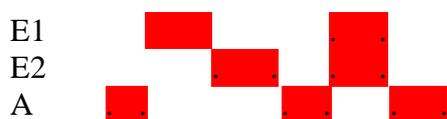
E3) Funktionsgleichung

$$A = \overline{E1 \vee E2}$$

E4) Schaltsymbol



E5) Impulsdiagramm



7.5 Schaltalgebra

Merke: Die Schaltalgebra kennt nur zwei Konstanten, nämlich "0" oder "1". Daher können die Variablen auch nur die Werte "1" oder "0" haben (Digitale oder Zweizustandstechnik)

A) De Morgan'sche Gesetz

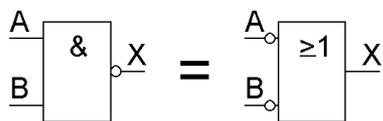
Anwendung: Mit dem De Morgan'schen Gesetz lassen sich Schaltungen entweder nur mit NOR oder NAND realisieren.

1. De Morgan'sche Gesetz

$$X = \overline{A \wedge B} = X = \overline{A} \vee \overline{B}$$

Beweis mit der Wahrheitstabelle

Fall	A	B	$A \wedge B$	$\overline{A \wedge B}$	\overline{A}	\overline{B}	$\overline{A} \vee \overline{B}$
1	0	0	0	1	1	1	1
2	0	1	0	1	1	0	1
3	1	0	0	1	0	1	1
4	1	1	1	0	0	0	0

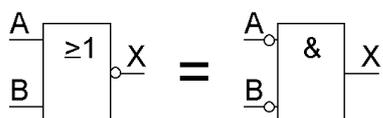


2. De Morgan'sche Gesetz

$$X = \overline{A \vee B} = X = \overline{A} \wedge \overline{B}$$

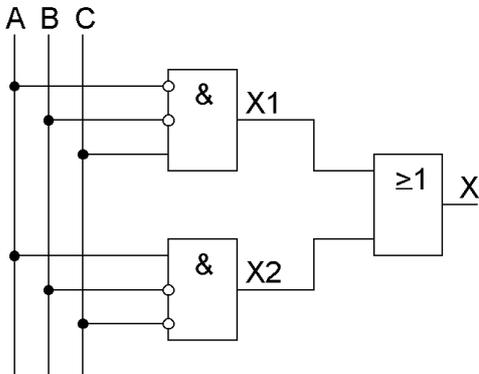
Beweis mit der Wahrheitstabelle

Fall	A	B	$A \vee B$	$\overline{A \vee B}$	\overline{A}	\overline{B}	$\overline{A} \wedge \overline{B}$
1	0	0	0	1	1	1	1
2	0	1	1	0	1	0	0
3	1	0	1	0	0	1	0
4	1	1	1	0	0	0	0



Übungsbeispiele

1. Beispiel



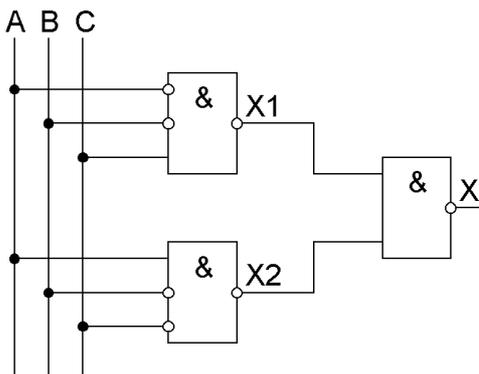
$$X = (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C})$$

Umwandlung in NAND Gatter

$$X = (\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}) \quad \text{Ausgangsformel}$$

$$X = \overline{\overline{(\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C) \vee (A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C})}} \quad \text{Doppelte Negation}$$

$$X = \overline{\overline{(\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge C)} \wedge \overline{\overline{(A \wedge \bar{B} \wedge \bar{C})}}} \quad \text{2. De Morgan'sche Gesetz}$$



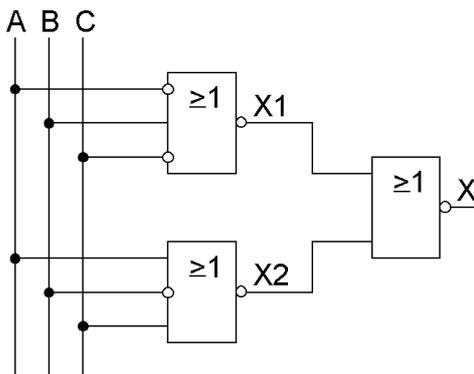
2. Beispiel

Umwandlung in NOR Gatter

$$X = (\bar{A} \vee B \vee \bar{C}) \wedge (A \vee \bar{B} \wedge C)$$

$$X = \overline{\overline{(\bar{A} \vee B \vee \bar{C})} \wedge \overline{(A \vee \bar{B} \wedge C)}}$$

$$X = \overline{(\bar{A} \vee B \vee \bar{C}) \vee (A \vee \bar{B} \wedge C)}$$



7.6 Schaltungssynthese

1. Beispiel

1. Schritt: Beschreibung des gewünschten Schaltnetz:

Es ist eine Logische Schaltung mit 2 Eingangsvariablen zu entwerfen, die am Ausgang eine Logische "1" liefert, wenn die Eingangsvariablen ungleich sind. Diese Schaltung nennt man Antivalenz (ungleich) oder Exklusiv Oder Schaltung (EXOR).

2. Schritt: Wahrheitstabelle

A	B	X
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

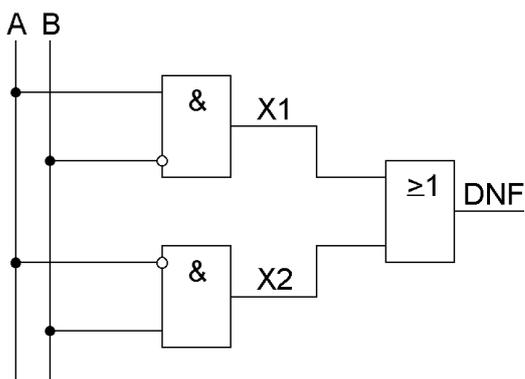
3. Schritt: Funktionsgleichung

Bei der ODER-Normalform (Disjunktive-Normalform [DNF]) werden Eingangsvariablen mit UND verknüpft, die am Ausgang eine Logische "1" haben. Die einzelnen ausdrücke werden verodert. (ODER-Verknüpfung).

A	B	X	DNF
0	0	0	
1	0	1	$X_1 = A \wedge \bar{B}$
0	1	1	$X_2 = \bar{A} \wedge B$
1	1	0	

$$\begin{aligned} DNF &= X_1 \vee X_2 \\ &= (A \wedge \bar{B}) \vee (\bar{A} \wedge B) \end{aligned}$$

4. Schritt: Schaltungsrealisierung



2. Beispiel

1. Schritt

Es soll eine Aquiralenz (gleich) Schaltung entwickeln werden, die den Ausgang schält wenn beide Eingangsignale gleich sind.

2. Schritt: Wahrheitstabelle

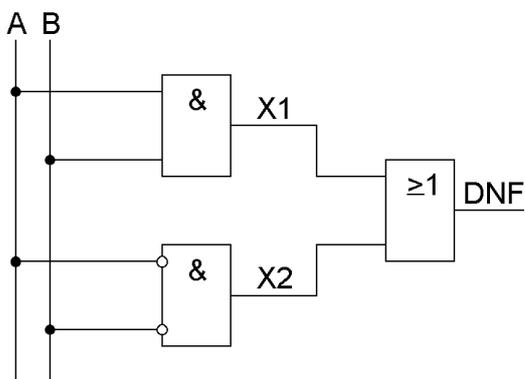
A	B	X
1	1	1
0	0	1
1	0	0
0	1	0

3. Schritt: Funktionsgleichung

A	B	
1	1	$X_1 = A \wedge B$
0	0	$X_2 = \bar{A} \wedge \bar{B}$
1	0	
0	1	

$$DNF = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

4. Schritt

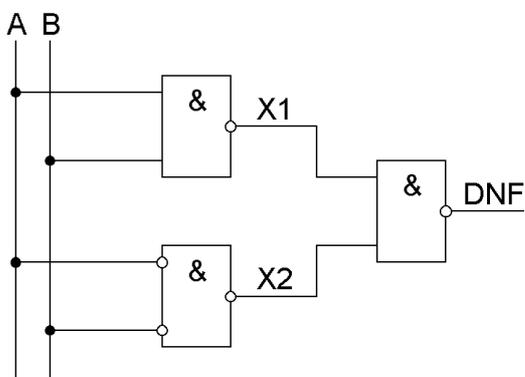


5. Schritt: Umwandlung in NAND's

$$X = (A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})$$

$$X = \overline{\overline{(A \wedge B) \vee (\bar{A} \wedge \bar{B})}}$$

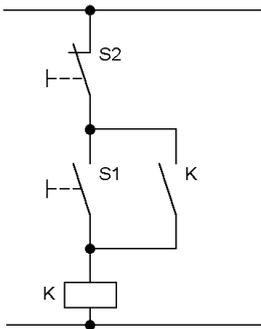
$$X = \overline{\overline{(A \wedge B)} \wedge \overline{\overline{(\bar{A} \wedge \bar{B})}}}$$



7.7 Speicherbausteine

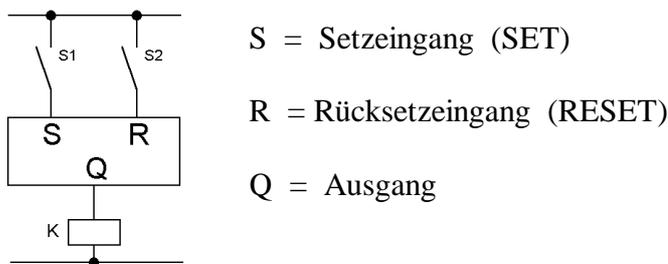
A) Vorüberlegung

Aufgabe: Entwerfen Sie eine einfache Schützschaltung, die einen einmal geschalteten Zustand erhält (Selbsthaltung)



B) RS - Flip Flop

Ein RS - Flip Flop ist ein Speicherbaustein, bei dem, im Gegensatz zu den Grundgattern (UND, ODER, NICHT) die Vorgeschichte wichtig ist, weil er den jeweiligen Zustand speichert.

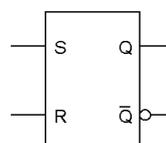


Wird am Setzeingang ein Impuls oder eine =1= angeschaltet, dann bleibt der Zustand gespeichert, auch wenn S1 wieder geöffnet wird; man sagt das Flip Flop ist gesetzt (SET). Erst wenn S2 am Rücksetzeingang eine "1" anlegt wird das Flip Flop wieder auf "0" geschaltet oder zurückgesetzt (RESET).

Wahrheitstabelle

R	S	Q
0	0	0
0	1	1 (SET)
1	0	0 (RESET)
1	1	verbotener Zustand

Schaltymbol



8. Grundlagen des Wechselstroms

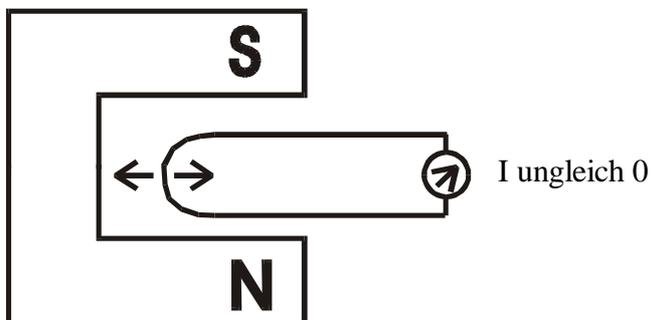
A) Allgemein

Die Energieversorgung erfolgt weitgehend über Wechselstrom, weil Transformatoren die jeweils benötigte Energie von Hoch- in Niederspannung nahezu verlustfrei umformen.

B) Erzeugung von Wechselstrom

Versuch

Leiterschleife im Magnetfeld bewegen



Beobachtung

Bewegt man eine Leiterschleife im Magnetfeld dann entsteht ein Strom. Beim einschieben der Leiterschleife ins Magnetfeld entsteht ein entgegengesetzter Strom als beim herausziehen.

Definition

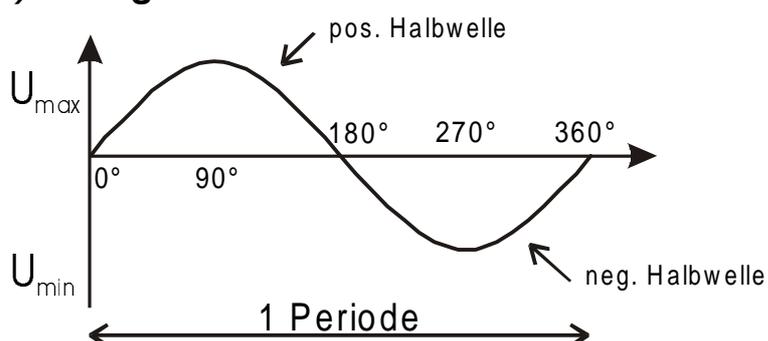
Ströme, die ihre Polarität ständig wechseln nennt man Wechselströme.

C) Wechselstromgeneratoren

Prinzip siehe Punkt A und B

Wird eine Leiterschleife des Generators gleichmäßig gedreht, dann entsteht ein gleichmäßiger oder periodischer Sinusstrom.

D) Kenngrößen des Wechselstroms

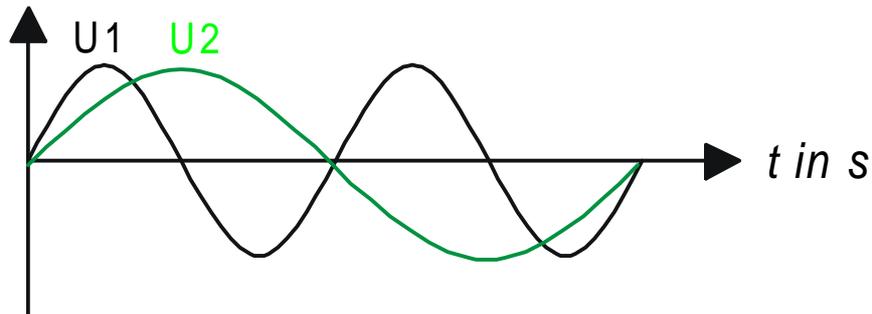


D1) Frequenz

Die Frequenz beschreibt die Anzahl der Perioden pro Sekunde.

$$f \text{ in } \left[\frac{1}{s} \right] [1 \text{ Hz}] \text{ Herz}$$

f = Frequenz



$$T \text{ in [s] Periodendauer}$$

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

$$f_{U1} = T = 2s \rightarrow 0,5 \text{ Hz}$$

$$f_{U2} = T = 1s \rightarrow 1 \text{ Hz}$$

Übung

Wie viel Zeit benötigt eine Periode bei der Netzspannung (50 Hz)?

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = 0,02s = 20ms = \frac{1}{50} s$$

D2) Zeigerdarstellung von sinusförmigen Größen

1) Vorbereitung

$$U = \pi \cdot d \Rightarrow 2 \pi r$$

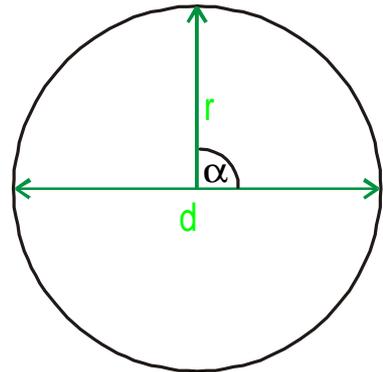
Wenn der Radius $r = 1$ ist dann nennt man den Kreis Einheitskreis in dem gilt:

$$U = 2 \pi$$

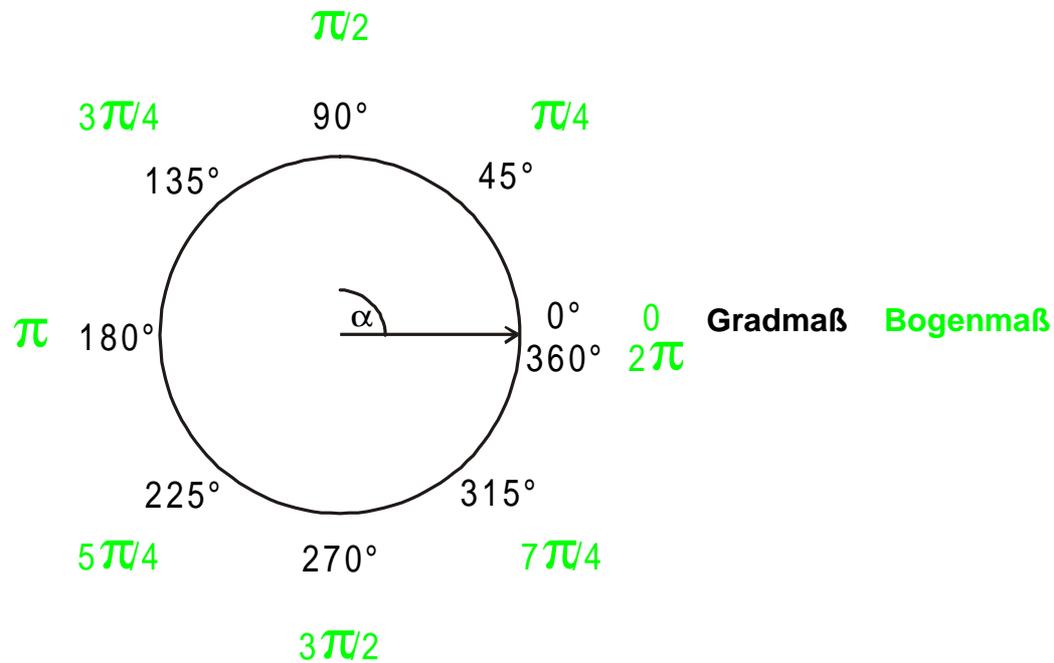
Da der Kreisumfang 360° beträgt folgt für den Einheitskreis:

$$U = 2 \pi = 360^\circ$$

\uparrow Bogenmaß \nwarrow Gradmaß



2) Konstruktion des Einheitskreises

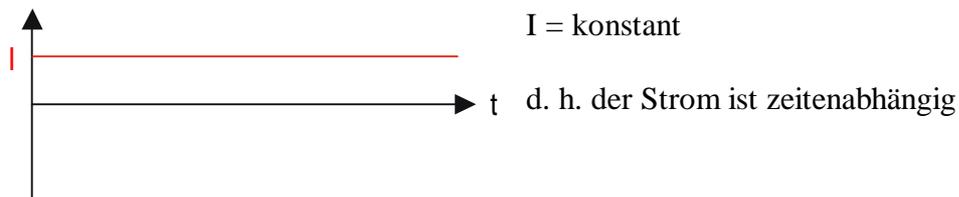


E) Kenngrößen des Wechselstroms

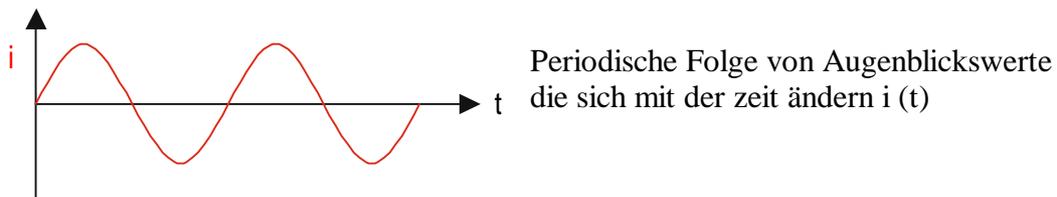
Siehe Blatt

F) Stromarten

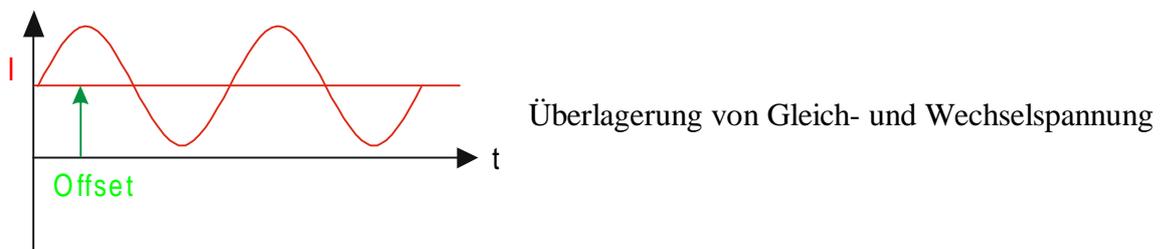
F1) Gleichstrom (DC)



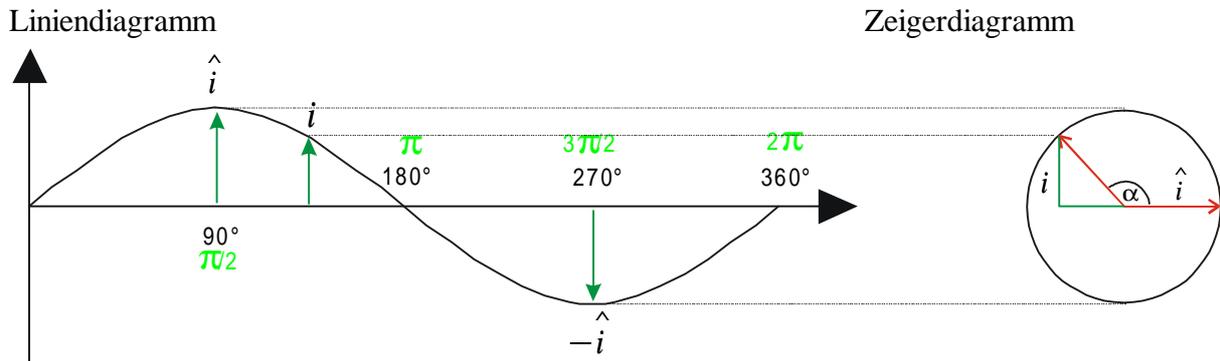
F2) Wechselstrom (AC)



F3) Periodischer Mischstrom



G) Darstellungsformel von Sinusgrößen



Übertragung von Linien- auf Zeigerdiagramm

Linien und Zeigerdiagramme sind zwei Darstellungsformen, die ineinander überführt werden können. In beiden Diagrammen werden die Augenblickswerte i und u und können entweder geometrisch abgelesen oder rechnerisch mit den Winkelfunktionen ermittelt werden.

H) Kreisfrequenz (Winkelgeschwindigkeit)

Genau so wie die Frequenz die Periode pro Sekunde angibt, zeigt die Kreisfrequenz die Umläufe (Zeiger) der Leiterschleife im Magnetfeld. Die Kreisfrequenz ω (klein Omega) gibt an wie viele Perioden pro sec. (Umläufe) zurückgelegt werden.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f \text{ in } \left[\frac{1}{s} \right]$$

I) Augenblickswerte (i , u)

Die Kreisfrequenz gibt an wie viele Perioden in 1s erzeugt werden.

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{\alpha_B}{T} = \frac{360^\circ}{T} = \frac{\alpha_G}{T}$$

für eine beliebige Zeit t folgt

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \rightarrow \alpha = \omega \cdot t$$

Somit erhält man einen Zusammenhang zwischen Winkel und Zeit.

I1) Augenblickswerte in Abhängigkeit vom Winkel

$$i = \hat{i} \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Wobei die Sinusfunktion zwischen 1 und -1 schwankt.

I2) Augenblickswerte in Abhängigkeit von der Zeit

$$i = \hat{i} \cdot \sin(\omega \cdot t) \rightarrow i = \hat{i} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \quad (2)$$

Wenn der Winkel und der Scheitelwert bekannt sind kann der Augenblickswert berechnet werden (Gleichung 1)

Für jeden beliebigen Zeitpunkt kann der Augenblickswert mit der Gleichung 2 bestimmt werden.

Gleichung 2 lässt sich auch anhand der Winkelfunktionen im Zeigerdiagramm bestimmen.

Allgemein gilt:

$$i = \hat{i} \cdot \sin \alpha = i = \hat{i} \cdot \sin(\omega \cdot t) = i = \hat{i} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

$$u = \hat{u} \cdot \sin \alpha = u = \hat{u} \cdot \sin(\omega \cdot t) = u = \hat{u} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

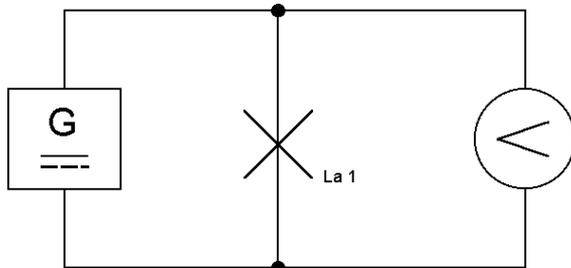
Merke:

Berechnungen in denen der Winkel bekannt ist werden mit dem Taschenrechner im Gradmaß (DEG) berechnet.

Berechnungen in denen die Zeit vorkommt muss im Bogenmaß (RAD) berechnet werden.

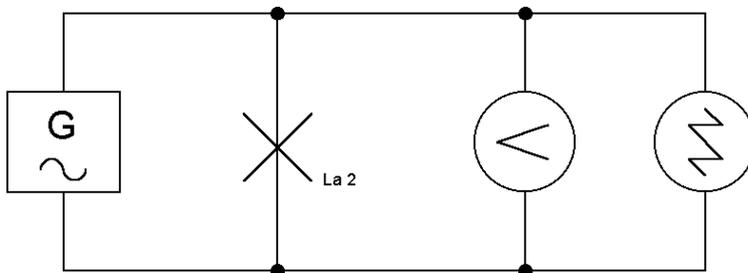
J) Scheitel und Effektivwert

J1) Versuch



Messung

$U = 18V-$



Messung

$\hat{u} = 18V\sim$ Oszi

$U = 12V\sim$ Messgerät

J2) Auswertung

Lampe 1 leuchtet heller als Lampe 2. Misst man bei Lampe 2 mit einem Messinstrument mit einem Drehspulenmesswerk, dann werden nur etwa 12V gemessen. Das Oszilloskop hat den Scheitelwert gemessen und das Messinstrument den Effektivwert. Der Effektivwert ist der Wirkwert einer Wechselspannung der dem Gleichspannungswert in einem Ohmschen Verbraucher entspricht; d.h. beider erzeugen die selbe Wärmewirkung.

J3) Berechnung

$$U_{eff} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \quad \rightarrow \quad \hat{u} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

$$I_{eff} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \quad \rightarrow \quad \hat{i} = I_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

$$P_{eff} = U_{eff} \cdot I_{eff} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} = \frac{\hat{u} \cdot \hat{i}}{2} = \frac{\hat{P}}{2}$$

9. Das elektrische Feld und der Kondensator

A) Das elektrische Feld

1. Eigenschaften

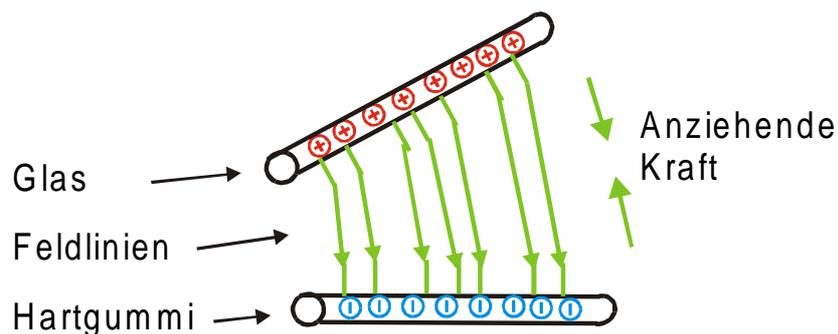
• Definition

Das elektrische Feld ist ein Raum, in dem auf Ladungen Kräfte ausgeübt werden.
z. B. elektrischer Stromkreis

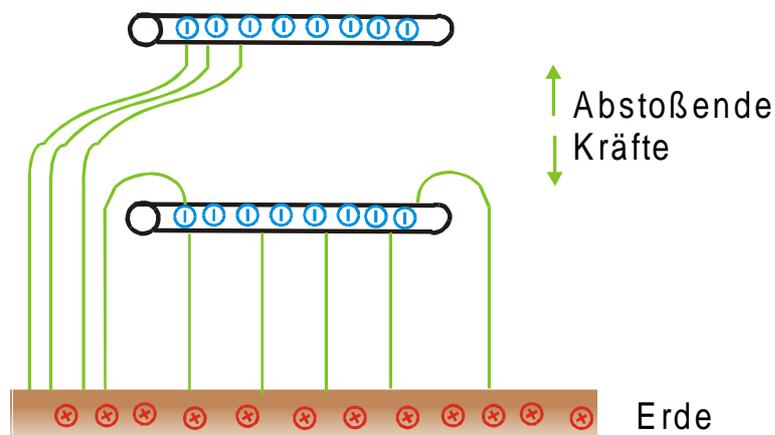
• Feldlinien

Die Stärke (viele) und die Richtung des elektrischen Kraftfeldes werden mit Feldlinien dargestellt. Sie treten senkrecht von der positiven Ladung beginnend und senkrecht in der negativen Ladung enden aus und versuchen den kürzesten Weg zu gehen.

1. Versuch: Glas- und Hartgummistab aufgeladen



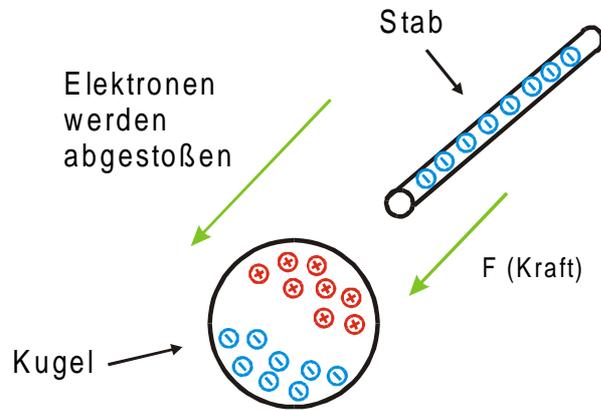
2. Versuch: Hartgummistab + Hartgummistab



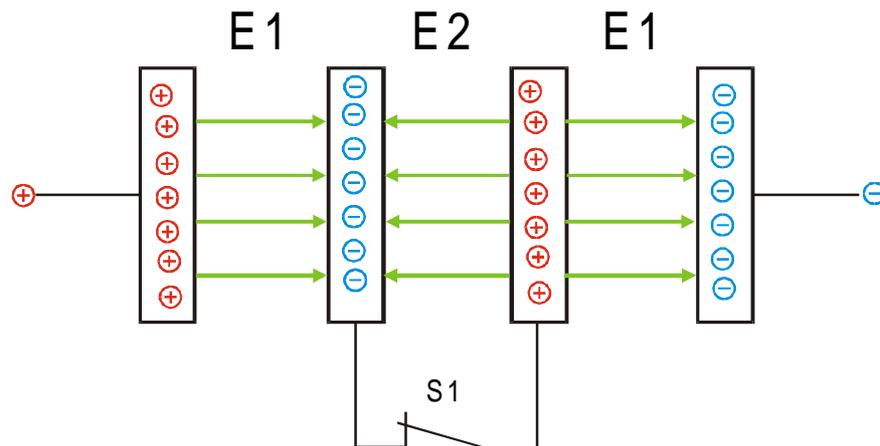
• **Influenz zwischen Linien**

Influenz (influre = hineinströmen) ist die Beeinflussung der Ladungsverteilung durch Einwirkung elektrischer Felder.

z.B.:

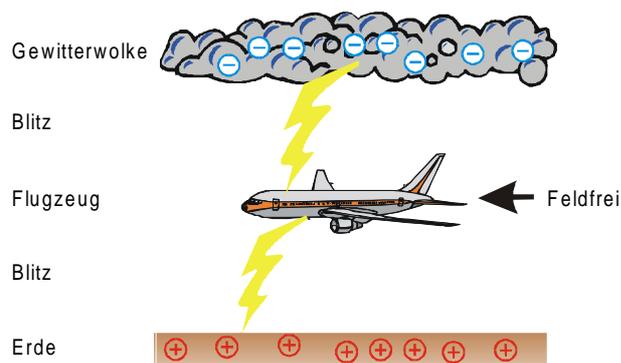


3. Versuch:



Beim öffnen des Schalters S1 entsteht eine Feldstärke E2 die gleich groß wie e1 ist aber entgegengesetzt; es entsteht ein feldfreier Raum → Faradayscher Käfig.
 Technische Ausnutzung: Abschirmung von Kabel durch Drahtgeflecht, etc.

z.B. Flugzeug



2. Influenz bei Nichtleitern - Polarisation

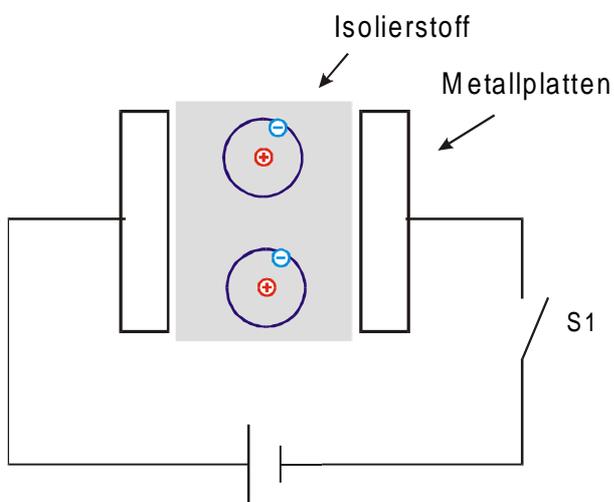
4. Versuch:

Einbringen eines Isolierstoffes zwischen zwei Kondensatorplatten Vermindert sich das elektrische Feld und die Spannung sinkt.

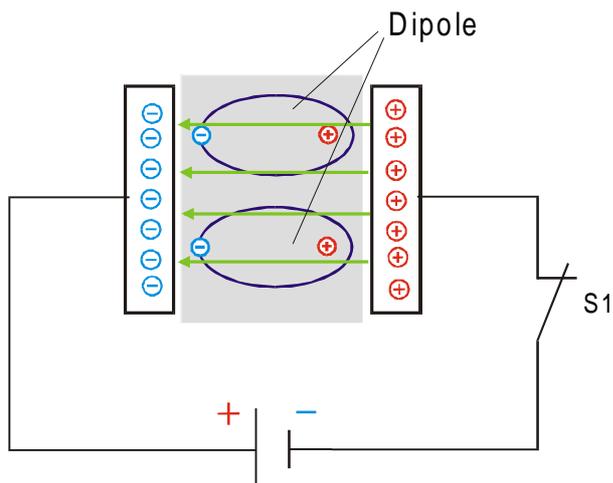
Physikalische Deutung:

Die Isolierstoffe haben wenig freie Elektronen, deshalb kann keine Ladungstrennung stattfinden, sondern nur eine Ladungsverschiebung (Polarisation).

1. Fall: $U = I = 0$



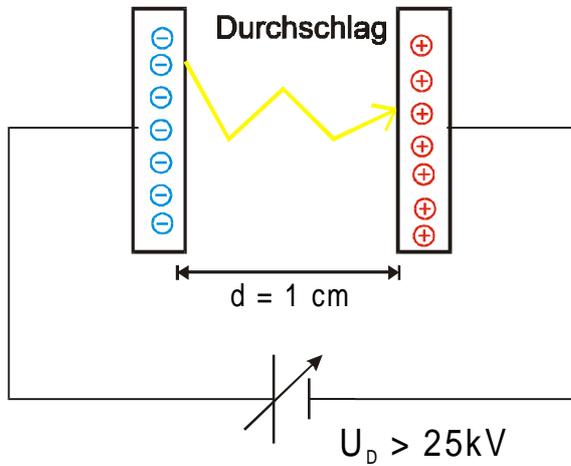
2. Fall: $U = I \neq 0$



Es findet eine Stromerhöhung statt, weil die Dipole zusätzliche Ladungsträger darstellen. Den polarisierten Isolierstoff nennt man Dielektrikum.

3. Durchschlagsfestigkeit

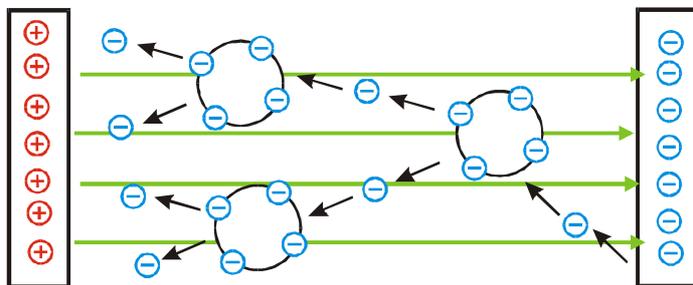
5. Versuch:



Bei einem abstand von 1cm benötigt man etwa 25kV (in der Luft) damit ein Durchschlag (Entladung) erfolgt.

Physikalische Deutung:

Die Luft zwischen den Platten ist wie ein Isolator, worin ab der Durchschlagsspannung (Durchschlagfeldstärke) die wenig freien Elektronen aus dem Atomverband gelöst werden => daraus erfolgt Schneeballeffekt => Stoßionisation → Durchschlag.



Gase haben wegen ihrer geringeren Dichte eine kleinere Durchbruchfeldstärke als Flüssige oder Feste Stoffe.

4. Feldgrößen

• Das elektrische Feld (E)

$F \sim Q$ Je mehr Ladungsträger desto größer die Kraftübertragung.

$F \sim U$ Je größer die Spannung, die die Ladungen auf den platten erzeugt desto größer das Kraftfeld.

$F \sim \frac{1}{l}$ Je weiter die Platten voneinander entfernt sind umso kleiner das Kraftfeld.

$$F = \frac{U \cdot Q}{l} \quad (1)$$

Die Ursache de elektrischen Feldes ist die Spannung.

$E \sim U$

$E \sim \frac{1}{l}$

$$E = \frac{U}{l} \quad (2)$$

(2) in (1)

$F = Q \cdot E$

$$E = \frac{F}{Q} \quad (3)$$

• Die Kapazität C

Die Kapazität beschreibt die Eigenschaft Ladung zu speichern, die durch ein elektrische Feld erzeugt wird.

$Q \sim C$

$Q \sim U$

$Q = C \cdot U$

$$C = \frac{Q}{U} \quad (4)$$

• Einfluss der Bauformen

Durch einbringen eines Dielektriums sinkt die Spannung. Dieser physikalische Sachverhalt wird durch die Dielektrizitätskonstante (ϵ klein Epsilon) erfasst.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \quad (5)$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \quad (6)$$

ϵ_r = Multiplikationsfaktor gegenüber Vakuum (Permittivitätszahl) Tabellen Buch S. 319

$$\epsilon \sim \frac{1}{U} \Rightarrow \epsilon \sim C$$

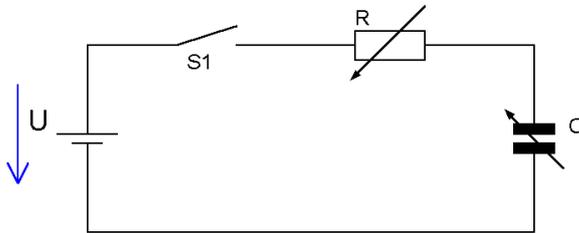
$$C \sim \frac{1}{l} \quad l = \text{Plattenabstand}$$

$$C \sim A \quad A = \text{Plattenfläche}$$

$$\rightarrow C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{l} \quad (7)$$

5. Laden und Entladen von Kondensatoren

A) Vorüberlegung



1. Fall: Variationen von R

- 1 k Ω)
 - 100 Ω)
- } kleines R => schnelles Laden

2. Fall: Variationen von C

- 40 mF)
 - 1 mF)
- } kleines C => schnelles Laden

Folgerung:

Je größer C (Kapazität oder Fassungsvermögen von Ladungen) und je größer der Ladewiderstand, desto länger wird die Ladezeit.

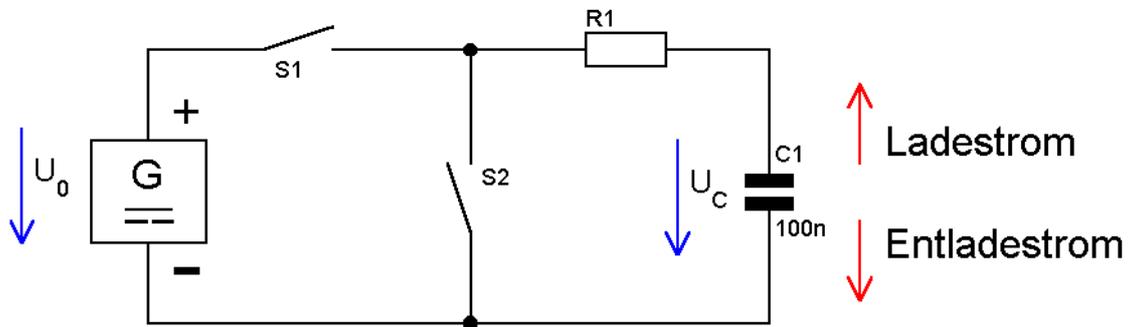
B) Zeitkonstante ($\tau = \text{Tau}$)

Laden und entladen wird durch die Zeitkonstante τ bestimmt, die Proportional zu R und C ist.

$$\tau = R \cdot C$$

Laden und Entladen geht theoretisch unendlich Lange; deshalb nimmt man an das nach 5τ ein Kondensator Auf- und Entladen ist.

6. Qualitative Bestimmung der Lade- Entladekennlinie



Laden:

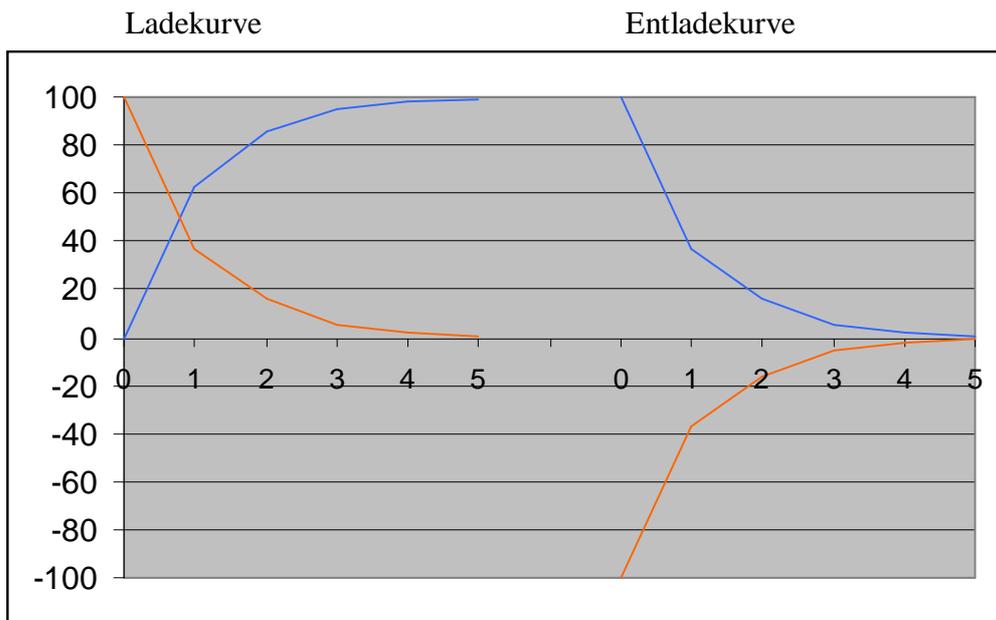
S1 schlieÙe
 U_C nimmt zu

Geladen:

S1 offen
 $I = 0$
 $U_C = U_0$

Entladen:

S2 schlieÙen
 U_C sinkt
 I dreht sich um => sinkt



6.1 Berechnen der Lade - Entlade- Kennlinie

Mathematische Beschreibung

e-Funktion [TR: Taset e^x]

Entladekurve:

$$0 \tau = e^0 = 1 = 100\%$$

$$1 \tau = e^{-1} = 0,367 = 37\%$$

$$2 \tau = e^{-2} = 0,135 = 13,5\%$$

$$3 \tau = e^{-3} = 0,049 = 4,9\%$$

$$4 \tau = e^{-4} = 0,018 = 1,8\%$$

$$5 \tau = e^{-5} = 0,0067 = 0,8\%$$

Ladekurve:

$$0 \tau = 1 - e^0 = 0\%$$

$$1 \tau = 1 - e^{-1} = 63\%$$

$$2 \tau = 1 - e^{-2} = 86\%$$

$$3 \tau = 1 - e^{-3} = 95\%$$

$$4 \tau = 1 - e^{-4} = 98\%$$

$$5 \tau = 1 - e^{-5} = 99\%$$

Berechnung der Entladespannung

$$0 \tau = u_{CE} = U_0 \cdot e^0 \Rightarrow U_0$$

$$1 \tau = u_{CE} = U_0 \cdot e^{-1} \Rightarrow U_0 \cdot 0,367$$

$$2 \tau = u_{CE} = U_0 \cdot e^{-2} \Rightarrow U_0 \cdot 0,135$$

$$3 \tau = u_{CE} = U_0 \cdot e^{-3} \Rightarrow U_0 \cdot 0,049$$

$$4 \tau = u_{CE} = U_0 \cdot e^{-4} \Rightarrow U_0 \cdot 0,018$$

$$5 \tau = u_{CE} = U_0 \cdot e^{-5} \Rightarrow U_0 \cdot 0,0067$$

$$u_{C_E} = U_0 \cdot e^{-t/\tau}$$

t = Zeit

τ = Zeitkonstante

u_{CE} = Spannung am Kondensator beim entladen

Berechnung der Ladespannung

$$u_{C_L} = U_0 (1 - e^{-t/\tau})$$

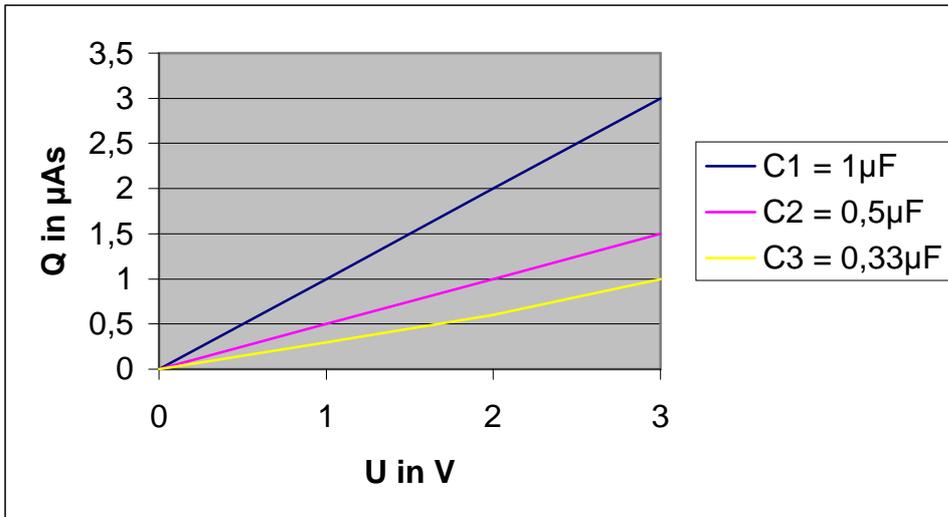
Berechnung des Ladestromes

$$i_{C_L} = \text{Im } ax \cdot e^{-t/\tau}$$

Berechnung des Entladestromes

$$i_{C_E} = -\text{Im } ax \cdot e^{-t/\tau}$$

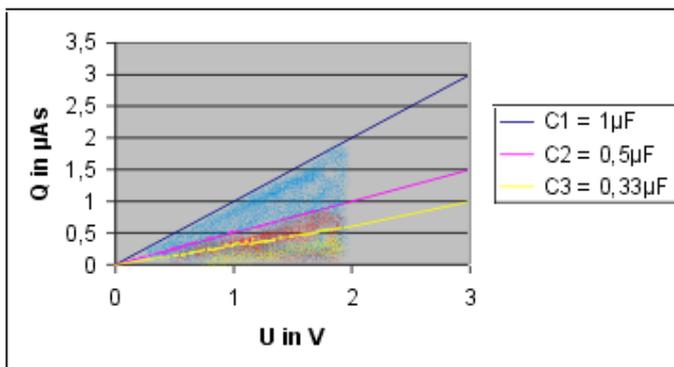
7. Kapazitätskennlinie



$$C = Q/U$$

8. Energie des elektrischen Feldes

Damit auf den Kondensatorplatten und im Dielektrium Ladung, das heißt Energie, gespeichert wird muss dazu Arbeit von der angelegten Spannung verrichtet werden. Die Kapazität C gibt das Fassungsvermögen des Kondensators an.



$$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U \quad \text{in [Ws]} \quad (1)$$

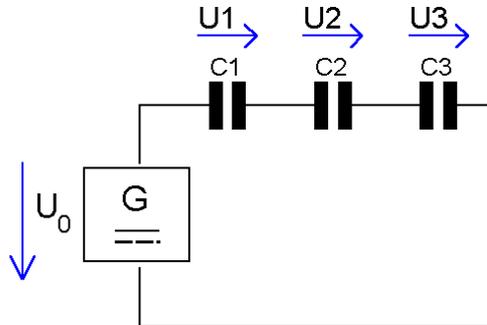
$$Q = C \cdot U \quad (2)$$

(2) in (1) =>

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 \quad \text{in [Ws]} \quad (3)$$

9. Schaltungen von Kondensatoren

A) Reihenschaltung



$$U = Q/C \quad (1)$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (2)$$

(1) in (2) =>

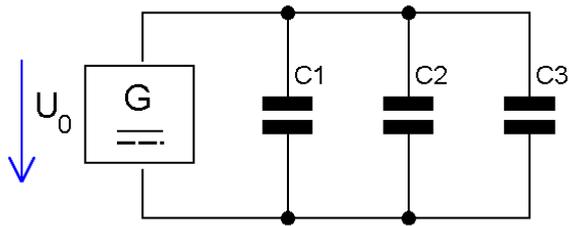
$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$U = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$\frac{U}{Q} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Bei der Reihenschaltung von Kapazitäten erhöht sich der plattenabstand des Kondensators, d.h. die Ersatzkapazität wird kleiner; sie verhalten sich wie parallelgeschaltete ohmsche Widerstände.

B) Parallelschaltung

$$Q = C \cdot U \quad (1)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

(1) in (2) =>

$$C \cdot U = U (C_1 + C_2 + C_3)$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$