

Elektrische Messgeräte

Drehspulinstrumente, Digitalmeßgeräte

Widerstandsmessung – Brückenschaltung

Oszilloskop

Beeinflussung der Messung durch die Meßinstrumente

Spannungsmessung, Strommessung

Kompensationsspannungsmessung

Elektrische Erfassung nichtelektrischer Größen:

Thermoelement

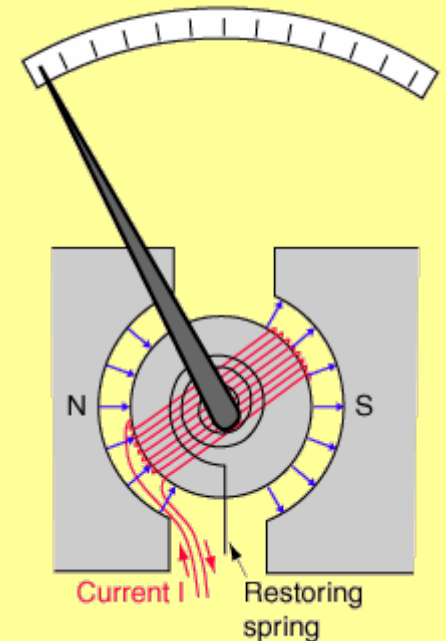
Widerstandsthermometer

Druckmessung

Lichtmessung

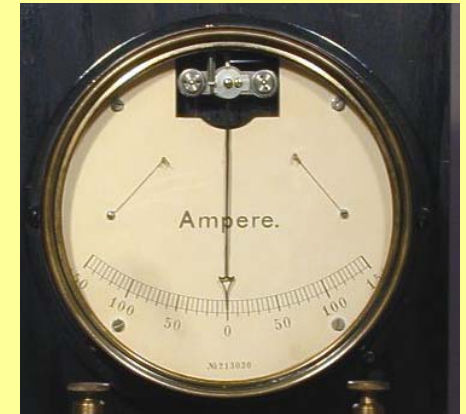
Elektromagnetische Blutmessung

Stromwirkung auf Lebewesen, Schutzmaßnahmen



Elektrische Messgeräte erlauben die Messung von:

- Stromstärken (A)
- Spannungen (V)
- Widerständen (Ω)
- *auch Kapazitäten (F)*
- *Induktivitäten (Hy)*



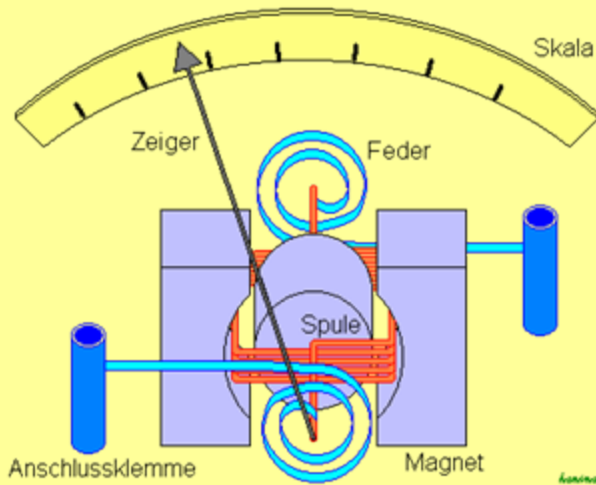
Messung von vielen auch **nichtelektrischen Größen** kann auf Strommessung zurückgeführt werden. Dazu dienen **Amperemeter**, die bei hoher Empfindlichkeit Galvanometer heißen.

Es ist zu unterscheiden zwischen **Empfindlichkeit** und **Genauigkeit** eines Gerätes:

- **Empfindlichkeit** – Zeigerausschlag / Strom
- **Genauigkeit** – *relative Abweichung* zwischen angezeigtem und wahren Stromwert.

Strommessgeräte haben üblicherweise **sehr geringe Innenwiderstände** → die Stromstärke soll gemessen und nicht durch die Messung beeinflusst werden.

Drehspulinstrumente - Strommessung



Eigenschaften:

- große Empfindlichkeit
- linearer Skalenverlauf
- großer Innenwiderstand
- große Genauigkeit
- geringer Eigenverbrauch

Ein **Drehspulmessgerät** dient zur Anzeige von Strömen, indem es diese in einen der Stromstärke entsprechenden Zeigerausschlag umwandelt.

Eine drehbare **Spule** befindet sich im Feld eines **Magneten**. Spiralfedern dienen der Rückstellung in die Ruhelage.

Wird über die Anschlussklemmen Strom durch die Spule geleitet, so wirkt auf die Spule eine Kraft (**Lorentzkraft**), die sie um ihre Achse verdreht, bis die Federkraft keine weitere Bewegung zulässt. **In dieser Stellung** bleibt die Spule stehen, und der an ihr befestigte Zeiger gibt auf einer Skala den entsprechenden **Wert der Stromstärke** an. Nach Abschalten des Stroms stellen die Federn den Zeiger wieder in die Nullstellung zurück.

Strommessgeräte – Amperemeter (Serienschaltung !!!)

Drehspulinstrumente – Strommessung

Drehspulmesswerke
sind **polaritätsabhängig**,
d.h. beim Umpolen des
Stroms schlägt der
Zeiger in der anderen
Richtung aus.



Bei manchen Messwerken befindet sich die Null in der Mitte der Skala, so dass der Strom auch in der anderen Polarität angezeigt werden kann.

Befindet sich die Null am Rand der Skala, so darf das Messwerk nur für eine Polarität benutzt werden.

Aus dem gleichen Grund ist es nur zur **Messung von Gleichstrom** geeignet. Soll **Wechselstrom** gemessen werden, so muss ein **Gleichrichter** vorgeschaltet werden.

Die Skala ist üblicherweise so geeicht, dass die Anzeige bei **sinusförmiger Wechselgrößen** dem **Effektivwert** entspricht.

Nebenwiderstand (Shunt) – Messbereicherweiterung für die Strommessung

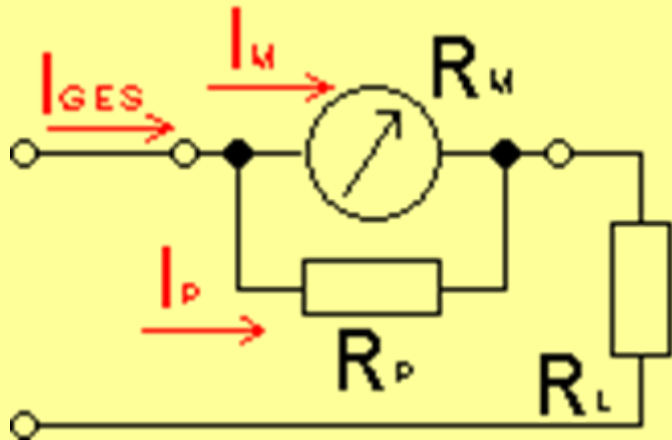
- zur Strommessung ist eine Spannungsdifferenz an den Anschlussklemmen nötig
- der Strom wird durch die Spannung und durch den Widerstand der Spule (Innenwiderstand) definiert
- soll das Amperemeter für verschiedene Stromstärken verwendbar sein → SHUNT → Bereicherweiterung

Messbereichserweiterung bei Amperemeter erfolgt immer dann, wenn der zu messende Strom zu groß ist und das Messwerk beschädigen könnte.

Bei einem **Amperemeter** ist der **Shunt R_p** parallel zum Messwerk geschaltet.

Der Widerstand R_p muss das Zuviel an Strom aufnehmen.

Nebenwiderstand (Shunt) - Messbereicherweiterung für die Strommessung



Bei 2-facher Messbereichserweiterung ist
 $R_P = R_M$

Bei 3-facher Messbereichserweiterung ist
 $R_P = 1/2 * R_M$

Bei n-facher Messbereichserweiterung ist
 $R_P = 1/n-1 * R_M$

$$\frac{I_P}{I_M} = \frac{R_M}{R_P} \quad R_P = \frac{R_M}{n-1} \quad I_P = I_{GES} - I_M$$

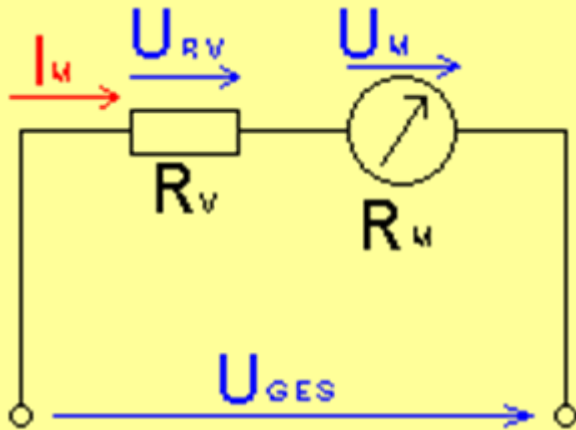
Beispiel:

Ein Strom von **3A** soll gemessen werden, aber das A-Meter kann nur max. **10 μ A** messen. Innenwiderstand des Meßgerätes hat **$R_M = 6k\Omega$** .

Wie groß muss der Shunt-Widerstand sein ?

$$I_P = 3A - 10 \mu A = 2,99999 A. \rightarrow R_P = R_M \cdot (I_M / I_P) = 20,000067 m\Omega \text{ (vgl. Buch, p. 209 !)}$$

Spannungsmessung (Voltmeter) - Messbereichserweiterung



$$U = RI$$

Es ist offensichtlich (Ohmsches Gesetz), dass das A-Meter auch als Voltmeter verwendet werden kann.

In solcher Konstellation ist es oft nötig **ein Vorwiderstand** seriell **vorzuschalten** (Kirchhoffs Regel)

Da ein Voltmeter eine Spannung (Potentialdifferenz) misst, sollte durch das Gerät ein vernachlässigbarer Strom fließen.

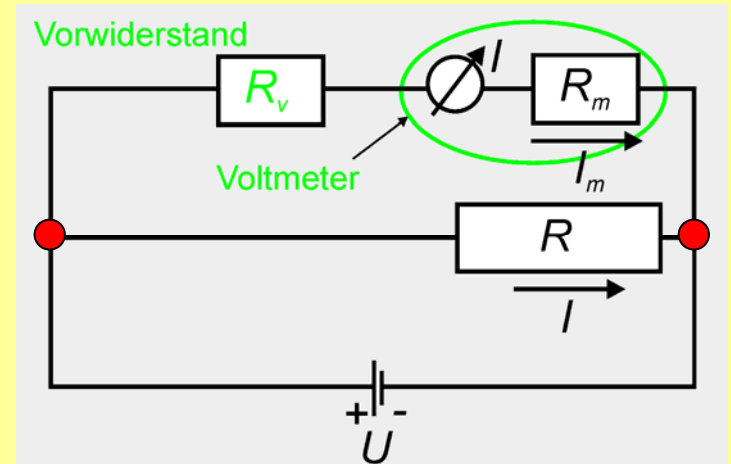
Messbereichserweiterung bei Spannungsmessern erfolgt immer dann, wenn die zu messende Spannung das Messwerk beschädigen könnte.

Spannungsmessung (Voltmeter) - Messbereichserweiterung

Bei einem Spannungsmesser ist der Vorwiderstand in Reihe zum Messwerk geschaltet.

Am **Vorwiderstand** R_V muss das „Zuviel an Spannung“ abfallen.

$$U_V = U_{GES} - U_M \quad R_V = \frac{U_V}{I_M}$$
$$I_M = \frac{U_{GES}}{R_V + R_M} \quad I_M = \frac{U_M}{R_M}$$



Bei 2-facher Messbereichserweiterung ist

$$R_V = 1 * R_M$$

Bei 3-facher Messbereichserweiterung ist

$$R_V = 2 * R_M$$

Bei n-facher Messbereichserweiterung ist

$$R_V = (n-1) * R_M$$

Strom – und Spannungsmessung: Analog oder Digital ?

► Analogen Meßverfahren - die Anzeige des Messwerts folgt stetig der Eingangsgröße (Messgröße).

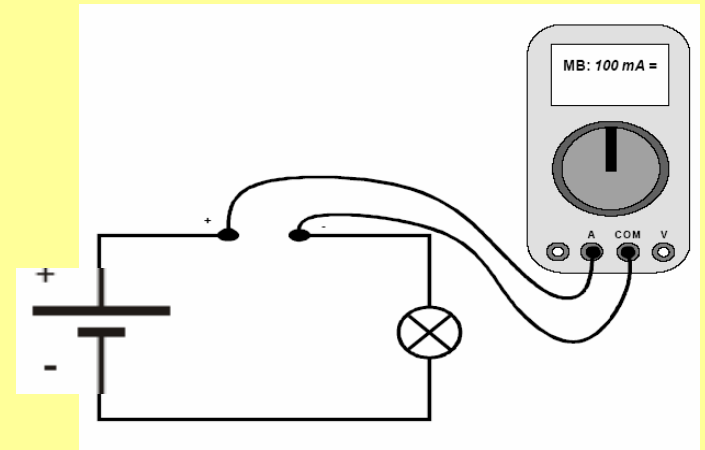
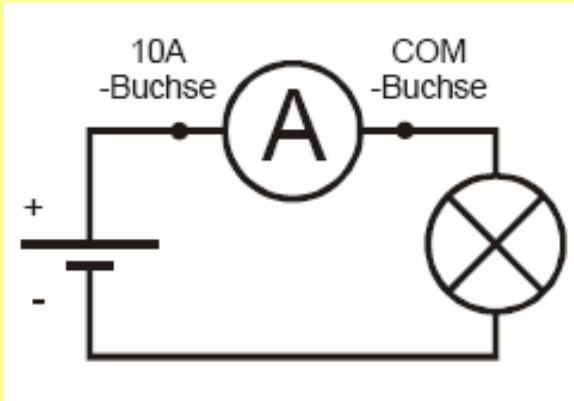
Meist zeigt ein Zeiger, der gleichmäßig über eine Skala geführt wird, den Messwert an.

► Digitale Messverfahren - tasten die Messgröße in kleinen, fest vorgegebenen Schritten ab, wandeln sie um und stellen sie als Zahl dar. Die Anzeige ist also stufig, sie bildet jeweils die Summe gewisser Mengeneinheiten. Ein digitaler Spannungsmesser (Voltmeter) zeigt beim Messen der Spannung die Messgröße sprunghaft in Ziffern an.

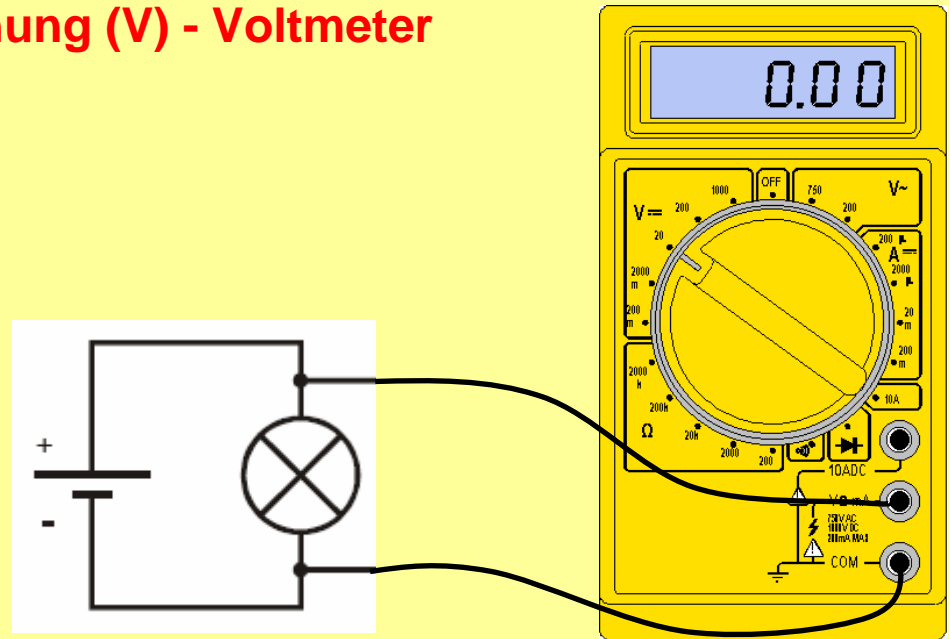
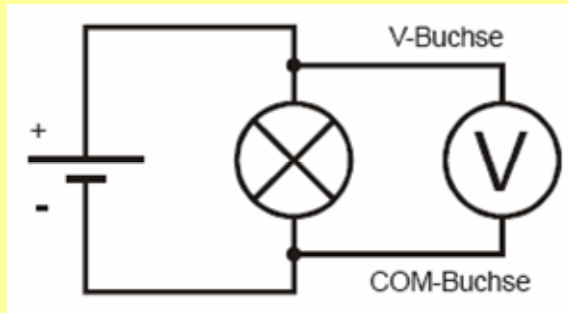
Messinstrument	Klasse	Anzeigefehler
FeinMessinstrument	0,1	0,1%
	0,2	0,2%
	0,5	0,5%
BetriebsMessinstrumente	1	1%
	1,5	1,5%
	2,5	2,5%
	5	5%



Prinzip der Messung von Stromstärke (A) - Amperemeter



Prinzip der Messung von Spannung (V) - Voltmeter



Widerstandsmessung

- Nach d. Ohmschen Gesetz ($U=RI$)
- Wheatstonesche Brückenschaltung

Die **W.B.** ist eine sehr wichtige Methode zur **genauen Bestimmung** eines unbekanntes **Widerstandes** . Vorteil ist, daß es eine so genannte Nullmethode ist (i.a. sehr genau), da ein Minimum eingestellt werden muß. Dies geschieht durch den Vergleich mit anderen, bekannten Widerständen.

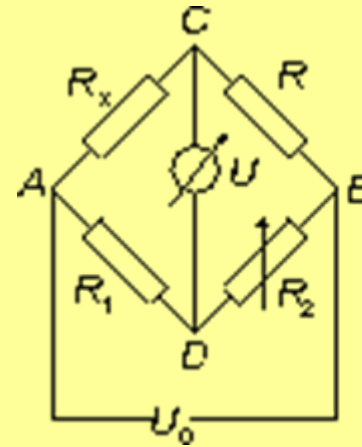
(A). Die Widerstände R_1 und R_2 müssen nun so abgeglichen werden, daß die gemessene Spannung $U = 0$ ist.

$$U_{AC} = U_{AD} \quad I_1 R_x = I_2 \cdot R_1$$

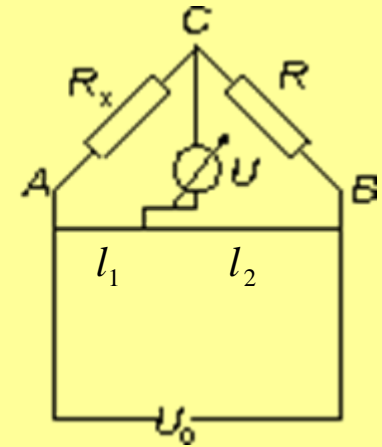
$$U_{BC} = U_{BD} \quad I_1 R = I_2 \cdot R_2$$

$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2}$$

(A)



(B)



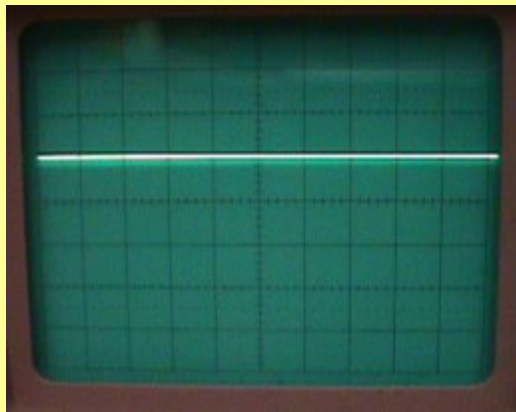
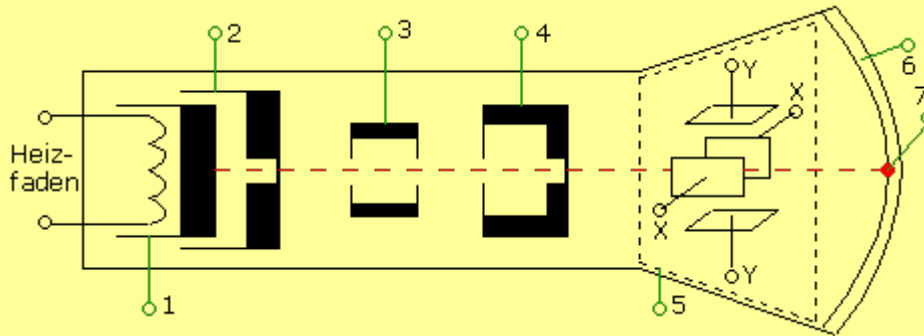
(B). Analog geht man bei der Schaltung „B“ vor. Hier ersetzen wir die beiden Widerstände R_1 und R_2 (Bild (A)) durch einen Draht.

$$R = \rho \cdot \frac{\text{Länge}}{\text{Querschnittsfläche}}$$

$$\frac{R_x}{R} = \frac{l_1}{l_2}$$

Oszilloskop – Elektronenstrahloszilloskop (Braunsche Röhre)

Ein Oszilloskop stellt Spannung über ihren zeitlichen Verlauf dar, d.h. es werden die physikalischen Größen: Spannung und Zeit gemessen. Ein Oszilloskop wird verwendet, wenn periodische wiederkehrende Signale bildlich dargestellt werden müssen.



Gleichspannungssignal

1. Kathode

An der Kathode liegt eine Spannung von $-200 \dots -800$ Volt. Sie liefert die Elektronen. Durch ein Heizelement wird der Elektronenaustritt erhöht.

2. Wehneltzylinder

Mittels dieses Zylinders lässt sich die Intensität, sprich Helligkeit des Elektronenstrahls beeinflussen.

3. Elektronen-Optik

Ablenkung der Elektronen im Elektrischen Feld. Einstellung für die Schärfe des zu darstellenden Elektronenstrahls.

4. Anode

Die Anode liegt an einer Spannung von etwa $+100$ und zieht die Elektronen an.

5. Nachbeschleunigungsanode(bis 1,5 kV)

6. Leuchtschicht

7. Brennpunkt

X. X-Platten für die Zeitmessung (Horizontale Ablenkung)

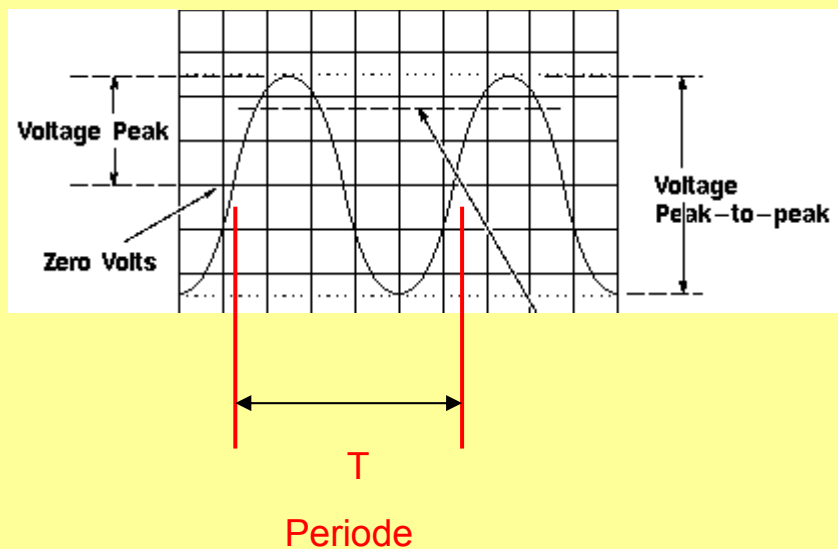
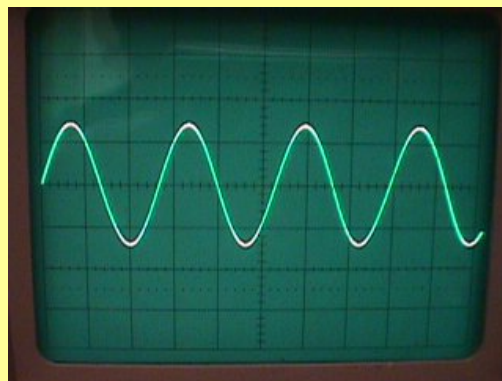
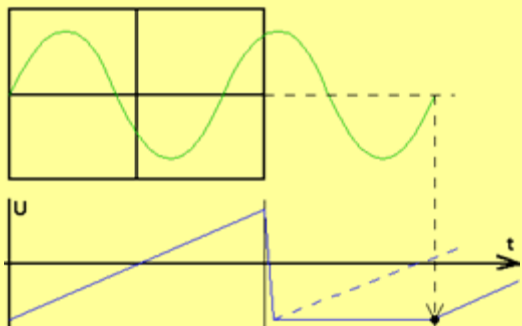
Die Elektronen werden nach links oder rechts abgelenkt.

Y. Y-Platten für die Spannungsmessung (Vertikale Ablenkung)

Die Elektronen werden nach oben oder unten abgelenkt.

Triggerung

Um bei der Messung, mit einem Oszilloskop, ein **stehendes Bild** zu erhalten, muss das zu messende Signal richtig getriggert werden. **Triggern bedeutet Auslösen**. Der Zeitablenkgenerator wartet nach einem Darstellungsdurchgang bis das Meßsignal wieder gleichen Pegel und gleiche Richtung hat. Erst dann wird erneut **getriggert/ausgelöst** und das Signal erneut dargestellt.



Beispiel:

vertikale Skala: 0.5 V/cm, horizontale Skala: 10ms/cm

- Wie hoch ist die Spitze-Spitze Spannung ?
- Was ist die Signalfrequenz „f“ ?

$$f = (T)^{-1} \rightarrow ((2,6 \text{ cm})(10\text{ms}))^{-1} = 38,46 \text{ Hz}$$

Beeinflussung der Messung durch die Messinstrumente - Spannungsmessung

Innenwiderstand einer Spannungsquelle

Bisher haben wir angenommen, dass eine Spannungsquelle immer eine ganz bestimmte Spannung U liefert - z.B. eine Flachbatterie 4,5V.

Nach dem Ohmschen Gesetz gilt $I = U/R$.

Würde man nun R immer kleiner werden lassen, so würde der Strom I immer größer werden (wenn die Spannung U konstant ist). **Würde der Widerstand unendlich klein werden, würde der Strom unendlich groß werden.**

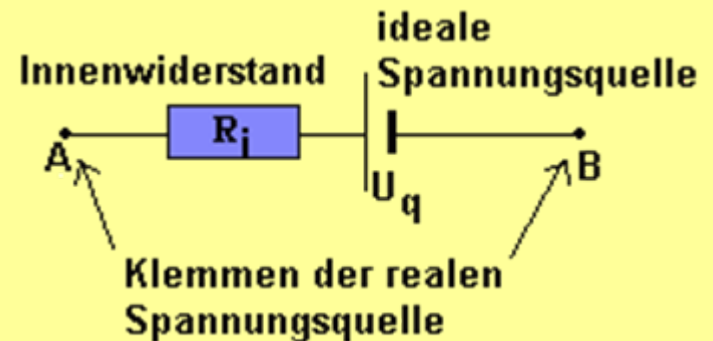
Das widerspricht aber den Beobachtungen: Jede Batterie und die meisten Spannungsquellen zeigen einen deutlichen Spannungsabfall, wenn ein oder mehrere Verbraucher z.B. Lämpchen, Motor.. eingeschaltet werden.

Schließt man z.B. ein 4,5V/2W Lämpchen an eine Flachbatterie so sinkt die Spannung etwa von 4,5V auf 4,3V. **WARUM ?**

Bisher haben wir nämlich nicht beachtet, dass Spannungsquellen auch einen inneren Widerstand haben. **Jede (reale) Spannungsquelle besitzt einen Innenwiderstand R_i .**

Man kann sich die reale Batterie als eine Serienschaltung aus einer idealen, also sehr konstanten Spannungsquelle mit einer **Quellenspannung U_q** und einem Widerstand, **Innenwiderstand R_i** , vorstellen.

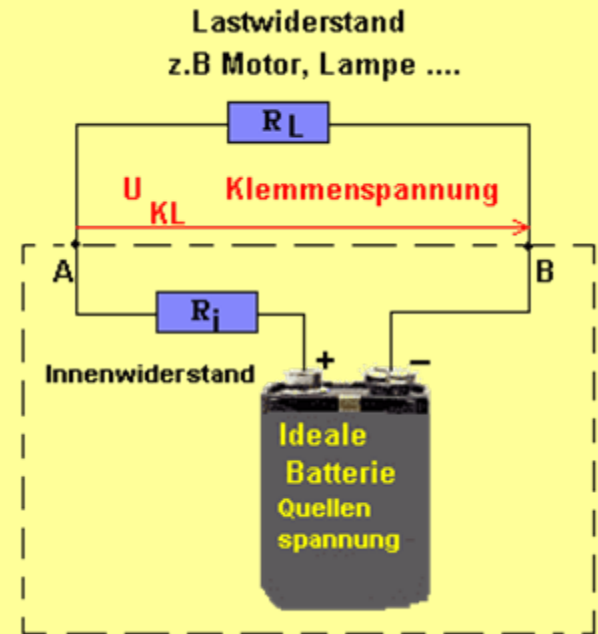
Es ist natürlich nicht wirklich ein Widerstand eingebaut, das ist nur eine schematische Zeichnung, ein **"Ersatzschaltbild"**,



Die **Quellenspannung** U_q bleibt konstant d. h. sie ist unabhängig vom Strom I .

Die strichlierte Umrandung stellt die reale Batterie dar. Die Spannungsquelle mit dem Innenwiderstand R_i und der Quellenspannung U_q wird nun durch den Lastwiderstand R_L (Verbraucher) belastet.

→ An dem Lastwiderstand R_L fällt nicht die ganze Quellenspannung ab. An die Klemmen A und B wird nur die Klemmenspannung U_{KL} geliefert, weil ein Teil von U_q am Innenwiderstand R_i der Batterie abfällt.



$$U_{KL} = U_q - U_i$$

$$U_{KL} = U_q - I \cdot R_i$$

$$I = \frac{U_q}{R_i + R_L}$$

$$U_{KL} = U_q \cdot \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

$$I_K = \frac{U_q}{R_i} \quad \text{für } R_L = 0$$

Leerlaufspannung

Die Spannungsquelle ist nicht belastet (Leerlauf):

- ▶ wenn der Lastwiderstand unendlich groß ist,
- ▶ wenn also der Stromkreis offen ist,
- ▶ wenn im äußeren Kreis kein Strom fließt

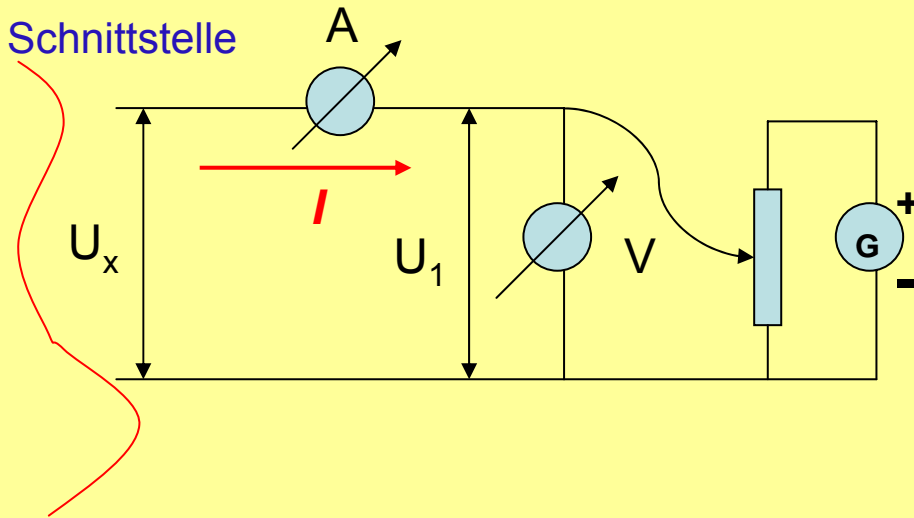
Dann liefert die Spannungsquelle maximal mögliche Spannung, die sog. Leerlaufspannung

Kurzschlussstrom

Wird der äußere Widerstand $R_L = 0$, so herrscht ein Kurzschluss und es fließt der Kurzschlussstrom I_K

Selbst wenn man die Batterie kurzschließt, steigt der Strom nie über den maximalen Wert, den Kurzschlussstrom I_K an. Der Kurzschlussstrom wird also vom Innenwiderstand begrenzt.

Kompensationsspannungsmessung (nach Poggendorf)



Falls $I = 0 \rightarrow$
„Leerlaufspannung“ $\rightarrow U_x = U_1$

Besonders günstig bei
Messung von sehr kleinen
Spannungen

Messung der Stromstärke

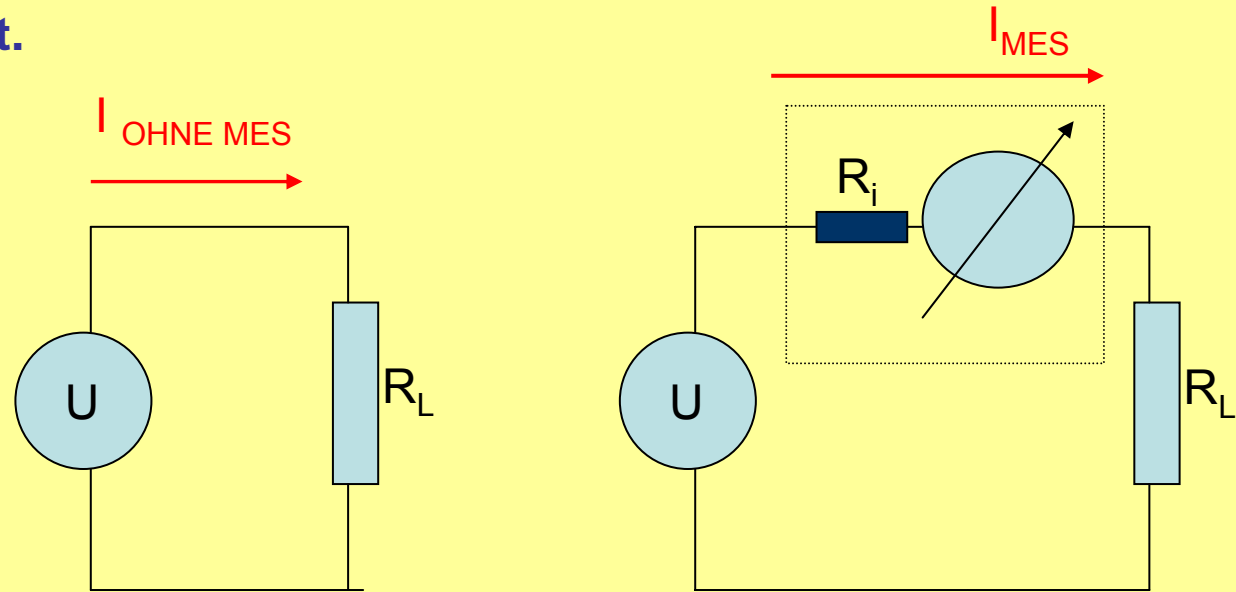
Die Strommessung soll die gemessene Größe nur vernachlässigbar beeinflussen:

1. Innenwiderstand eines A-Meters \rightarrow Null
2. A-Meter immer in SERIE schalten
3. Weil $R_i \neq 0$ muss er bei genauen Messungen berücksichtigt werden und zwar im Vergleich mit dem Verbraucher R .

Um die Größe des Stromes zu messen wird das A-meter im Stromkreis eingebaut.

Jetzt wird der Strom durch R_i und R_L bestimmt.

$$I_{MES} = \frac{U}{R_i + R_L} = I_{OHNE\ MES} \left(\frac{R_L}{R_i + R_L} \right) \quad (Gl.1)$$



Strommessung:

wichtig dass $R_i \ll R_L$, dh. dass Klammerausdruck in Gl.1 $\Rightarrow 1$.

Spannungsmessung:

wichtig dass $R_i \gg R_L$, dh. *de facto* kein Strom fließt durch V-Meter

Seebeckeffekt (Thermoelektrische Effekte)

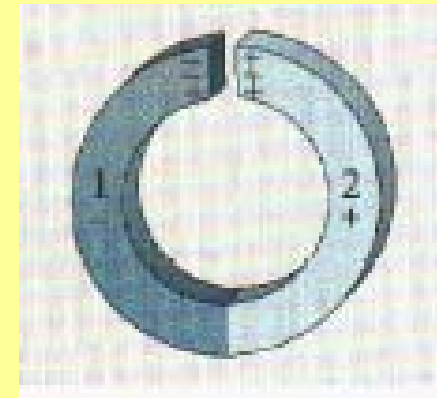
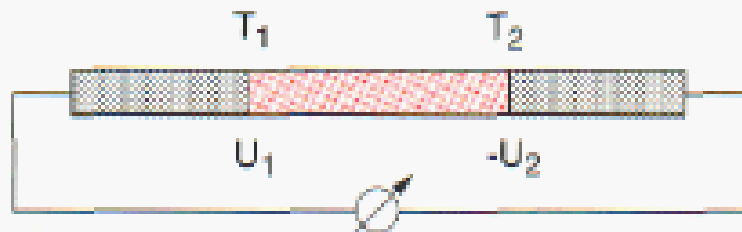
Zur Erzeugung von elektrischem Strom durch Erwärmung von Stoffen läßt sich die Temperaturabhängigkeit von Kontaktspannungen zwischen zwei verschiedenen Metallen ausnutzen.

Haben zwei Kontakte in diesem geschlossenen Kreis unterschiedliche Temperaturen, so sind die Beträge der temperaturabhängigen Kontaktspannungen

$$U_1 = \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \quad U_2 = -\frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}$$

verschieden, da das Verhältnis n_1/n_2 im wesentlichen durch die unterschiedlichen Austrittsarbeiten der Metalle und nur in zweiter Linie durch die Temperatur bestimmt ist. Es entsteht daher eine *Thermospannung*

$$U_{\text{th}} = \frac{k}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \cdot (T_1 - T_2) = a \cdot \Delta T$$



Kontaktspannung

Man kann diese Thermospannung zur Temperaturmessung verwenden → Thermoelement

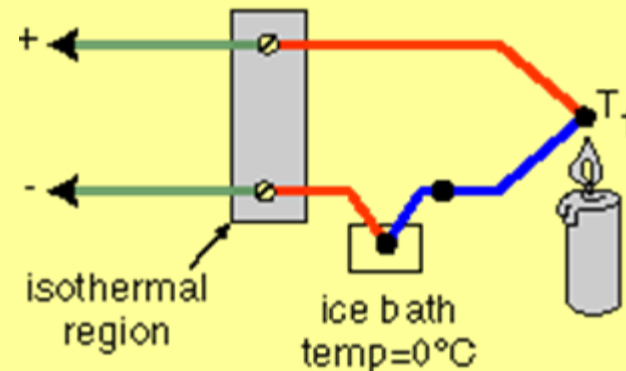
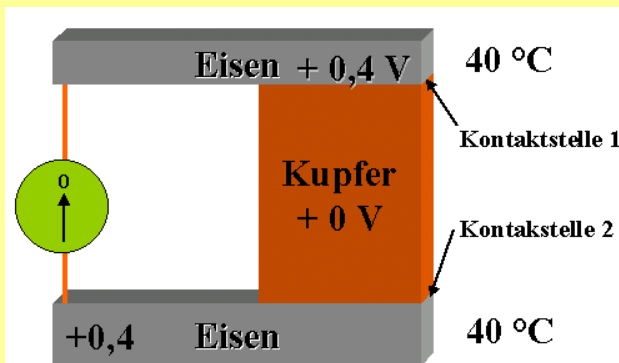
Was passiert wenn man statt des Galvanometers z.B. eine Batterie einsetzt ?

Elektrische Erfassung nichtelektrischer Größen: Thermoelement

Thermoelemente messen Temperaturen im Bereich -200°C bis 1600°C . Sie basieren auf der Thermospannung, wenn die Verbindungsstelle zweier verschiedener Metalle auf einer höheren oder tieferen Temperatur als die Umgebungstemperatur liegt. Es findet eine Ladungstrennung nach dem Seebeck-Effekt statt. Es entsteht eine Gleichspannungsquelle. Die Spannung nennt man *Thermospannung*.

An Kontaktstellen zweier homogener Metalle (oder Halbleiter) entsteht eine elektrische Spannung (die so genannte Thermospannung), wenn die Kontakte unterschiedliche Temperaturen haben.

Bei geschlossenem Stromkreis fließt infolge des Temperaturunterschiedes ein elektrischer Strom (der so genannte Thermostrom).



Ein Thermoelement-Paar, bei dem die beiden Kontaktstellen die gleiche Temperatur besitzen:
Spannungsdifferenzen kompensieren sich: $U_{\text{th}} = 0$

Thermoelemente sind standardisiert – hier einige gängige Typen von TE:

Typ T: Kupfer / Kupfer-Nickel [40mV/K] (-200°C bis +600°C)

Typ J: Eisen / Kupfer-Nickel [51mV/K] (-200°C bis +800°C)

Typ K: Nickel-Chrom / Nickel [40mV/K] (0°C bis 1200°C)

Typ S: Platin10-Rhodium / Platin [7mV/K] (0°C bis 1600°C)

Vorteile:

hohe Genauigkeit, kleine Abmessungen

einfache Herstellung

weiter Temperaturbereich, kleine Trägheit

unabhängig von der Drahtgeometrie

kleine Trägheit ohne Verlust an Empfindlichkeit

Leitungswiderstände spielen kaum eine Rolle

Nachteile:

kleine Spannungen

nichtlineare Kennlinie

aufwendige Kompensation

Widerstandsthermometer (von - 200 °C bis + 1000 °C)

Besonders gut zur Temperaturmessung eignen

sich jene Leiter, welche ihren Widerstand

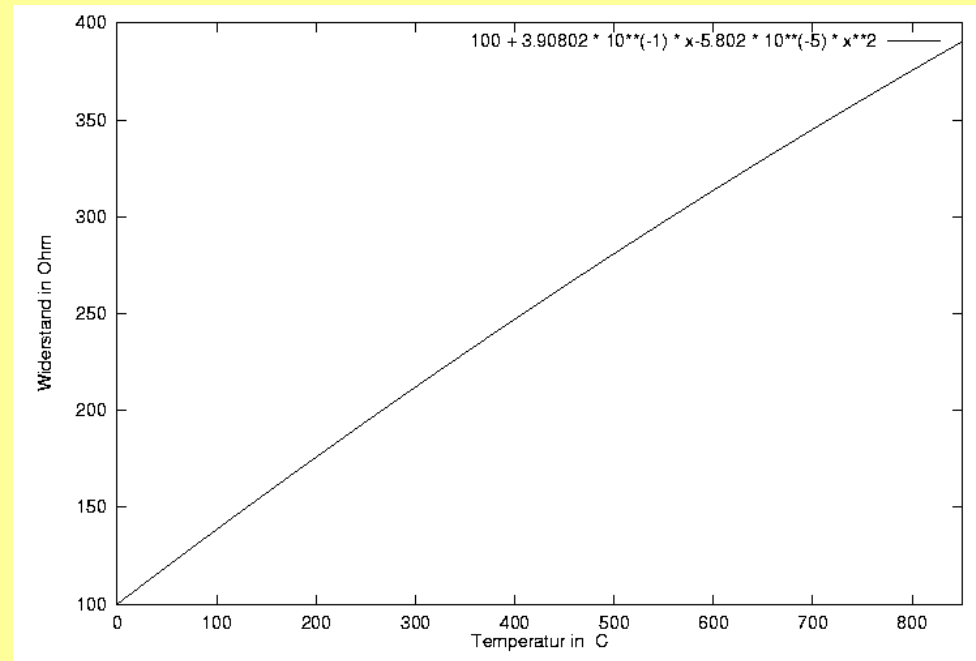
möglichst linear mit der Temperatur ändern.

Zum Beispiel Platin (Pt) oder Nickel (Ni).

Pt100: Was heißt Pt100?

Pt steht für das Material - Platin. 100 steht für den

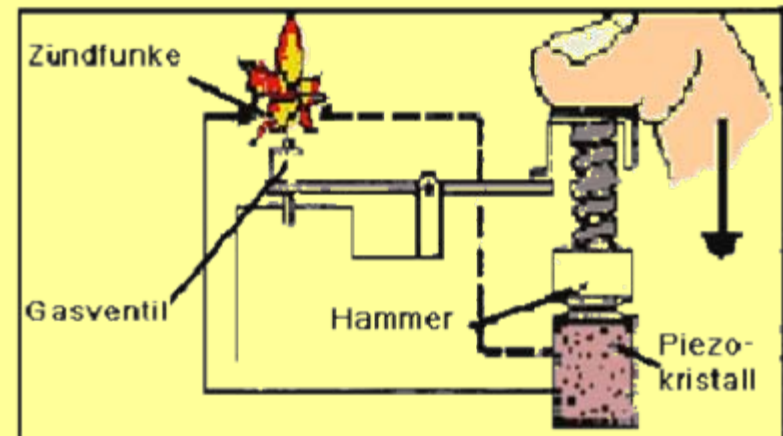
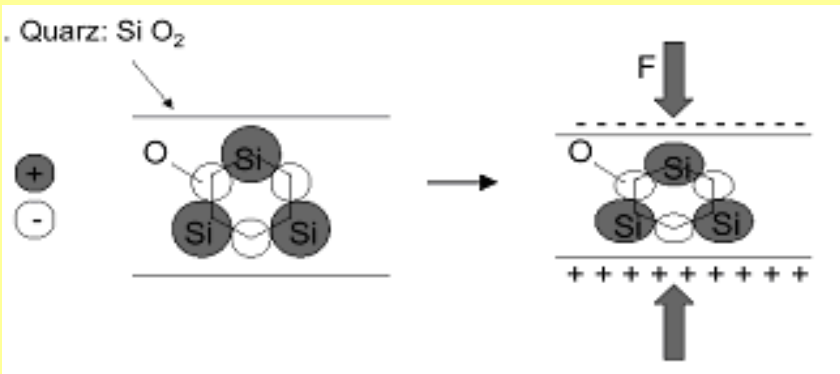
Widerstandswert in Ohm bei 0°C .

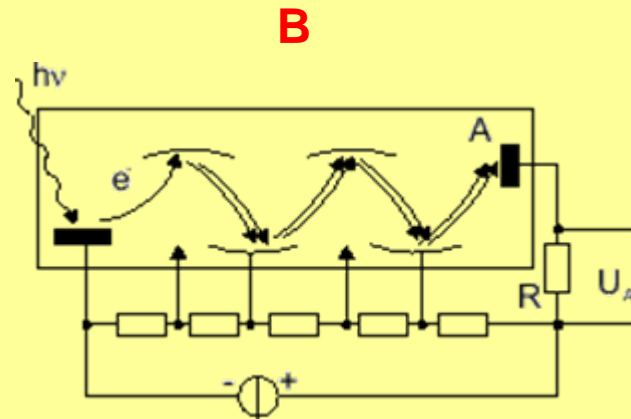
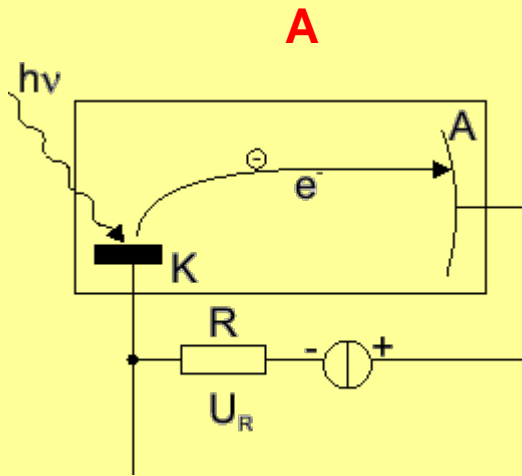


Druckmessung

Beim **Piezelektrischen Effekt** entsteht bei Ausübung von **Druck** auf einen besonderen **Kristall** eine **elektrische Spannung**. Die umgekehrte Erscheinung, eine Geometrieänderung bei Anlegen einer elektrischer Spannung wird als inverser piezelektrischer Effekt bezeichnet.

Der Piezelektrische Effekt lässt sich wie folgt erklären: Wird makroskopisch auf einen Kristall Druck ausgeübt, führt dies mikroskopisch zu einer Dipolbildung innerhalb einer **Elementarzelle**. Die Aufsummierung über alle Elementarzellen des Kristalls führt zu einer makroskopisch messbaren elektrischen **Spannung**. Entsprechend führt beim inversen piezelektrischen Effekt eine äussere Spannung auf mikroskopischer Ebene zu einer Änderung der Gitterkonstanten der Elementarzellen, die sich wiederum zu einer **messbaren Längenänderung** addieren.



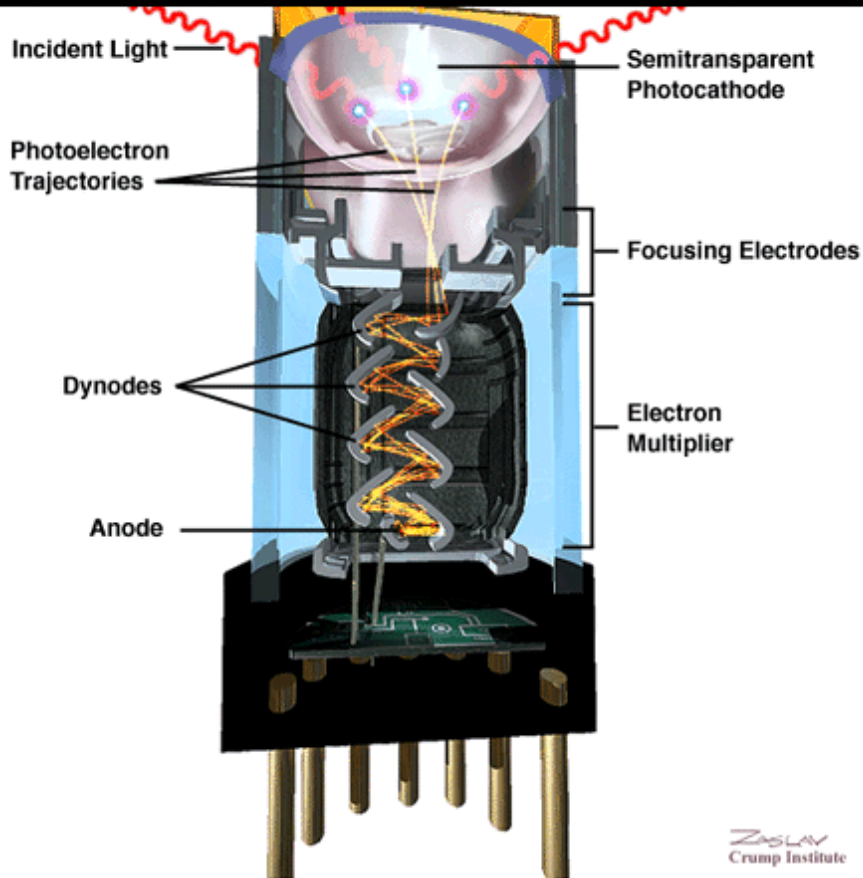


(A). Aufbau einer Photozelle. Die durch das Licht aus der Photokathode K herausgelösten **Elektronen werden** durch die Spannung zur Anode hin **beschleunigt**. Der entstehende Strom wird als Spannungsabfall über dem Widerstand R gemessen.

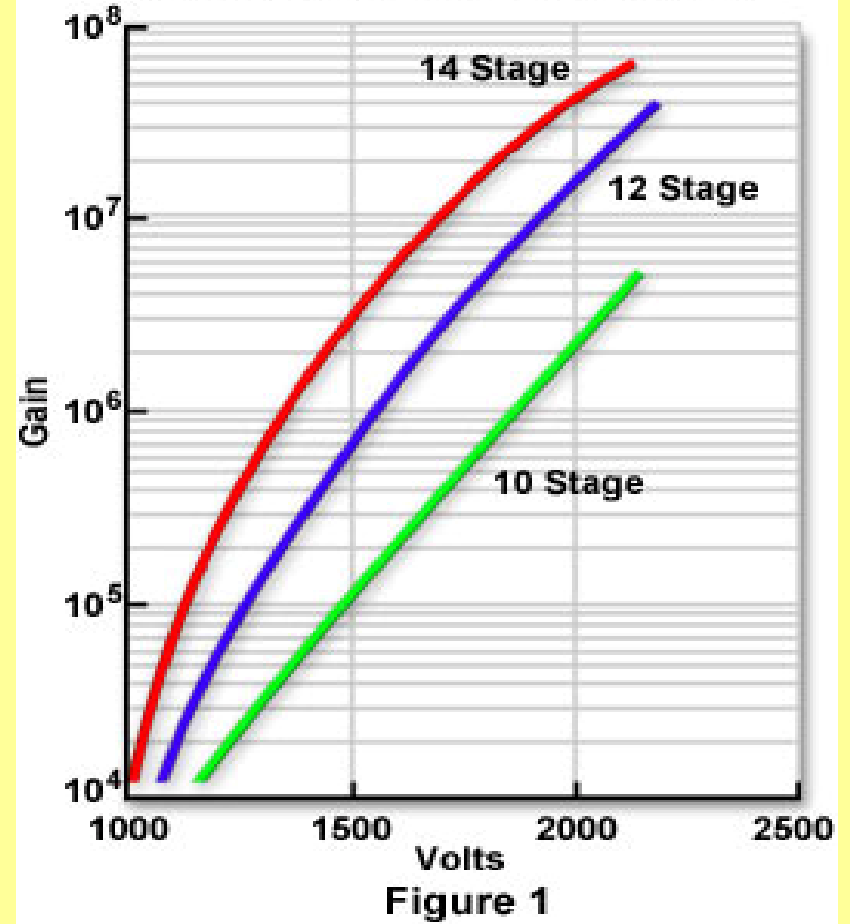
Die Spektrale Empfindlichkeit hängt vom verwendeten Kathodenmaterial ab. Im Durchschnitt werden für jedes absorbierte **Photon etwa 0.1 Elektronen** emittiert. Um einen Strom von 1 pA zu bekommen, müssen also Photonen absorbiert werden, was bei einer Photonenenergie von 2 eV ($W=q \cdot U$) einer Lichtleistung von **20 pW** entspricht. Da es schwierig ist kleinere Ströme zu messen, ist die die **praktische Grenze der Empfindlichkeit**.

Um auch einzelne Photonen detektieren zu können verwendet man **Photovervielfacher (B)**. Dabei werden die emittierten Photoelektronen über eine Spannung von etwa 100 - 500 V beschleunigt und auf eine Zwischenelektrode geschickt. Ihre kinetische Energie bewirkt, dass viele Elektronen, für jedes eintreffende Elektron freigesetzt werden (bei 10 Stufen würden für jedes Photon etwa 600000 Elektronen erzeugt).

The Photomultiplier Tube

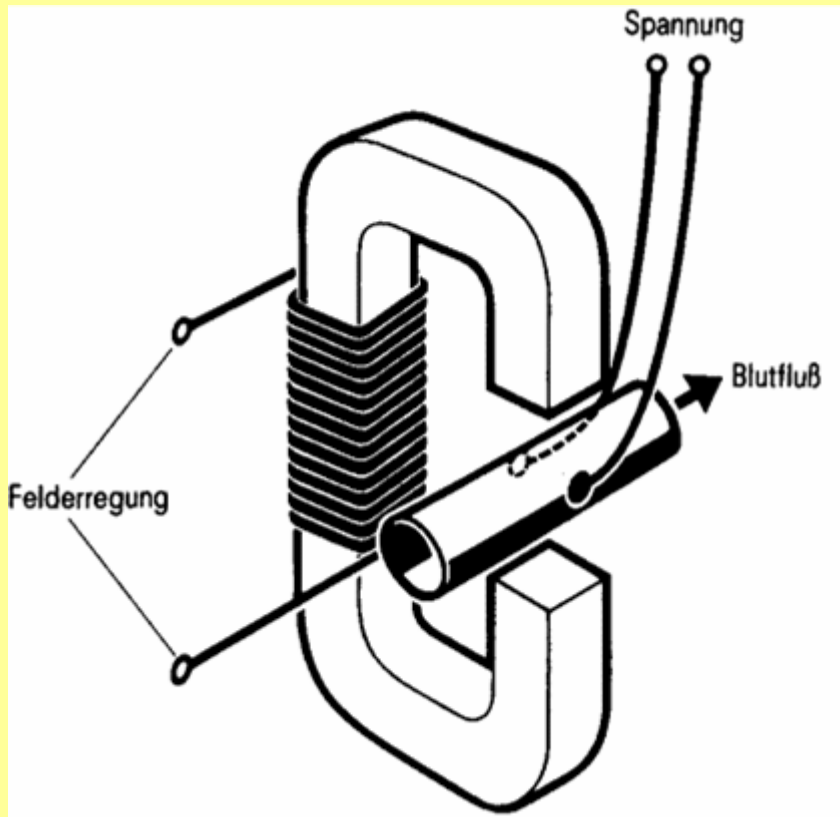


Dynode Number vs PMT Gain



Elektromagnetische Blutflußmessung (invasive Messung)

Mit dieser elektromagnetischen Methode kann der Blutfluss in operativ freigelegten Gefäßen bis hinab zu 1 mm Durchmesser ermittelt werden. Das Prinzip der elektromagnetischen Blutfluss messung basiert auf der Wechselwirkung zwischen bewegten Ladungen mit dem Magnetfeld. Dabei werden die Ionen: Na^+ (150 mMol/l) und Cl^- (120mMol/l), welche sich im Blut befinden und sich mit der zu messenden **Geschwindigkeit v** fortbewegen, durch ein **homogenes Magnetfeld B** abgelenkt.



$$F = evB; \quad E = vB$$

$$U = Ed = vBd$$

$$v = \frac{0.3mV}{0.1Tesla \cdot 0.01m} = 0.3 \frac{m}{s}$$

Es tritt eine Trennung der Ladungen und eine Anhäufung der Ionen im Randbereich einer Arterie. Dies führt zum Aufbau des E-Feldes und somit einer Potentialdifferenz U . Das B Feld muss umgepolt werden (140Hz) damit die äußeren (unbewegten) Ionen die Potentialdifferenz nicht ausgleichen.

Stromwirkung auf Lebewesen und Schutzmaßnahmen

Menschlicher Körper – besteht aus Muskel-, Binde-, Knorpel-, Knochen-, Nervengewebe. Das sind Zellverbände: Membranen, Zytoplasma, Zellkern, etc. Wesentlicher Bestandteil (ca.70%) ist Wasser mit darin gelösten Stoffen und dissoziierten Ionen → **Elektrolyt**.

Bei **Stromfluß im Körper**: Ionenverschiebung – Fehlfunktionen, Membranzerstörung (z.B. durch eine Entmischung von Na⁺ und Cl⁻ Ionen → **Zellnekrose**

Mittlere Leitfähigkeit $\sigma = 0.3 (\Omega\text{m})^{-1}$, mittlerer **spez. Widerstand** $\rho = 3 \Omega\text{m}$, wobei unterschiedliche Gewebearten unterschiedliche Leitfähigkeit besitzen.

Hautleitfähigkeit ist etwa 10-mal größer als von Muskelgewebe.

Fließt der elektrische Strom durch den Körper: Wärme- und chemische Wirkungen.

Wärmewirkung:

Leistung: $P = U \cdot I$; erzeugte Joulesche Wärme: $Q = U \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = (U^2/R) \cdot t$

Elektrischer Widerstand (gerechnet für ein Zylinder):

mit $R = \rho \frac{l}{A}$ → *Strom – Wärmewirkung Q/t :*

$$\frac{Q}{t} = P = I^2 \cdot \rho \frac{l}{A} = \rho \cdot I^2 \cdot \frac{l \cdot A}{A^2} = \frac{\rho \cdot I^2}{A^2} \cdot \text{Vol}$$

Stromwärmewirkung ist proportional zum Volumen des Körpers

Beispiel –

Hand-Hand Widerstand:

„Leiterlänge“ = 1.8m, Durchmesser = 8 cm →

$$R=(1.8\text{m})\cdot(3\Omega\text{m})/(5\cdot 10^{-3}\text{m}^2)=1080\ \Omega$$

Der Mensch hat kein Sinnesorgan für eine berührungslose Wahrnehmung von Strom, daher ist der Strom sehr gefährlich.

A. In unserem Körper veranlaßt der **elektrische** Steuermechanismus sämtliche Bewegungen, z.B.:

- Herzschlag
- auch andere Muskeln werden über *elektrische Reize* gesteuert –
→ Fortpflanzung über die Nervenbahnen.
- die auftretenden Spannungen sind in der Größenordnung von ca. 100mV.

B.

Der zweite Aspekt betrifft den Körper in seiner Gesamtheit, der von außen wie ein elektrischer Widerstand wirkt. Das Problem beim „System Mensch“ besteht nun darin, dass für den geordneten **Ablauf körpergeignete elektrische** Signale sorgen, die **gegen äußeren Einflüsse** so gut wie gar **nicht geschützt** sind.

Legt man an den Mensch eine Spannung, fließt zwischen den Punkten ein Strom – dieser hat aber stärkere Auswirkungen wie die vom Körper **selbst erzeugten Steuerimpulse**.

In dem Moment werden die Gliedmaßen zu spontanen, **unkontrollierten Bewegungen** angeregt. Ursachen dafür sind **Verkrampfungen** der Muskulatur.

Es wird aber erst problematisch, sollten sich die Verkrampfungen so auswirken, das man den Kontakt zur Spannung nicht unterbrechen kann.

Bei längeren Verkrampfungen, kann dies zu schweren Schäden oder zum Tod führen.

Der elektrische Strom verursacht beim Fließen durch den menschlichen Körper **physiologische und physikalische Wirkung.**

Physiologische Wirkungen :

Muskelkontraktion
(Muskelverkrampfung)
Nervenerschütterung
Blutdrucksteigerung
Herzkammerflimmern
Herzstillstand

Physikalische Wirkung:

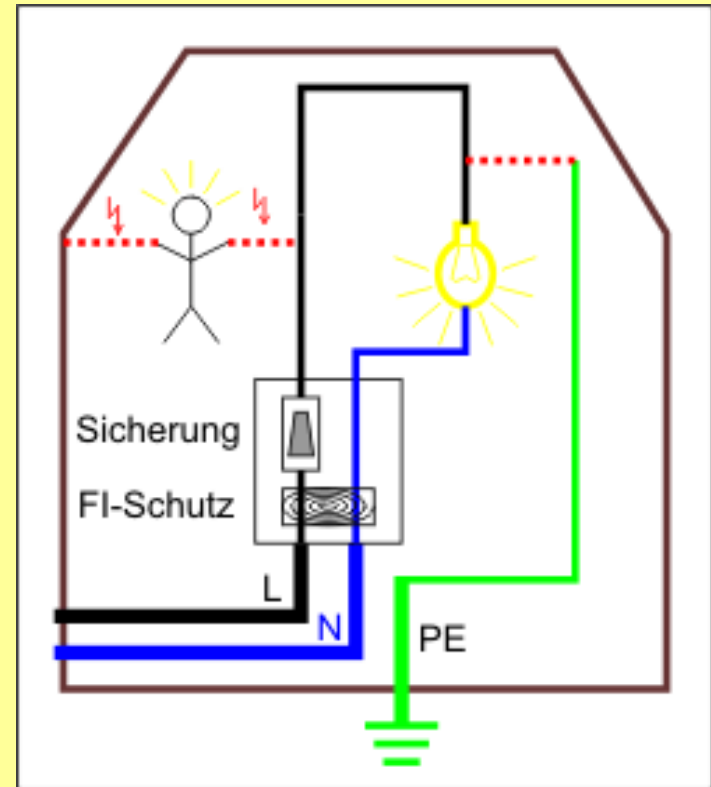
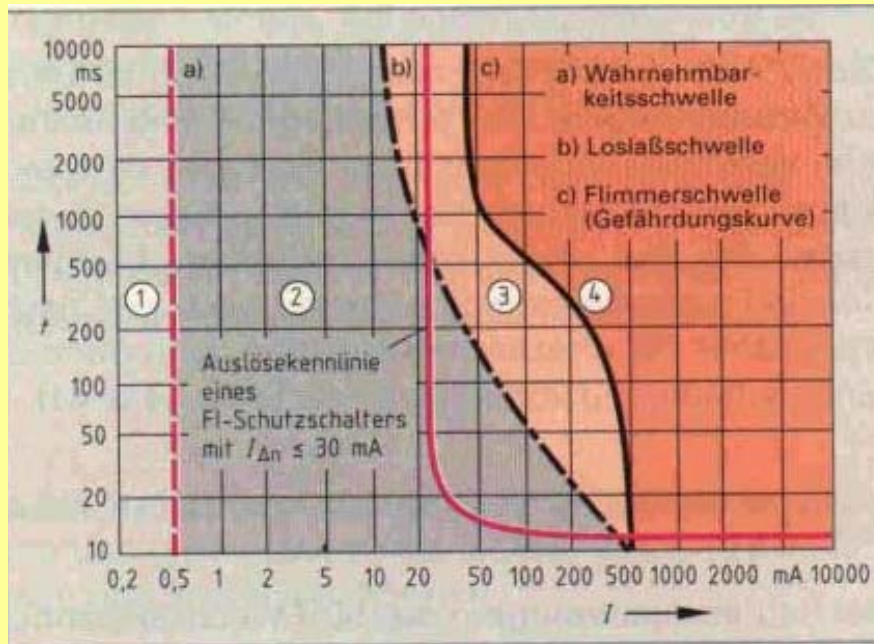
Blendung bei Lichtbogen
Verbrennung bei Lichtbogen
Flüssigkeitsverluste, Verkochungen
Strommarken an der
Stromeintrittsstelle
Innere Verbrennungen

0,006 mA	Wahrnehmbarkeit mit der Zunge
2,0 mA	Wahrnehmbarkeit mit den Fingern
13 mA	Muskelverkrampfungen
30 mA	Verkrampfung der Atemmuskulatur
120 mA	Herzkammerflimmern, wenn die
	Einwirkungszeit länger als 1,5s ist

Stromweg	Körperwiderstand Ω
Hand - Hand oder Hand - Fuß	1000
Hände - Füße	500
Hand - Brust	450
Hände - Brust	230
Hand - Gesäß	550

Bei **Wechselspannung** ist der **Effektive Wert von etwa 40V** zulässig, während der **Maximalwert für Gleichspannung bei etwa 100V** liegt. Der Widerstand und damit **Stromfluß** kann durch den Körperbau (dick, dünn, groß, klein, schwache oder starke Gelenke) und Hautbeschaffenheit (dick, dünn, feucht) beeinflusst werden.

Wirkungszonen von Wechselstrom (50 Hz) auf Erwachsene



Schutzmöglichkeiten:

1. Schutz gegen Berühren (Isolation)
2. Schutzerdung (Gehäuse → Potentialdifferenz = 0)
3. Fehlerstromschutzschaltung (FI)- beruht auf der Überwachung der Summe alle zu- und abfließenden Ströme. Stimmt die „Bilanz“ nicht wird die Stromzufuhr unterbrochen. Dabei werden die Induktionsspannungen in einem „**Summentransformator**“ verglichen.

Man liest immer wieder in der Zeitung von Unfällen im Zusammenhang mit der Anwendung des elektrischen Stromes, ohne genau zu wissen, wann elektrischer Strom eigentlich gefährlich ist.

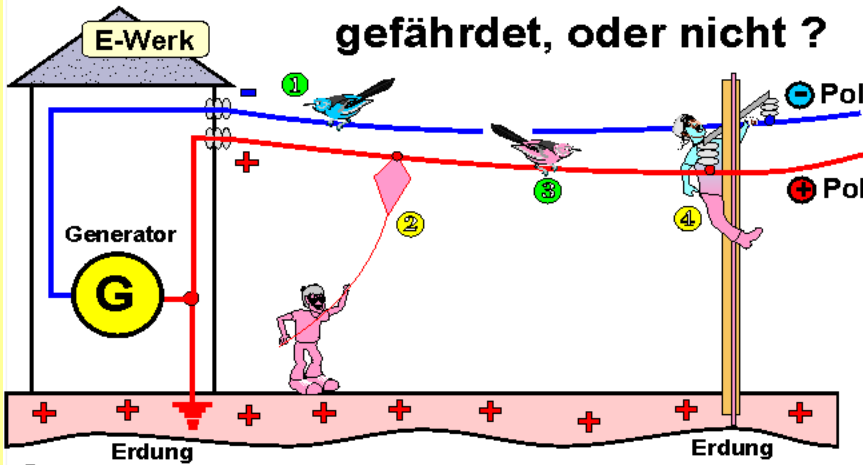


gefährliche Spannung:

Elektrische Experimente mit Batterien (1,5V, ... 9V) gelten im allgemeinen ungefährlich.

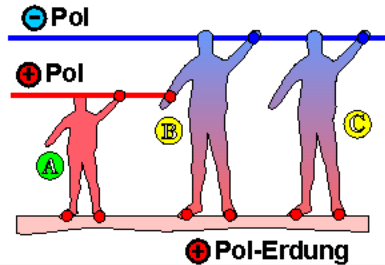
Spannungen über 42 Volt gelten als gefährlich !

Haushaltsgeräte arbeiten bei 230V und teils innerhalb des Gerätes mit mehreren 1000 Volt (z.B. Fernsehgeräte)



- 1 _____
- 2 _____
- 3 _____
- 4 _____

- A _____
- B _____
- C _____



Man liest immer wieder in der Zeitung von Unfällen im Zusammenhang mit der Anwendung des elektrischen Stromes, ohne genau zu wissen, wann elektrischer Strom eigentlich gefährlich ist.

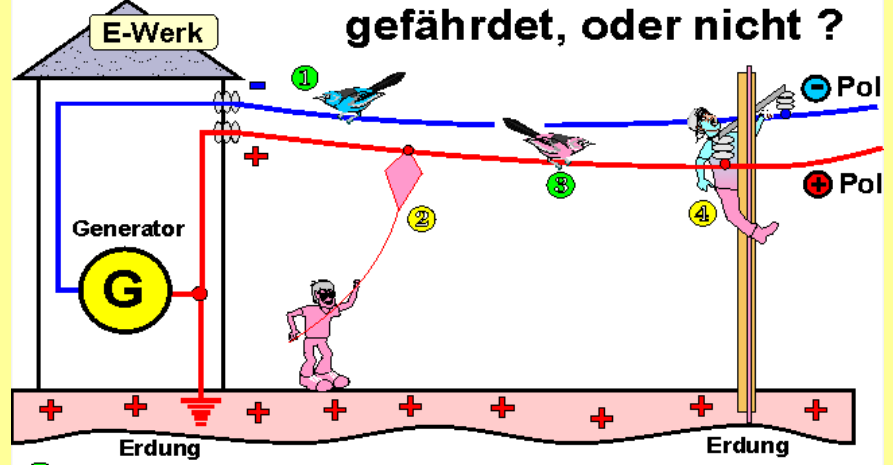


gefährliche Spannung:

Elektrische Experimente mit Batterien (1,5V, ... 9V) gelten im allgemeinen ungefährlich.

Spannungen über 42 Volt gelten als gefährlich !

Haushaltsgeräte arbeiten bei 230V und teils innerhalb des Gerätes mit mehreren 1000 Volt (z.B. Fernsehgeräte)



- 1 Für Vogel 1 besteht **keine Gefahr**. Er hat **nur** mit dem **Minuspole** Verbindung.
- 2 **Ist gefährlich, sobald** der Drachen an den **Minuspole** gelangt.
- 3 Für Vogel 2 besteht **keine Gefahr**. Er hat nur mit dem **Pluspole** Verbindung.
- 4 Der Kletterer steht unter **Lebensgefahr**. Er hat mit **beiden Polen** Verbindung.

- A **Keine Gefahr**, Person hat **nur** mit dem **+Pol** Verbindung.
- B **Lebensgefahr / Körperschluss** (Verbindung mit **+Pol** und **-Pol**).
- C **Lebensgefahr / Körperschluss** (Verbindung mit **+Pol** und **-Pol**).

