

Elektrotechnik Grundlagen



Was ist „Strom“?

- Ein Analogieansatz zur Selbsthilfe

Was ist und was kann „Elektrotechnik“?

- Physik und Netzwerkanalyse

Das Ohmsche Gesetz

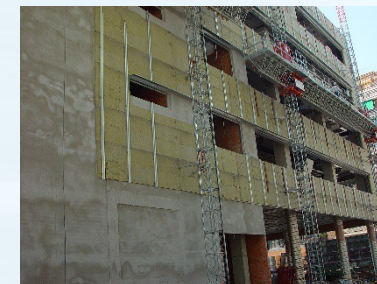
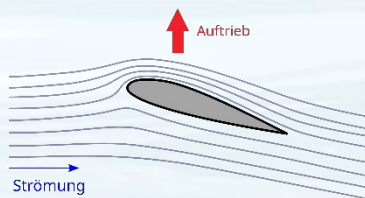
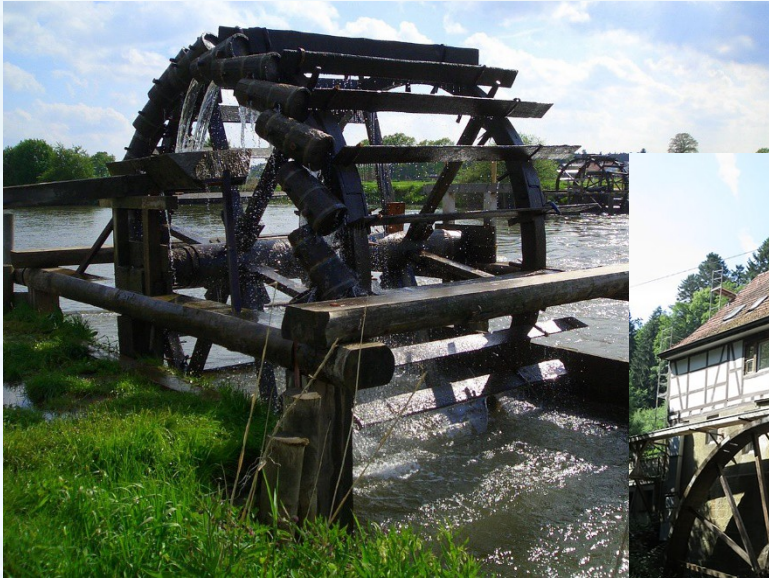
- Definition und Anwendung

Messtechnik

- Strom, Spannung und Widerstand

Was ist „Strom“?

- Der Strom muss fließen! Es gibt Wärmestrom, Luftströmung, Amazonas Strom, Lorenz Strom, Besucherstrom ...



- Die klassische Physik ist „vereinheitlicht“: ähnliche Prozesse sind mit vergleichbaren Ausdrücken beschrieben

(Bildquelle: Wikipedia)

Was ist „Strom“? (Fortsetzung)

- Die elektrischen Grundgrößen analog zu Wasser

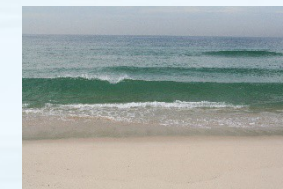
Elektrizität	Wasser	Visualisierung	
Strom (-stärke) I in Ampere: SI-Def.: fließende Elementarladungen e [As] /s; Bsp.: Elektron	Strömung , Abdrift- Kraft durch Durchfluss z.B. in m^3 pro s – „mit den Strom schwimmen“	 	Der Strom
Spannung U in Volt: Potenzialdifferenz Rampe für e-Ladungen SI-Def.: Schub für 1 A aus e pro s	Wasserfall : Höhe , Gefälle, Hangabtrieb oder „Druck“ in Meter; Bsp.: „Wassertropfen“	  	Fällt die Potentialstufe bzw. Spannung runter
Elektrische Leistung : SI-Def.: Leistung [Watt] = = Spannung U · Strom I [VA = W]	Mechanik : Mühlenrad $W = [kg \cdot m/s^2 \cdot m / s] =$ = Leistung = Kraft · Weg / Zeit	  	Auf das Mühlenrad
...	$\underbrace{\hspace{10em}}$ Die elektrische Leistung ist analog zur mechanischen Leistung.	Kraft [N] = Masse m [kg] · Beschleunigung a [m/s^2]; bei Gewichtskraft: $a = g = 9,81 m/s^2$ N: Newton, J: Joule	Elektrische Energie <small>(Bildquelle: Wikipedia)</small>
	□ Energie = Arbeit [N · m = J]		

Was ist „Strom“? (Fortsetzung)

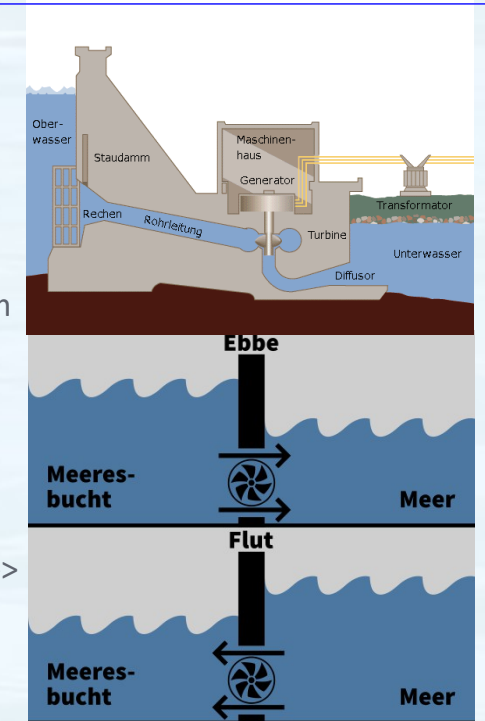
- Aus der Analogie mit Wasser kann man sich viel erschließen, z.B.:
 - Batterie (-kapazität) ist eine gefüllte Talsperre
 - Leistung / Energie aus Gleich- und Wechselstrom (siehe Bilder rechts)
 - Eine 240V Steckdose ist eine kleine, geschützte Meeresbucht, die 380 000V Überlandleitung entspricht Monsterwellen (Tsunamis), HGÜ (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung) den Niagarafällen
 - Isolierung = Flussufer oder Damm, Kurzschluss = Dammbbruch
 - Widerstand R ist eine Nivellierung oder Einschnürung des Flussbetts
 - ...



Talsperre -->
Batterie und Gleichstrom



Gezeitenkraftwerk -->
Wechselstromnetz



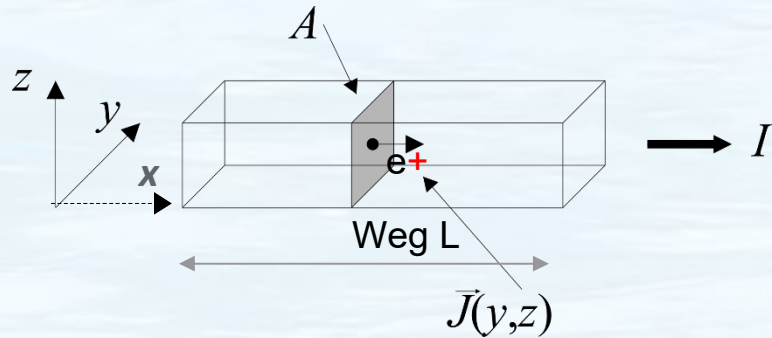
- Was man umgangssprachlich als “Strom” bezeichnet, nennt man besser „elektrische Energie“
 - Offizielle Definition: **Strom ist fließende Ladung**
 - 1 Ampere *entspricht* z.B. 6,2 Trillionen ($10^{18} = 1 \text{ Mrd.} \cdot 1 \text{ Mrd.}$) Elektronen pro Sekunde ($1 / \text{Elementarladung pro s} = 1 / 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ As pro s}$); 1 V läßt 1 A pro s fließen
 - **Spannung ist nur zwischen zwei Punkten (oder Niveaus) definiert** (so wie die Höhe eines Berges – über dem Meeresspiegel oder aus der Umgebung ragend)

Beinahe ein Kurzschluss!

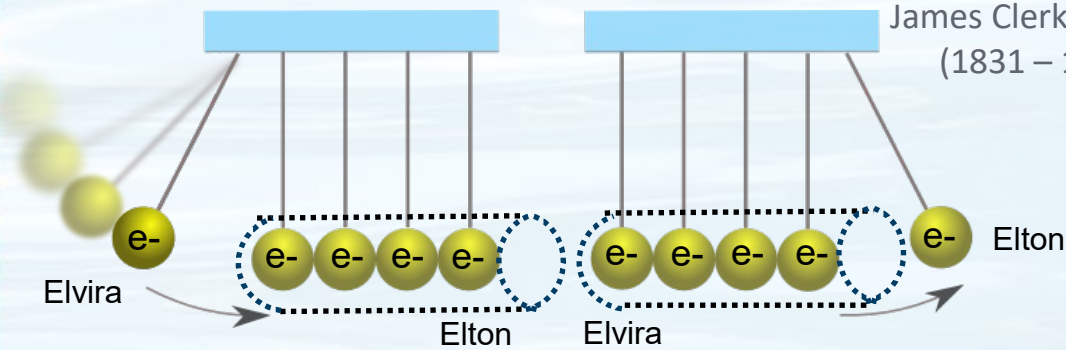


Was ist und was kann „Elektrotechnik“?

„Elektrotechnik“: Strom I fließt als elektrische *Ladung* durch einen Leiter



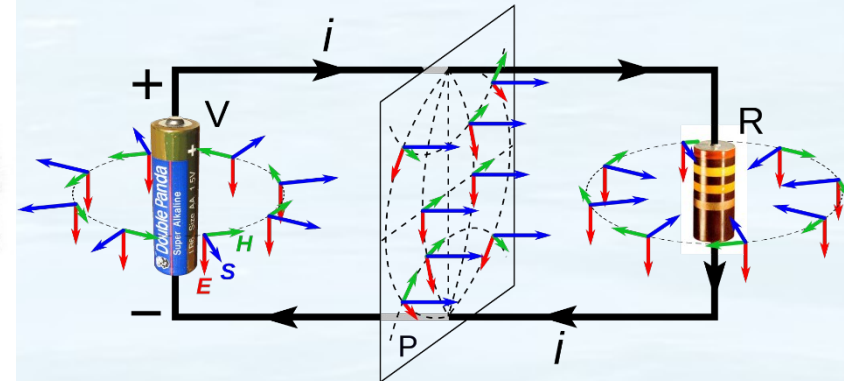
Statt Gedankenmodell „Elektrischer *Partikel*-Strom“ aus Elektronen besser Pipeline-Effekt:



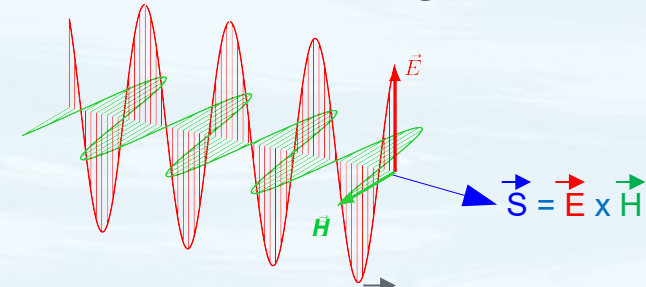
James Clerk Maxwell (1831 – 1879)

Kugelpendel: Elektrische Ladungen „schubsen“ sich fast lichtschnell durch ein Kabel wie Billardkugeln durch ein gefülltes Rohr

Physik: Elektrische Energie bewegt sich *lichtschnell* durchs Vakuum



Auch Funk und Licht sind elektro-magnetische Wellen aus Elektrischem Feld \vec{E} und magnetischem Feld \vec{H} .

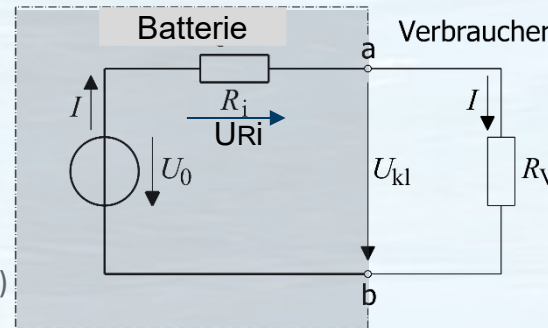
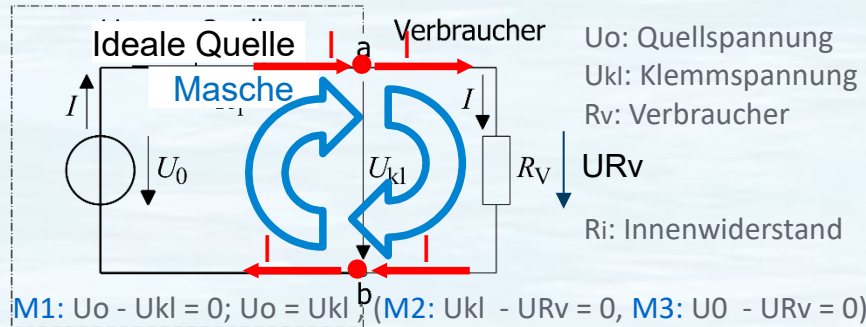


Energie „strahlt“ im Poynting-Vektor \vec{S} als Elektro-Magnetisches Feld von der Quelle zum Verbraucher und „lässt Strom i fließen“.

(Bildquelle: Wikipedia)

Was ist und was kann „Elektrotechnik“? (Fortsetzung)

- Die Elektrotechnik der Schaltpläne heißt **Netzwerkanalyse** und ist ein vereinfachter **Ersatz der Maxwell-Gleichungen**



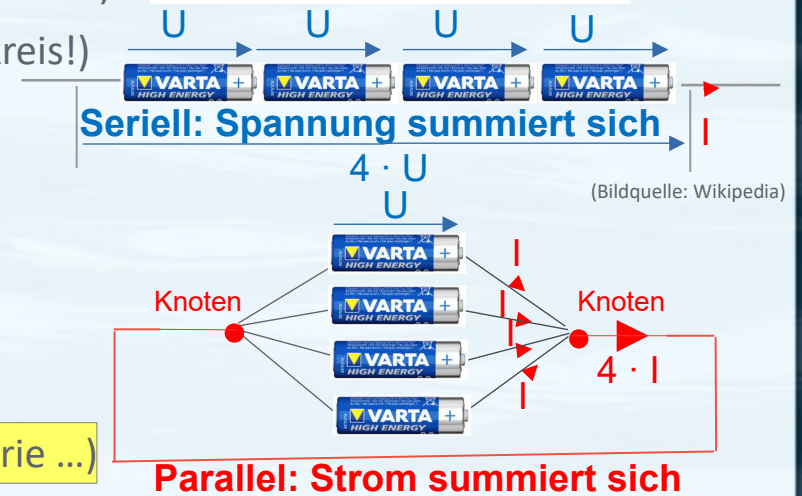
Maxwell-Gleichungen in SI-Einheiten	differentielle Form	verknüpfender Integralsatz	Integralfom
Physikalisches Gaußsches Gesetz Das \vec{D} -Feld ist ein Quellenfeld. Die Ladung (Ladungsdichte ρ) ist Quelle des elektrischen Feldes.	$\text{div } \vec{D} = \nabla \cdot \vec{D} = \rho$	Gauß	Der (elektrische) Fluss durch die geschlossene Oberfläche ∂V eines Volumens V ist direkt proportional zu der elektrischen Ladung in seinem Inneren. $\oint_{\partial V} \vec{D} \cdot d\vec{A} = \iiint_V \rho \, dV = Q(V)$
Quellenfreiheit des \vec{B}-Feldes Das \vec{B} -Feld ist quellenfrei. Es gibt keine magnetischen Monopole.	$\text{div } \vec{B} = \nabla \cdot \vec{B} = 0$	Gauß	Der magnetische Fluss durch die geschlossene Oberfläche eines Volumens ist gleich der magnetischen Ladung in seinem Inneren, nämlich Null, da es keine magnetischen Monopole gibt. $\oint_{\partial V} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
Induktionsgesetz Jede Änderung des \vec{B} -Feldes führt zu einem elektrischen Gegenfeld. Die Wirbel des elektrischen Feldes sind von der zeitlichen Änderung der magnetischen Flussdichte abhängig.	$\text{rot } \vec{E} = \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	Stokes	Die (elektrische) Zirkulation über der Randkurve ∂A einer Fläche A ist gleich der negativen zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses durch die Fläche A . $\oint_{\partial A} \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\iint_A \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$
Durchflutungsgesetz Die Wirbel des Magnetfeldes hängen von der Leitungsstromdichte \vec{j}_l und von der elektrischen Flussdichte \vec{D} ab. Die zeitliche Änderung von \vec{D} wird auch als Verschiebungsstromdichte \vec{j}_s bezeichnet und ergibt als Summe mit der Leitungsstromdichte die totale Stromdichte $\vec{j}_{\text{total}} = \vec{j}_l + \vec{j}_s$.	$\text{rot } \vec{H} = \nabla \times \vec{H} = \vec{j}_l + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$	Stokes	Die magnetische Zirkulation über der Randkurve ∂A einer Fläche A ist gleich der Summe aus dem Leitungsstrom und der zeitlichen Änderung des elektrischen Flusses durch die Fläche A . $\oint_{\partial A} \vec{H} \cdot d\vec{s} = \iint_A \vec{j}_l \cdot d\vec{A} + \iint_A \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot d\vec{A}$

- Grundsätze der **Netzwerkanalyse**

- Maschenregel:** Die Spannungen in einem Stromkreis addieren sich (i.d.R. zu Null)
- Knotenregel:** Was in den Knoten reinfließt, fließt auch wieder raus (Stromkreis!)

- Stillschweigende Vereinbarungen

- Knoten und Leitungen speichern nichts und verbrauchen nichts
- Alles im *eingeschwungenen Zustand* (Strom ist schon überall)
- Spannungsquellen sind „ideal“, d.h. stabil unter Last und $R_0 = 0$
- Für „Grenzsituationen“ gibt es Ersatzschaltbilder (z.B. Lange Leitung, Batterie ...)



Das Ohmsche Gesetz

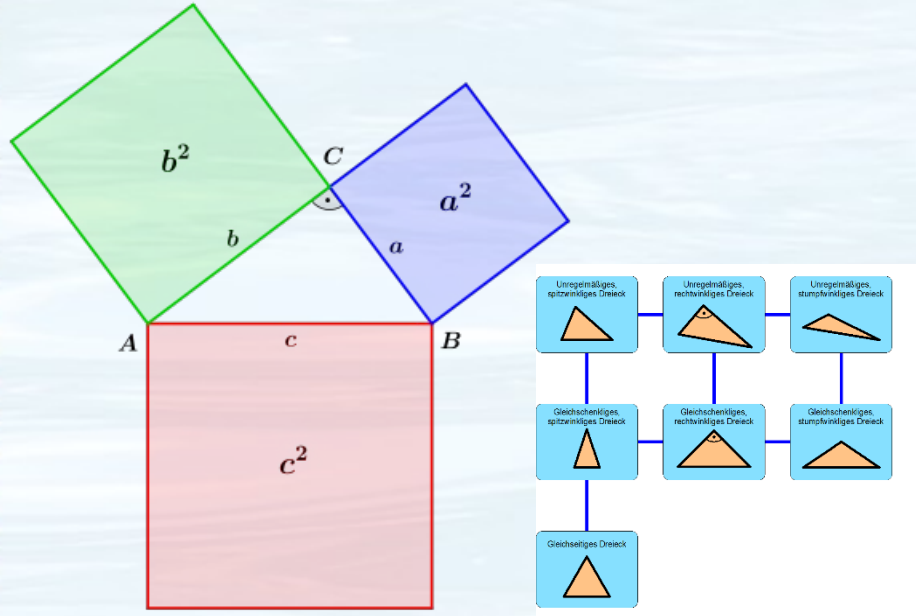
- Buchstabensalat:

Alles eine Frage der Definition!

- Vorsicht vor dem „gesunden Menschenverstand“!

$$\text{Arbeit} = \text{Kraft} \cdot \text{Weg} \cdot \cos \phi$$

$$a^2_{\text{epfel}} + b^2_{\text{irnen}} = c^2_{\text{itronen}}$$



Satz von Pythagoras

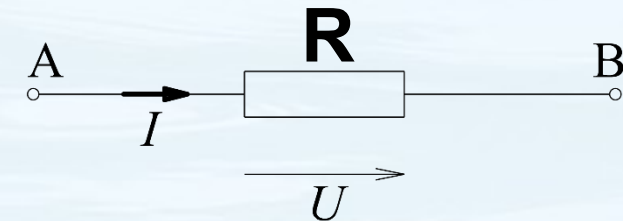
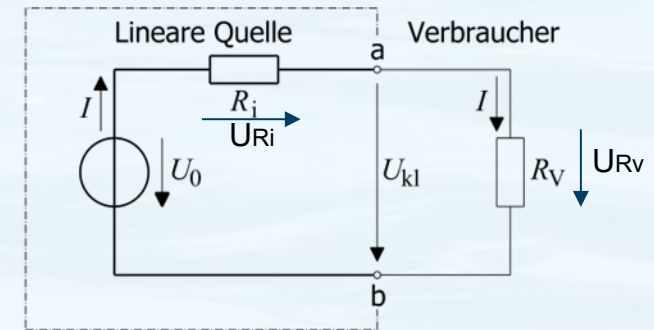


Arbeit?!



Goldene Regel der Mechanik (Galileo Galilei, 1564 – 1642)

$$U_{?} = R_{??} \cdot I_{???$$



Ohmsches Gesetz

(Bildquelle: Wikipedia)

Das Ohmsche Gesetz (Fortsetzung)

- Widerstand ist zwecklos:

„Die Stärke des durch ein Objekt fließenden elektrischen Stroms ist proportional der elektrischen Spannung.“
(Georg Simon Ohm, 1789 – 1854)

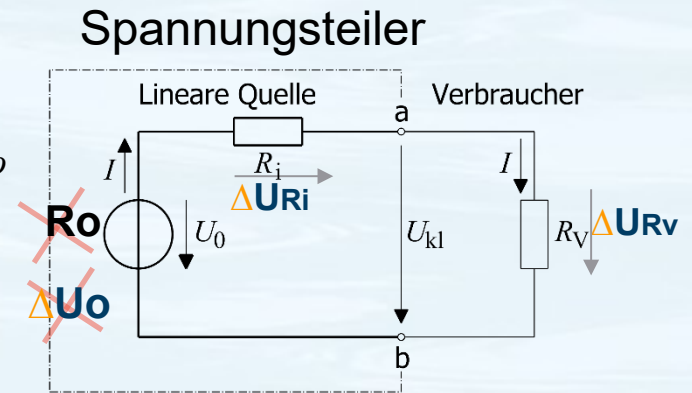
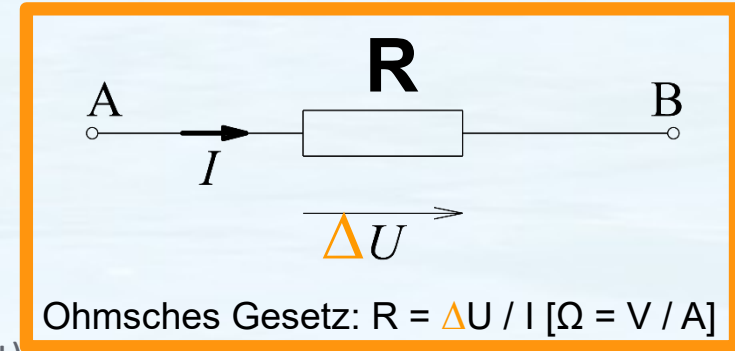
- Der Widerstand R ist der **Spannungsabfall ΔU** an einem Leiter geteilt durch den Durchfluss-Strom I

- In der Regel schreibt man das „ Δ “ nicht
- Nicht in einer (Parallel-)Schaltung messen (R wird unterschätzt)
- Ideale Spannungsquelle U_0 hat keinen Widerstand ($U_0 \neq \Delta U_0$)
- ΔU kann man in Abhängigkeit von U_0 ausdrücken:

$$\Delta U_{Rv} = U_{kl} = Rv \cdot I = Rv \frac{U_0}{Ri + Rv} = \frac{Rv}{Ri + Rv} U_0; \Delta U_{Ri} = \frac{Ri}{Ri + Rv} U_0$$

- Der Widerstand definiert sich durch den Stromfluss

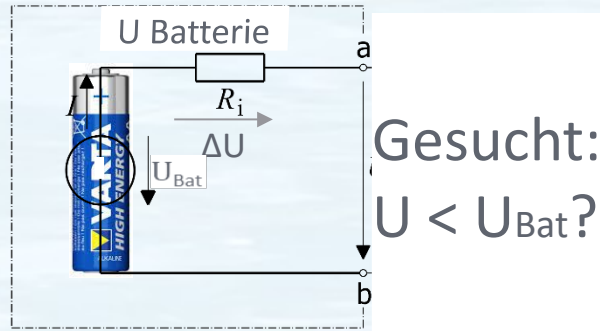
- Der Spannungsabfall ist einzig vom Durchflussstrom abhängig
- Das Spannungsniveau auf dem das stattfindet ist völlig egal



(Bildquelle: Wikipedia)

Das Ohmsche Gesetz (Fortsetzung)

Widerstände „fressen“ Spannung und Strom?



Gegeben:

Maschenregel: $U_{\text{Bat}} - U - \Delta U = 0$; $U = U_{\text{Bat}} - \Delta U$ ①

Ohm: $R = \Delta U / I$; $\Delta U = R \cdot I$ ②

Knotenregel: $I = I_{\text{bei a}} = I_{\text{bei b}}$ ③

Lösung:

Offener Stromkreis: $I_{\text{bei a}} = I_{\text{bei b}} = 0 \rightarrow$ ①' $I = 0$

\rightarrow ②' $\Delta U = R \cdot 0 = 0$

\rightarrow ③' $U = U_{\text{Bat}} - 0 \rightarrow \mathbf{U = U_{\text{Bat}}}$

Ohne Stromfluss ist R



- Nur bei Strom gibt es auch einen Widerstand

Beim offenen Stromkreis fällt die gesamte Betriebsspannung an der Unterbrechung ab



Höheres Spannungsniveau (U_0 , U_{Bat}) = erhöhter Widerstand?

- Das Spannungsniveau geht in den Spannungsabfall nicht ein: $R = \Delta U_R / I_R$
 - Wo immer die Sitzgarnitur auch steht, wenn man vom Tisch auf die Bank springt, das Δ , die Höhe (= Potenzial) ist immer gleich $(0,8\text{m} + 47\text{m} - (0,5\text{m} + 47\text{m})) = 0,8\text{m} - 0,5\text{m}$
 - Es ist egal auf welchem Spannungsniveau „Ohm“ stattfindet

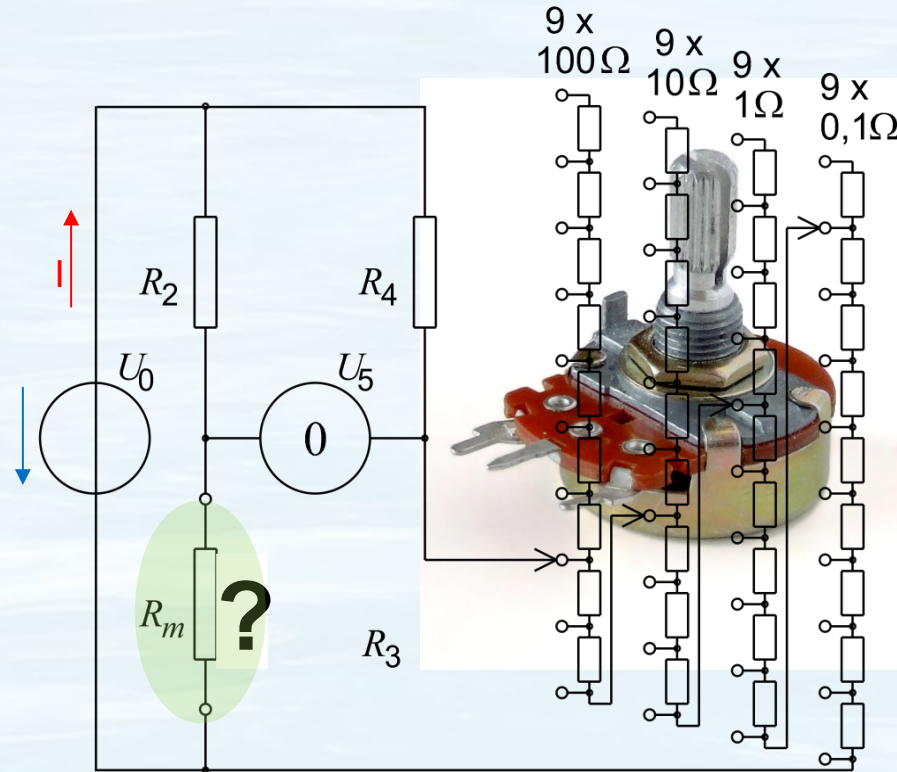
(Bildquelle: Wikipedia)

Messtechnik

- Wer misst, misst Mist!
 - Was will ich messen?
 - Mit was will/kann ich messen?
 - Was erwarte ich als Messwert?
- Wie misst man Widerstände?
 - **Durch Ausprobieren!**



Bei Längen ist es eigentlich auch nicht anders ;-)



Wheatstone Messbrücke mit Widerstandsdekade bzw. Potentiometer (einstellbarer Widerstand)

$$R_m = R_2 / R_4 \cdot R_3$$

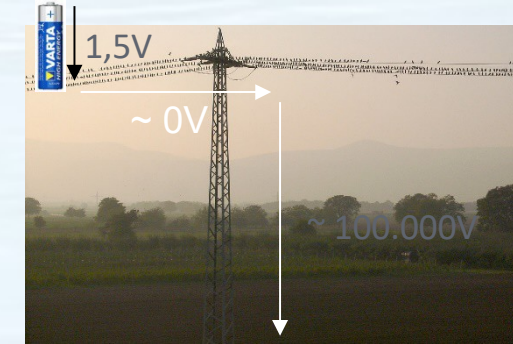
- R_m wird durch Ablesen ermittelt:
- 1) R_3 -Wert variieren
 - 2) Wenn $U_5 = 0 \text{ V}$ wird, dann
 - 3) R_3 -Wert ablesen
 - 4) R_m gegebenenfalls ausrechnen

(Bildquelle: Wikipedia)

Messtechnik (Fortsetzung)

Wir messen mit dem Multimeter

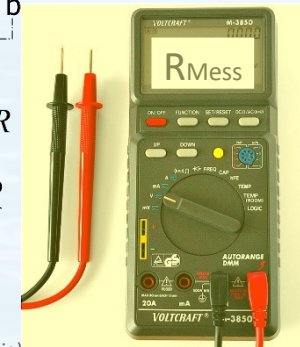
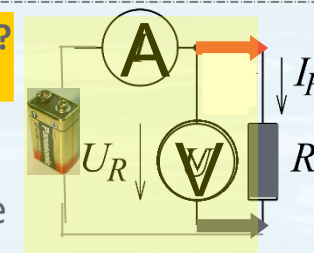
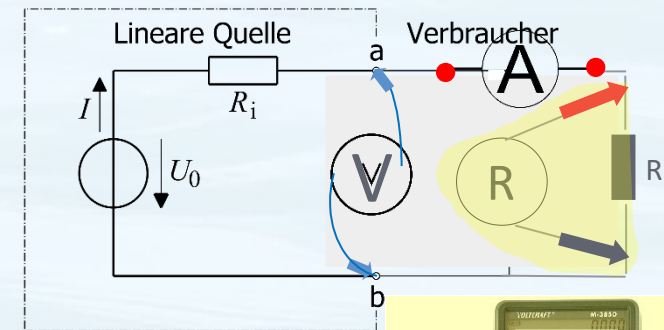
- Spannung *zwischen zwei Punkten* am Stromkreis mit Voltmeter (V, RV-meter = ∞)
 - Stromkreis muss für das Voltmeter nicht geöffnet werden (Messspitzen)
- Strom *im* Stromkreis mit Amperemeter (A, RA-meter = 0)
 - Stromkreis muss *geöffnet* und das Amperemeter eingefügt werden
- Widerstand am Stromkreis mit Ohmmeter (R) ?
 - (Stromloser) Stromkreis wird nicht geöffnet. **Aber messen wir „Ohms“?**



Widerstand wird meist indirekt gemessen

- Das Ohmmeter schickt Strom in das Messobjekt
 - Misst den Strom und den Spannungsabfall
 - Errechnet daraus $R = \Delta U / I$
- Es kann nicht zwischen dem Prüfling und Leitungsverlusten unterscheiden
 - Das Multimeter gibt bei der Widerstandsmessung die Summe aller Widerstände im Messkreis aus (kritisch bei kleinem R)

Errechnet: $R = ?$
 $R_{\text{Mess}} = U_R / I_R$

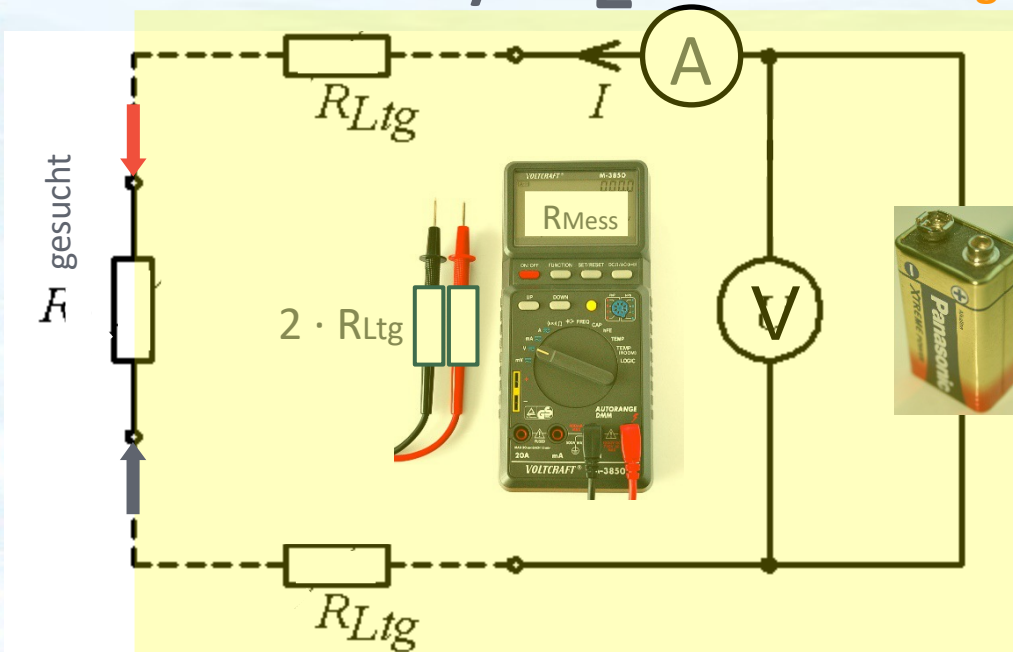


(Bildquelle: Wikipedia)

Messtechnik (Fortsetzung)

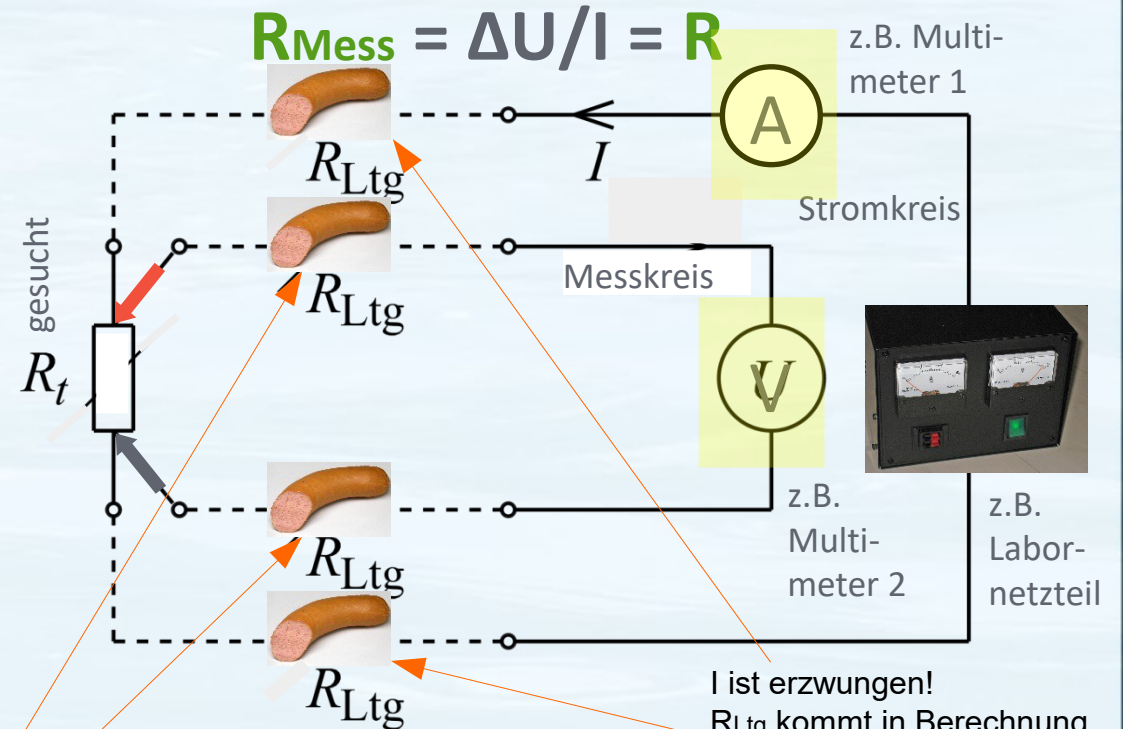
□ Wenn's genau sein muss

$$R_{\text{Mess}} = \Delta U / I = \sum R = R + 2R_{\text{Ltg}}$$



2-Leiter oder Zwei-Spitzen Messung:
Messkreis ist Teil des Stromkreises

$$R_{\text{Mess}} = \Delta U / I = R$$



Hier fließt kein Strom!
(RV-meter = ∞)

Vier-Leiter oder Vier-Leiter Messung:
Messkreis von Stromkreis getrennt

I ist erzwungen!
RLtg kommt in Berechnung
des Widerstands nicht vor

(Bildquelle: Wikipedia)

Ihr da Ohm, macht Watt ihr Volt!

Danke für die Aufmerksamkeit!

Noch Fragen?

→ info  preiss-walter.  de