



# **Grundlagen der ET (9)**

**Gerald Kupris**

**05.12.2012**

# Ausführungen von Messgeräten



Analogmultimeter

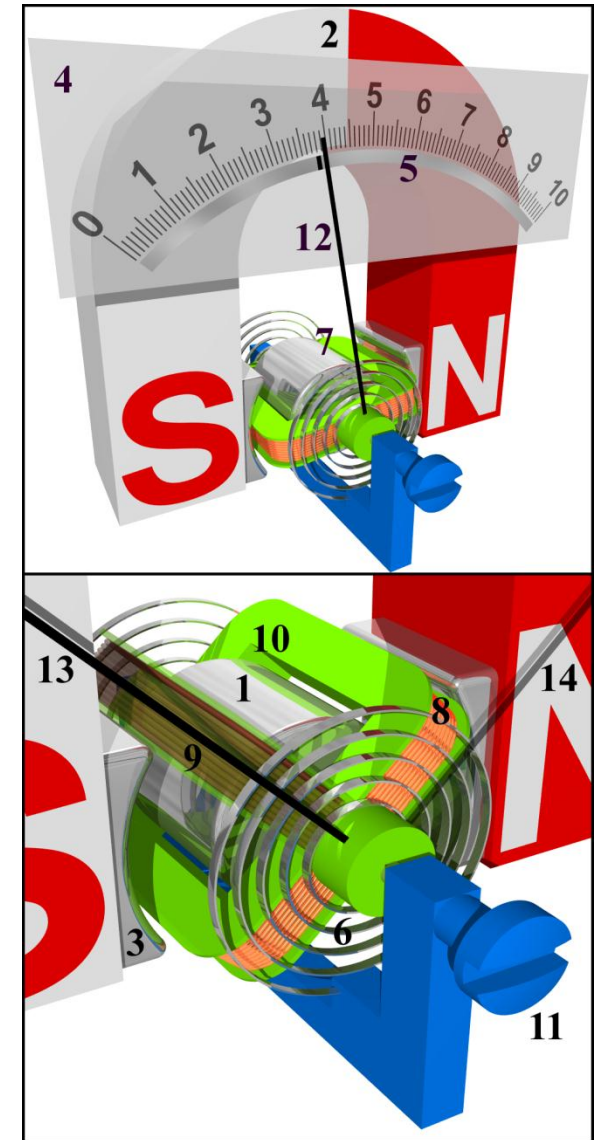


Digitalmultimeter

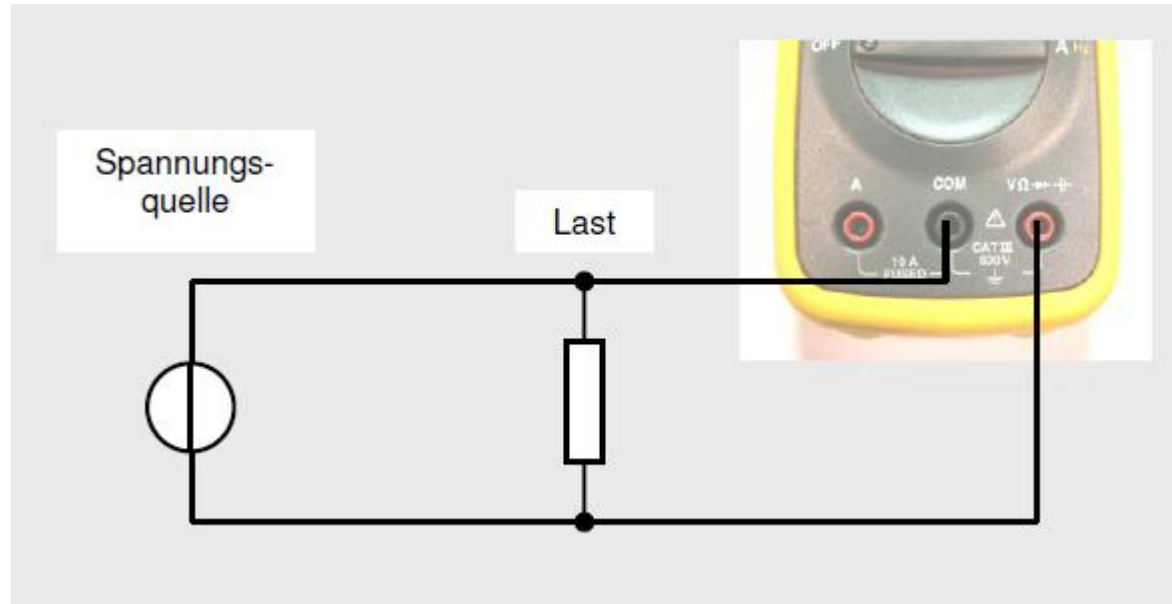
# Drehspulmesswerk

Funktionsprinzip eines Drehspulmesswerkes:

- (1) Weicheisenkern,
- (2) Permanentmagnet,
- (3) Polschuhe,
- (4) Skale,
- (5) Spiegelskale,
- (6) Rückstellfeder,
- (7) Drehspule,
- (8) Ruhelage,
- (9) Maximalausschlag,
- (10) Spulenkörper,
- (11) Justierschraube,
- (12) Zeiger,
- (13) Südpol,
- (14) Nordpol



# Spannungsmessung



Die Spannungsmessung ist immer **parallel** zum Verbraucher durchzuführen. Es wird die Spannung gemessen, die **an** einem Verbraucher anliegt.

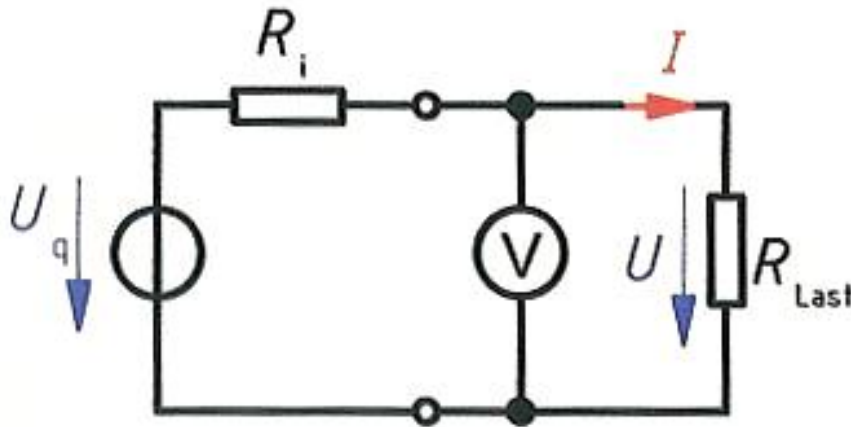
# Spannungsmessgerät

Ein Spannungsmessgerät (auch als Spannungsmesser bezeichnet) dient zur Messung elektrischer Spannungen.

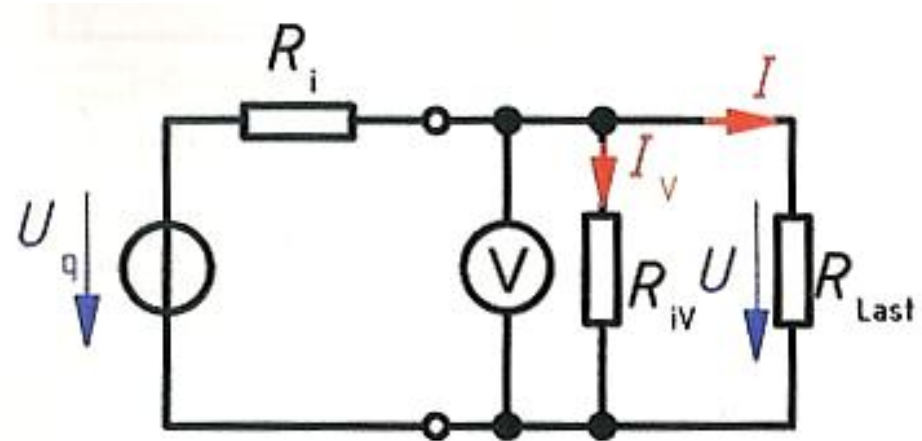
Bei der Messung wird die Messgröße in eine Anzeige ihres Vielfachen der Einheit Volt umgeformt. Das Spannungsmessgerät besteht aus dem eigentlichen Messwerk bzw. der Messelektronik und gegebenenfalls einem Vorwiderstand oder Spannungsteiler zur Anpassung des Messbereiches. Für Laboranwendungen gibt es umschaltbare Vielfachmessgeräte mit mehreren Messbereichen, die als Multimeter bezeichnet werden.

Bei den heute üblichen digitalen Spannungsmessgeräten wird die Spannung direkt in Ziffernform angezeigt. Die zu messende analoge Spannung wird **hochohmig** abgegriffen und mittels Analog-Digital-Umsetzer in ein digitales Signal umgesetzt, welches die numerische Anzeige steuert.

## Stromkreis mit eingeschaltetem Voltmeter



Schaltung

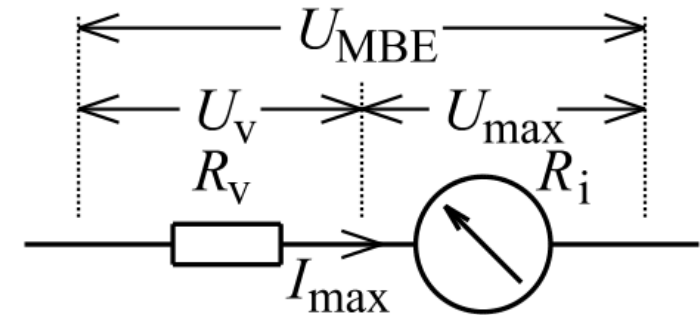


Ersatzschaltbild

Damit ein Voltmeter die Schaltung, in die es eingebracht wurde, nicht beeinflusst, darf es keinen zusätzlichen Stromfluss bewirken. Sein Innenwiderstand  $R_{iV}$  muss also möglichst groß sein. Das Modell des idealen Voltmeters hat den Innenwiderstand  $R_{iV} \rightarrow \infty$ . Elektronische Voltmeter mit einem Innenwiderstand von  $1\text{ M}\Omega$  bis  $10\text{ M}\Omega$  sind sehr preiswert realisierbar.

## Beispiel: Messbereichsanpassung Voltmeter

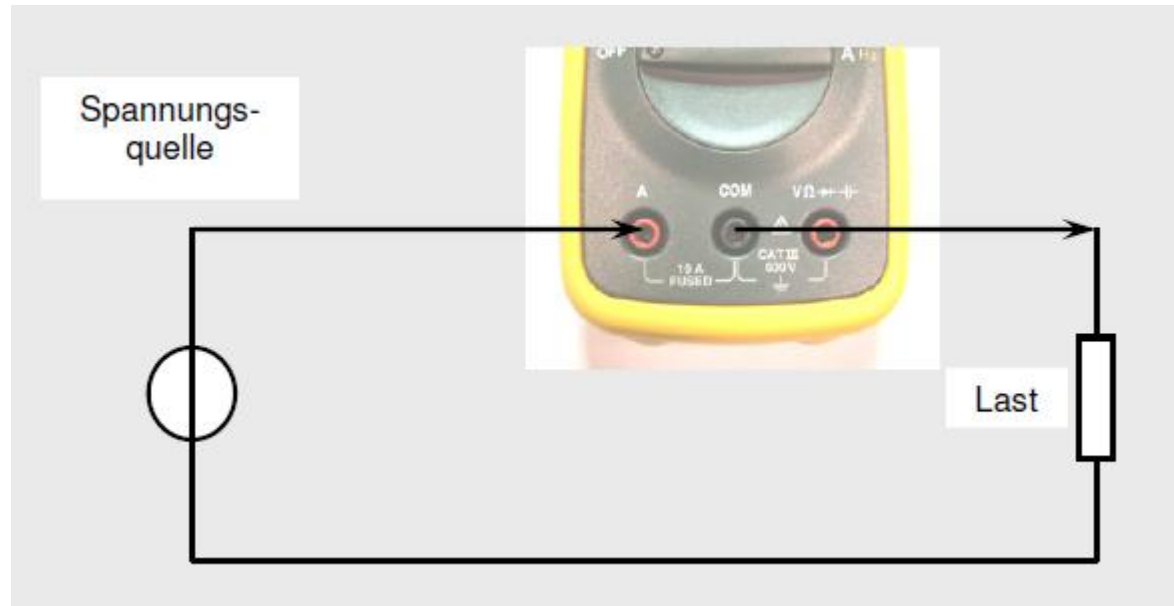
Um ein Drehspul-Spannungsmessgerät an den gewünschten Messbereich anzupassen, wird es mit einem geeigneten **Vorwiderstand**  $R_V$  **in Reihe** geschaltet.



Das Messwerk habe einen Innenwiderstand  $R_i = 750 \, \Omega$  und schlage beim Maximalstrom  $I_{max} = 200 \, \mu A$  bis zum Endwert der Skale aus. Es soll in einem Spannungsmessgerät für den Messbereich  $U_{MBE} = 10 \, V$  verwendet werden. Über dem Messwerk liegt bei Vollausschlag die Spannung  $U_{max} = R_i \cdot I_{max} = 750 \, \Omega \cdot 0,200 \, mA = 150 \, mV$ .

Es muss also  $U_V = 10,00 \, V - 0,15 \, V = 9,85 \, V$  am Vorwiderstand liegen. Da auch durch ihn der Strom von  $200 \, \mu A$  fließt, berechnet sich hieraus  $R_V = U_V / I_{max} = 9,85 \, V / 0,2 \, mA = 49,25 \, k\Omega$ . Der Gesamtwiderstand der Reihenschaltung (Innenwiderstand  $R_U$  des Messgerätes) beträgt dann  $R_U = R_V + R_i = 50,00 \, k\Omega$ .

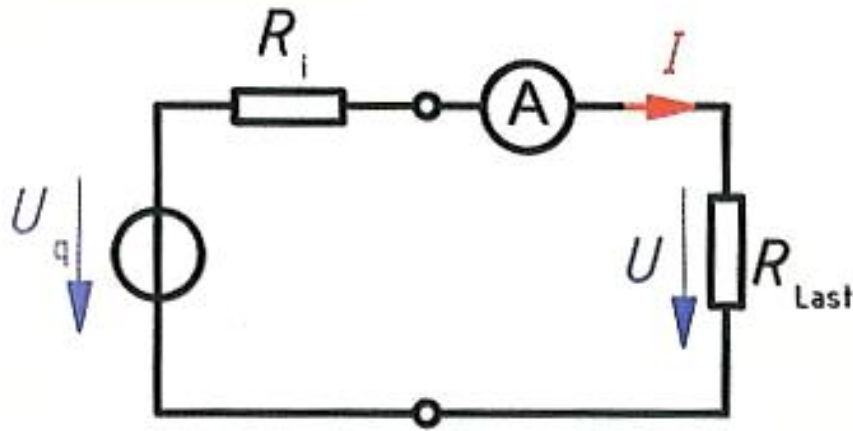
# Strommessung



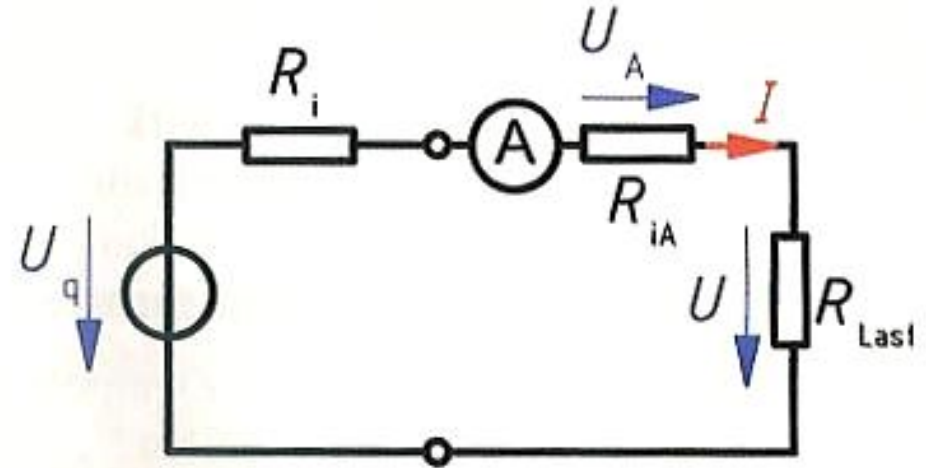
Die Strommessung ist immer **in Reihe** zum Verbraucher durchzuführen.  
Es wird immer der Strom gemessen, der **durch** einen Verbraucher fließt



# Stromkreis mit eingeschaltetem Amperemeter



Schaltung



Ersatzschaltbild

Damit ein Amperemeter den zu messenden Strom nicht beeinflusst, muss sein Innenwiderstand  $R_{iA}$  **vernachlässigbar klein** sein. Das Modell des idealen Amperemeters hat den Innenwiderstand  $R_{iA} = 0$ .

**Zur Messung des Stromes muss der Stromkreis aufgetrennt werden!**

# Strommessgerät

Bei der Messung wird die Messgröße in eine Anzeige ihres Vielfachen der Einheit Ampere umgeformt. Für Labor-, Service- und Feldeinsatz gibt es umschaltbare Vielfachmessgeräte mit mehreren Messbereichen, genannt Multimeter. Für industrielle Anwendungen gibt es anzeigelose Messeinrichtungen.

Das Messwerk hat einen Messbereichsendwert (meistens Vollausschlag auf der zugehörigen Skale) bei einer konstruktionsbedingt maximal zulässigen Stromstärke  $I_{\max}$ . Zugleich besitzt es einen Innenwiderstand  $R_i$ . Das bedeutet, wenn die maximale Stromstärke fließt, fällt eine maximale Spannung  $U_{\max}$  ab, die sich nach dem ohmschen Gesetz zu

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

berechnet. Bei Überschreitung der maximalen Stromstärke kann das Messwerk überlastet werden. Bei Messgeräten mit einem Klassenzeichen ist eine zulässige Überlastbarkeit durch Normung festgelegt.

$R_i$  kann nicht nur durch den Spulenwiderstand  $R_{Sp}$  gebildet werden, da das hierfür verwendete Kupfer seinen Widerstand mit der Temperatur um 3,9 ... 4,5 % / 10 K ändert, wodurch sich temperaturabhängig auch die Anzeige ändert. Zur Verminderung dieser Messabweichung muss noch ein von der Temperatur unabhängiger Widerstand  $R_v$  in Reihe zum Messwerk liegen

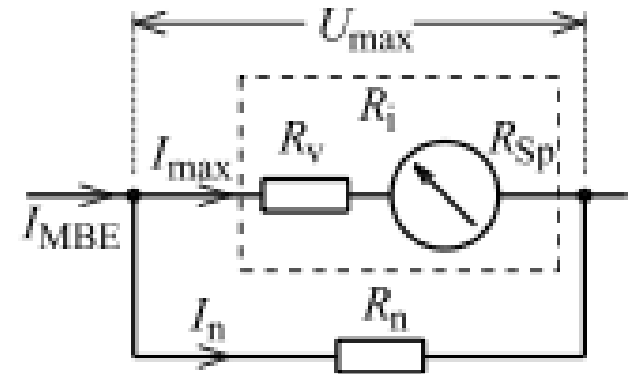
## Beispiel: Messbereichsanpassung Amperemeter

Das Messgerät hat einen Innenwiderstand

$R_{Sp} + R_v = R_i = 750 \, \Omega$  und seinen Vollausschlag bei  $I_{max} = 200 \, \mu A$ . Es soll für einen Messbereich von 10 mA eingesetzt werden.

Dann müssen bei Messbereichsendwert 200  $\mu A$  durch das Messwerk und

$I_n = 10 \, mA - 0,2 \, mA = 9,8 \, mA$  durch den **parallel geschalteten Nebenwiderstand** fließen.



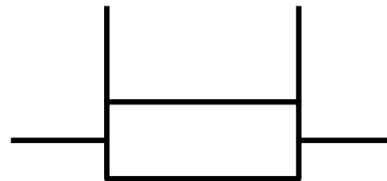
Die maximale Spannung ist  $U_{max} = 750 \, \Omega \cdot 0,2 \, mA = 150 \, mV$ .

Damit bei 150 mV ein  $I_n = 9,8 \, mA$  fließt, muss sein Widerstandswert  $R_n = U_{max}/I_n = 150 \, mV/9,8 \, mA = 15,31 \, \Omega$  betragen. Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung liegt dann bei 15,00  $\Omega$ . Beim Messbereichsendwert 10 mA kommt man dann wieder auf 150 mV.

# Strommessung mit Shunt

Ein Nebenschlusswiderstand (englisch Shunt) ist ein niederohmiger elektrischer Widerstand, der zur Messung des elektrischen Stromes verwendet wird (Messwiderstand). Der Strom, der durch einen Shunt fließt, verursacht einen zu ihm proportionalen Spannungsabfall, der gemessen wird.

Strommessgeräte mit analogen oder digitalen Anzeigeinstrumenten werden meistens über eine Messung der sehr kleinen Spannung an einem Shunt realisiert, z. B. 200 mV bei digitalen Messgeräten oder übliche 60 mV bei Zeigerinstrumenten. Elektronische Schaltungen mit Operationsverstärkern können auch kleinere Spannungen am Shunt verarbeiten. Je kleiner die Spannung, desto weniger beeinflusst die Messung den Stromkreis.

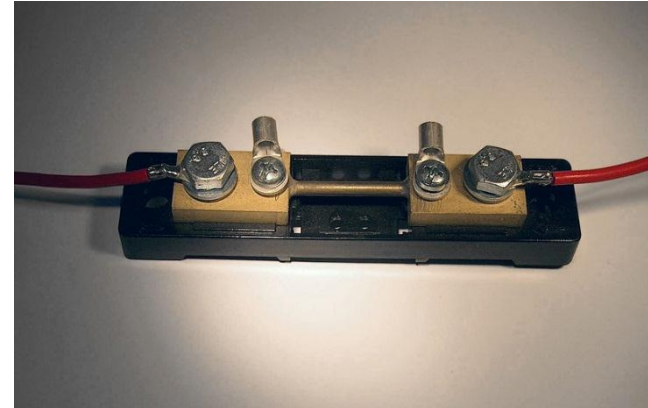


## Schaltung: Strommessung mit Shunt

# Shuntwiderstände

Der Shunt wird in die Leitung mit dem zu messenden Strom eingebaut. Die an diesem Widerstand abfallende kleine Spannung wird mit dem Anzeigementinstrument gemessen.

Da durch die Übergangswiderstände an den Stromkontakten ein erheblicher Spannungsabfall entsteht, wird die am Shunt abfallende Messspannung über zwei zusätzliche Kontakte (Vierleiteranschluss, auch Kelvin-Anschlüsse oder Kelvin-Kontaktierung genannt) abgegriffen.



50-A-Shunt mit Vierleiteranschluss

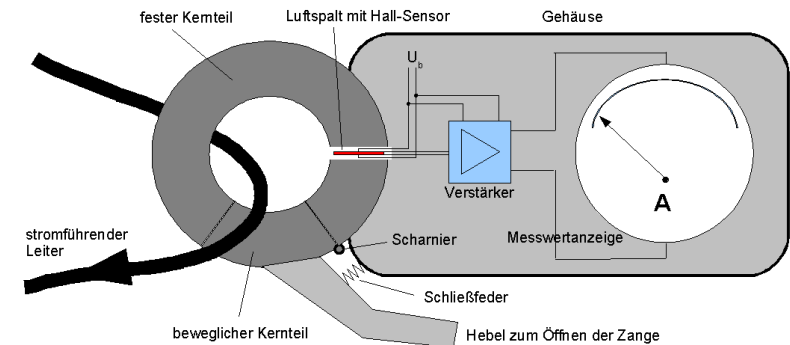


400-A-Shunt, Länge 145 mm

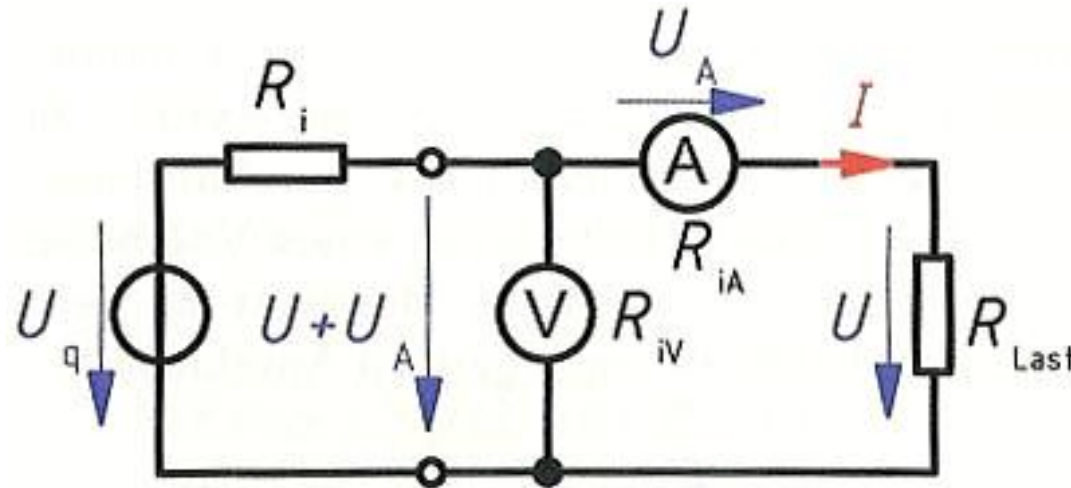
# Strommessung mit Zangenamperemeter

Ein Zangenamperemeter, auch Strommesszangen oder Stromzangen genannt, sind Messgeräte zur indirekten Quantifizierung von Strömen. Während bei der direkten Messung der Stromkreis aufgetrennt werden muss, um das Amperemeter in Reihe zu schalten, ist dies bei der indirekten Messung mit dem Zangenampere-meter nicht erforderlich, da es die magnetische Wirkung des Leiterstroms misst.

Dank eines zangenartig teilbaren Eisenkerns kann man Leiter oder Stromschienen umfassen, ohne in den Stromkreis eingreifen zu müssen. Deshalb kann auch an Anlagen gemessen werden, die nicht abgeschaltet werden können. Ein weiterer Vorteil ist die galvanische Trennung. Das Messsignal ist also gegenüber der zu messenden Größe vollkommen potentialfrei.



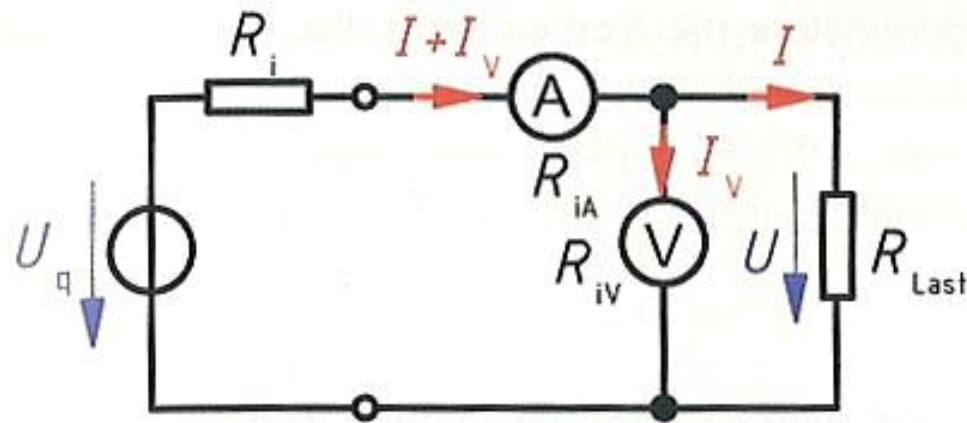
# Stromrichtiges Messen einer Leistung



Beim stromrichtigen Messen zeigt das Amperemeter den tatsächlich durch den Lastwiderstand fließenden Strom an. Das Voltmeter zeigt jedoch die Spannung an, die über  $R_{Last}$  und  $R_{iA}$  zusammen abfällt, also nicht die gesuchte Spannung über dem Lastwiderstand.

$$R_{iA} \ll R_{Last}$$

# Spannungsrichtiges Messen einer Leistung



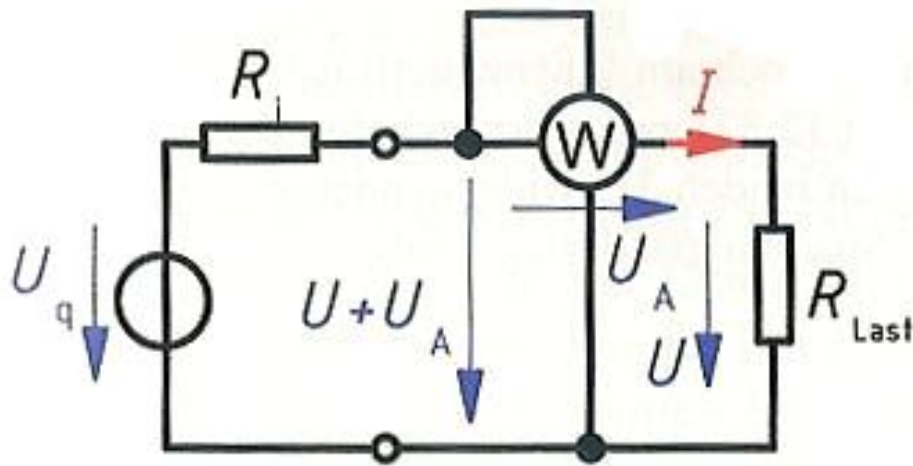
Das Voltmeter zeigt die Klemmenspannung am Lastwiderstand, das Amperemeter jedoch einen zu hohen Wert, nämlich den Gesamtstrom durch die Parallelschaltung aus  $R_{Last}$  und  $R_{iV}$ ,

$$R_{iV} \gg R_{Last}$$

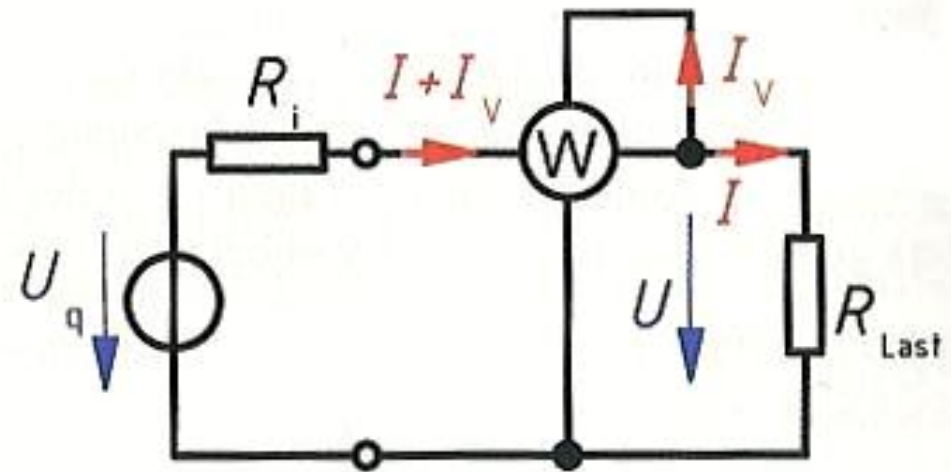


# Leistungsmessung mit Wattmeter

Ein Wattmeter ist ein Vierpol und besteht aus einem möglichst niederohmigen Strompfad mit zwei Anschlüssen sowie einem möglichst hochohmigen Spannungspfad mit zwei Anschlüssen.



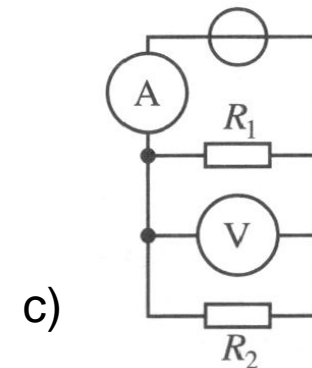
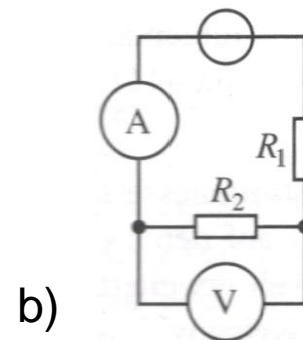
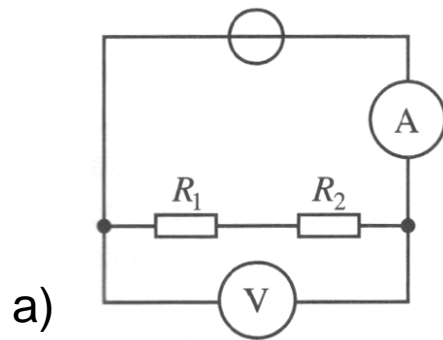
stromrichtig



spannungsrichtig

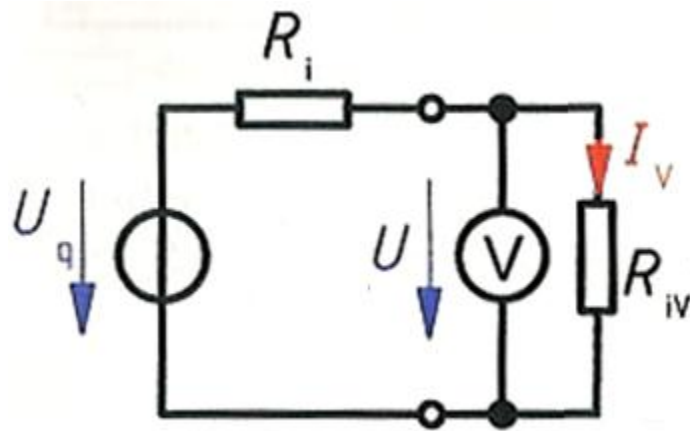
# Aufgaben

1. Berechnen Sie die angezeigten Stromstärke- und Spannungswerte in den vorliegenden Schaltungen.  $U_E = 100 \text{ V}$ ;  $R_1 = 400 \text{ }\Omega$ ;  $R_2 = 600 \text{ }\Omega$ ;  $R_i = 1 \text{ k}\Omega$  (Spannungsmesser); Der Innenwiderstand des Stromstärkemessers ist vernachlässigbar.



2. Ein Stromstärkemesser besitzt einen Innenwiderstand von  $R_i = 0,16 \text{ }\Omega$  und zeigt mit dem parallel geschalteten Widerstand  $R = 0,04 \text{ }\Omega$  den Wert von  $8 \text{ A}$  an. Wie groß ist die Stromstärke in der Hauptleitung?
3. Ein Vielfachspannungsmesser hat den höchsten Messbereich  $U_{\text{max}} = 600 \text{ V}$ . Welcher Vorwiderstand  $R_v$  ist erforderlich, wenn bis  $20 \text{ kV}$  gemessen werden soll? Der Innenwiderstand des Messgerätes beträgt  $R_i = 300 \text{ k}\Omega$ .

# Messung einer reellen Spannungsquelle mit reellem Voltmeter



Durch den Innenwiderstand des Voltmeters wird die Spannungsquelle - wenn auch nur geringfügig - belastet.

$$U_{Kl} = U_q \cdot \frac{R_{iV}}{R_{iV} + R_i}$$

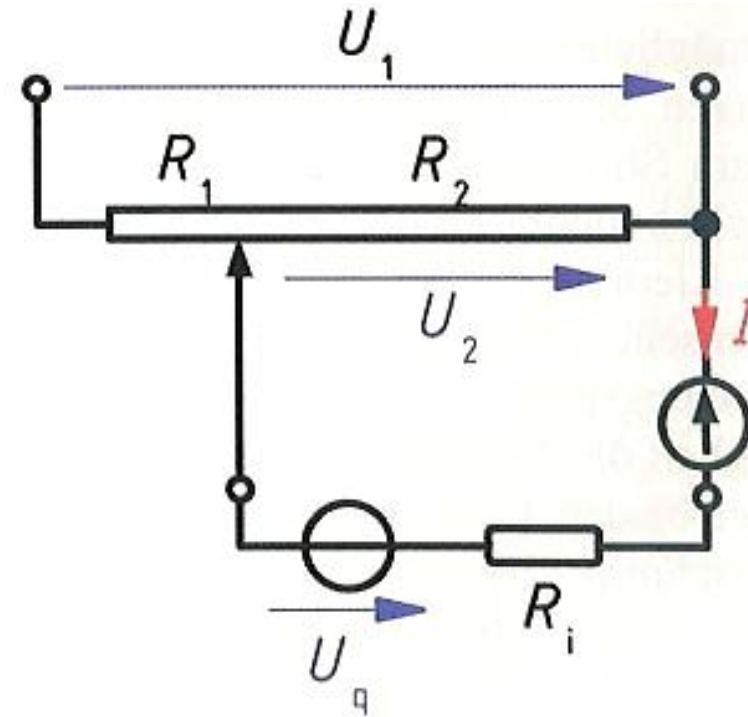
Berechnen Sie den Messfehler durch den Innenwiderstand des Voltmeters, wenn gilt:

- a)  $U_q = 10 \text{ V}$ ,  $R_i = 10 \text{ } \Omega$ ,  $R_{iV} = 100 \text{ } \Omega$
- b)  $U_q = 10 \text{ V}$ ,  $R_i = 1 \text{ } \Omega$ ,  $R_{iV} = 1 \text{ k}\Omega$

# Kompensationsschaltung zur Spannungsmessung

Für besonders präzise Messungen kann  $U_q$  mittels einer Kompensationsschaltung bestimmt werden.

Durch Verschieben des Abgriffs wird das Potentiometer so eingestellt, dass kein Strom fließt.



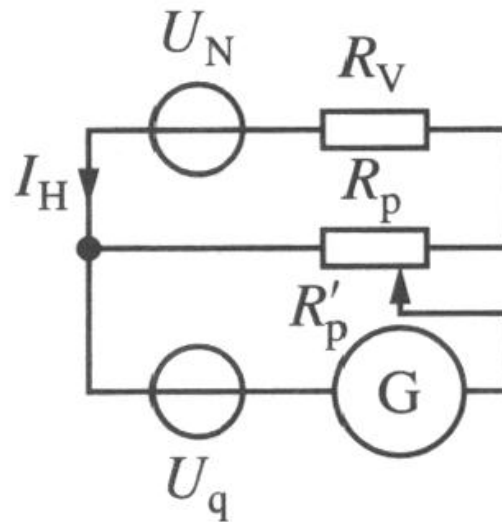
$$U_q = U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1$$

## Aufgabe

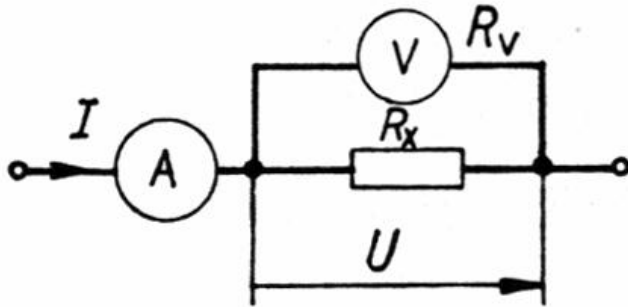
Eine Kompensationsschaltung zur Spannungsmessung (auch Poggendorf-Komparator genannt, siehe Bild) enthält die hochgenaue Spannungsquelle  $U_N = 100 \text{ V}$ . Mit einem Potentiometer und einem Galvanometer ist die Spannung einer weiteren Quelle  $U_q$  zu bestimmen.

Die Potentiometerablesung  $R'_p$  erfolgt bei Stromlosigkeit des Galvanometers.

$R'_p = 100 \text{ } \Omega$ ;  $R_v = 100 \text{ } \Omega$ ;  $R_p = 800 \text{ } \Omega$ .



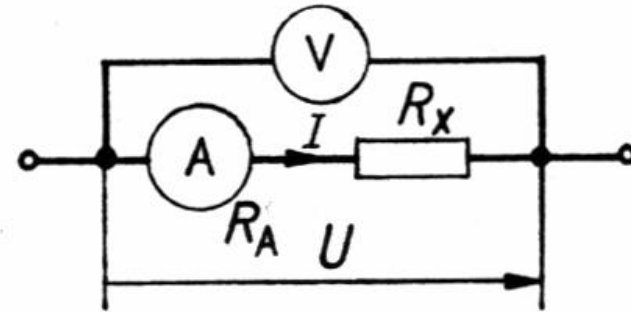
# Messung von Widerständen



spannungsrichtige Schaltung

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

$$R_x \ll R_V$$



stromrichtige Schaltung

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

$$R_x \gg R_A$$

# Aufgaben

1. Ein Widerstand wird in einer spannungsrichtigen Schaltung gemessen. Der Strommesser zeigt 185 mA, der Spannungsmesser 14,3 V an. Der Innenwiderstand des Spannungsmessers  $R_V$  beträgt 14,3 k $\Omega$ .
  - a) Berechnen Sie den unbekannten Widerstand  $R_x$ .
  - b) Wie groß ist der absolute Fehler, wenn der Spannungsmesserstrom nicht berücksichtigt wird?
  - c) Berechnen Sie den relativen Fehler in %.
2. Der genaue Wert eines Widerstandes beträgt  $R = 80 \Omega$ . Wie groß wird der relative Fehler  $\Delta R/R$ , wenn der Spannungsmesserstrom nicht beachtet wird und der Spannungsmesser einen Innenwiderstand von  $R_V = 1 \text{ k}\Omega$  hat?
3. Wie groß ist ein Widerstand, wenn in einer stromrichtigen Schaltung eine Spannung von 64 V und eine Stromstärke von 15 mA gemessen wurden und der Strommesser einen Innenwiderstand von 10  $\Omega$  hat?

# Literatur

M. Filtz, TU Berlin: Vorlesung Grundlagen der Elektrotechnik, WS2006/07

Moeller: Grundlagen der Elektrotechnik, Vieweg + Teubner Verlag

Helmut Lindner: Elektro - Aufgaben Band 1: Gleichstrom, Hanser Fachbuchverlag

Paul A. Tipler, Gene Mosca: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, Spektrum Akademischer Verlag, August 2009





Hochschule Deggendorf – Edlmairstr. 6 und 8 – 94469 Deggendorf