

# Einführung in das Messen von Strömen, Spannungen und Widerständen

© 2007-1010 Prof. Dr. T. Harriehausen, Wolfenbüttel, veröffentlicht 2008 in Abschnitt 2.3 von [1]

## 1 Ideale und reale Strommesser

Ein Gerät zum Messen des *elektrischen Stroms*, der *durch* den *Zweig* eines *elektrischen Netzwerks* fließt, wird als Strommesser oder *Amperemeter* bezeichnet. Das *direkte Messen* eines Stroms erfordert (außer bei Zangen-Amperemetern) immer das Auftrennen einer elektrischen Verbindung an der Stelle, an der das Amperemeter in den Stromkreis eingeschaltet wird, siehe Bild 1a.

Das in *Schaltplänen* verwendete *Schaltzeichen* eines Amperemeters ist ein Kreis mit dem Buchstaben A, dem Zeichen der Einheit für den elektrischen Strom. Ein Amperemeter zeigt einen positiven Messwert an, wenn der Strom *innerhalb* des Messgerätes von dessen positivem Anschluss (oft mit „+“ bezeichnet) zum negativen Anschluss (oft mit „-“ oder „⊥“ oder „COM“ bezeichnet) fließt.

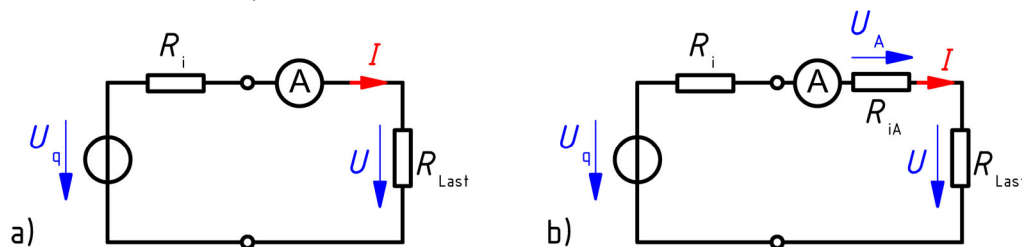


Bild 1 Stromkreis mit eingeschaltetem Amperemeter: Schaltplan (a) und Ersatzschaltbild (b)

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  $R_{iA} = 0$ . Ein solches Amperemeter ist nicht realisierbar. Reale Amperemeter haben je nach Messbereich Widerstände, die in der Regel im Bereich von wenigen  $\Omega$  bis zu einigen  $k\Omega$  liegen und somit vom Verhalten eines idealen Amperemeters deutlich abweichen.

Ein *reales Amperemeter* wird in einem *Ersatzschaltbild* durch die *Reihenschaltung* aus einem *idealen Amperemeter* und einem Widerstand  $R_{iA}$  nachgebildet, siehe Bild 1b. (Teilweise wird der Wert des Innenwiderstandes auch direkt an das Schaltzeichen des Amperemeters geschrieben.) Das Ersatzschaltbild zeigt, dass das reale Amperemeter zwar den Strom durch den Widerstand  $R_{Last}$  anzeigt, dieser Strom aber wegen des in Reihe geschalteten Widerstandes  $R_{iA}$  kleiner ist als der Strom, der ohne Amperemeter durch den Widerstand fließen würde. Die Messung hat also eine verfälschende *Rückwirkung* auf das Messobjekt.

## 2 Ideale und reale Spannungsmesser

Ein Gerät zum Messen der *elektrischen Spannung* zwischen zwei Punkten (*Knoten*) einer Schaltung wird als Spannungsmesser oder *Voltmeter* bezeichnet. Zur Spannungsmessung werden die beiden Anschlüsse des Voltmeters mit den betreffenden Schaltungsknoten verbunden. Ein Auftrennen des Stromkreises ist nicht erforderlich, siehe Bild 2a.

Das in *Schaltplänen* verwendete *Schaltzeichen* eines Voltmeters ist ein Kreis mit dem Buchstaben V. Ein Voltmeter zeigt einen positiven Messwert an, wenn das *elektrische Potenzial* an seinem positiven Anschluss höher als am negativen Anschluss ist.

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 messbereichsunabhängigen Innenwiderständen von über 10 M $\Omega$  sind sehr preiswert realisierbar.

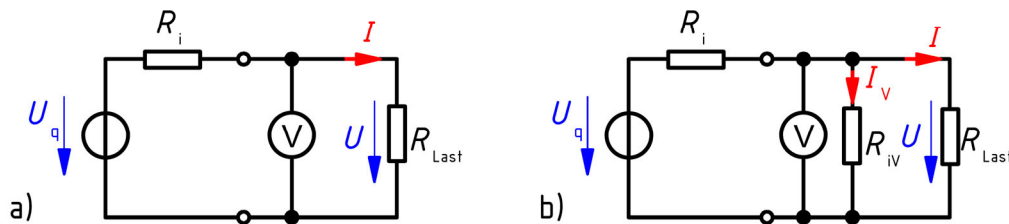


Bild 2 Stromkreis mit eingeschaltetem Voltmeter: Schaltbild (a) und Ersatzschaltbild (b)

Ein reales Voltmeter wird in einem Ersatzschaltbild durch die Parallelschaltung aus einem idealen Voltmeter und einem Widerstand  $R_{iV}$  nachgebildet, siehe Bild 2b. (Teilweise wird der Wert des Innenwiderstandes auch direkt an das Schaltzeichen des Voltmeters geschrieben.) Das Ersatzschaltbild zeigt, dass das reale Voltmeter die tatsächlich über dem Widerstand  $R_{Last}$  abfallende Spannung anzeigt. Diese Spannung ist jedoch kleiner als die Spannung, die ohne Voltmeter an  $R_{Last}$  liegt, da der Strom durch den Innenwiderstand des Voltmeters einen zusätzlichen Spannungsabfall über dem Innenwiderstand der Quelle  $R_i$  verursacht. Also ist eine solche Spannungsmessung prinzipiell nicht rückwirkungsfrei.

Bei Zeigerinstrumenten ohne eingebaute elektronische Verstärker unterscheiden sich die Innenwiderstände der einzelnen Strom- und Spannungsmessbereiche deutlich voneinander. Daher ändert sich beim Umschalten des Messbereiches auch die Rückwirkung des Messgerätes auf das Messobjekt. Dies macht sich evtl. durch Sprünge in aufgenommenen Messwertreihen bemerkbar.

### 3 Indirekte Strommessung

Da insbesondere hochwertige elektronische Voltmeter hinsichtlich ihres Innenwiderstandes ein nahezu ideales Verhalten aufweisen, empfiehlt sich zur Messung des Stroms durch einen in der Schaltung ohnehin vorhandenen Ohmschen Widerstand die indirekte Strommessung. Dabei wird der Spannungsabfall gemessen, den der unbekannte Strom über dem bekannten Widerstand hervorruft und aus dem Ohmschen Gesetz der fließende Strom berechnet. Dieses Verfahren hat neben einer geringen Rückwirkung auch den Vorteil, dass der Stromkreis zur Messung nicht aufgetrennt zu werden braucht.

### 4 Stromrichtiges und spannungsrichtiges Messen

Sollen die Klemmengrößen eines Zweipols gemeinsam gemessen werden (Kombinationsmessung), so gibt es zwei prinzipiell unterschiedliche Möglichkeiten, die beiden benötigten Messgeräte in die Schaltung einzubringen.

Bild 3 zeigt die Schaltung für das stromrichtige Messen der Klemmengrößen eines Widerstandes  $R_{Last}$ .

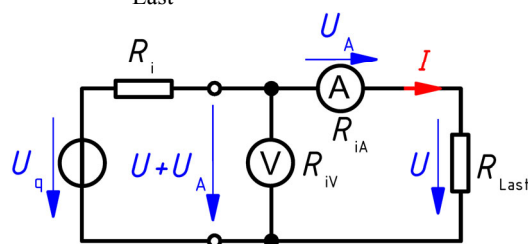


Bild 3 Schaltung für stromrichtiges Messen an einem Lastwiderstand

Bei der stromrichtigen Messung zeigt das Amperemeter den *tatsächlich* durch den Lastwiderstand fließenden Strom an. Das Voltmeter zeigt jedoch die Spannung an, die über der *Reihenschaltung* aus  $R_{\text{Last}}$  und  $R_{iA}$  abfällt, also nicht die gesuchte Spannung über dem Lastwiderstand. Eine stromrichtige Messschaltung empfiehlt sich, wenn

$$R_{iA} \ll R_{\text{Last}} \quad (1)$$

gilt, der die Messung verfälschende Spannungsabfall über dem Amperemeter also sehr klein gegenüber dem Spannungsabfall über dem Lastwiderstand ist.

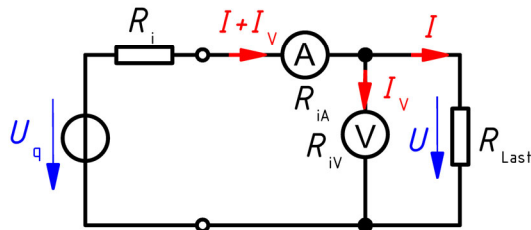


Bild 4 Schaltung für spannungsrichtiges Messen an einem Lastwiderstand

Die Schaltung für spannungsrichtiges Messen ist in Bild 4 dargestellt. Nun zeigt das Voltmeter die *tatsächliche* Spannung am Lastwiderstand, das Amperemeter jedoch einen zu hohen Wert, nämlich den Gesamtstrom durch die *Parallelschaltung* aus  $R_{\text{Last}}$  und  $R_{iV}$ . Diese Messschaltung sollte eingesetzt werden, wenn

$$R_{iV} \gg R_{\text{Last}} \quad (2)$$

gilt, der die Messung verfälschende Strom durch das Voltmeter also sehr klein gegenüber dem Strom durch den Lastwiderstand ist.

Ob in einem bestimmten Fall die strom- oder die spannungsrichtige Messung einen kleineren Fehler verursacht, ist durch Vergleich der Bedingungen (1) und (2) zu überprüfen. In Grenzfällen sollte die spannungsrichtige Messung verwendet werden, sofern

$$\sqrt{R_{iA} R_{iV}} > R_{\text{Last}} \quad (3)$$

erfüllt ist, ansonsten die stromrichtige Messung.

## 5 Messwertkorrektur

Soll mittels einer Kombinationsmessung der Widerstand eines Zweipols *möglichst genau* bestimmt werden, so müssen die mit den *realen* Messgeräten aufgenommenen Messwerte korrigiert werden. Hierzu ist die Kenntnis der Innenwiderstände in den verwendeten Messbereichen *unbedingt* erforderlich. Aus Gründen der *Reproduzierbarkeit* der Messungen und für solche Korrekturrechnungen müssen daher bei *allen* Messungen im Labor die *verwendeten Messbereiche protokolliert* werden!

## Literatur

- [1] Frohne ; Harriehausen ; Löcherer ; Müller ; Schwarzenau: Moeller Grundlagen der Elektrotechnik. 21. Auflage. Wiesbaden : Teubner, 2008