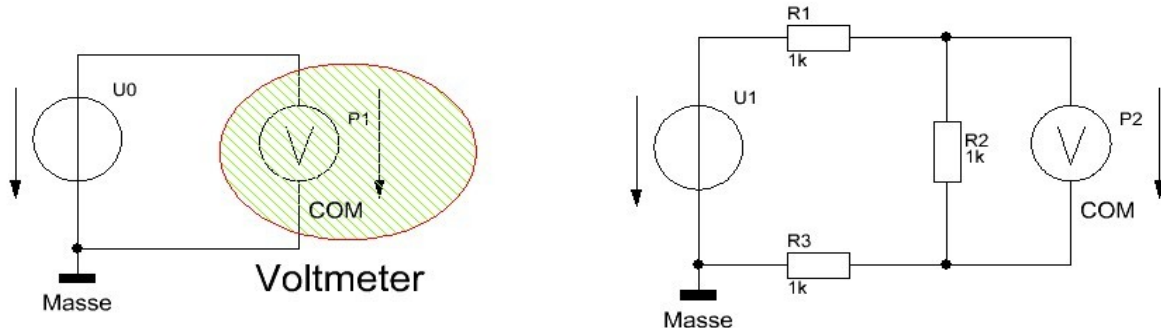


1 Spannungsmessung – Voltmeter

Die Spannung wird als Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten (Knoten) einer Schaltung gemessen. Dazu wird das Voltmeter parallel an die zu messende Spannung gelegt.



Das Voltmeter nimmt aus dem Messobjekt einen (kleinen) Strom I_{VM} auf. Damit wird das Messobjekt belastet und es muss diesen Strom liefern können. Das Voltmeter kann man sich durch seinen Innenwiderstand R_{iVM} ersetzt denken.

Bei der Messung denkt man sich das Messobjekt durch seine Spannungsquellen- Ersatzschaltung bezüglich der Messpunkte ersetzt. Es kommt daher zur Spannungsteilung zwischen Innenwiderstand der Schaltung am Messpunkt R_{is} und dem Innenwiderstand des Voltmeters. Das Voltmeter zeigt die Spannung U_{VM} an, die aus der wahren Spannung U_w , die der Leerlaufspannung zwischen den Messpunkten entspricht, mit der Spannungsteilerregel berechnet werden kann:

$$U_{VM} = U_w \cdot \frac{R_{iVM}}{R_{iVM} + R_{is}}$$

Um die Belastung des Messobjektes und die Verfälschung des Messergebnisses möglichst klein zu halten, muss der Strom I_{VM} klein sein. Das ist erfüllt, wenn der Innenwiderstand des Voltmeters sehr groß gegenüber dem Innenwiderstand der Schaltung ist.

In elektronischen Schaltungen mit Innenwiderständen im Kiloohmbereich ist in Verbindung mit den heute üblichen Voltmeter- Innenwiderständen im Megaohmbereich eine Korrekturrechnung meist überflüssig.

Bei der Anschaltung des Voltmeters ist zu beachten, dass der Schaltungsnullpunkt des Messgerätes (COM) mit dem niedrigeren bzw. ungefährlicheren Potential verbunden wird. Meist werden die Schaltungsnullpunkte verbunden.

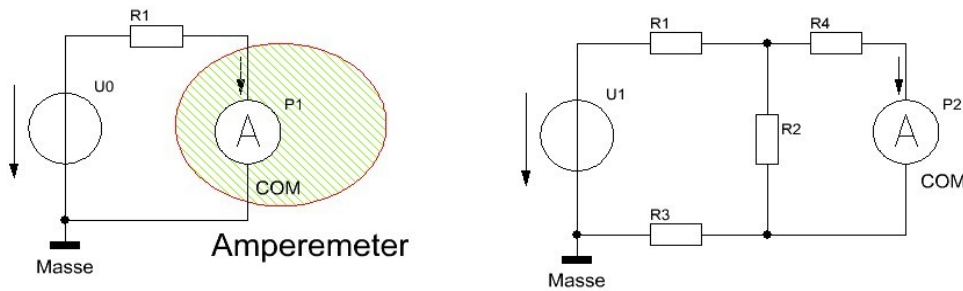
2 Strommessung – Amperemeter

2.1 Messprinzip

Der Strom wird als Menge der elektrischen Ladung, die in der Verbindung zwischen zwei Punkten (Knoten) einer Schaltung fließt, gemessen. Dazu wird das Amperemeter in Serie in die zu messende Verbindung gelegt. Das Amperemeter wird vom zu messenden Strom durchflossen und soll diesem keinen Widerstand entgegen setzen. Es muss daher einen möglichst kleinen Innenwiderstand R_{iAM} haben, damit der Spannungsabfall U_{AM} so klein wie möglich bleibt.

Dieser Spannungsabfall U_{AM} tritt bei der Messung zusätzlich auf und verändert die Spannungsverhältnisse in der Schaltung. Damit diese Änderung gering bleibt, muss U_{AM} klein

gegenüber den Spannungen jener Masche sein, in der das Amperemeter eingesetzt ist.

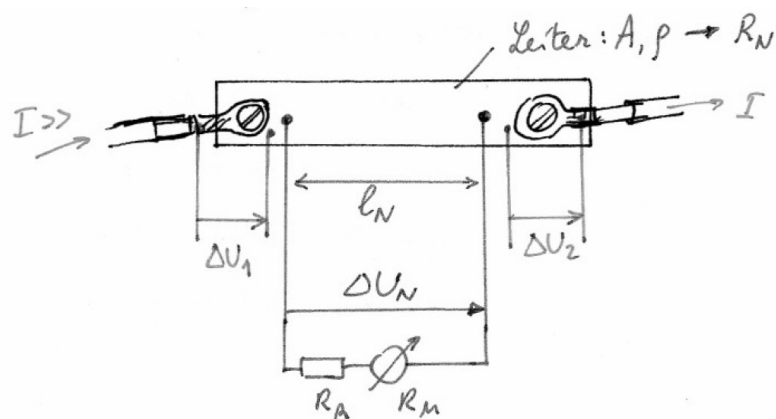


Zum Einsetzen des Amperemeters in eine Schaltung muss in der Regel der Messstromkreis unterbrochen werden. Dies muss gut überlegt sein. In der Energietechnik sind damit Betriebsunterbrechungen verbunden. In der Elektronik ist eine Strommessung auf Leiterplatten nicht möglich, wenn keine Strommesspunkte (Trennstellen) vorgesehen sind. Es gibt daher alternative Methoden für die Strommessung.

2.2 Strommessung über Widerstand

Die Strommessung kann auf eine einfachere Spannungsmessung an einem bekannten Widerstand zurückgeführt werden. Einfach ist dies, wenn die Schaltung ohnedies Widerstände enthält. Eigens für die Strommessung eingesetzte Widerstände werden als Shunt oder Nebenwiderstand bezeichnet. Fließt ein Strom I_x über einen Widerstand R_N (Nebenwiderstand), so entsteht ein Spannungsabfall U_x . Misst man U_x , so kann I_x mit dem ohmschen Gesetz berechnet werden. Dieser entstehende Spannungsabfall muss vom Messobjekt verkraftet werden können.

Bei der Konstruktion von Nebenwiderständen ist zu beachten, dass durch die Kontakt- bzw. Übergangswiderstände bei großen Strömen ein erheblicher Spannungsabfall ΔU_x entstehen kann, der das Messergebnis verfälscht. Zur Vermeidung werden Nebenwiderstände vierpolig mit zwei Stromanschlüssen und zwei Spannungsanschlüssen ausgeführt.

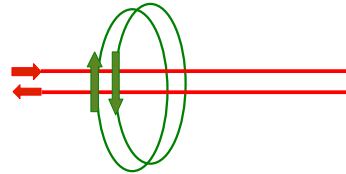
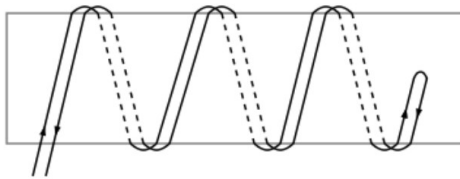


$$I_x = \frac{\Delta U_N}{R_N} \quad \text{mit} \quad R_N = \frac{\rho \cdot l_N}{A} \quad \text{und} \quad P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

Kaufliche Nebenwiderstände sind meist auf 100 mV bei Nennstrom I_N ausgelegt. Die Nennleistung P_N kann erhebliche Werte annehmen, die Wärmeabfuhr ist entsprechend zu ermöglichen.

Zu beachten ist, dass der Nebenwiderstand das Potential der Leitung, in der er liegt, führt und damit gegen andere Schaltungsteile oder Erde Spannungen auftreten können. Die Messung erfolgt nicht galvanisch getrennt.

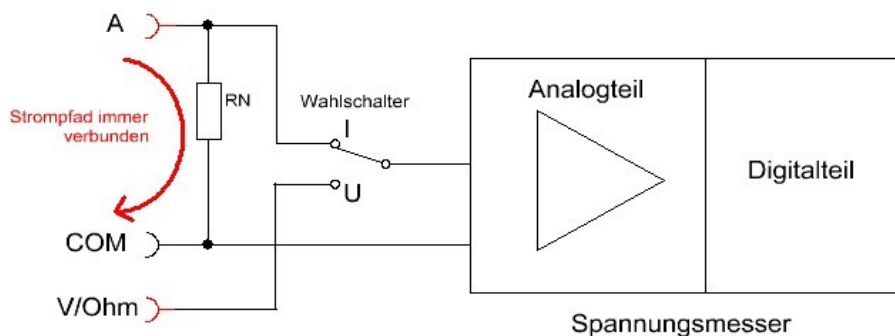
Wird ein Shunt für Wechselströme höherer Frequenzen gebaut, so ist die Eigeninduktivität zu beachten. Die Induktivität L_N ist eine Folge des verketteten Flusses Φ_v $L_N = \frac{\Phi_v}{I_x}$. Um das Magnetfeld zu unterdrücken, führt man den Nebenwiderstand induktionsarm in Form einer Bifilarwicklung oder einer Drahtschleife aus.



Die Magnetfelder der Vorwärts- und Rückwärtsrichtung heben sich auf.

2.3 Strommessmethode der Multimeter

Da die Multimeter bereits ein Voltmeter integriert haben, erfolgt die Strommessung fast immer als Messung einer Spannung an einem Shunt. Weil ein Umschalter für große Ströme teure Kontakte benötigen würde, wird der Strommesspfad meist nicht schaltbar ausgeführt. Es wird nur der Eingang des Voltmeters an den Shunt gelegt. Die Strombuchsen sind daher immer verbunden, auch wenn das Gerät nicht auf Strommessung eingestellt ist. Deswegen sind auch die Messleitungen von den Strombuchsen immer abziehen, um Kurzschlüsse zu vermeiden.



Der Strompfad kann mit einer Schmelzsicherung gesichert sein (fused). Große Strombereiche ($> 10A$) sind meist nicht gesichert (unfused). Defekte Sicherungen dürfen nur nach Herstellerangabe ersetzt werden.

2.4 Strommessung über Magnetfeld

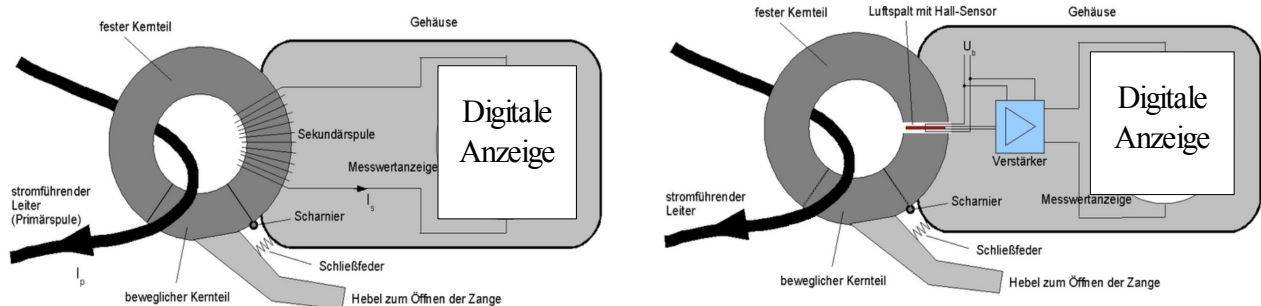
Jeder Strom verursacht ein Magnetfeld. Dieses baut sich in geschlossenen Linien um den

Stromfluss auf. Bei einem langen, geraden Leiter bilden die Feldlinien konzentrische Kreise. Der Zusammenhang zwischen Stromstärke und magnetischer Feldstärke ist durch den Durchflutungssatz gegeben und ist linear. Aus der Feldstärke entsteht mit der Permeabilität, in diesem Fall von Luft μ_0 , die Flussdichte B und damit der magnetische Fluss Φ . Da die Luft linear ist, hängt der magnetische Fluss linear vom erzeugenden Strom ab. Durch Messung des magnetischen Flusses kann man daher den Strom berechnen, wenn die Geometrie bekannt ist.

$$H_x = \frac{I_x}{l_{Fe}} \quad \Phi_x = \mu_0 \cdot \frac{I_x}{l_{Fe}} \cdot A_{Fe} \rightarrow I_x = \Phi_x \cdot \frac{l_{Fe}}{\mu_0 A_{Fe}}$$

Die praktische Ausführung dieses Messprinzips wird in Stromzangen angewendet. Es gibt (teurere) Gleichstromzangen, die mit Hallensoren arbeiten, und Wechselstromzangen, die auf dem Induktionsprinzip beruhen. Konstruktiver Nachteil dieser Messgeräte ist die aufwändige Mechanik.

Die Messung erfolgt berührungslos und galvanisch getrennt. Die Prüfspannung der Isolation zwischen Messgerät und gemessenem Leiter ist zu beachten.



Durch den geschlossenen Eisenkreis um den Leiter ist die Messung relativ unempfindlich gegen Fremdfelder. Neueste Entwicklungen ersetzen die Mechanik des geschlossenen Magnetkreises durch eine offene Gabel, die zum Messen nur über den Leiter geschoben werden muss.

3 Widerstandsmessung

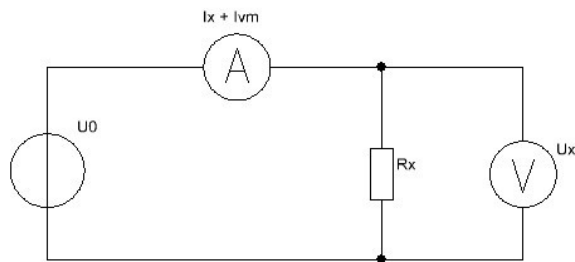
3.1 Direkte Widerstandsmessung – Ohmmeter

Die direkte Messung des elektrischen Widerstandes erfolgt durch Messen von Strom und Spannung und einer Berechnung über das Ohmsche Gesetz. Alle direkten Messmethoden wenden dieses Prinzip in unterschiedlichen Ausprägungen an.

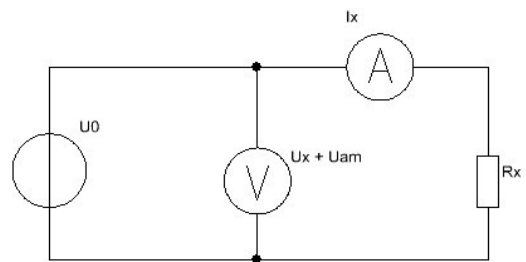
3.1.1 Strom- Spannungsmethode

Die Strom- Spannungsmethode verwendet eine Quelle und zwei Messgeräte. R_x wird mit dem ohmschen Gesetz aus den Messwerten berechnet.

Die Quellspannung U_0 kann frei gewählt werden. Damit sind Messungen im Arbeitspunkt des Messobjektes möglich. Bei üblichen Widerstandswerten R_x bis in den Kiloohmbereich ist bei Verwendung moderner Voltmeter mit Innenwiderständen im Megaohmbereich die spannungsrichtige Methode unbedenklich anzuwenden, ohne dass eine Korrekturrechnung erforderlich wäre.



spannungsrichtig
für kleine R- Werte $I_x > I_{VM}$
Strom verfälscht



stromrichtig
für große R- Werte $U_x > U_{AM}$
Spannung verfälscht

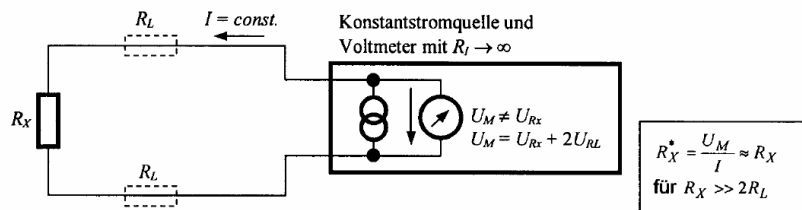
3.1.2 Widerstandsmessung mit Multimetern

Multimeter verwenden zur R- Messung eine eingebaute Stromquelle und messen die Spannung am Widerstand. Bei geeigneter Wahl des Stromes kann die Spannung gleich als R- Wert interpretiert werden, ohne dass eine Berechnung notwendig ist.

Zweileitertechnik

Der Messstrom I_0 bestimmt den Messbereich R_x .

z.B. $I_0 = 1 \text{ mA}$
 $U_x = R_x / 1 \text{ mA}$
 $\Rightarrow R_x = \text{Zahlenwert } U_x \text{ in k}\Omega$

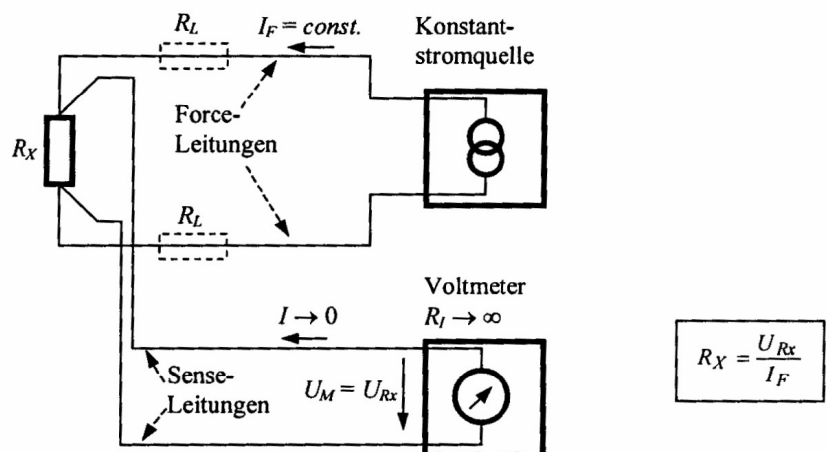


Der Widerstand der Messleitungen R_L wird mitgemessen und muss bei kleinen R_x - Werten kompensiert werden (Justieren auf Null durch Kurzschlussmessung).

Die Leerlaufspannung U_M wird begrenzt auf 100 ... 200 mV. Damit leiten Diodenstrecken noch nicht und Halbleiter haben auf die Messung keinen Einfluss (direktes Messen von Widerständen, die in elektronischen Schaltungen eingebaut sind).

Vierleitertechnik

Mit Sense- Leitungen, die fast keinen Strom führen, wird die Spannung abgegriffen. Dadurch werden die Widerstände der Stromzuleitungen und Übergangswiderstände nicht mitgemessen. Diese Methode ist für sehr kleine Widerstände R_x angebracht. Es sind jedoch spezielle Messgeräte erforderlich.



3.1.3 Dioden- und Transistormessung, Durchgangsprüfer

Viele Multimeter erlauben die Prüfung von Dioden auf Durchgang. Dazu wird bei der normalen Zweileitermessung die Begrenzung der Spannung auf ca. 3 VDC erhöht. Die höhere Spannung führt zum Leiten von Dioden. Die auftretende Schwellspannung wird angezeigt und erlaubt damit eine Beurteilung der Diode nach Typ und Funktionsfähigkeit.

Manche Multimeter haben eine Prüfmöglichkeit für Transistoren. Über einen eigenen Stecker kann ein bedrahteter Kleintransistor je nach Polarität angesteckt werden. Gemessen wird die Stromverstärkung B , die aber oft als h_{fe} bzw. β angezeigt wird.

Für die Funktion **Durchgangsprüfer** wird die Widerstandsmessung in einem kleinen R- Bereich verwendet und eine akustische Signalisierung dazu geschaltet. Die R- Schwelle für Durchgang liegt meist bei einigen 10 Ohm.

3.2 Indirekte Widerstandsmessung – Messbrücken

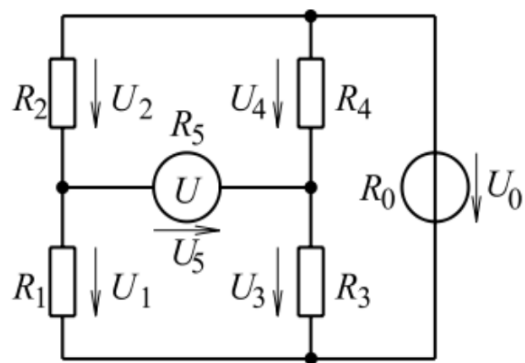
Die üblichen Verfahren haben eine begrenzte Genauigkeit, die von den verwendeten Messgeräten abhängt. Um Widerstände sehr genau messen zu können, wendet man Brückenmethoden an. Dabei spielt die Genauigkeit der verwendeten Quellen und Messgeräte keine Rolle. Es kommt nur auf die Genauigkeit der Brückenelemente an. Man kann Widerstände auf Promille oder genauer messen.

3.2.1 Wheatstonebrücke

Sie ist die einfachste Brücke für die Messung nicht zu kleiner Widerstände. Die Abgleichbedingung $U_5 = 0$ ist unabhängig von U_0 und lautet

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Die praktische Ausführung enthält eine Reihe von einstellbaren Widerstandsdekaden, die eine direkte Ablesung des unbekannten Widerstandes bei Abgleich ermöglichen. U_5 wird mit einem Nullindikator gemessen, wobei es nur auf dessen Empfindlichkeit, nicht aber auf seine Genauigkeit ankommt.



3.2.2 Thomsonbrücke

Diese Messbrücke wird für kleine Widerstandswerte eingesetzt. Sie vermeidet Fehler durch Zuleitungs- und Übergangswiderstände. Genauere Informationen entnehme man der einschlägigen Literatur.

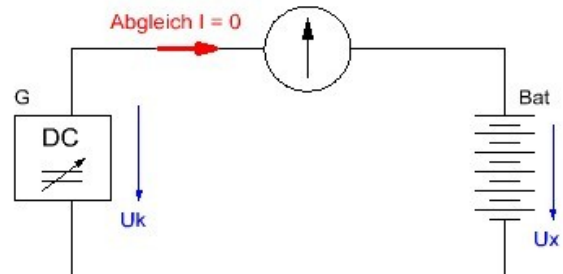
4 Kompensationsmessverfahren

Für sehr genaue Messungen elektrischer Größen reicht die Grundgenauigkeit üblicher Messgeräte nicht aus. Mit Kompensationsmessverfahren kann man die Genauigkeit wesentlich erhöhen. Das

Prinzip besteht im Vergleich einer unbekannten Größe mit einer sehr exakt bekannten Größe. Die Abgleichbedingung ist unabhängig von der Genauigkeit des verwendeten Messgerätes. Kompensationstechniken werden in der Feinmesstechnik angewendet, wenn kleine Unterschiede oder Schwankungen der Messgröße erfasst werden sollen.

Am Beispiel der Spannungsmessung sei das Prinzip gezeigt. Eine unbekannte Spannung wird mit einem Nullindikator mit einer einstellbaren Präzisionsspannungsquelle verbunden. Ist der Ausgleichsstrom Null, so sind die beiden Spannungen gleich: $U_x = U_k$.

Vorteil ist nicht nur die große Genauigkeit, sondern auch, dass das Messobjekt im stromlosen Zustand gemessen wird.



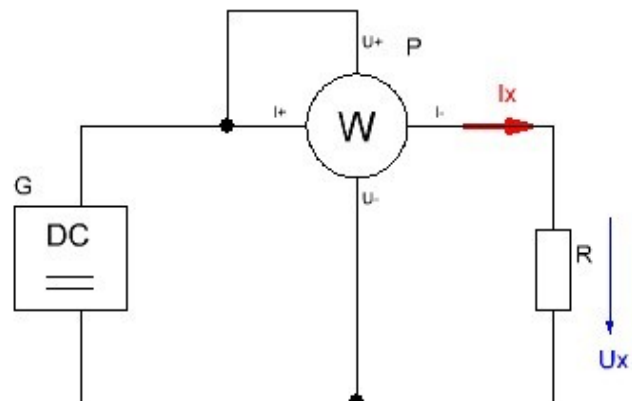
5 Leistungsmessung – Wattmeter

Die Messung der Leistung erfordert die Multiplikation von Spannung und Strom an einem Verbraucher. Ein Wattmeter muss daher beide Größen messen und die Leistung berechnen können. Das alte elektrodynamische Messwerk hat diese Aufgabe nicht nur für Gleichstrom, sondern auch für Wechselstrom bei beliebigen nichtsinusförmigen Größen mathematisch exakt lösen können und die Wirkleistung angezeigt.

Moderne Wattmeter müssen relativ aufwendige Abtastungen durchführen und Rechner einsetzen, um das gleiche Ergebnis zu erhalten. Durch Einsatz moderner Elektronik sind aber heute kostengünstige Wattmeter auf dem Markt, so dass die Elektromechanik weitgehend verdrängt wurde. Zusätzlich liefern moderne Geräte mehrere Messwerte gleichzeitig.

Das Messprinzip und die Grundschaltung für Wattmeter ist unabhängig von der Gerätetype.

Der zu messende Strom I_x wird durch den **Strompfad** (I_+ I_-) polungsrichtig geführt. Der Strompfad ist niederohmig.



Die zu messende Spannung U_x wird an den **Spannungspfad** (U_+ U_-) polungsrichtig gelegt. Der Spannungspfad ist hochohmig.

Strom- oder spannungsrichtige Schaltung ist möglich. Der Spannungspfad ist immer zuerst anzuschalten.

Strom- und Spannungspfad sind galvanisch getrennt. Zu beachten ist die Spannungsfestigkeit zwischen beiden. Der Strompfad kann Sicherungen enthalten.

Moderne elektronische Messgeräte zeigen meist nicht nur die Leistung, sondern auch die Spannung und den Strom gleichzeitig an.