

**5.3 Das Quotientenmeßwerk**

Bei Kreuzspulmeßwerken werden in den beiden, unter dem Kreuzungswinkel  $2\delta$  fest miteinander verbundenen Drehspulen elektrisch zwei entgegengerichtete Drehmomente erzeugt, die im Gleichgewichtsfall gerade gleich groß sind. Eine richtkraftlose Aufhängung ist möglich, da kein mechanisches Gegendrehmoment benötigt wird. Der radiale Verlauf des Permament-Magnetfeldes muß jedoch unsymmetrisch sein, damit bestimmten Werten für den Quotienten der beiden Ströme  $I_1$  und  $I_2$  durch die beiden gekreuzten Spulen definierte Ausschlagwinkel  $\alpha$  zugeordnet werden können. Wegen der einfachen Konstruktion werden gerne Kreuzspulmeßwerke mit Kernmagnet nach Bild 9.2 verwendet.

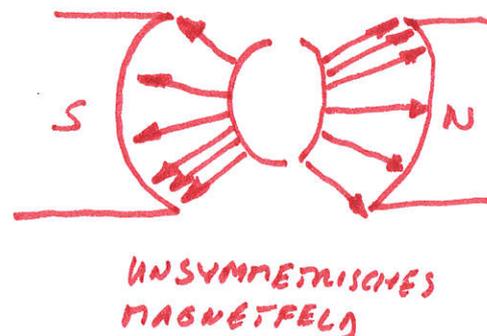
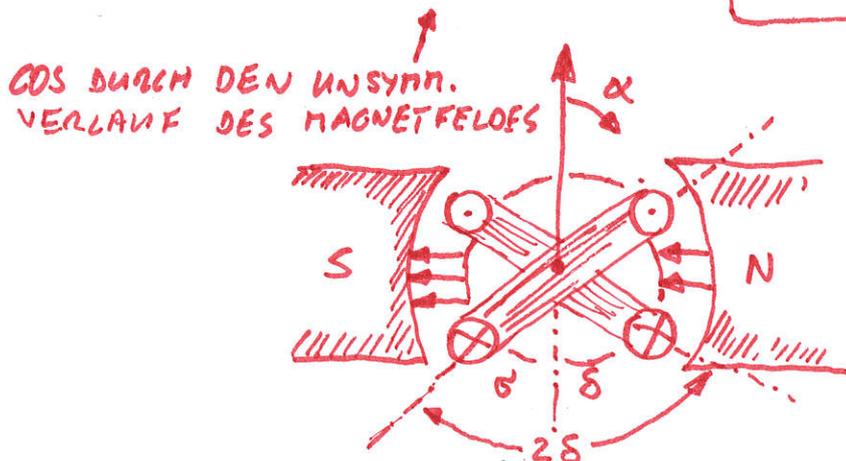
Die Drehmomente in den beiden Spulen gleicher Windungsflächen sind den jeweiligen Strömen  $I_1$  und  $I_2$ , den jeweiligen Windungszahlen  $w_1$  und  $w_2$  und der am Ort der jeweiligen Spulenflanke herrschenden Induktion  $B_0 \cdot \cos(\alpha - \delta)$  bzw.  $B_0 \cdot \cos(\alpha + \delta)$  proportional. Der Skalenverlauf berechnet sich wegen des sinusförmigen Feldverlaufs zu

$$\frac{I_1 w_1}{I_2 w_2} = \frac{\cos(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha + \delta)}$$

VEREINFACHT

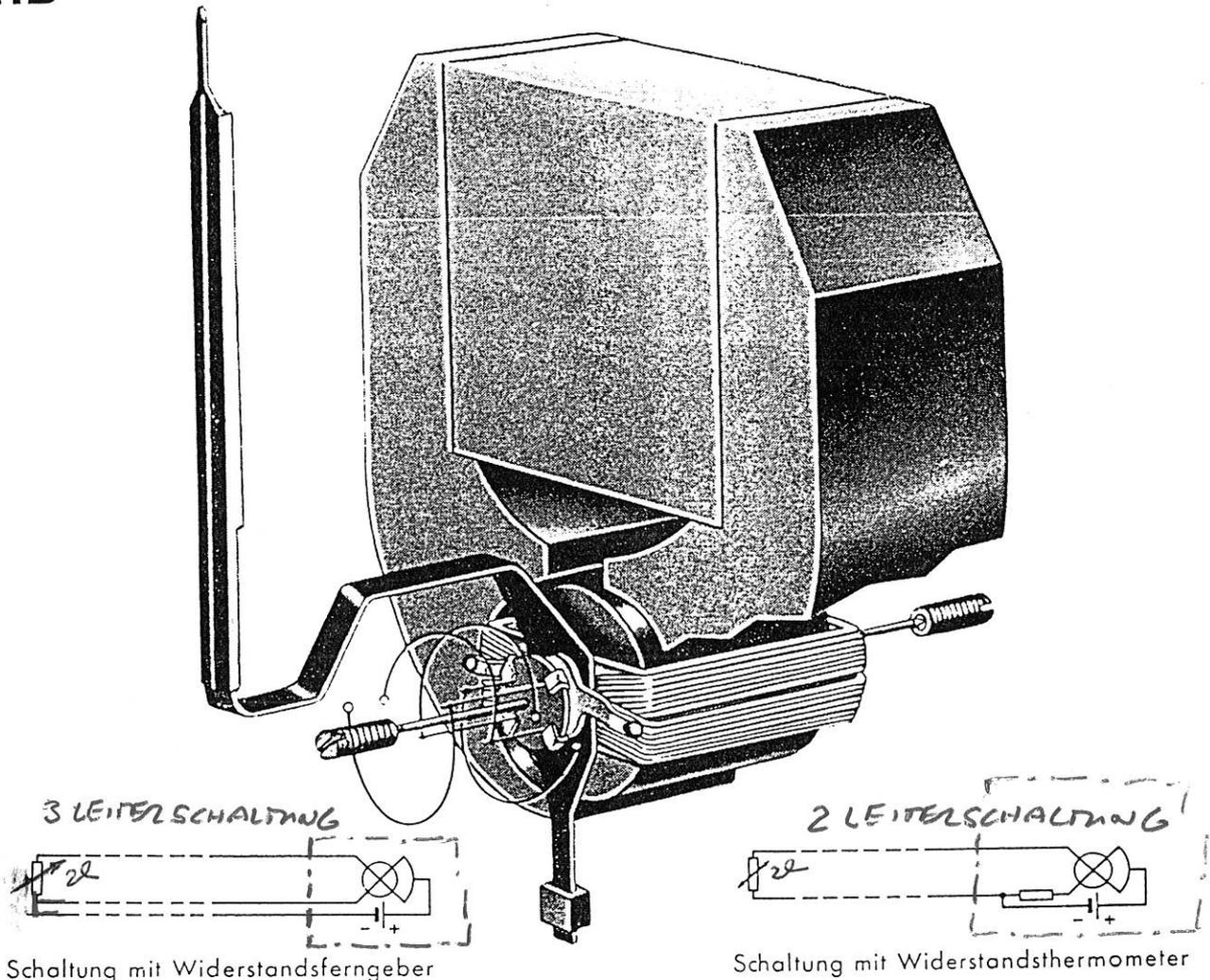
$$\alpha = \frac{I_1}{I_2}$$

SIEHE SEITE 122



H&amp;B

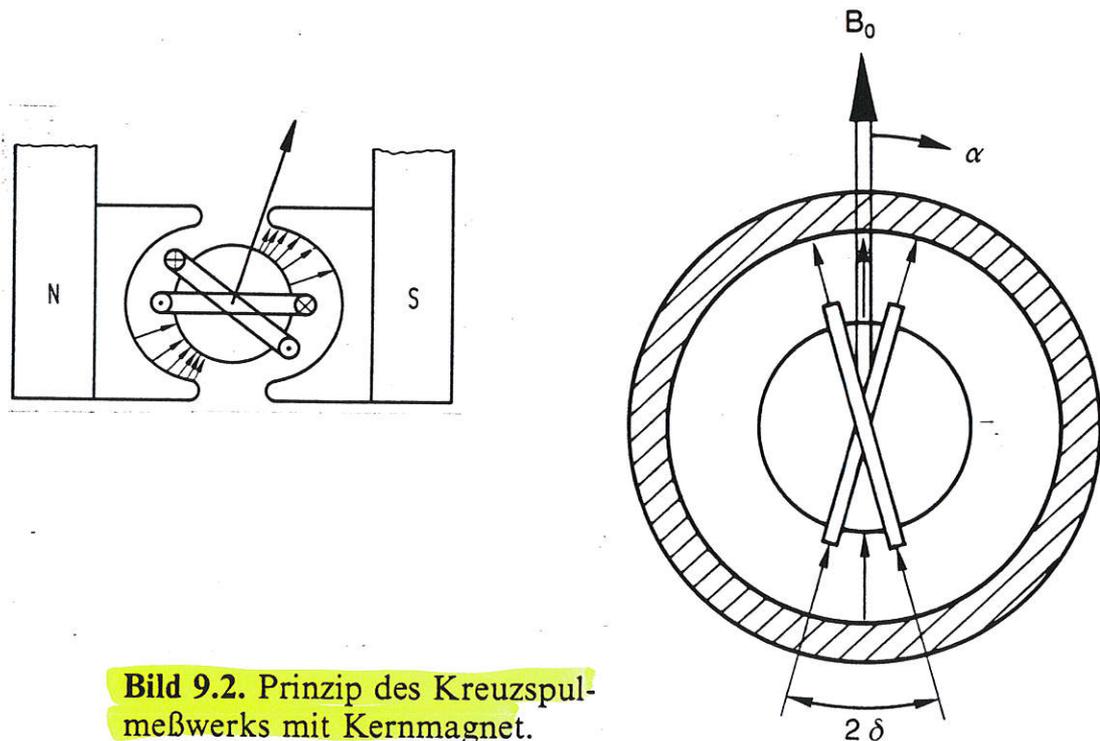
## Kreuzspul-Meßwerk



Schaltung mit Widerstandsferngeber

Schaltung mit Widerstandsthermometer

Zwei miteinander fest verbundene, gekreuzte Spulen sind innerhalb eines Magneten um einen Eisenkern drehbar angeordnet. Der Luftspalt zwischen Magnet und Kern nimmt von der Mitte aus nach oben und unten ab, die Induktion im gleichen Maße zu. Der Strom wird über richtkraftfreie Metallbänder zugeleitet. An der einen Spule entsteht ein linksdrehendes, an der anderen ein rechtsdrehendes Drehmoment. Sind die Ströme in den Spulen gleich, so heben sich beide Drehmomente nur dann auf, wenn auch die an jeder Spule wirksamen Induktionen gleich sind. Ist einer der beiden Ströme schwächer als der andere, so nimmt die Kreuzspule eine bestimmte andere Lage ein, bei der sich die vom schwächeren Strom durchflossene Spule im Gebiet höherer Induktion und die vom stärkeren Strom durchflossene Spule im Gebiet geringer Induktion befindet, damit sich beide Drehmomente wieder aufheben. Der Zeiger zeigt somit unabhängig von der Höhe der Meßspannung nur das Stromverhältnis an.



**Bild 9.2.** Prinzip des Kreuzspulmeßwerks mit Kernmagnet.

Damit besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Winkel  $\alpha$  und dem Quotienten  $I_1/I_2$  der beiden Spulenströme. Kreuzspulmeßwerke sind deshalb besonders gut für Widerstandsmessungen geeignet. Bei der Konstruktion muß jedoch auf eine stabile Einstellung geachtet werden.

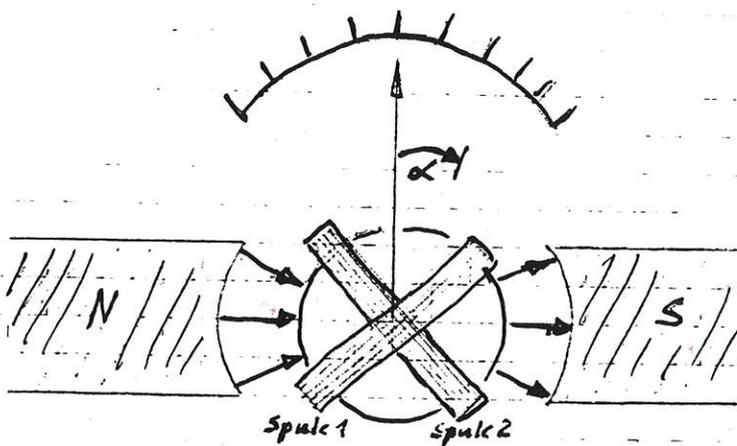
Bei den Meßschaltungen zur Widerstandsmessung mit Kreuzspulmeßwerken nach Bild 9.3 a) und b) sorgt man dafür, daß die Ströme  $I_1$  und  $I_2$  durch die beiden Spulen angenähert proportional der Spannung am bzw. dem Strom durch den zu messenden Widerstand  $R_x$  sind. (SIEHE SEITE 123)

Der Ausschlagwinkel  $\alpha$  des Kreuzspulmeßwerks wird dann näherungsweise unabhängig von der Versorgungsspannung der Meßschaltungen, weil bei einer Änderung der Quotient konstant bleibt. Die stromrichtige Schaltung in Bild 9.3 a) eignet sich für die Messung hochohmiger Widerstände, die spannungsrichtigen Schaltungen

**Quotientenmeßwerk.** Beim Quotientenmeßwerk ist die eine Spule des Drehspulmeßwerks durch zwei getrennte Wicklungen ersetzt (Bild 2.3). Das Magnetfeld ist inhomogen und der Strom wird über richtkraftlose Bändchen zugeführt. Damit wird erreicht, daß der Ausschlag  $\alpha$  vom Verhältnis der durch die beiden Spulen gehenden Ströme  $I_1$  und  $I_2$  abhängt

$$\alpha = k \frac{I_1}{I_2} \quad (2.7)$$

Entsprechend der Anordnung der beiden Spulen wird das Meßwerk auch als Kreuzspul- oder T-Spul-Meßwerk bezeichnet.



Schaltzeichen:

beide spulen sind miteinander fest verbunden!

keine Rückstellfeder höchstens zur Stromzufuhr!

$$B_1(\alpha) = B \cdot \alpha \quad M_1 \sim B_1 \cdot I_1$$

$$B_2(\alpha) = B / \alpha \quad M_2 \sim B_2 \cdot I_2$$

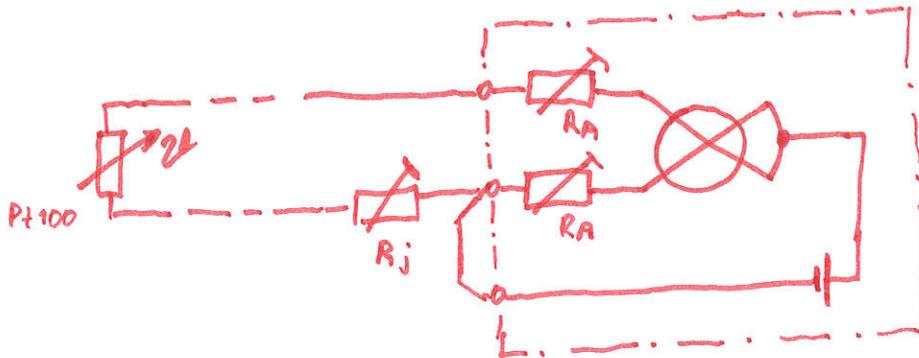
Die spulen sind elektr. gleichartig und niederohmig.

$$\Downarrow$$

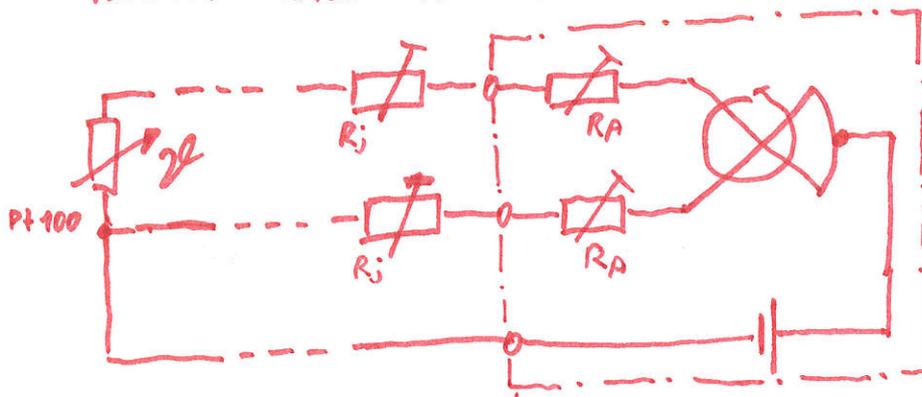
$$B \cdot \alpha \cdot I_1 \sim \frac{B}{\alpha} \cdot I_2 \quad \Rightarrow \quad \alpha^2 \sim \frac{I_2}{I_1} \quad \Rightarrow \quad \alpha \sim \sqrt{\frac{I_2}{I_1}}$$

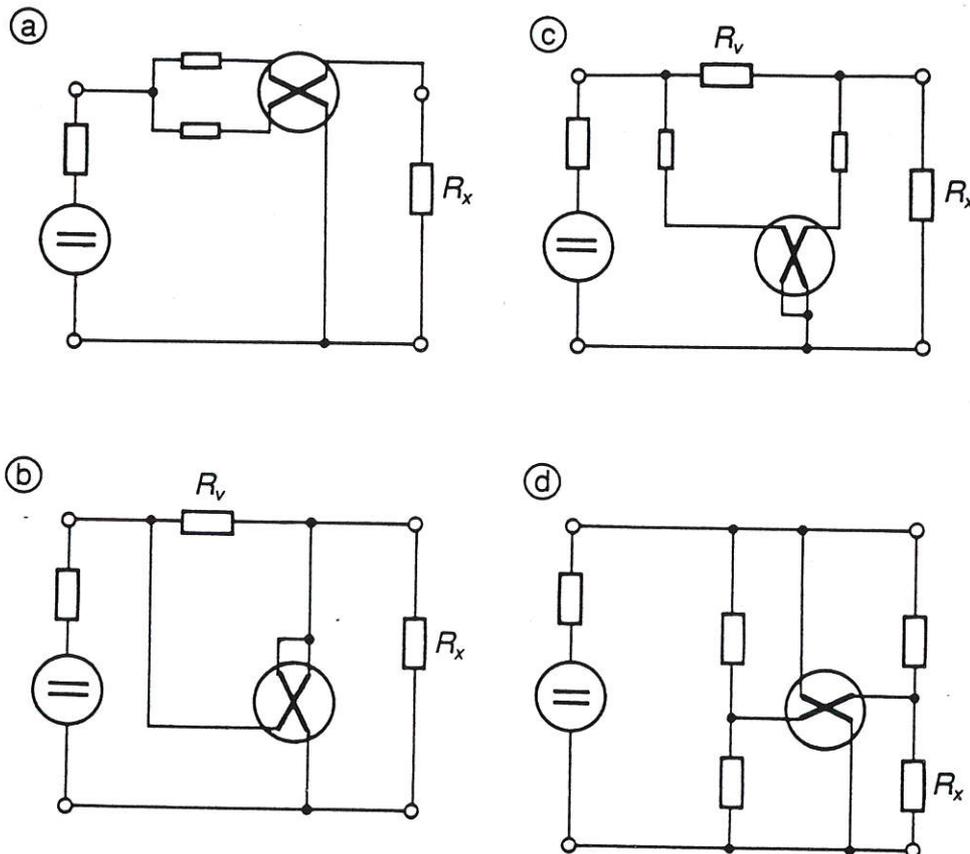
linearisiert folgt  $\alpha = \frac{I_2}{I_1}$

## TEMPERATURMESSUNG 2 LEITER SCHALTUNG



## TEMPERATURMESSUNG 3 LEITER SCHALTUNG





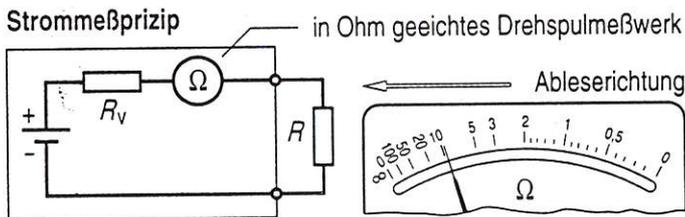
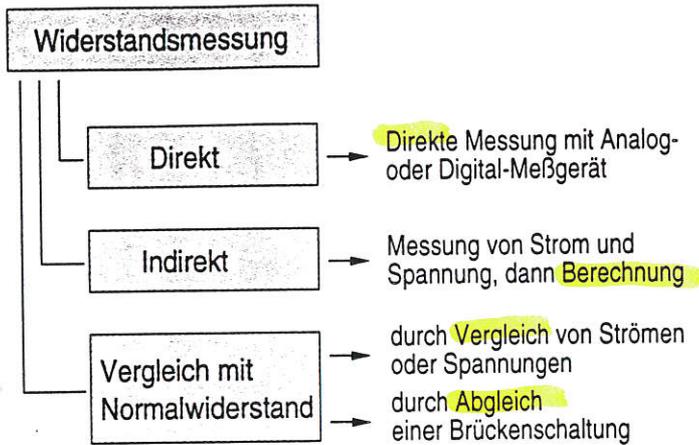
**Bild 9.3.** Meßschaltungen für Widerstandsmessungen mit Kreuzspulenmeßwerken.

- a) Stromrichtige Schaltung für hochohmige Widerstände,  
 b) Spannungsrichtige Schaltung für niederohmige Widerstände,  
 c) Spannungsrichtige Teilerschaltung für niederohmige Widerstände,  
 d) Brückenschaltung im Ausschlagverfahren.

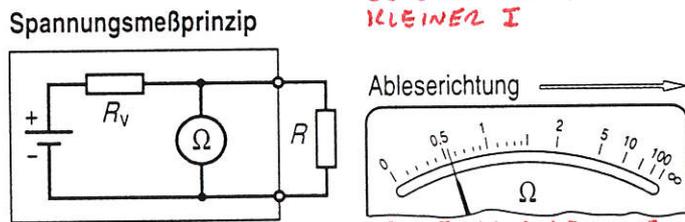
(SIEHE S. 121)

nach Bild 9.3 b) und c) eignen sich eher für niederohmige Widerstände, wobei im Fall c) ein Spannungsteilerverhältnis ausgewertet wird. Im Fall d) erfolgt die Widerstandsmessung über eine Brückenschaltung im Ausschlagverfahren, wobei ein der Versorgungsspannung (oder dem Versorgungsstrom) proportionaler Strom durch die eine Spule und ein der Brücken-Ausgangsspannung proportionaler Strom durch die andere Spule fließt.

## 5.4 Widerstandsmessung I



JE GRÖßER R DESTO KLEINER I



JE GRÖßER R DESTO GRÖßER U

- Widerstandsskalen von Analoggeräten sind nichtlinear; beim Strommeßprinzip verlaufen sie von rechts nach links, beim Spannungsmeßprinzip von links nach rechts

### Meßprinzipien

Die Bestimmung des Widerstandswertes eines Ohmschen Widerstandes kann nach mehreren Prinzipien erfolgen. Am einfachsten ist die direkte Messung; sowohl analoge als auch digitale Meßgeräte bieten die Möglichkeit, Widerstandswerte direkt zu messen. Der Widerstand kann auch indirekt mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes aus einer Spannungs- und einer Strommessung bestimmt werden. Sehr genaue Meßergebnisse bietet der Vergleich mit hochpräzisen Normalwiderständen. Der Vergleich kann über einen Spannungs- oder Stromvergleich realisiert werden, oder durch ein Abgleichverfahren mit Hilfe einer Brückenschaltung.

### Direkte analoge Messung

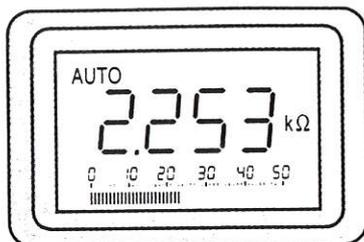
Analoge Meßgeräte mit einem Drehspulmeßwerk eignen sich gut als Widerstandsmeßgerät (Ohmmeter); Voraussetzung ist aber, daß sie eine eigene Spannungsquelle (Batterie) besitzen. Je nach Schaltung des Meßwerks unterscheidet man das Strommeßprinzip und das Spannungsmeßprinzip. Beim meist verwendeten Strommeßprinzip liegt das Meßwerk in Reihe zum Meßobjekt. Da der Strom mit zunehmendem Widerstand abnimmt, verläuft die Skale von rechts nach links; sie ist stark nichtlinear. Beim Spannungsmeßprinzip liegt das Meßwerk parallel zum Meßobjekt. Da die Spannung am Meßobjekt mit zunehmendem Widerstand größer wird, verläuft die Skale von links nach rechts; sie ist ebenfalls nichtlinear. Bei beiden Meßprinzipien geht die Batteriespannung in das Meßergebnis ein. Vor jeder Messung sollte daher ein Nullabgleich gemacht werden.

0 BATTERIESPANNUNG HAT EINFLUSS AUF MESSERGEBNIS!



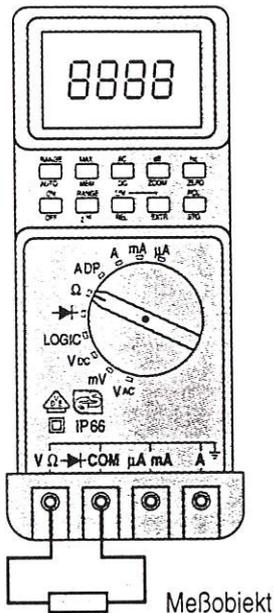
0 IMMER NULLABGLEICH VOR JEDER MESSUNG!

### Beispiel



Die Meßunsicherheit ist vom Meßbereich abhängig. Die Tabelle zeigt Daten eines Geräteherstellers:

Meßbereich	Unsicherheit
300 Ω	± (0,2% + 30 Dig.)
3 kΩ	± (0,2% + 6 Dig.)
30 kΩ	± (0,2% + 6 Dig.)
300 kΩ	± (0,2% + 6 Dig.)
3 MΩ	± (0,4% + 6 Dig.)
30 MΩ	± (1,5% + 6 Dig.)



Meßobjekt

- Bei analoger oder digitaler Widerstandsmessung muß der zu messende Widerstand unbedingt stromlos sein !

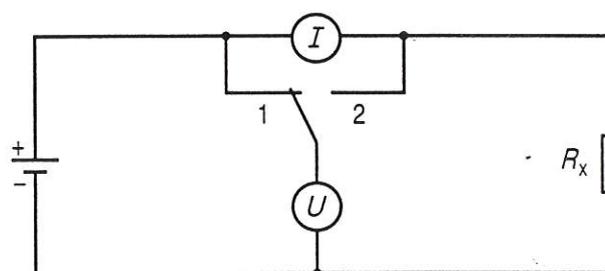
### Indirekte Messung

Die indirekte Widerstandsmessung beruht auf der gleichzeitigen Messung von Spannung und Strom am unbekannten Widerstand. Der Widerstand wird dann mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes  $R = U/I$  berechnet. Die Messung enthält in jedem Fall einen durch die Meßschaltung bedingten systematischen Fehler.

Wird der Spannungsmesser vor den Strommesser geschaltet, so entsteht die Spannungsfehlerschaltung; sie eignet sich für Widerstände, die wesentlich größer sind als der Innenwiderstand des Strommessers.

Wird der Strommesser vor den Spannungsmesser geschaltet, so entsteht die Stromfehlerschaltung; sie eignet sich für Widerstände, die wesentlich kleiner sind als der Innenwiderstand des Spannungsmessers.

### Spannungs- und Stromfehlerschaltung



Stellung 1

Spannungsfehlerschaltung  
besonders geeignet  
für große Meßwiderstände

Stellung 2

Stromfehlerschaltung  
besonders geeignet  
für kleine Meßwiderstände

$$R = \frac{U}{I}$$

$$U_{\square} = R_x (I - I_M)$$

$$I_M = \frac{U}{R_{MV}}$$

$$U = R_x \left( I - \frac{U}{R_{MV}} \right)$$

⇓

$$R_x = \frac{U}{\left( I - \frac{U}{R_{MV}} \right)}$$

ZÄHLER UND NENNER  
DURCH U DIVIDIEREN

$$R_x = \frac{U/U}{\frac{I}{U} - \frac{U \cdot 1}{R_{MV} \cdot U}}$$

$$R_x = \frac{1}{\frac{I}{U} - \frac{1}{R_{MV}}}$$

KORREKTURFORMEL  
FÜR SPANNUNGS-  
RICHTIGE SCHALTUNG

**5.4 Widerstandsmessung**

**5.4.1 Strom- und Spannungsrichtige Messung (INDIREKTE MESSUNG)**

Spannungsrichtig

$$U = R_X (I - I_{M_V})$$

$$U = R_X \left( I - \frac{U}{R_{M_V}} \right)$$

$$R_X = \frac{U}{I - \frac{U}{R_{M_V}}}$$

$\left. \begin{matrix} \text{Zähler} \\ \text{Nenner} \end{matrix} \right\} U$

$R_X = \frac{1}{\frac{I}{U} - \frac{1}{R_{M_V}}}$  ← Korrekturformeln

Stromrichtig

$$U = I (R_{M_A} + R_X)$$

$$R_X = \frac{U}{I} - R_{M_A}$$

Aus den Korrekturformeln erkennt man:  
 für große  $R_X$  stromrichtige Schaltung  
 für kleine  $R_X$  spannungsrichtige Schaltung

**BEISPIELAUFGABE 1:**

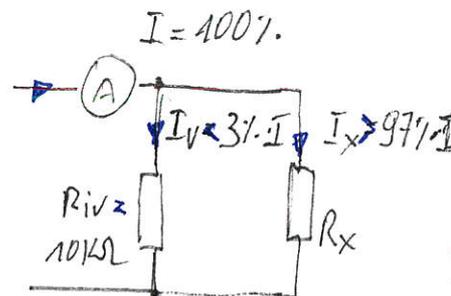
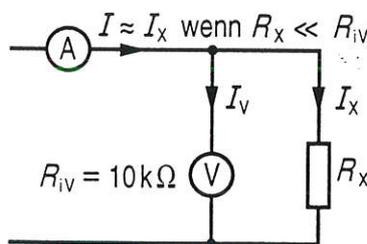
**Indirekte Widerstandsmessung**

Zur Widerstandsbestimmung wird ein Strommesser mit  $R_{iA} = 1 \Omega$  und ein Spannungsmesser mit  $R_{iV} = 10 \text{ k}\Omega$  eingesetzt. Berechnen Sie für welche Widerstände  $R_x$  der systematische Fehler kleiner als 3% ist  
a) bei der Stromfehlerschaltung,  
b) bei der Spannungsfehlerschaltung.

**Indirekte Widerstandsbestimmung**

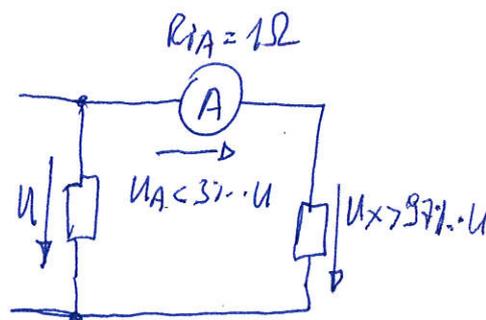
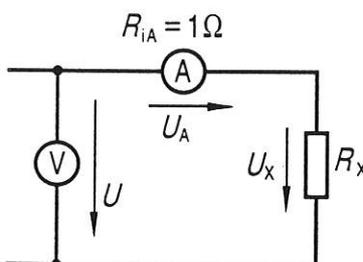
**a) Stromfehlerschaltung**

Damit der systematische Fehler  $< 3\%$  ist, muss  $I_V < 3\% \cdot I$  sein. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn  $R_x < 3\% \cdot R_{iV}$  ist. Somit muss sein:  
 $R_x < 3\% \cdot 10 \text{ k}\Omega = 300 \Omega$



**b) Spannungsfehlerschaltung**

Damit der systematische Fehler  $< 3\%$  ist, muss  $U_A < 3\% \cdot U$  sein. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn  $R_{iA} < 3\% \cdot R_x$  ist. Somit:  $R_x > \frac{1 \Omega}{3\%} = 33,3 \Omega$

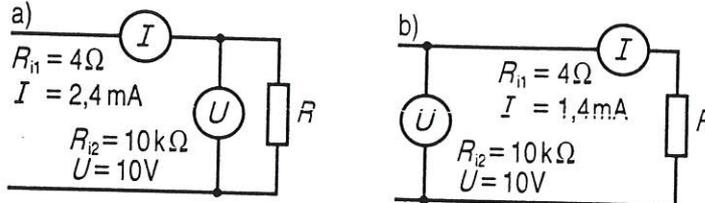


Für Messwiderstände  $33,3 \Omega < R_x < 300 \Omega$  ist bei beiden Schaltungen der systematische Fehler kleiner als 3%.

**BEISPIELAUFGABE 2:**

**Fehlerberechnung**

- a) Erläutern Sie den Begriff Meßunsicherheit.  
 b) Definieren Sie den absoluten und den relativen Meßfehler. Welche Fehlerangabe ist aussagekräftiger?  
 Zwei unbekannte Widerstände im  $k\Omega$ -Bereich werden mit folgenden beiden Meßschaltungen bestimmt:



- c) Wie heißen die beiden Schaltungen?  
 d) Berechnen Sie für beide Fälle den unkorrigierten und den korrigierten Widerstandswert. Bei welcher Schaltung ist der systematische Fehler kleiner?

RELATIVER

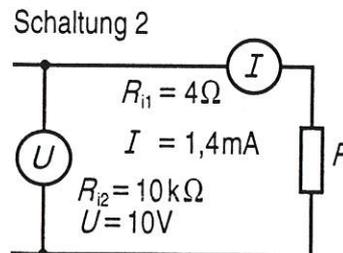
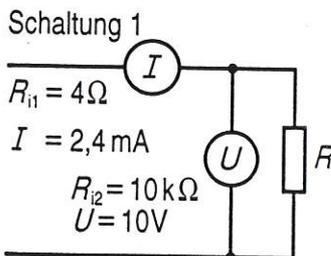
**Fehlerberechnung**

a) Messunsicherheit

Da jede Messung fehlerhaft ist, weicht das Messergebnis immer mehr oder weniger stark vom wahren Wert ab. Der mögliche prozentuale Messfehler ist die Messunsicherheit. Der Bereich in dem der wahre Wert liegt ist der Unsicherheitsbereich.

b) Messfehler

Absoluter Messfehler ist die Differenz zwischen Messwert und wahren Wert.  
 Relativer Fehler ist der absolute Fehler bezogen auf den wahren Wert. Da der wahre Wert nicht bekannt ist, wird bei kleinen Messfehlern auf den Messwert bezogen. Der relative Fehler ist wesentlich aussagekräftiger als der absolute Fehler.



c) Messschaltungen

Schaltung 1 ist eine Stromfehlerschaltung (Spannungsrichtigschaltung); hier wird fälschlicherweise der Strom des Spannungsmessers mitgemessen.

**Messschaltungen**

Schaltung 2 ist eine Spannungsfehlerschaltung (Stromrichtigschaltung). Hier wird fälschlicherweise der Spannungsfall am Strommesser mitgemessen.

**d) Fehlerkorrektur**

Zu Schaltung 1:

Unkorrigierter Messwert :  $R_F = \frac{10 \text{ V}}{2,4 \text{ mA}} = 4167 \Omega$

Stromfehler:  $I_M = \frac{10 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 1 \text{ mA}$  *des Spannungsmessers*

Korrigierter Messwert:  $R_R = \frac{10 \text{ V}}{2,4 \text{ mA} - 1 \text{ mA}} = 7143 \Omega$

Relativer Messfehler:  $f = \frac{R_F - R_R}{R_R} \cdot 100 \% = - 41,7 \%$

Zu Schaltung 2:

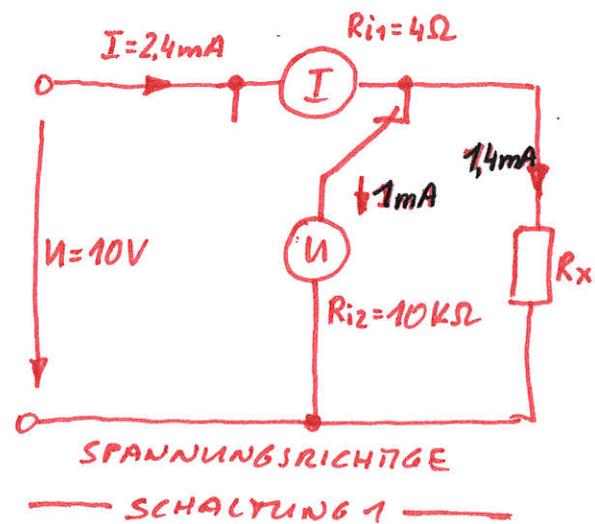
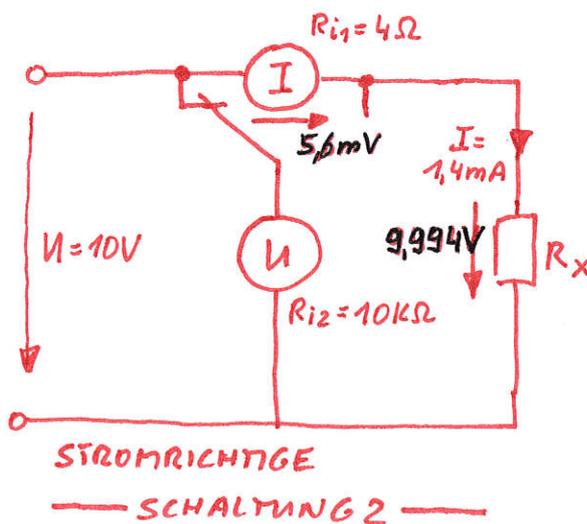
Unkorrigierter Messwert :  $R_F = \frac{10 \text{ V}}{1,4 \text{ mA}} = 7143 \Omega$

Spannungsfehler:  $U_M = 4 \Omega \cdot 1,4 \text{ mA} = 5,6 \text{ mV}$  *des Strommessers*

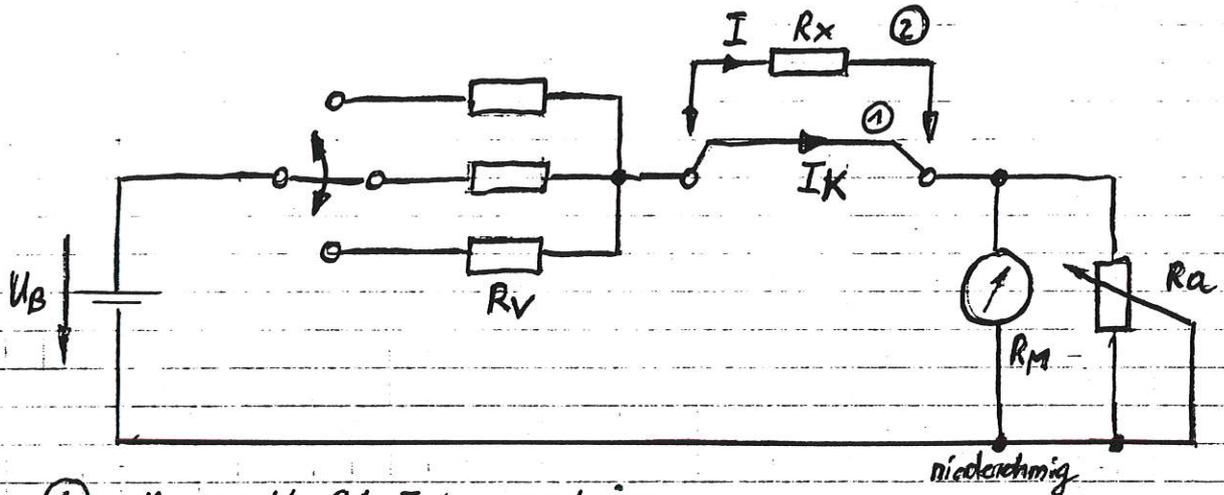
Korrigierter Messwert:  $R_R = \frac{10 \text{ V} - 5,6 \text{ mV}}{1,4 \text{ mA}} = 7139 \Omega$

Relativer Messfehler:  $f = \frac{R_F - R_R}{R_R} \cdot 100 \% = 0,06 \%$

Bei hochohmigen Messobjekten ist die Spannungsfehlerschaltung günstiger als die Stromfehlerschaltung. Bei Verwendung von sehr hochohmigen digitalen Spannungsmessern spielt der Fehler der Stromfehlerschaltung keine große Rolle.



## 5.4.2 Widerstandsmeßgerät (STROMMESSPRINZIP)



① Kurzschlussbrücke anbringen  $\Rightarrow$

Abgleich: Vollausschlag:  $I_K = \frac{U_B}{R_V + (R_M \parallel R_A)} \Rightarrow I_K \approx \frac{U_B}{R_V}$

$R_A$  sollte in der Größenordnung von  $R_M$  sein, damit man überhaupt eine Änderung vornehmen kann. Ein wesentlich höheres  $R_A$  würde den Parallelwiderstand kaum ändern.

②  $I = \frac{U_B}{R_V + R_X + (R_M \parallel R_A)} \Rightarrow I \approx \frac{U_B}{R_V + R_X}$

Messen:

Skalengleichung:  $\frac{I}{I_K} = \frac{R_V}{R_V + R_X}$

$$\frac{I}{I_K} = \frac{R_V}{R_V + R_X}$$

z.B.  $R_X = 200 \Omega$

$$\frac{I}{I_K} = \frac{1000 \Omega}{1000 \Omega + 200 \Omega} = \underline{\underline{0,833}}$$

$$90^\circ \hat{=} 1 \quad 0,833 \hat{=} ?^\circ \quad \Rightarrow 0,833 \cdot 90^\circ = \underline{\underline{75^\circ}}$$

z.B.  $R_X = 5000 \Omega$

$$\frac{I}{I_K} = \frac{1000 \Omega}{1000 \Omega + 5000 \Omega} = \underline{\underline{0,166}}$$

$$0,166 \cdot 90^\circ = \underline{\underline{15^\circ}}$$

③ Es soll die Skala eines Widerstandsmessgerätes kalibriert werden.

Skala  $90^\circ$   
 $R_V = 1\text{ k}\Omega$

$R_X/\text{k}\Omega$	$I/I_K$	$\alpha^\circ$
0	1	90
0.2	0,833	75
0.5	0,666	60
1	0,5	45
2	0,333	30
3	0,25	22,5
5	0,166	15
10	0,090	8,2
20	0,0476	4,5
50	0,0196	1,8
$\infty$	0	0

$$\frac{I}{I_K} = \frac{R_V}{R_V + R_X}$$

z.B.  $\frac{I}{I_K} = \frac{1000\Omega}{1000\Omega + 200\Omega} = 0,83\bar{3}$

$R_X = R_V$

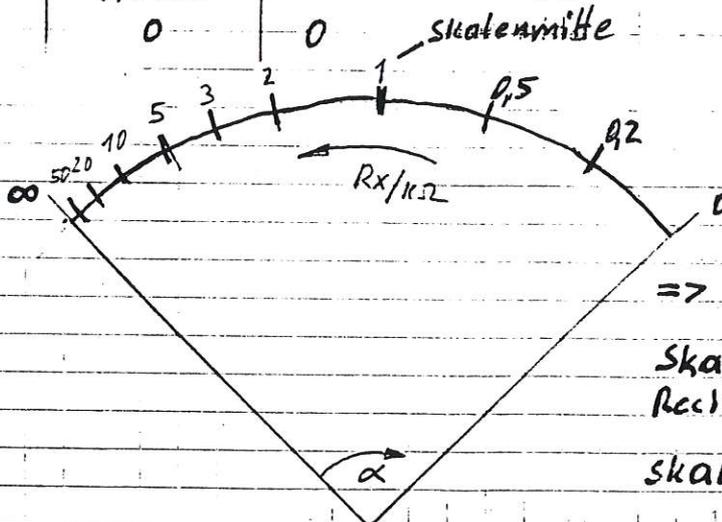
$I_m \sim \alpha$  DREHSPULMESSGERÄT

$90^\circ$  Vollausschlag d.h.

(Dreisatz) da STROMMESS-  
PRINZIP

$$\frac{I}{I_K} = 1 \Rightarrow I = I_K$$

$I = \text{MAXIMAL}$



Skalenverlauf von  
Rechts nach links = STROMMESS-  
PRINZIP

Skalenverlauf nicht linear!

VERSCHALTUNG VON

o DMS (KRAFT-; DRUCKMESSDOSEN)

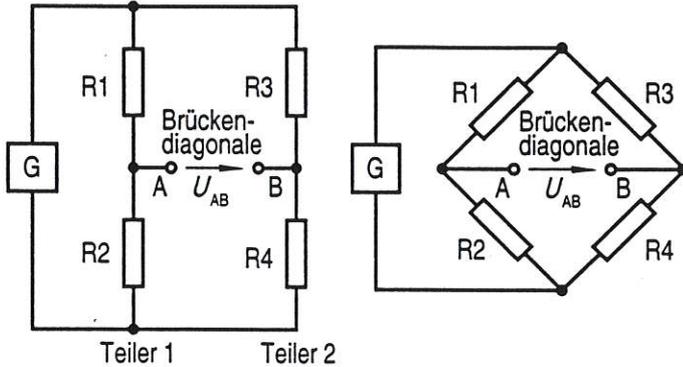
o TETRAHÄNGIGE WIDERSTÄNDE

o KONDENSATOREN/INDUKTIVITÄTEN  
(WIEN; ROBINSON)

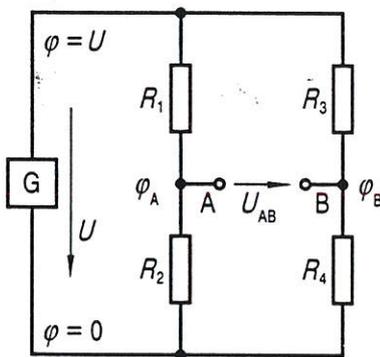
IN BRÜCKENSCHALTUNGEN

# Brückenschaltung

Darstellung von Brückenschaltungen



- Zwei parallele Spannungsteiler bilden eine Brückenschaltung, die Strecke zwischen den Abgriffen heißt Brückendiagonale



Potentiale

$$\varphi_A = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$$

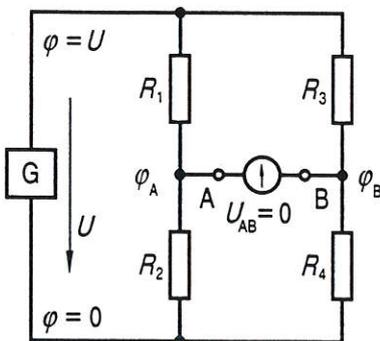
$$\varphi_B = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U$$

Brückenspannung

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

$$U_{AB} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U$$

- Zwischen den Teilerabgriffen entsteht die Brückenspannung (SIEHE S.127)



Abgleichbedingung

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 0$$

daraus folgt:

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

$$R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 = R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_4$$

und:

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

- Bei abgeglichener Brücke ist die Brückenspannung Null (SIEHE S.128)

## Aufbau

Eine Brückenschaltung besteht aus der Parallelschaltung von zwei Spannungsteilern R1, R2 und R3, R4. Beide Spannungsteiler liegen an einer gemeinsamen Spannungsquelle. Die Strecke zwischen den Abgriffpunkten A und B heißt Brückenweig oder Brückendiagonale; zwischen den beiden Punkten A und B tritt die Brückenspannung auf.

Brückenschaltungen enthalten meist ohmsche Widerstände; bei Verwendung als Meßbrücke werden auch Schleifdrähte, sowie temperaturabhängige Widerstände (PTC- und NTC-Widerstände) und Dehnungsmeßstreifen (DMS) eingesetzt.

Die Skizze zeigt zwei unterschiedliche Darstellungsformen einer Brückenschaltung.

## Brückenspannung

Brückenschaltungen werden meist als Meßbrücken eingesetzt; in dieser Form werden sie nach ihrem Erfinder Charles Wheatstone (engl. Physiker, 1802-1875) auch als Wheatstonsche Meßbrücke bezeichnet.

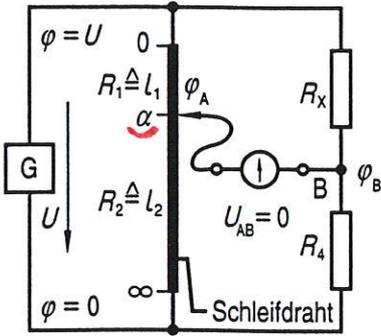
Ist die Brückendiagonale gar nicht oder nur durch ein hochohmiges Spannungsmeßgerät belastet, so kann die Brückenspannung leicht mit Hilfe der Maschenregel oder durch eine Potentialbetrachtung berechnet werden. Für die Berechnung der belasteten Brückenspannung eignet sich die Dreieck-Stern-Umwandlung (siehe Kap. 2.4) oder eine Ersatzspannungsquelle (Kap. 2.5).

## Abgleichbedingung

Meßbrücken können als „Ausschlagbrücken“ oder als „Abgleichbrücken“ eingesetzt werden.

Bei der Ausschlagbrücke wird die Brückenspannung gemessen; sie ist ein Maß für die Meßgröße.

Bei der Abgleichbrücke wird einer der 4 Widerstände soweit verändert, bis die Brückenspannung Null ist; die Brücke ist dann „abgeglichen“. Die sogenannte Abgleichbedingung erhält man z. B. durch die Berechnung der Potentiale  $\varphi_A$  und  $\varphi_B$ . Die Brückenspannung ist Null, d.h. die Brücke ist abgeglichen, wenn  $\varphi_A = \varphi_B$  ist. Nicht abgeglichene Brücken werden auch als „verstimmt“ bezeichnet.



Für den Schleifdraht gilt:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} = \alpha$$

Damit folgt aus der  
Abgleichbedingung:

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R_4 = \alpha \cdot R_4$$

Hinweis: die Skalenteilung  
für  $\alpha$  reicht von 0 bis  $\infty$ .

- Brücken dienen zur genauen Messung von Widerständen

**Schleifdrahtbrücke**

Wheatstonsche Meßbrücken werden häufig als Schleifdrahtbrücken ausgeführt; sie dienen zur Bestimmung eines unbekannten Widerstandes  $R_x$ .

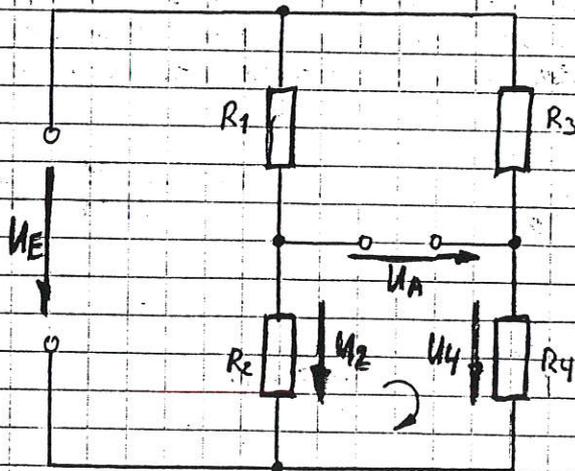
Die Brückenschaltung enthält einen kalibrierten Schleifdraht der Länge  $L$ , ein Schleiferabgriff teilt die Gesamtlänge des Schleifdrahtes in die Teillängen  $l_1$  und  $l_2$ . Zur Bestimmung von  $R_x$  wird der Schleifer solange verstellt, bis die Brücke abgeglichen ist, d. h. bis das möglichst empfindliche Meßgerät P1 keinen Ausschlag mehr zeigt. Aus der Stellung des Abgriffs  $\alpha = l_1 : l_2$  kann der Widerstandswert  $R_x$  direkt abgelesen werden.

$R_x = \alpha \cdot R_4 \Rightarrow$

$$R_x = \frac{l_1}{l_2} \cdot R_4$$

$$\alpha = \frac{l_1}{l_2}$$

## 5.4.3 Wheatstone-Meßbrücke

Wheatstone - Meßbrücke

2 parallele Spannungsteiler

$$U_2 = U_E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_4 = U_E \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

$$U_A + U_4 - U_2 = 0$$

$$U_A = U_2 - U_4$$

$$U_A = U_2 - U_4 = U_E \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \quad \text{BRÜCKENGLEICHUNG}$$

1. Ausfallagverfahren (Strom im Ausgang beachten !!)

BEISPIEL:

③ Geg  $U_E = 10V$

$R_1 = R_2 = R_3 = 1,5 k\Omega$

a)  $R_4 = 1,4 k\Omega$

Ges:  $U_A$ 

$$U_A = U_E \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

$$U_A = 10V \left( \frac{1,5}{3,0} k\Omega - \frac{1,4}{2,9} k\Omega \right)$$

$$U_A = 172 mV$$

b)  $R_3 = 1,4 k\Omega$   
 $R_4 = 1,5 k\Omega$

$$U_A = 10V \left( \frac{1,5}{3,0} k\Omega - \frac{1,5 k\Omega}{2,9 k\Omega} \right)$$

$$U_A = -172 mV$$

$U_A$  ist umgekehrt  
als angenommen  
Man darf nicht mit  
Betrag rechnen

2. Abgleichverfahren

$R_x = R_1$  ;  $R_2$  Potentiometer

 $\rightarrow U_A = 0$  im Abgleichfall

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

$$\frac{R_1}{R_2} + 1 = \frac{R_3}{R_4} + 1$$

für  $U_A = 0$ 

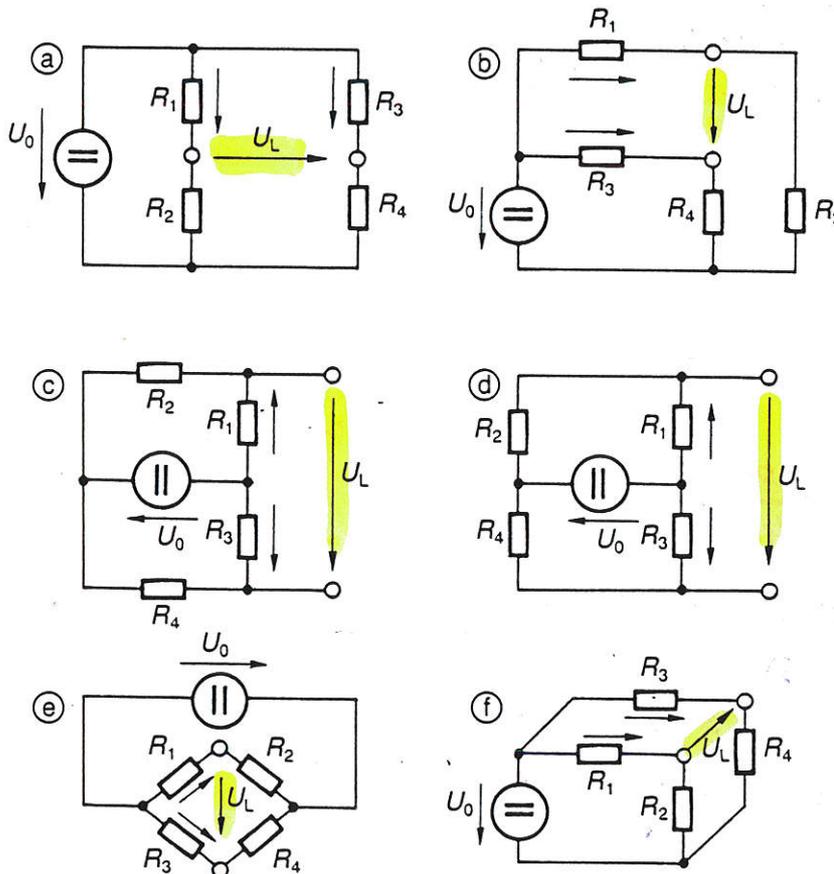
$$\boxed{\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}}$$

bei Abgleich

*Unterschiedliche Darstellungsmöglichkeiten  
von Meßbrücken*

Die in Bild 8.1c angegebene Prinzipschaltung einer Meßbrücke läßt sich auf unterschiedliche Weise darstellen. Bei den in Bild 8.3 angegebenen 6 Zeichnungsvarianten **a – f** handelt es sich um funktionsgleiche Schaltungen.

Ausgehend von der Originalschaltung mit außenliegender Spannungsquelle in a) ist schließlich in Schaltung d) die Spannungsquelle nach innen verlegt, und die Brückenausgangsspannung kann dann außen abgegriffen werden; Variante e) läßt erkennen, warum die Brückenausgangsspannung auch heute noch häufig als Brücken-Diagonalspannung bezeichnet wird. Variante f) bietet aufgrund der dreidimensionalen Darstellung einen besonders guten Einblick in den Aufbau der Schaltung.



**Bild 8.3.** Zeichnungsvarianten der Prinzipschaltung einer Meßbrücke.