

EINSTELLFEHLER  $\pm 0,5\%$

(A)

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{a}{b}$$

$$R_4 = 300 \Omega$$

$$a = 250 \text{ mm}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$R_3 = 300 \Omega \cdot \frac{250 \text{ mm}}{250 \text{ mm}}$$

$$R_3 = 300 \Omega \quad (\text{OHNE EINSTELLFEHLER})$$

$$\begin{aligned} R_3^{\text{I}} &= 300 \Omega - 298,8 \Omega = 1,2 \Omega \\ R_3^{\text{II}} &= 301,2 \Omega - 300 \Omega = 1,2 \Omega \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} R_3^{\text{I}} \\ R_3^{\text{II}} \end{aligned}} \right\} \Delta R = 1,2 \Omega$$

$$\underline{\underline{f_{\%}} = \frac{\pm 1,2 \Omega \cdot 100\%}{300 \Omega} = \pm 0,4\%}}$$

(B)

$$R_4 = 300 \Omega$$

$$a = 80 \text{ mm}$$

$$b = 420 \text{ mm}$$

$$R_3 = 300 \Omega \cdot \frac{80 \text{ mm}}{420 \text{ mm}}$$

$$R_3 = \frac{7143}{100} \Omega \quad (\text{OHNE EINSTELLFEHLER})$$

$$\begin{aligned} R_3^{\text{I}} &= 57,56 \Omega - 57,14 \Omega = 0,42 \Omega \\ R_3^{\text{II}} &= 57,14 \Omega - 56,71 \Omega = 0,42 \Omega \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} R_3^{\text{I}} \\ R_3^{\text{II}} \end{aligned}} \right\} \Delta R = 0,42 \Omega$$

$$\underline{\underline{f_{\%}} = \frac{\pm 0,42 \Omega \cdot 100\%}{57,14 \Omega} = \pm 0,75\%}}$$

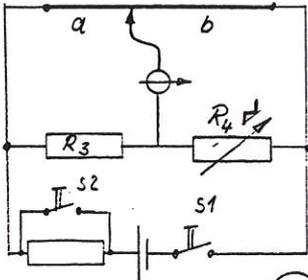
$\Rightarrow$  (C)

**1.4 Schleifdrahtmeßbrücke**

Bei der Schleifdrahtmeßbrücke werden die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  durch einen kalibrierten Meßdraht ersetzt.  $R_4$  ist nur noch stufig veränderbar. Die Längen  $a$  und  $b$ , die abgegriffen werden, entsprechen den zugehörigen Widerständen  $R_1$  und  $R_2$ .

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{a}{b}$$

Der Widerstand  $R_4$  wird so eingestellt, daß er in der Größenordnung von  $R_3 = R_x$  liegt. Damit kommt der Widerstandsabgriff in den Mittelbereich des Schleifdrahtes, Genauigkeit der Einstellung. Es wird angenommen, der Schleifdraht habe eine Länge von 500 mm. Die Einstellgenauigkeit betrage 0,5 mm = 1%. Es kann also ein Einstellfehler von  $\pm 0,5\%$  angenommen werden.  $a = 250$  mm,  $b = 250$  mm,  $R_3 = ?$ ,  $R_4 = 300 \Omega$



7

$$R_3 = R_4 \cdot \frac{a}{b}$$

**BEISPIEL**

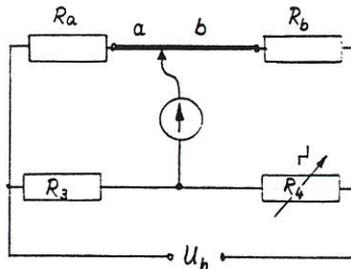
$$R_3 = 300 \Omega \cdot \frac{250 \pm 0,5}{250 \mp 0,5}$$

A

$$R_3^+ = 300 \cdot \frac{249,5}{250,5} = 298,8 \Omega$$

$$R_3^- = 300 \cdot \frac{250,5}{249,5} = 301,2 \Omega$$

Der Fehler ist also  $\pm 0,4\%$



8

$$a = 80 \text{ mm}, b = 420 \text{ mm}, R_3 = ?, R_4 = 300 \Omega$$

$$R_3^+ = 300 \Omega \cdot \frac{80,5}{519,5} = 75,57 \Omega$$

$$R_3^- = 300 \Omega \cdot \frac{79,5}{420,5} = 74,41 \Omega$$

Der Fehler ist hier  $\pm 0,77\%$

Die Meßgenauigkeit wird um so geringer, je weiter der Abgriff von der Mitte entfernt ist.

Wenn zwei Widerstände links und rechts vom Schleifdraht zugeschaltet werden, so wird der Schleifdraht scheinbar verlängert. Diese Zuschaltung kann verschiedene Zwecke erfüllen:

1. Wenn nur in einem kleineren Schwankungsbereich von  $R_x$  zu rechnen ist, wird damit die Genauigkeit und Empfindlichkeit der Meßanordnung erhöht.
2. Bei Schleifdrahtmeßbrücken unterdrückt man damit die Anfangs- und Endwerte der Meßbereiche, in denen die Messung ohnehin ungenau ist.

Der Schleifdraht - Abgriff wird meistens auf zwei Skalen angezeigt. eine Skala gibt das Verhältnis  $a/b$  an und die zweite Skala zeigt die Länge in 100 oder 1000 Teile geteilt.

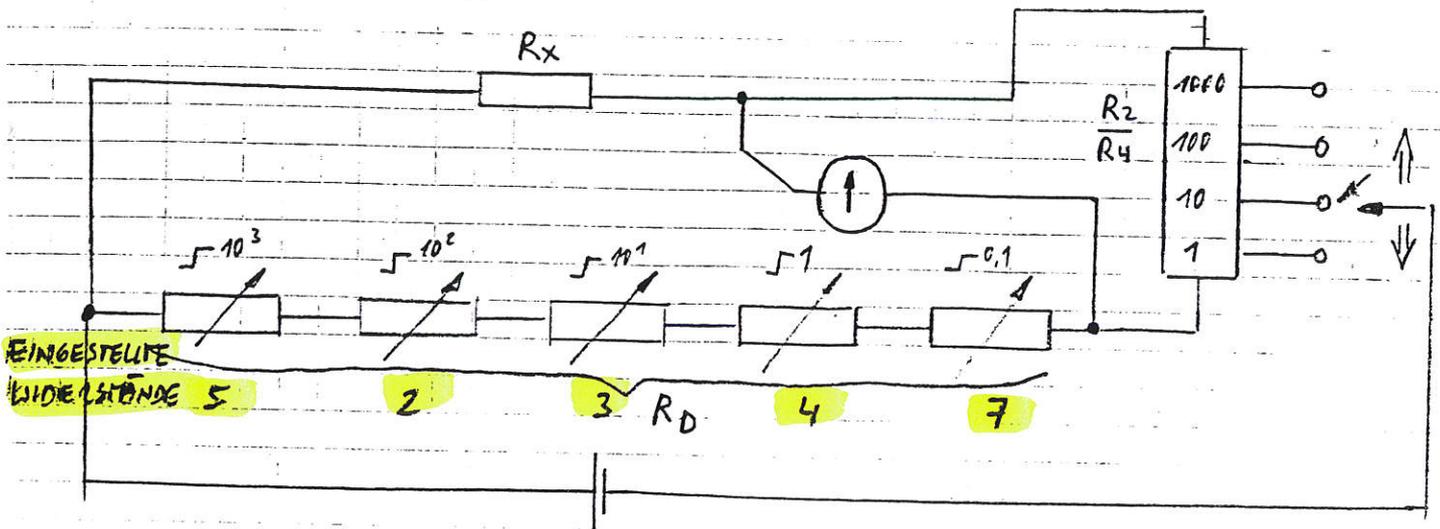
Wardermann

Dreischaltersmeßbrücke

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_0}{R_4}$$

⇐ bei Abgleich ⇒

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_2}{R_4}$$



Wie groß ist  $R_x$  ?

$$R_x = R_0 \cdot \frac{R_2}{R_4}$$

$$R_x = 5,2347 \text{ k}\Omega \cdot 10$$

$$\underline{R_x = 52,347 \text{ k}\Omega}$$

Wie groß ist  $R_x$  Minimum ?

$$R_{x \text{ min}} = 0,1 \Omega \cdot 1$$

$$R_{x \text{ min}} = 0,1 \Omega$$

Wie groß ist  $R_x$  Maximum ?

$$R_{x \text{ max}} = 9,9999 \text{ k}\Omega \cdot 1000$$

$$R_{x \text{ max}} = 9999,9 \text{ k}\Omega \approx 10 \text{ M}\Omega$$

Empfindlichkeit der Meßbrücke:

$R_1 = R_3 = 600\Omega$

$R_1$  wird um  $10\Omega$  vergrößert, man re-  
stimmt die Brücke!

$R_2 = R_4 =$  a)  $120\Omega$

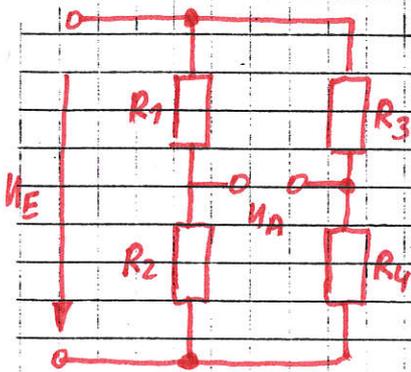
b)  $600\Omega$

c)  $1k\Omega$

$\Delta R_1 = 10\Omega$

$U_E = 5V$

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



a)  $U_A = 5V \left( \frac{120\Omega}{610\Omega + 120\Omega} - \frac{120\Omega}{600\Omega + 120\Omega} \right)$

a)  $U_A = -11,4 mV$

b)  $U_A = 5V \left( \frac{600\Omega}{610\Omega + 600\Omega} - \frac{600\Omega}{600\Omega + 600\Omega} \right)$

b)  $U_A = -20,66 mV$

c)  $U_A = -19,4 mV$

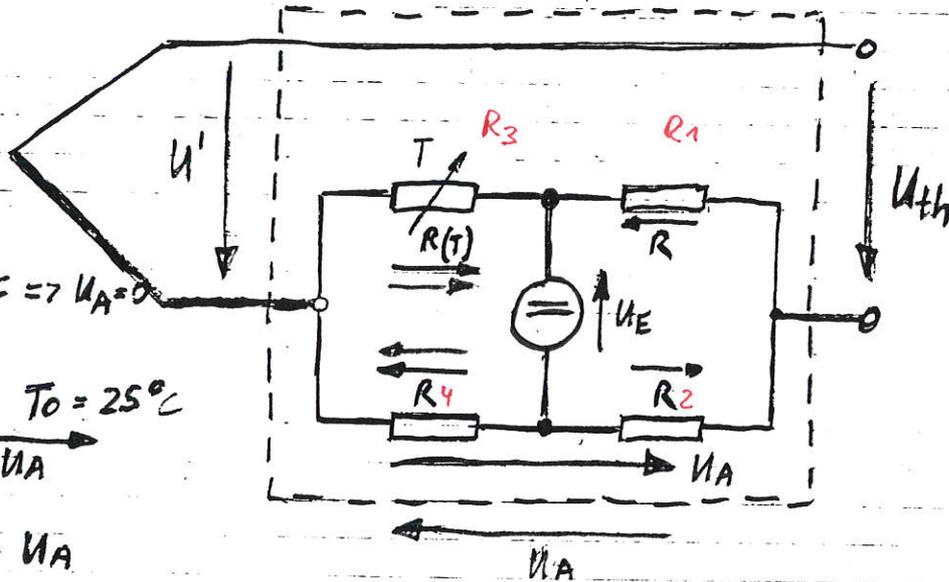
	$U_A$	$E$	$E = \text{Empfindlichkeit}$
a)	$-11,4 mV$	$1,14 \frac{mV}{\Omega}$	$E = \frac{ U_A }{\Delta R}$ MAX = EMPFINDLICHKEIT weil die Brücken- widerstände, fast gleich groß sind!
b)	$-20,66 mV$	$2,066 \frac{mV}{\Omega}$	
c)	$-19,4 mV$	$1,94 \frac{mV}{\Omega}$	

**5.4.4 Anwendungen der Wheatstone-Brücke**

Anwendung: Kompensationsdose

Bezugstelle die sich selbst regelt.

$T_0 = 20^\circ\text{C}$



|| Bei  $T = 20^\circ\text{C} \Rightarrow U_A = 0$   
o  $R(T) = R$

Annahme:  $T_0 = 25^\circ\text{C}$

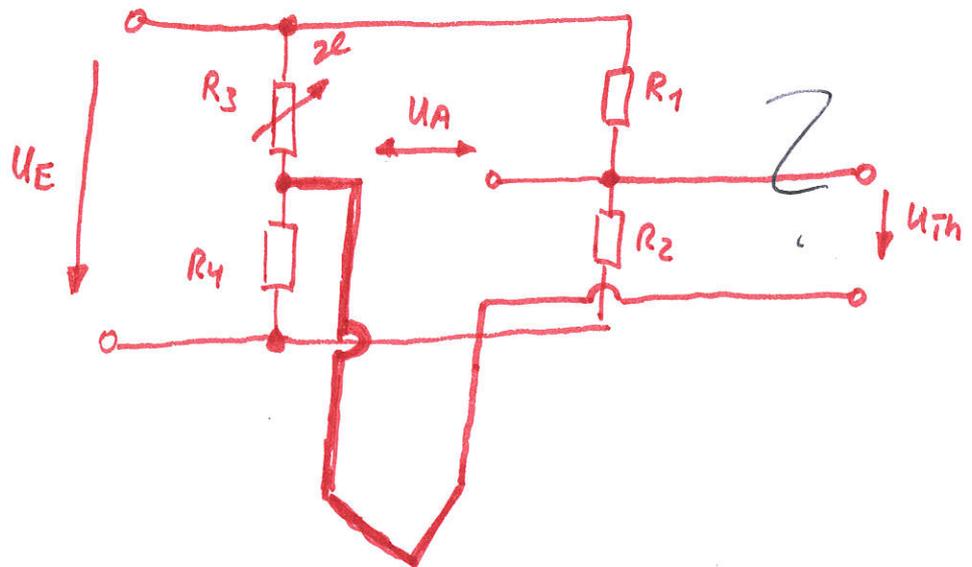
$R(T) > R \xrightarrow{U_A}$

$U_{th} = U' + U_A$

Annahme:  $T_0 = 10^\circ\text{C}$

$R(T) < R \xrightarrow{U_A}$

Bei  $T = 20^\circ\text{C}$  ist ein Ausgleich eingestellt.



### Meßschaltungen für Thermoelemente

Thermoelemente werden zumeist nicht zur Messung der Temperaturdifferenz, sondern zur Messung der absoluten Temperatur verwendet. Es ist deshalb notwendig, die Temperatur der Vergleichsstelle entweder mit einem Thermostaten konstant zu halten oder sie mit einer Kompensationsdose automatisch zu kompensieren.

Bei der Konstanthaltung der Vergleichsstellentemperatur durch einen Thermostaten bieten sich zwei Möglichkeiten an. Man kann die Vergleichsstellentemperatur durch einen Peltierthermostaten z. B. auf 20° C oder 0° C konstant halten, wobei der Thermostat je nach Bedarf heizen oder kühlen kann. Legt man die Vergleichsstellentemperatur auf ein Niveau, das von der Raumtemperatur sicher nicht erreicht wird, z. B. 50° C, so genügt es einen Thermostaten mit Heizelement für die Konstanthaltung dieser Temperatur einzusetzen.

Sehr verbreitet zur Korrektur der Vergleichsstellentemperatur ist die Kompensationsdose in der Betriebsmeßtechnik. Bild 124 zeigt eine Temperaturmeßschaltung mit Thermoelement und Kompensationsdose.

Die Kompensationsdose besteht im wesentlichen aus einer Brückenschaltung, die einen temperaturabhängigen Widerstand enthält. Dieser wirkt als Widerstandsthermometer und mißt die absolute Höhe der Vergleichsstellentemperatur. Die Brücke ist meist auf 20° C abgeglichen und wird im Ausschlagverfahren betrieben.

Bei Temperaturerhöhung der Vergleichsstelle wird an den Klemmen A - B der Brücke eine Zusatzspannung erzeugt, die zur Thermospannung addiert wird und auf diese Weise die Temperaturänderung der Vergleichsstelle kompensiert.

Wenn keine allzu großen Entfernungen überbrückt werden müssen, ist es möglich die Thermospannung ohne Zwischenschaltung von Meßformern mit Drehspulinstrumenten direkt anzuzeigen (Bild 120). Für die Spannung  $U_a$  am Anzeigeelement gilt

$$U_a = \frac{R_a}{R_i + R_L + R_a} U_T.$$

Dabei bedeuten  $U_T$  die Thermospannung im Leerlauf,  $R_a$  den Widerstand des Anzeigeelements,  $R_i$  den Innenwiderstand des Thermopaars und  $R_L$  den Widerstand der Zuleitungen (Sollwert).

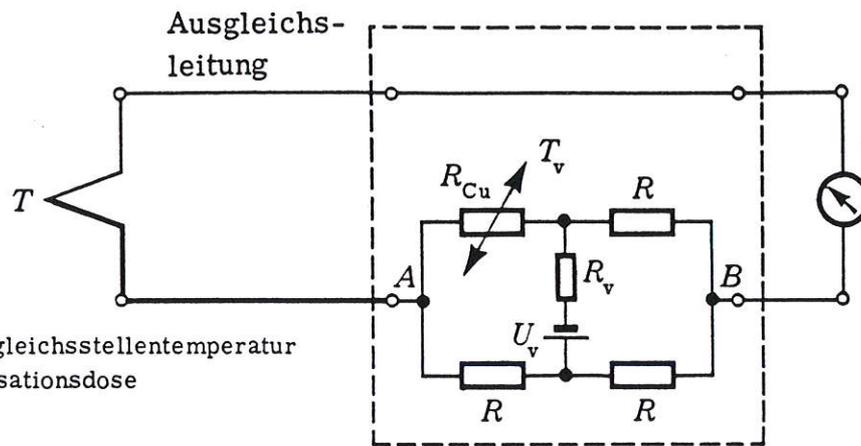


Bild 124

Korrektur der Vergleichsstellentemperatur durch eine Kompensationsdose

Bei einer Erhöhung des Zuleitungswiderstandes um  $\Delta R_L$ , z.B. durch fehlerhaften Abgleich, ergibt sich ein Temperaturfehler  $F_{abs}$  von etwa

$$F_{abs} = - \frac{\Delta R_L}{R_i + R_L + R_a} (T_M - T_V),$$

wobei  $T_M - T_V$  die Temperaturdifferenz zwischen der Meßstelle und der Vergleichsstelle bedeutet. Um einheitliche Anzeigegeräte verwenden zu können, ist es zweckmäßig die Größe des Zuleitungswiderstandes auf einen bestimmten Wert, z.B. auf 20  $\Omega$  abzugleichen. **ABGLEICHLEISTE !**

Für höhere Anforderungen, besonders bei großen Entfernungen werden bevorzugt Kompensationsverfahren angewendet. Häufig erfolgt die Anzeige oder Aufzeichnung über Kompensationsschreiber, deren Funktionsweise bereits im Teil I dieses Grundkurses beschrieben wurde.

Wird ein leistungsstarkes Signal zur Anzeige, Registrierung und Regelung benötigt, so wird dem Thermoelement-Meßfühler gewöhnlich ein Temperatur-Meßumformer nachgeschaltet, der das Signal verstärkt und normiert. **(KOPFTRANSMITTER)**

*Meßschaltungen für Widerstandsthermometer*

Zur Temperaturmessung mit Widerstandsthermometern bestehen zahlreiche Meßschaltungen. Neben Brückenschaltungen im Abgleich und Ausschlagverfahren sind Kompensationsverfahren üblich. Eine direkte Widerstandsmessung kann man durch die Verwendung eines Kreuzspulmeßwerkes erreichen.

a) Wheatstonesche Brücke mit Zweileiterschaltung

Bei Labormessungen ist diese Schaltung im Abgleichverfahren unabhängig von der Höhe der Versorgungsspannung. Für Betriebsmessungen sind jedoch Brückenschaltungen im Ausschlagverfahren vorherrschend. Bild 108 zeigt die Schaltung zur Temperaturmessung mit einer Wheatstoneschen Brücke in Zweileiterschaltung.

Die Brückenschaltung wird von der Versorgungsspannung  $U_v$  über den Vorwiderstand  $R_v$  gespeist. Der Justierwiderstand  $R_j$  dient zum Abgleich des Zuleitungswiderstandes  $R_L$ . Diese Zweileiterschaltung hat den Nachteil, daß Temperaturänderungen des Zuleitungswiderstandes in das Meßergebnis eingehen.

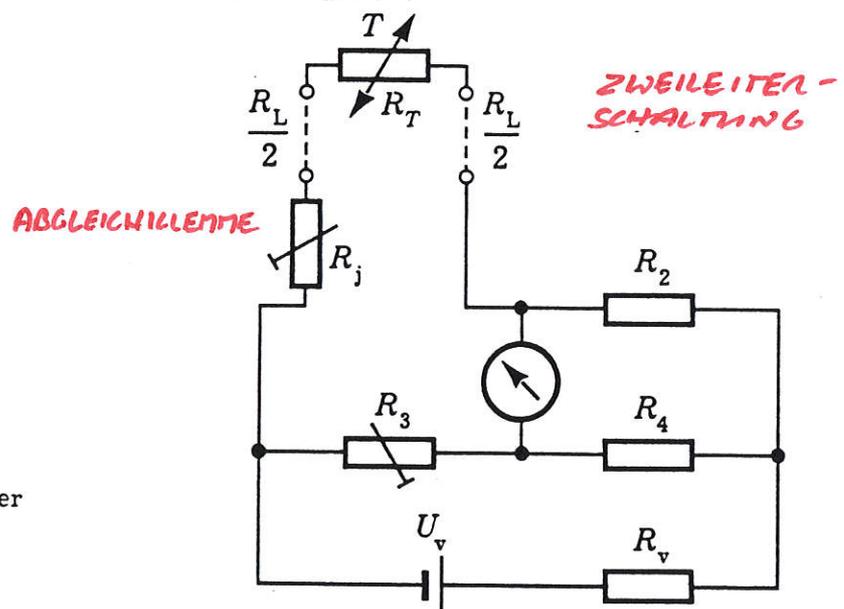


Bild 108  
Wheatstonesche Brücke  
mit Zweileiterschaltung  
zur Temperaturmessung  
mit Widerstandsthermometer

## b) Wheatstonesche Brücke mit Dreileiterschaltung

Zur Vermeidung des Temperatureinflusses der Zuleitungen verwendet man die Dreileiterschaltung. Bild 109 zeigt eine Brückenordnung in Dreileiterschaltung; in der Ausführung b ist gegenüber der Schaltung a die Stromquelle mit dem Anzeigeelement vertauscht.

Bei dieser Dreileiterschaltung enthält jeder der beiden benachbarten Brückenzweige den halben Zuleitungswiderstand; dadurch unterliegt jeder in gleicher Weise dem Einfluß der Temperatur auf die Zuleitung. Im Abgleichverfahren muß der Widerstand  $R_2$  gleich dem Widerstand  $R_T + R_j$  gemacht werden und deswegen auch  $R_3 = R_4$ .

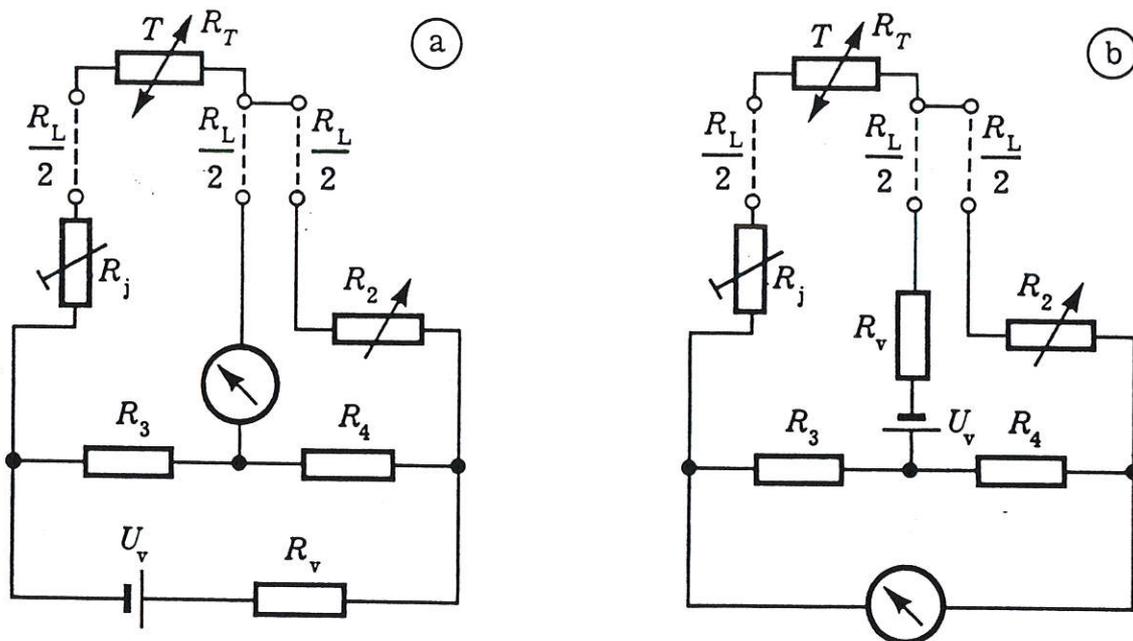


Bild 109 Wheatstonesche Brücke mit Dreileiterschaltung zur Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer

## c) Automatisierte Gleichspannungsbrücken

In der industriellen Meßtechnik am meisten verbreitet sind die Kompensationsschreiber, deren Prinzip und Wirkungsweise bereits in Teil I dieses Grundkurses im Kapitel 5.3.1 erläutert wurde. Die Eingangsschaltung ist eine Wheatstonesche Brücke in Zwei- oder Dreileiterschaltung. Bild 110 zeigt eine Kompensationsmeßschaltung in Zweileiterschaltung.

Solange die Brücke nicht abgeglichen ist, liegt am Eingang des Nullverstärkers eine Spannung  $\Delta U$ , die verstärkte Spannung treibt einen Stellmotor an, der den Schleifdrahtwiderstand verändert, bis der Abgleich hergestellt ist. Im abgeglichenen Zustand wird die Spannung  $\Delta U$  zu Null und der Stellmotor bleibt stehen.

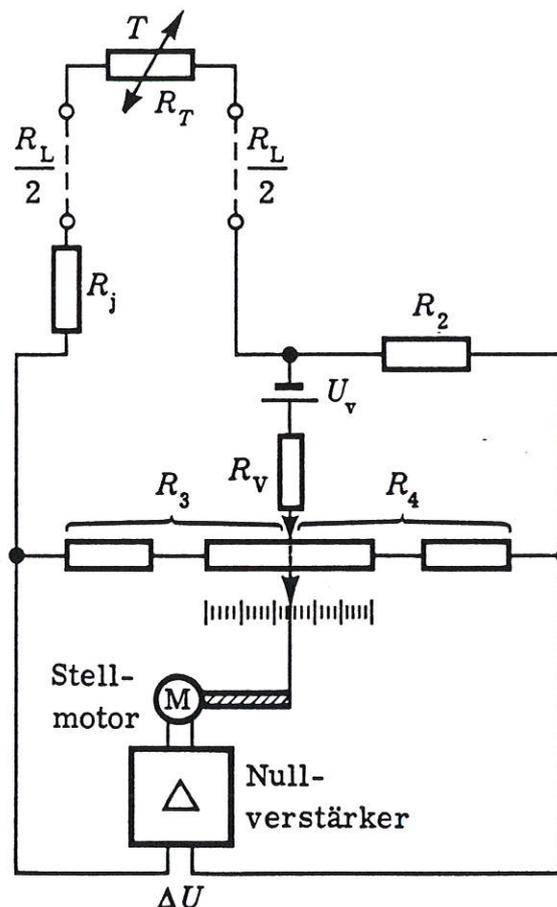
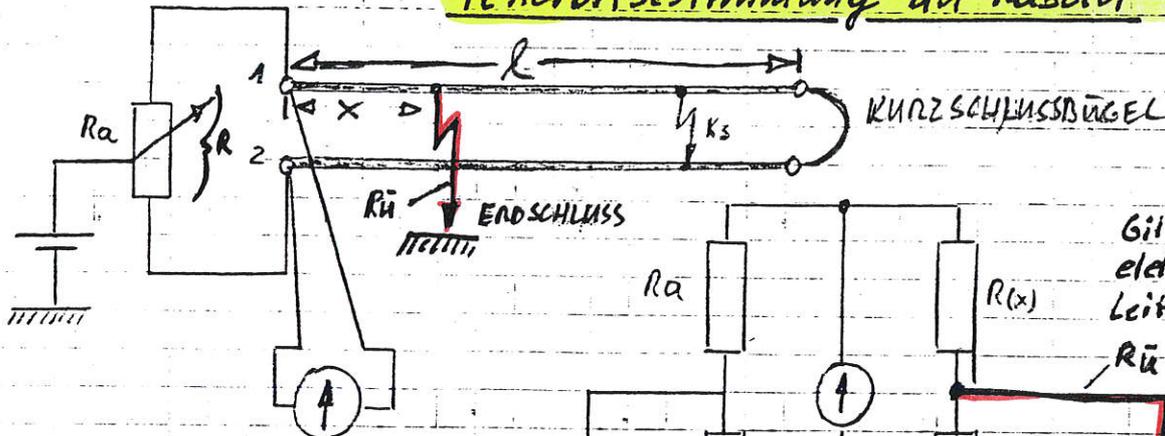
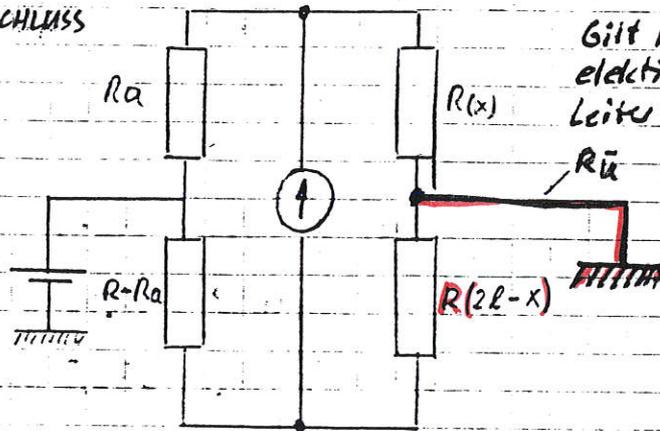


Bild 110  
Selbstabgleichende  
Gleichstrombrücke  
zur Temperaturmessung  
in Zweileiterschaltung

Fehlerortbestimmung an Kabeln



$$\frac{R_a}{R(x)} = \frac{R - R_a}{R(2l - x)}$$



Gilt nur für  
elektrisch gleiche  
Leiter eines Kabels!

$R_u$  Übergangswiderstand  
liegt genauso  
wie der Erdwid.  
außerhalb der  
Brücke, und  
wird deshalb  
nicht berücksichtigt!

$$\frac{R_a}{R(x)} = \frac{R - R_a}{R(2l - x)}$$

(R kann man weglassen)  $\Rightarrow$  NUR NOCH DIE  
LÄNGEN IN DEN  
ANSATZ

$$\frac{R_a}{x} = \frac{R - R_a}{2l - x}$$

$$x = 2l \frac{R_a}{R}$$

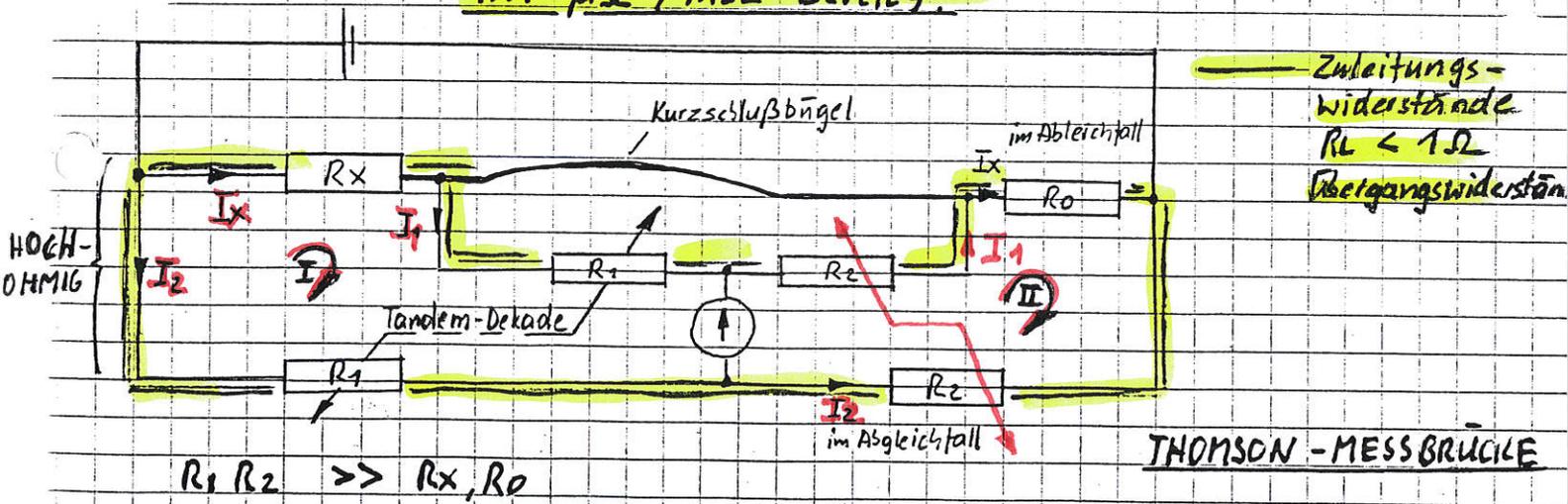
Bei einem Kurzschluss zwischen den Leitern, würde diese  
Messung nicht mehr funktionieren und  $R(x)$  und  $R(2l - x)$   
wären gleich.

$$\frac{\textcircled{I}}{\textcircled{II}} = \frac{I_x \cdot R_x}{I_x \cdot R_0} = \frac{R_1 (I_2 - I_1)}{R_2 (I_2 - I_1)}$$



**5.4.5 Thomson-Meßbrücke**

Messung von sehr kleinen Widerständen  
im  $\mu\Omega$  /  $m\Omega$  Bereich.



$R_1, R_2 \gg R_x, R_0$

Im Abgleichfall:

$I$ :  $I_x R_x + I_1 R_1 - R_1 \cdot I_2 = 0$

$II$ :  $I_x R_0 + I_1 \cdot R_2 - I_2 \cdot R_2 = 0$

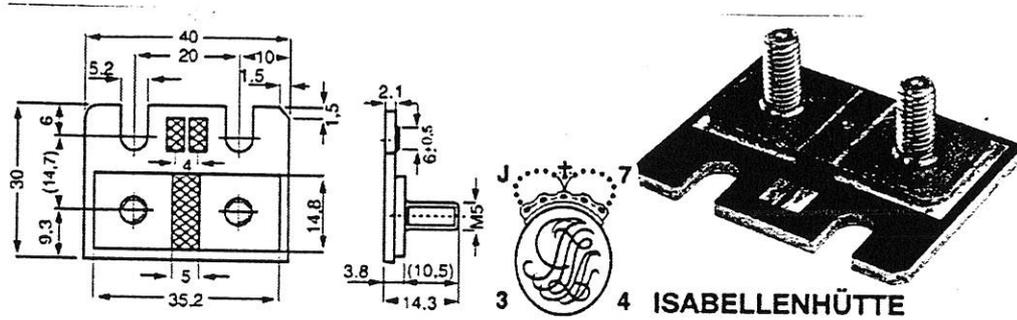
$I$ :  $I_x \cdot R_x = R_1 \cdot I_2 - I_1 \cdot R_1 = R_1 (I_2 - I_1)$

$II$ :  $I_x \cdot R_0 = I_2 \cdot R_2 - I_1 \cdot R_2 = R_2 (I_2 - I_1)$

$\frac{I}{II}$  :  $\Rightarrow \boxed{\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2}}$

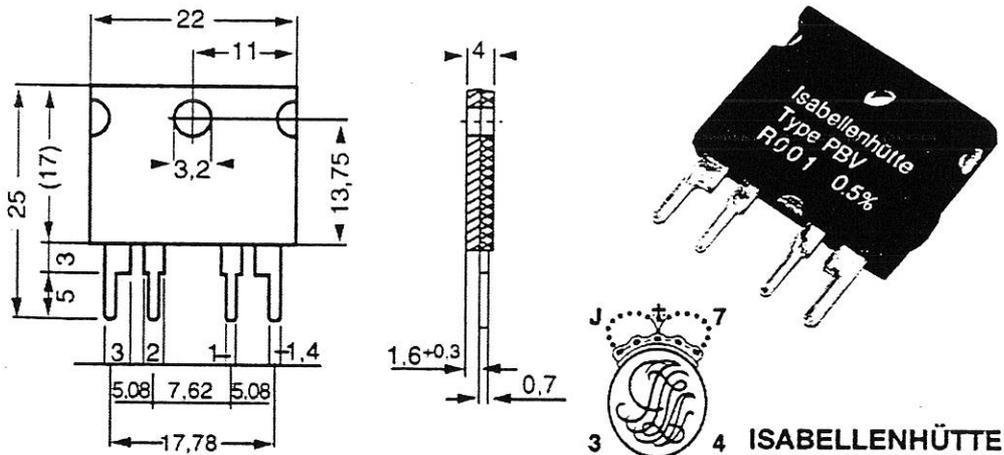
Diese Bedingung, erfordert völlige Symmetrie der Thomson-Meßbrücke (z.B. Anschlüsse, Leitungslängen usw.).

$R_0$ : Meßbereichsbestimmung und hat die gleiche Größenordnung wie  $R_x$ !  
 $R_1$  &  $R_2$  sehr hochohmig



**0,0001 Ω (100 μΩ) Hochlastwiderstand**

Dieser Präzisionswiderstand findet überall dort Verwendung, wo hohe Ströme bei geringstem Spannungsabfall gemessen werden sollen. Der Widerstand ist in Vierleitertechnik ausgeführt, so daß Übergangswiderstände an den Klemmen nicht das Meßergebnis verfälschen.  
**Technische Daten:** Widerstandswert 100 μΩ · Toleranz 5% · Spannungsabfall 100 μV pro 1 A · Strommessung ungekühlt bis 150 A max. · Strommessung gekühlt bis 300 A max. · Anschlüsse Gewinde M 5 · Abm. (L x B x H) 40 x 30 x 15 mm.



**Präzisionswiderstand PBV 0,5%**

Der 4-Leiterwiderstand ist speziell für den niederohmigen Bereich optimiert. Durch die separat herausgeführten Sense-Anschlüsse treten keine Meßwertverfälschungen durch Übergangswiderstände auf. Der Widerstand ist ideal geeignet für Anwendungen in der Leistungselektronik.

**Technische Daten:** Belastbarkeit 10 W (bei Kühlkörpermontage) · Temperaturkoeffizient < 30 ppm/K · Toleranz 0,5% · Temperaturbereich -55°C bis +125°C · Manganin geätzte Folie. Abmessungen: (L x B x H) 22 x 4 x 17.

Best.-Nr.	Wert	Stück	ab 5 Stück à
44 73 15-44	0,001 Ω	14.95	13.45
44 73 66-44	0,005 Ω	10.50	9.50
44 73 23-44	0,01 Ω	9.50	8.50
44 73 74-44	0,02 Ω	9.50	8.50
44 73 82-44	0,05 Ω	9.50	8.50
44 73 31-44	0,1 Ω	9.50	8.50

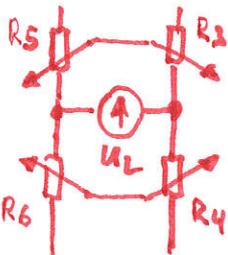
**Thomson-Brücke für niederohmige Widerstände  
in Vierleitertechnik**

Bei niederohmigen Widerständen ist der Widerstand der Zuleitungen nicht mehr vernachlässigbar gegenüber dem Meßwiderstand selbst. Präzisionswiderstände werden deshalb in Vierleitertechnik ausgeführt. Der Meßstrom wird über außen liegende Stromklemmen zugeführt, und der eigentliche Meßwiderstand ist zwischen den innen liegenden Spannungs- oder Potentialklemmen definiert.

Eine Messung niederohmiger Widerstände mit Wheatstoneschen Brückenschaltungen ist nicht möglich. Eine sog. Thomson-Brücke nach Bild 8.10 ermöglicht den Anschluß und die Messung niederohmiger Widerstände.

zu beachten:

$R_3 = R_5$   
 $R_4 = R_6$



MECHANISCHE  
KOPPLUNG

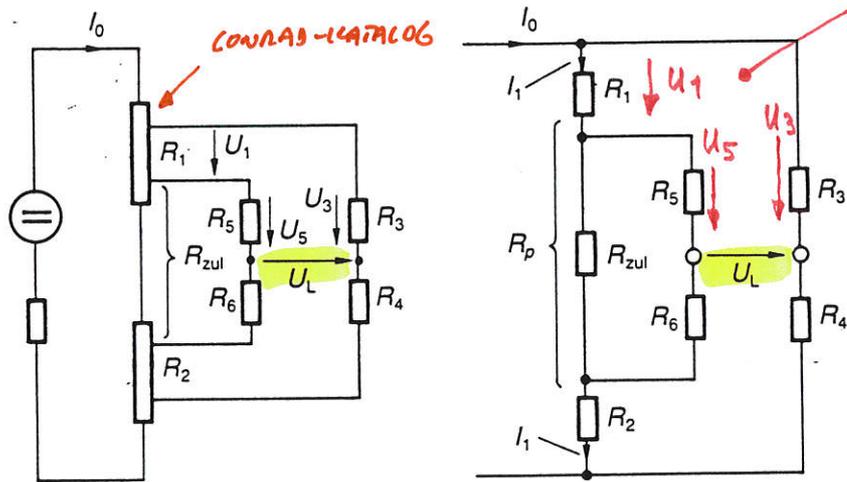


Bild 8.10. Thomson-Brücke zur Messung niederohmiger Widerstände.

Bezeichnet man die Parallelschaltung des Zuleitungswiderstands  $R_{Zul}$  und der Widerstände  $(R_5 + R_6)$  mit  $R_p$  gemäß

$$R_p = \frac{R_{Zul}(R_5 + R_6)}{R_5 + R_6 + R_{Zul}}$$

so erhält man für die **Brücken-Ausgangsspannung  $U_L$**  im Leerlauf

$$I) : u_3 - u_2 - u_1 - u_5 = 0$$

$$u_2 = u_3 - u_1 - u_5$$

$$U_L = U_3 - U_1 - U_5 =$$

$$U_L = I_1(R_1 + R_2 + R_p) \frac{R_3}{R_3 + R_4} -$$

$$- I_1 R_1 - I_1 R_p \frac{R_5}{R_5 + R_6}.$$

BRÜCKENAUSGANGS-  
SPANNUNGDie Thomson-Brücke ist abgeglichen ( $U_L = 0$ ) für

$$\frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_3 + R_4} - R_1 +$$

$$+ R_p \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_5}{R_5 + R_6} \right) = 0.$$

Diese Abgleichbedingung wird unabhängig von  $R_p$  und damit unabhängig vom Zuleitungswiderstand  $R_{Zul}$ , wenn sichergestellt ist, daß

$$\frac{R_3}{R_3 + R_4} = \frac{R_5}{R_5 + R_6}$$

oder

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_5}{R_6},$$

was z. B. durch  $R_5 = R_3$  und  $R_6 = R_4$  und entsprechender mechanischer Kopplung erreicht werden kann.

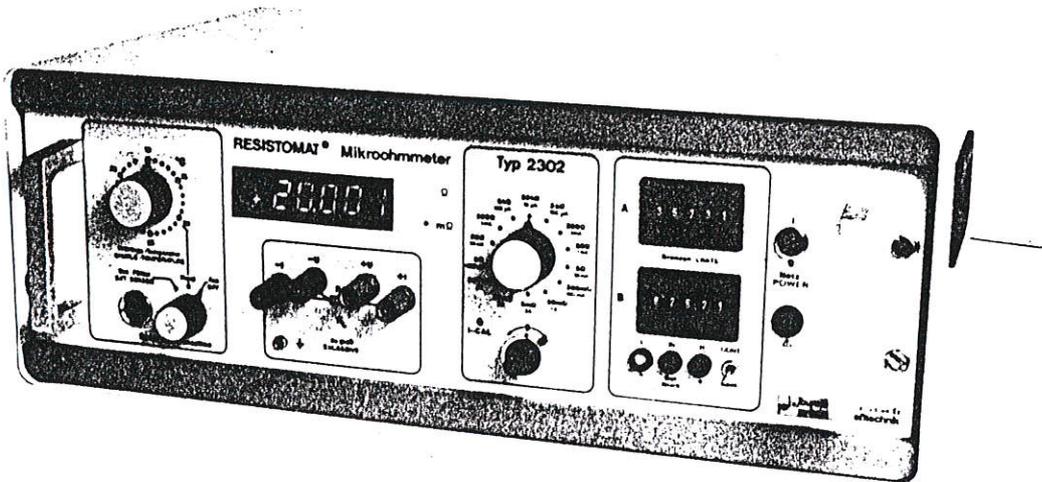
Unter dieser Voraussetzung ergibt sich für die Abgleichbedingung

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

DRÜCKENABGLEICHBEDINGUNG

Wegen des geringen Widerstandswertes der Meß- und Vergleichswiderstände  $R_1$  und  $R_2$  werden vergleichsweise hohe Speiseströme  $I_0$  benötigt, damit eine ausreichende Abgleichempfindlichkeit gewährleistet ist.

## Digitalohmmeter RESISTOMAT®

Typ 2302  
Typ 2302 I  
Typ 2302 K  
Typ 2302 S

- Meßbereiche von 5 mΩ bis 50 kΩ
- Auflösung bis 0,1 μΩ
- Meßfehler 0,05 %
- RS-232-C Datenausgang
- IEEE 488 Datenausgang

## Anwendung

Für die genaue, einfache und schnelle Messung niederohmiger Widerstände stellen Digitalohmmeter der Serie RESISTOMAT® schon seit langen Jahren die moderne und preisgünstige Problemlösung dar. Digitalohmmeter des Typs 2302 haben nicht nur im Bereich der "Thomson-Messungen", sondern auch bis weit hinauf in dem klassischen "Wheatstone-Gebiet" Bedeutung erlangt.

Typische Einsatzgebiete sind Widerstandsmessungen von

- Meter-Proben in der Kabelindustrie
- Kabelrollen oder Kabeltrommeln
- Stahlseilen im Aufzugsbau
- Motoren- und Transformatorenwicklungen
- Kommutator-Schweißverbindungen
- Löt- und Schweißverbindungen aller Art
- Kontaktwerkstoffen
- Leiterbahnen
- Steckkontakten und Schaltern
- Sicherungen
- Metallen und Legierungen in der Metallurgie

ebenso wie

- Leitfähigkeitsmessungen in der Verseilerei
- Bauteilprüfung in der Fertigung oder Wareneingangskontrolle
- Leitfähigkeitsmessungen an Flugzeugen und Helikoptern (-Pol zur Zelle)

und dergl. mehr.

## Beschreibung

Der RESISTOMAT® Typ 2302 arbeitet nach der Strom-Spannungs-Meßmethode in Vierleiterschaltung. Ein eingepprägter, stabilisierter und kalibrierter Strom erzeugt am Prüfling einen Spannungsabfall, der mit einem hochwertigen Digitalvoltmeter gemessen wird. Diese Technik hat den Vorteil, daß Leitungswiderstände sowohl in der Stromzuleitung als auch im Spannungsabgriff auf das Meßergebnis keinen Einfluß haben. Bei sehr langen Stromzuleitungen ist durch Erhöhung des Querschnitts dieser Leitungen darauf zu achten, daß die Bürdenspannung von ca. 6 V auf den Leitungen nicht verloren geht. Der max. Zuleitungswiderstand der Stromquellen wird durch eine LED-Anzeige überwacht.

Bei Betrieb mit automatischer Temperaturkompensation und Kupfer- bzw. Alu-Prüflingen wirkt der externe Temperaturfühler oder Temperatur-Handwahlschalter auf den Stromgeber in der Weise ein, daß der jeweils eingestellte Meßstrom sich um den Faktor ändert, der sich nach VDE 0472 für die augenblicklich herrschende Temperatur ergibt. Das Meßergebnis ist somit immer der 20 °C-Wert des Prüflings. Es besteht die Möglichkeit, den Temperaturfühler auch für andere Prüflingsmaterialien herzustellen.

Das Mikroohmmeter RESISTOMAT® kann wahlweise mit bzw. ohne Klassierkomparator geliefert werden. Dieser bewertet den Meßwert aufgrund des vorgegebenen oberen und unteren Grenzwertes mit "zu klein", "gut" oder "zu groß". Die Breite des Gutbereiches (Fenster) kann von ± 1 Digit bis zum vollen Umfang des Einstellbereiches gewählt werden. Die Bewertung erfolgt wahlweise kontinuierlich oder über die Starttaste auf der Frontplatte. Bei Serienprüfungen ist der Fußschalter Typ 2395 (siehe Zubehör) zu empfehlen. Parallel zur Schaltzustandsanzeige sind Relaisausgänge vorhanden, die für Steuerzwecke verwendet werden können.

Eine Erweiterung des Anwendungsbereiches ergibt sich für das Mikroohmmeter mit dem eingebauten RS-232-C bzw. IEEE-488 Datenausgang.

Weitere Informationen enthält die ausführliche Bedienungsanleitung.

### Technische Daten

#### Meßbereiche

Widerstands- Meßbereich	Meßstrom durch $R_x$	Auflösung
5,0000 m $\Omega$	3 A	100 n $\Omega$
50,000 m $\Omega$	3 oder 1 A	1 $\mu\Omega$
500,00 m $\Omega$	1 oder 0,1 A	10 $\mu\Omega$
5,0000 $\Omega$	100 oder 10 mA	100 $\mu\Omega$
50,000 $\Omega$	10 oder 1 mA	1 m $\Omega$
500,00 $\Omega$	1 mA	10 m $\Omega$
5000,0 $\Omega$	0,1 mA	100 m $\Omega$
50000 $\Omega$	0,01 mA	1 $\Omega$

Fehlertoleranz (bei abgeschalteter Temp.-Komp.):  
 $\pm 0,05\%$  vom Meßwert  $\pm 2$  Digit  
 $\pm 0,05\%$  vom Meßwert  $\pm 4$  Digit im kleinsten Bereich

Meßanschluß:  
4-Leiter-Technik für Strom-Spannungsmessung (Kelvin)

Meßzeit: 5 s im kleinsten Bereich  
1 s in den oberen Bereichen

Meßströme: 10  $\mu$ A ... 3 A, jeweils den Meßbereichen angepaßt,  
Stabilität 10 ... 30 ppm, TK 2  $\cdot 10^{-5}$ /K

Offset-Kompensation:  $\pm 100 \mu$ V über Mehrwendelpotentiometer

Analogausgang: 50 000 Digit  $\pm 5$  V

Digitalausgang: BCD (1-2-4-8) codiert,  
TTL kompatibel 0 = < + 0,4 V  
1 = > + 2,4 V

Komparator Relaisausgang: Schaltleistung 21 VA  
Spannungsbelastung 42 V  
Strombelastung max. 0,5 A

Meßwertanzeige: 4 3/4-stellig, 50 000 Meßpunkte, sehr helle, 15 mm  
hohe, rotleuchtende 7-Segment LED-Anzeige

Umgebungs-klima: 10 ... 40 °C, 15 ... 75 % rel. Feuchte  
40 ... 50 °C, max. 50 % rel. Feuchte

Lagertemperatur: - 20 ... 60 °C

Versorgung: 220 V  $\pm 10\%$ , 50/60 Hz  
110 V durch interne Änderung möglich

Leistungsaufnahme: max. 35 VA

Gerätesicherheit: Aufbau nach VDE 0411  
weiterhin entspricht das Gerät der VDE 0871/B

Rahmeneinschub: 19" - 3 HE

Gehäuse: stabiles Stahlblech-Tischgehäuse

Maße (H x B x T): 190 x 500 x 300 [mm]

Gewicht: ca. 13 kg

### Zubehör

#### Kalibrierset

Das Kalibrierset Typ 2352 besteht aus 4 Kalibrierwiderständen der Serie 1240 mit den Werten 2 m $\Omega$ , 20 m $\Omega$ , 200 m $\Omega$  und 2  $\Omega$ , wobei jeder Widerstand mit einem DKD-Kalibrierschein versehen ist. Die in den Kalibrierscheinen dokumentierten Meßergebnisse und Unsicherheiten werden mit Normalen und Meßinstrumenten ermittelt, die durch regelmäßigen Vergleich an die staatlichen Normale der Bundesrepublik Deutschland angeschlossen sind. Der Nachweis der staatlichen Kontrolle besteht in dem Kalibrierschein selbst und in einem Kalibrierzeichen, mit dem der Prüfling versehen wird. Der beigelegte Adapter Typ 2394 erlaubt eine direkte Kontaktierung mit dem RESISTOMAT<sup>®</sup>.

Ausführliche technische Daten nennt das Datenblatt KW 1.2

#### Schutz bei induktiven Prüflingen

Werden Messungen an großen Induktivitäten (z.B. Kabelrollen mit Stahltrommeln oder Leistungstransformatoren) durchgeführt, so ergibt sich das Problem der nicht unerheblichen Selbstinduktionsspannungen bei der Unterbrechung des Meßstromes. Der RESISTOMAT<sup>®</sup> Typ 2302 hat zwar eine Eingangsschutzschaltung, wodurch jedoch eine Beschädigung bei sehr hohen Spannungsspitzen nicht ausgeschlossen ist. Die Schutzumschalteneinheit Typ 2371 löst dieses Problem. In der Schalterstellung "Kontaktieren" sind sowohl die Strom- als auch Potentialleitungen überbrückt und schließen die Selbstinduktionsspannung kurz. Gleichzeitig bietet diese Einheit einen Schutz für das Bedienungspersonal.

#### Automatische Temperaturkompensation

Bei Betrieb mit automatischer Temperaturkompensation für Cu- oder Al-Prüflingen wird der wasserfeste Sensor Typ 2391 benötigt. Es besteht die Möglichkeit, den Temperaturfühler auch für andere Prüflingsmaterialien herzustellen.

#### Komparator

Bei Serienprüfungen zur Selektion von Prüflingen mit dem Komparator, Meßwert "zu klein", "gut", "zu groß" ist der Fußschalter Typ 2395 von großem Vorteil, da beide Hände frei zur Kontaktierung sind.

#### Datenausgang

##### BCD-parallel:

Das Gerät besitzt serienmäßig einen BCD-parallel-Datenausgang. Für die Datenübertragung und ext. Steuerung wie Stromabsenkung über "standby" oder Meßwertspeicherung in der Anzeige wird der 50-polige Amphenolstecker Typ 2393 benötigt.

##### IEEE 488:

Über das eingebaute IEEE 488 Interface (talker only) ist die Datenübertragung an einen Rechner mit IEEE-488 Schnittstelle möglich.

##### RS-232-C:

Über das eingebaute RS-232-C-Interface (talker only) ist die Datenübertragung an einen Rechner mit RS-232- Schnittstelle möglich.

##### RS 485:

Auf Anfrage

$$U_{AB1} = 4,5V \left( \frac{3k\Omega}{7,5k\Omega + 1k\Omega} - \frac{7,5k\Omega}{2,5k\Omega + 7,5k\Omega} \right)$$

$$U_{AB1} = 4,5V \left( \frac{3k\Omega}{8,5k\Omega} - 0,75 \right)$$

$$U_{AB1} = 4,5V (0,353 - 0,75) = 0V$$

$$\underline{\underline{U_{AB1} = +0,59V}}$$

$$U_{AB2} = 4,5V \left( \frac{7,5k\Omega}{10k\Omega + 7,5k\Omega} - 0,75 \right)$$

$$U_{AB2} = 4,5V (0,429 - 0,75)$$

$$\underline{\underline{U_{AB2} = -1,446V}}$$

$$U_{AB3} = 4,5V \left( \frac{7,5k\Omega}{25k\Omega + 7,5k\Omega} - 0,75 \right)$$

$$U_{AB3} = 4,5V \left( \frac{0,230}{0,769} - 0,75 \right)$$

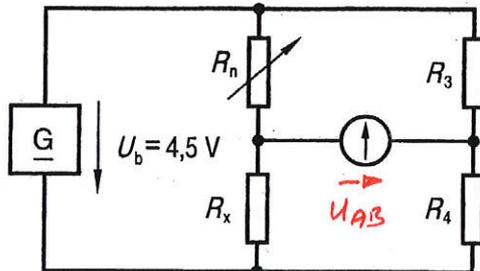
$$\underline{\underline{U_{AB3} = 0,086V}} \quad \rightarrow \quad \underline{\underline{2,337V}}$$

$$E = \frac{U_{AB}}{AR}$$

EMPFINDLICHKEIT  
DER BRÜCKE

**2.3.1 Abgleichbrücke**

Eine Widerstandsmeßbrücke hat die Widerstände  $R_3 = 2,5\text{k}\Omega$  und  $R_4 = 7,5\text{k}\Omega$ .



Berechnen Sie den Widerstandswert  $R_x$  des gesuchten Widerstandes, wenn die Brücke bei

a)  $R_n = 1\text{k}\Omega$ , b)  $R_n = 10\text{k}\Omega$ , c)  $R_n = 25\text{k}\Omega$  abgeglichen ist.

d) WIE GROSS SIND DIE JEWEILIGEN DIAGONALSPANNUNGEN WENN  $R_x = 7,5\text{k}\Omega$  BETRÄGT ?

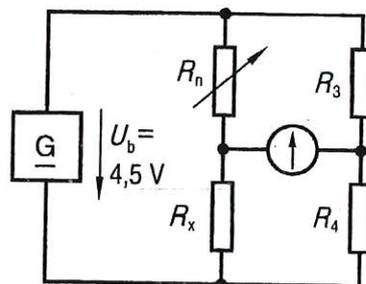
**2.3.1 Abgleichbrücke**

Aus der Abgleichbedingung

$$\frac{R_n}{R_x} = \frac{R_3}{R_4}$$

folgt:  $R_x = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_n$

- a)  $R_x = 3\text{k}\Omega$
- b)  $R_x = 30\text{k}\Omega$
- c)  $R_x = 75\text{k}\Omega$



a)  $R_{x1} = \frac{R_4}{R_3} \cdot R_{n1} = \frac{7,5\text{k}\Omega}{2,5\text{k}\Omega} \cdot 1\text{k}\Omega = 3 \cdot 1\text{k}\Omega = \underline{\underline{3\text{k}\Omega}}$

b)  $R_{x2} = 3 \cdot R_{n2} = 3 \cdot 10\text{k}\Omega = \underline{\underline{30\text{k}\Omega}}$

c)  $R_{x3} = 3 \cdot R_{n3} = 3 \cdot 25\text{k}\Omega = \underline{\underline{75\text{k}\Omega}}$

d)  $U_{AB} = U_b \left( \frac{R_x}{R_x + R_n} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$