

Elektrotechnisches Grundlagen-Labor I

Gleichstrombrücken

Versuch Nr.

5

Erforderliche Geräte

Anzahl	Bezeichnung, Daten	GL-Nr.
1	Netzgerät 0...15V, 1A	196
1	Galvanometer $2 \cdot 10^{-7}$ A/Skt.	183
1	Spannungsmesser	121
2	7fach Widerstandsdekaden 1 Ω /Schritt	$\frac{3}{4}$
1	Schleifdraht 1m, 12,7 Ω	9
1	Normalwiderstand 0,1 Ω , Klasse 0,01	5
1	Widerstandsdekade 10k Ω /Schritt	15
1	Einspannvorrichtung	
1	Steckbrett	
1	Kabelnachbildung 6km	
1	Spule	
1	Satz Drähte 1m	
2	Messwiderstände 100 Ω , 0,05%	
3	Verbindungsleitungen 4mm ²	
11	Verbindungsleitungen 11mm ²	

Datum:

Name:

Versuch durchgeführt:

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Messung von ohmschen Widerständen

Zur Messung von ohmschen Widerständen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine der Möglichkeiten, von der häufig Gebrauch gemacht wird, ist das direktanzeigende Ohmmeter. Hierbei wird eine Stromquelle mit Innenwiderstand mit dem unbekanntem Widerstand belastet und die am Innenwiderstand entstehende Spannung gemessen. Ferner kann man Widerstände bestimmen, indem man einen bekannten Strom durch sie fließen lässt und die Spannung an ihnen misst. Dieses Verfahren wird fast in allen modernen Digitalinstrumenten angewendet.

Eine weitere Möglichkeit ist das Bestimmen von Widerständen durch Strom- oder Spannungsvergleich (siehe auch Versuch: Messung von Gleichgrößen). Eine Weiterentwicklung des letztgenannten Verfahrens ist das Messen mit Messbrücken.

1.2 Wheatstone-Brücke

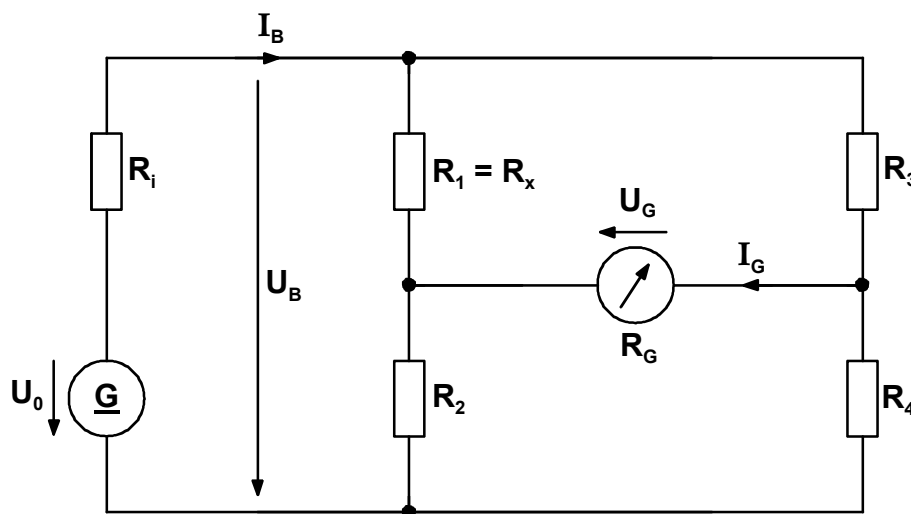


Bild 1 Wheatstone-Brücke

In der Wheatstone-Brücke nach Bild 1 soll z.B. der Widerstand $R_1 = R_x$ gemessen werden. Man verändert dazu einen oder mehrere der drei bekannten Widerstände R_2 , R_3 , R_4 so lange, bis das Instrument keinen Ausschlag mehr zeigt. Die Brücke ist dann abgeglichen. Es gilt $U_G = 0$ und $I_G = 0$. Das Instrument wird daher als Nullindikator oder Nullinstrument bezeichnet, es liegt im sog. Nullzweig der Brücke. Mit solchen Brücken kann man Widerstände von etwa 1 bis $10^6 \Omega$ messen.

Die Abgleichbedingung der Brücke lautet

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (1)$$

Der unbekannte Widerstand R_x ergibt sich dann bei abgeglicherer Brücke zu

$$R_x = R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4} \quad (2)$$

Als Schleifdrahtmessbrücke bezeichnet man eine Wheatstone-Brücke, deren Widerstände R_3 und R_4 durch einen möglichst hochohmigen und homogenen Schleifdraht ersetzt werden. Der Abgleich wird durch Verschieben des Schleifers bewirkt. Die Abgleichbedingung ist analog zu (1):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_3}{l_4} \quad (3)$$

wobei l_3 und l_4 die Abstände des Schleifers von den Enden des Schleifdrahtes sind (s. Bild 2).

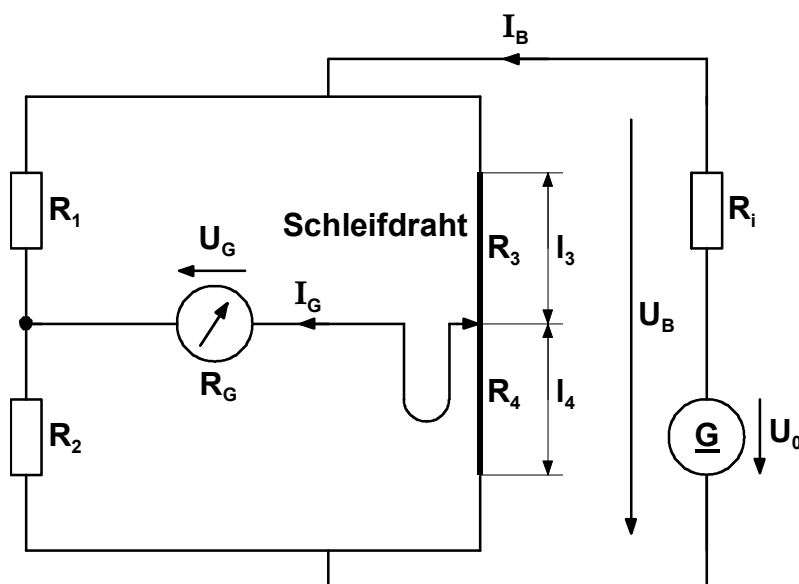


Bild 2 Schleifdrahtmessbrücke

1.3 Nullindikatoren

Als Nullindikatoren werden Galvanometer benutzt. Galvanometer sind Drehspulinstrumente mit besonders hoher Empfindlichkeit. Diese wird durch einen langen Zeiger, durch reibungsfreie Lagerung des beweglichen Organs und durch sehr kleine Rückstellkräfte erreicht. Eine sehr große Zeigerlänge erhält man durch trägheitslose Lichtzeiger, z.B. beim Lichtmarken- und Spiegelgalvanometer.

Man kann bei einem Galvanometer folgende Größe definieren:

$$\text{Stromkonstante} \quad c_i = I_G / \alpha \quad (4)$$

$$\text{Spannungskonstante} \quad c_u = U_G / \alpha = R_G \cdot c_i \quad (5)$$

Hierbei ist α der durch den Strom I_G bzw. die Spannung U_G hervorgerufene Zeigerausschlag.

1.4 Genauigkeit der Messbrücken

Bei allen Brückenmessungen treten Fehler auf, weil die Werte der Brückenelemente mit Toleranzen behaftet sind. Solche entstehen bei der Herstellung (z.B. ungenaue Widerstände, inhomogener Schleifdraht), beim Gebrauch (z.B. nicht berücksichtigte Zuleitungs- und Übergangswiderstände, Ablesefehler), durch Alterung, Abnutzung (z.B. ungleichmäßiger Abrieb eines Schleifdrahts, bleibende Änderungen wegen Überbelastung) und Umwelteinflüsse (z.B. Temperatur, Korrosion).

Im Folgenden sei Δx die Abweichung einer Größe x von ihrem Nenn-, Anfangs-, oder wahren Wert x_0 , d.h.

$$\Delta x = x - x_0. \quad (6)$$

Ist $\Delta x \ll x_0$, so gilt für den Betrag der relativen Abweichung

$$\rho = \left| \frac{\Delta x}{x_0} \right| \approx \left| \frac{\Delta x}{x} \right| \quad (7)$$

ρ wird entsprechend seiner jeweiligen Bedeutung als relativer Fehler, Toleranz, relative Änderung oder Verstimmung bezeichnet. Diese Fälle, sowie verschiedene Bezugsgrößen x , werden durch geeignete Indizes unterschieden.

Ohne weiter auf die einzelnen Fehlerursachen einzugehen, wird im Folgenden die Kenntnis einer maximalen relativen Abweichung ρ der „bekannten“ Brückenparameter vorausgesetzt, und hieraus eine Abschätzung für den Fehler des unbekanntes Widerstands $R_x = R_1$ abgeleitet. Die Zuordnung $R_x = R_1$ ist willkürlich, sie schränkt die Allgemeingültigkeit nicht ein.

Zur Berechnung des Gesamtfehlers werden die absoluten Fehler Δx durch die Differenziale dx ersetzt. Die jeweilige Abgleichbedingung kann in der Form

$$R_x = F(x_1, \dots, x_n) \quad (8)$$

geschrieben werden. Dann gilt

$$dR_x = dF = \sum_{k=1}^n \frac{\partial F}{\partial x_k} dx_k \quad (9)$$

und damit

$$\begin{aligned} \frac{dR_x}{R_x} &= \sum_{k=1}^n \left(\frac{x_k}{F} \cdot \frac{\partial F}{\partial x_k} \right) \cdot \frac{dx_k}{x_k} \\ &= \sum_{k=1}^n F_k \cdot \frac{dx_k}{x_k}. \end{aligned} \quad (10)$$

Für den Betrag des Gesamtfehlers

$$\left| \frac{dR_x}{R_x} \right| = \left| \frac{\Delta R_x}{R_x} \right| = \rho_x \quad (11)$$

ergibt sich die Abschätzung (Dreiecksungleichung)

$$\rho_x \leq \sum_{k=1}^n \left| F_k \cdot \frac{dx_k}{x_k} \right| = \sum_{k=1}^n |F_k| \cdot \rho_k. \quad (12)$$

1.4.1 Genauigkeit bei Widerstandsabgleich

In diesem Fall entspricht (8) der Gleichung (2), und damit folgt gemäß (9) bis (12)

$$\rho_x \leq \rho_2 + \rho_3 + \rho_4, \quad (13)$$

d.h. die relativen Fehler der bekannten Widerstände addieren sich zum Gesamtfehler.

1.4.2 Genauigkeit bei Schleifdrahtabgleich

Die Funktion F nach (8) gewinnt man aus (3). Definiert man als Maß für die Schleiferstellung den Parameter

$$s = \frac{l_3}{l_3 + l_4} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \quad (14)$$

mit dem relativen Fehler

$$\rho_s = \left| \frac{\Delta I}{I_3 + I_4} \right| = \left| \frac{\Delta R}{R_3 + R_4} \right|, \quad (15)$$

so erhält man

$$R_x = R_2 \cdot \frac{I_3}{I_4} = \frac{s}{1-s} \cdot R_2. \quad (16)$$

Weiter ist nach (9), (10)

$$\frac{dR_x}{R_x} = \frac{dR_2}{R_2} + \frac{ds}{s \cdot (1-s)} \quad (17)$$

und wegen (15)

$$|ds| = |\Delta s| = \left| \frac{\Delta R}{R_3 + R_4} \right| = \rho_s. \quad (18)$$

Daraus ergibt sich nach (12) die Fehlerabschätzung

$$\rho_x \leq \rho_2 + \frac{\rho_s}{s \cdot (1-s)}, \quad (19)$$

d.h. der Fehler der Schleifdrahtbrücke ist bei Mittelstellung des Schleifers ($s = \frac{1}{2}$) am kleinsten, die erzielbare Genauigkeit am größten.

1.5 Abgleichunsicherheit

Bei den obigen Fehlerbetrachtungen wurde vorausgesetzt, dass der Brückenabgleich exakt durchgeführt werden kann. In Wirklichkeit können jedoch beliebig kleine Verstimmungen, d.h. Abweichungen vom abgeglichenen Zustand, nicht erkannt werden. Dadurch ergibt sich eine Abgleichunsicherheit ρ_{\min} , die als zusätzlicher Fehleranteil in den Gleichungen (13) bzw. (19) zu berücksichtigen ist.

Diese Überlegungen gelten für alle Messverfahren, denen ein Abgleichvorgang zugrunde liegt, wie z.B. Kompensation und Widerstandsvergleich (s. Versuch: Messung von Gleichgrößen).

1.5.1 Brückenempfindlichkeit

Zur quantitativen Erfassung der Abgleichunsicherheit betrachtet man den Strom I_G , der bei nicht abgeglichener Brücke durch das Nullinstrument fließt. Dieser ist bei konstantem Brückenspeisestrom $I_B = I_0$

$$I_G = \frac{I_0 \cdot (R_1 R_4 - R_2 R_3)}{R_G \cdot (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) + (R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4)}, \quad (20)$$

bei konstanter Brückenspeisespannung $U_B = U_0$

$$I_G = \frac{U_0 \cdot (R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4) \cdot R_G + (R_1 + R_2) \cdot R_3 R_4 + (R_3 + R_4) \cdot R_1 R_2} \quad (21)$$

bei Speisung durch eine Spannungsquelle mit der Leerlaufspannung U_0 und dem Innenwiderstand R_i

$$I_G = \frac{U_0 \cdot (R_1 R_4 - R_2 R_3)}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4) \cdot R_G + (R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_4) \cdot R_i + (R_1 + R_2) \cdot (R_3 R_4 + R_G R_i) + (R_3 + R_4) \cdot (R_1 R_2 + R_G R_i)} \quad (22)$$

Man erkennt, dass $I_G = 0$ ist, wenn die Abgleichbedingung (1) erfüllt ist und bei kleiner Verstimmung ρ_k des Brückenwiderstands R_k ($k = 1, 2, 3, 4$) annähernd proportional zu ρ_k ist:

$$I_G \sim \rho_k. \quad (23)$$

Das Gleiche gilt dann nach (4) für den Ausschlag α des Nullinstruments:

$$\alpha = I_G / c_i = \varepsilon \cdot \rho_k. \quad (24)$$

Die Proportionalitätskonstante ε heißt Brückenempfindlichkeit. Schreibt man I_G als Differenzial dI_G , ergibt sich analog zu (8), (9)

$$dI_G = \frac{\partial I_G}{\partial R_k} \cdot dR_k \quad (25)$$

und andererseits nach (24)

$$dI_G = \varepsilon \cdot c_i \cdot \frac{dR_k}{R_k}. \quad (26)$$

Durch Gleichsetzen von (25) und (26) gewinnt man die Empfindlichkeit ε , wobei i.a. nur der Betrag von Interesse ist, zu

$$\varepsilon = \frac{R_k}{c_i} \cdot \left| \frac{\partial I_G}{\partial R_k} \right|. \quad (27)$$

Diese Berechnung ergibt für alle k denselben Wert! Sie wird unter speziellen Voraussetzungen im Abschnitt 1.5.2 durchgeführt.

Ist nun α_{\min} der kleinste am Nullindikator erkennbare Ausschlag, so ist eine Abweichung vom Abgleich nicht feststellbar, wenn die auf den unbekanntem Widerstand R_x bezogene Verstimmung ρ_x einen Ausschlag bewirkt, der kleiner als α_{\min} ist:

$$\alpha = \varepsilon \cdot \rho_x \leq \alpha_{\min}. \quad (28)$$

Die dadurch gegebene, größte unerkannte Abweichung ρ_x ist die bereits erwähnte Abgleichunsicherheit ρ_{\min} . Aus (28) folgt

$$\rho_{\min} = \frac{\alpha_{\min}}{\varepsilon}. \quad (29)$$

1.5.2 Berechnung der Brückenempfindlichkeit

Für den Fall konstanter Brückenspeisespannung und kleiner Verstimmung, so dass die Abgleichbedingung (1) in erster Näherung gültig ist, erhält man aus (27) und (21)

$$\varepsilon = \frac{U_B}{c_i} \cdot \frac{1}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_G \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 2 + \frac{R_2}{R_1} \right)}. \quad (30)$$

Die Brückenempfindlichkeit steigt also mit der Brückenspeisespannung U_B und der Stromempfindlichkeit $1/c_i$ des Galvanometers. Ferner wird sie von R_G und den Werten der Brückenwiderstände beeinflusst.

Für die Schleifdrahtbrücke gilt (30) in gleicher Weise, jedoch ist zu berücksichtigen, dass hier wegen der gegenseitigen Abhängigkeit von R_3 und R_4 eine Verstimmung nach (23) nur bei R_1 und R_2 möglich ist. Aus demselben Grund kann es auch zweckmäßig sein, in (30) die Widerstände R_1 , R_3 und R_4 durch die Schleiferstellung s nach (14) auszudrücken. Es ergibt sich:

$$\varepsilon = \frac{U_B}{c_i} \cdot \frac{1-s}{R_2 + (1-s) \cdot (R_3 + R_4) + \frac{R_G}{s}}. \quad (31)$$

Man erkennt, dass die Empfindlichkeit in den Endstellungen des Schleifers ($s = 0$, $s = 1$) null und daher die Abgleichunsicherheit ρ_{\min} am größten ist.

1.6 Brückenmessung nach der Ausschlagmethode

Häufig wird die Wheatstone-Brücke in der Form betrieben, dass ausgehend vom abgeglichenen Zustand, der Ausschlag des Nullinstrumentes unmittelbar als Messergebnis herangezogen wird. Diese Methode wird hauptsächlich zum Messen nicht-elektrischer Größen (z.B. Temperatur, Dehnung), die sich in Widerstandsänderungen umsetzen lassen, verwendet.

Ist z.B. R_1 der von der Messgröße x abhängige Widerstand und

$$\rho_1 = \left| \frac{\Delta R_1}{R_1} \right| = f(x), \quad (32)$$

dann folgt nach (24)

$$\alpha = \varepsilon \cdot \rho_1 = \varepsilon \cdot f(x), \quad (33)$$

d.h. bei geeigneter Skaleneichung kann die Größe x direkt am Nullinstrument abgelesen werden. Falls $f(x)$ eine lineare Funktion und die Verstimmung $\rho_1 \ll 1$ ist, was in vielen Fällen zutrifft, erhält man sogar eine linear geteilte Skala.

1.7 Die Thomson-Messbrücke

Für die Messung von Widerständen, die kleiner als ungefähr $0,1\Omega$ sind, eignet sich die Wheatstone-Brücke nicht mehr, weil dann die Widerstände der Zuleitungen und der Übergänge an den Klemmen von gleicher Größenordnung wie das Messobjekt selbst sind und daher große Fehler verursachen. Um dies zu verhindern, werden kleine Widerstände vierpolig ausgeführt (Bild 3).

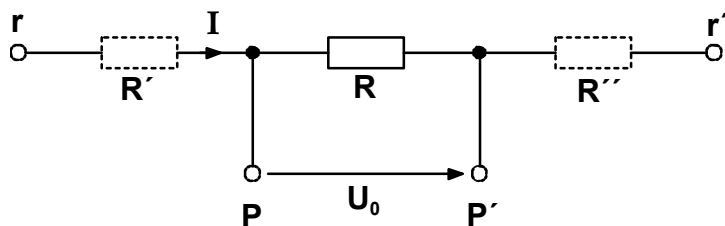


Bild 3 Widerstand mit Potenzialklemmen

Außer den Hauptanschlüssen r und r' werden zwei sog. Potenzialklemmen p und p' vorgesehen. An diesen tritt, wenn der Strom I über den Widerstand fließt, die Leerlaufspannung

$$U_0 = RI \quad (34)$$

auf, während die Spannung zwischen r und r' von den i.a. unbekanntem und sich stark ändernden Zuleitungs- und Übergangswiderständen R' und R'' beeinflusst wird. Der Nennwert R des Widerstands ist somit zwischen den Potenzialklemmen gegeben bzw. definiert messbar, sofern diese (näherungsweise) unbelastet, d.h. mit im Vergleich zu R' , R'' hochohmigen Netzwerken beschaltet sind.

Dies ist bei der Thomson-Brücke von Bild 4 der Fall. Der unbekannte Widerstand R_x und der Normalwiderstand R_N sind beide klein und daher vierpolig ausgeführt. Der Brückenspeisestrom fließt hauptsächlich durch R_1 und R_N . Die in diesem Kreis liegenden, gestrichelt gezeichneten Fehlwiderstände bleiben ohne Einfluss auf das Messergebnis, da die eigentliche, vergleichsweise hochohmige Brückenschaltung an den Potenzialklemmen von R_x und R_N angeschlossen ist. Es gilt nämlich, falls $I_G = 0$ ist, mit dem Strom I_w durch R_w ($w = 1, 3, 5$)

$$I_1 R_1 + I_5 R_5 = I_3 R_3, \quad (35)$$

$$I_1 R_N + I_5 R_6 = I_3 R_4. \quad (36)$$

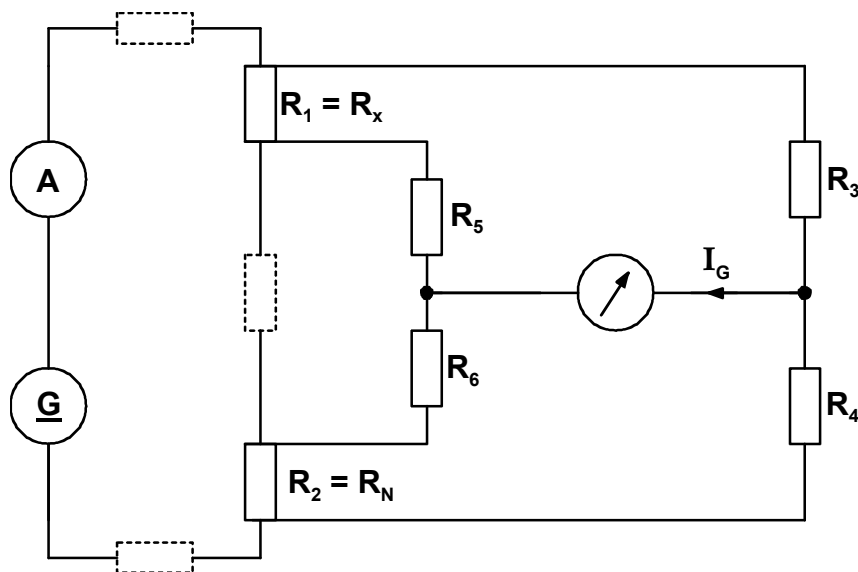


Bild 4 Thomson-Brücke

Unter der Bedingung

$$\frac{R_5}{R_6} = \frac{R_3}{R_4} \quad (37)$$

wird aus (35)

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 - I_5 R_6 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (38)$$

und aus (36)

$$I_1 R_N = I_3 R_4 - I_5 R_4 \cdot \frac{R_6}{R_4} \quad (39)$$

Die Division von (38) und (39) ergibt

$$\frac{R_1}{R_N} = \frac{R_3}{R_4} \cdot \frac{I_3 - I_5 \cdot \frac{R_6}{R_4}}{I_3 - I_5 \cdot \frac{R_6}{R_4}} = \frac{R_3}{R_4} \quad (40)$$

Daraus folgt mit (37) die Abgleichbedingung

$$\frac{R_1}{R_N} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{R_5}{R_6} \quad (41)$$

2 Weiterführende Literatur

- [1] Dosse, J.
Elektrische Messtechnik
- [2] Schwerdtfeger, Grasshoff
Elektrische Messtechnik, Teil I
- [3] Drachsel, J.
Grundlagen der elektrischen Messtechnik
- [4] Merz, L.
Grundkurs der Messtechnik, Teil I

3 Fragen und Aufgaben

Nachstehende Fragen dienen Ihrer Selbstkontrolle, versuchen Sie sie also ohne Verwendung des ersten Abschnitts zu lösen. Die Aufgaben bieten Zahlenbeispiele zur Übung bzw. dienen zur Vorbereitung und damit schnelleren Abwicklung des Versuchs.

1. Leiten Sie die Gleichung (1) her!
2. Nennen sie mögliche Fehlerursachen bei Brückenmessungen!
3. Erklären Sie die Unterschiede zwischen den Begriffen
 - Absoluter und relativer Fehler,
 - Fehler und Genauigkeit,
 - Toleranz und Verstimmung,
 - Empfindlichkeit und Abgleichunsicherheit,
 - Widerstands- und Schleifdrahtabgleich.
4. Leiten Sie die Gleichungen (13) und (19) her!
5. Welche Größen beeinflussen die Empfindlichkeit einer Brücke?
6. Wie hängen Empfindlichkeit und Genauigkeit einer Schleifdrahtbrücke von der Schleiferstellung ab?
7. Welchen Zweck haben vierpolige Widerstände?
8. Skizzieren Sie die Schaltung der Thomson-Brücke!
9. Geben Sie eine Brückenschaltung mit Abgleichbedingung zur Lokalisierung des Fehlerorts an einem mindestens vieradrigen Kabel an, wenn der Fehler in einem Kurzschluss zweier Adern besteht!
10. Berechnen Sie die Empfindlichkeit einer Wheatstone-Brücke mit
 - $R_1 = 4,37,4\Omega$ $R_G = 100\Omega$
 - $R_2 = 10\Omega$ $U_B = 2V$
 - $R_3 = 4374\Omega$ $c_i = 2 \cdot 10^{-7} \text{ A/Skt.}$
 - $R_4 = 100\Omega$
11. Berechnen Sie den relativen Fehler, der sich bei einer Schleifdrahtbrücke infolge der Toleranz $\rho_s = 10^{-2}$ der Schleifdrahtstellung s ergibt, für $s = 0,1; 0,2 \dots 0,9!$
12. Berechnen Sie den Widerstand folgender Drähte von 1m Länge:
 - Cu-Draht $1,75\text{mm}\varnothing$
 - Cu-Draht $3,5\text{mm}\varnothing$
 - Fe-Draht $2,0\text{mm}\varnothing$
 - Fe-Draht $12,0\text{mm}\varnothing$Die spezifischen Leitfähigkeiten sind $\kappa_{\text{Cu}} = 5,8 \cdot 10^7 \text{ S/m}$, $\kappa_{\text{Fe}} = 6,5 \cdot 10^6 \text{ S/m}$.

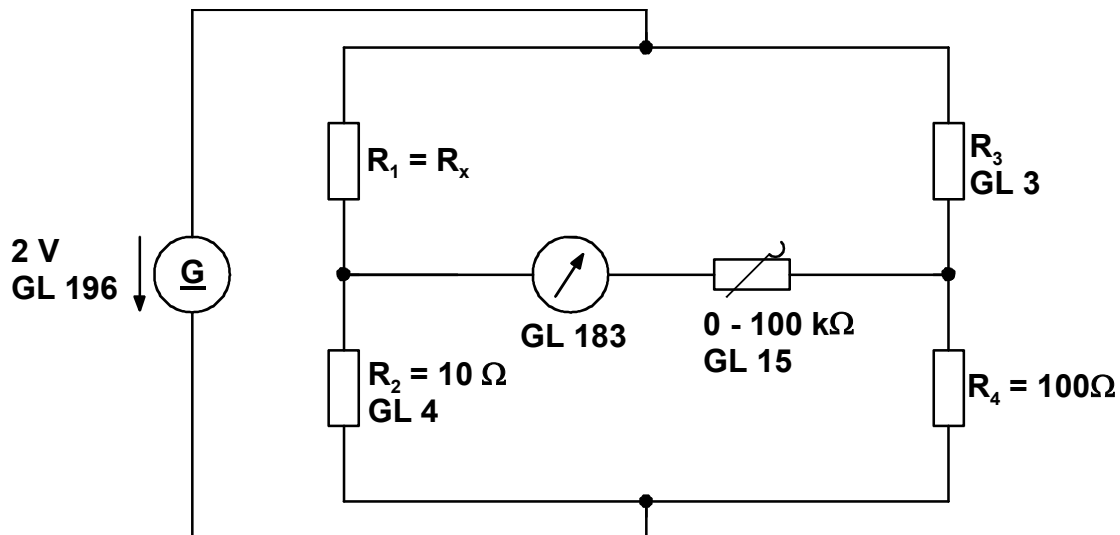
4 Versuchsanleitung

4.1 Allgemeine Hinweise

Die Brückenspannung $U_B = 2V$ wird mit Hilfe des Instruments GL 121 (Bereich 3V=) eingestellt. Um das Galvanometer GL 183 vor Überlastung zu schützen, wird in den Nullzweig der Stufenwiderstand GL 15 geschaltet. Dieser wird daher immer auf seinen Maximalwert von $100k\Omega$ eingestellt und nur zum Abgleichen der Brückenschaltungen stufenweise reduziert, bis beim Wert null der Feinabgleich erfolgt.

Zum Festhalten der Versuchsergebnisse finden sich am Schluss dieser Anleitung vorbereitete Tabellen und Diagramme.

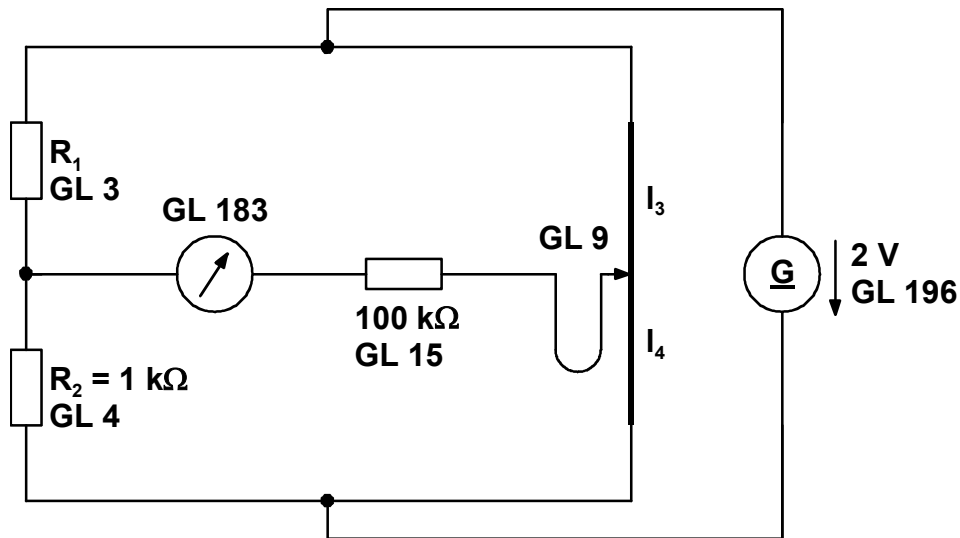
4.2 Widerstandsmessung mit der Wheatstone-Brücke



Es soll der ohmsche Widerstand einer Steckspule gemessen werden. Bauen Sie die abgebildete Schaltung auf und gleichen sie diese mittels R_3 ab!

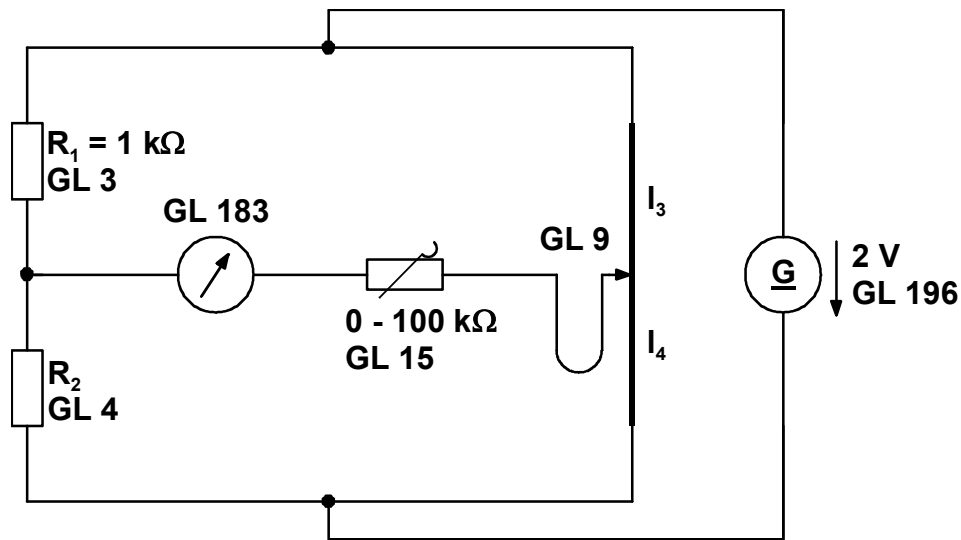
Berechnen Sie den unbekanntem Widerstand R_x , die Brückenempfindlichkeit ε und den maximalen Fehler ρ_x ! Verwenden Sie hierzu Tabelle 1.

4.3 Brücke im Ausschlagverfahren



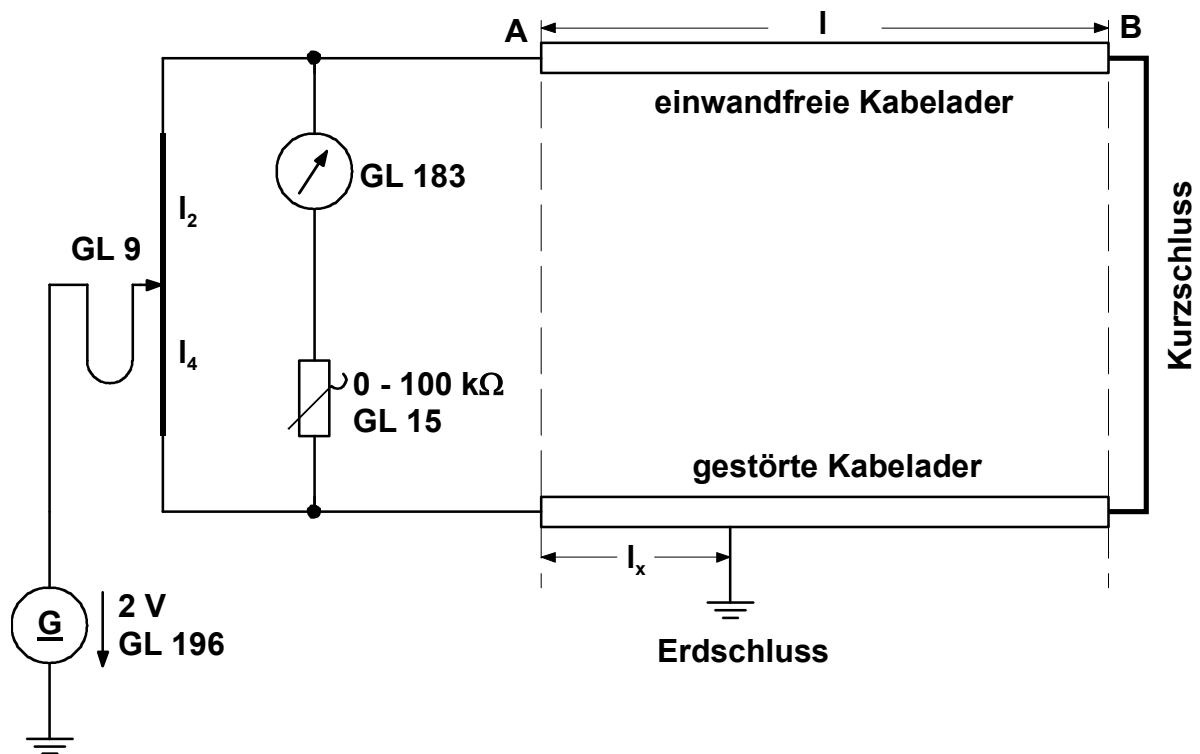
Es soll nachgewiesen werden, dass bei kleinen Änderungen ΔR_1 der Ausschlag des Nullinstruments proportional zu ΔR_1 ist. Gleichen Sie die nachstehend dargestellte Brückenschaltung bei $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ mit Hilfe des Schleifdrahts ab. Stellen Sie nun den Schutzwiderstand wieder auf $10 \text{ k}\Omega$! Diese Einstellung bleibt während dieses Versuchs bestehen! Erhöhen Sie nach Tabelle 2 den Widerstand R_1 und messen Sie jeweils den Galvanometerausschlag α ! Tragen Sie die Messwerte in Diagramm 1 ein und zeichnen Sie den Verlauf $\alpha = f(\rho_1)$! Geben Sie die Brückenempfindlichkeit ε für kleine Verstimmungen ρ_1 an und zeichnen Sie die Gerade $\alpha = \varepsilon \cdot \rho_1$ in Diagramm 1! Bis zu welcher Verstimmung $\rho_1 = \rho_{\max}$ ist die Abweichung des tatsächlichen Verlaufs von der gezeichneten Geraden (Linearitätsfehler) kleiner als $5 \cdot 10^{-2}$?

4.4 Fehler der Schleifdrahtmessbrücke



In diesem Versuch soll die Abhängigkeit des Messfehlers von der Schleifdrahtstellung s untersucht werden. Stellen Sie hierzu der Reihe nach die in Tabelle 3 angegebenen Werte von s ein und gleichen Sie die Brücke mit R_2 ab, wobei der das „Messobjekt“ darstellende Widerstand $R_1 = 1\text{k}\Omega$ ist. Nun verschieben Sie den Schleifer um 1cm nach rechts, wodurch ein Fehler $\rho_s = 10^{-2}$ simuliert wird. Den hierdurch entstandenen Fehler $\Delta R_x = \Delta R_1$ des „Messobjekts“ bestimmen Sie durch erneutes Abgleichen der Brücke mit R_1 . Hieraus ergeben sich nach Definition (7) der relative Fehler $\rho_x = \rho_1$. Tragen Sie diese Werte sowie die nach (19) berechneten (s. Aufgabe 11) in Diagramm 2 ein und zeichnen Sie beide Verläufe! Erklären Sie ggf. auftretende Unterschiede!

4.5 Fehlerortsbestimmung mit der Schleifdrahtbrücke

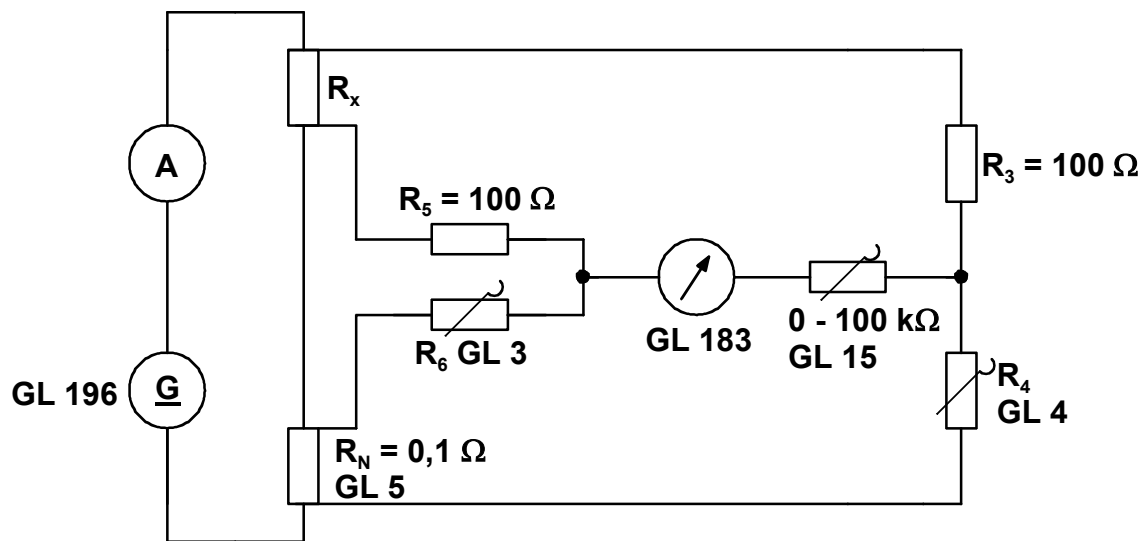


Eine Fehlerortsmessbrücke arbeitet nach dem Prinzip der Schleifdrahtbrücke. Sie ist zur Messung des Fehlerorts von Kabeln bestimmt. Je nach Fehlerart werden verschiedene Schaltungsarten angewendet. Hier soll der Erdschluss einer Kabelader lokalisiert werden, d.h. die Entfernung l_x der Fehlerstelle vom Kabelanfang A ist zu bestimmen. Bei der dargestellten Messschaltung werden die gestörte Kabelader und eine ungestörte Kabelader am Kabelende B kurzgeschlossen. Die Abgleichbedingung lautet dann

$$l_x = 2l \cdot \frac{I_4}{I_2 + I_4}. \quad (42)$$

Das Kabel wird in diesem Versuch durch eine Nachbildung (Kabelphantom) ersetzt; die simulierte Kabellänge ist $l = 6\text{km}$. Gleichen Sie die Brücke ab und tragen Sie l_4 und l_x in Tabelle 4 ein!

4.6 Thomson-Brücke



Bauen Sie die abgebildete Schaltung auf! Als Messobjekt R_x dienen die in Aufgabe 12 genannten Metalldrähte. Diese werden in eine Klemmvorrichtung gespannt und vierpolig angeschlossen. Dazu legt man den Draht so in die Klemmvorrichtung, dass er auf die mit den innen liegenden Potenzialklemmen verbundenen Kontaktschneiden zu liegen kommt. Beachten Sie, dass die Schneiden nicht bis an das Gewinde der Klemmschrauben heranreichen! Sie haben einen Abstand von 1m. Dann werden zuerst die äußeren Rändelmuttern in der Reihenfolge festgezogen, dass sich der Draht spannt. Die inneren Rändelmuttern werden leicht angezogen.

Die Verbindung von R_x , R_N und dem Netzgerät GL 196 wird durch die Verbindungsleitungen mit größerem Querschnitt hergestellt, in diesem Kreis sollen bei der Messung ca. 2A fließen, was durch geeignete Einstellung der Speisespannung am Netzgerät erreicht und mit dem eingebauten Strommesser kontrolliert wird.

Die Dekaden GL 3 und GL 4 müssen immer auf denselben Wert eingestellt und gleichzeitig bedient werden, damit die Bedingung $R_3/R_4 = R_5/R_6$ erfüllt ist. Tragen Sie die Werte von R_4 bzw. R_6 , die daraus berechneten R_x sowie die Ergebnisse von Aufgabe 12 in Tabelle 5 ein und vergleichen Sie die Ergebnisse!

Tabelle 1 Wheatstone-Brücke

R_3/Ω		ρ_2	
R_4/Ω		ρ_3	
$\varepsilon/\text{Skt.}$		ρ_4	
$\alpha_{\min}/\text{Skt.}$		ρ_x	

Tabelle 2 Ausschlagverfahren

$\Delta R_1 / \Omega = 1000\rho_1$	20	40	60	80	100
$\alpha/\text{Skt.}$					

$\Delta R_1 / \Omega = 1000\rho_1$	120	140	160	180	200
$\alpha/\text{Skt.}$					

Grafische Darstellung in Diagramm 1

$\varepsilon/\text{Skt. (Rechn.)}$	$\varepsilon/\text{Skt. (Messung)}$	ρ_{\max}

Tabelle 3 Fehler der Schleifdrahtmessbrücke

s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
R_1/Ω					
ρ_1 (Messung)					
ρ_1 (Rechnung)					

s	0,6	0,7	0,8	0,9	
R_1/Ω					
ρ_1 (Messung)					
ρ_1 (Rechnung)					

Graphische Darstellung in Diagramm 2

Tabelle 4 Fehlerortsmessbrücke

l_4/cm	l_x/km

Tabelle 5 Thomson-Brücke

Draht	$R_{4,6}/\Omega$	$R_x/m\Omega$ (Messung)	$R_x/m\Omega$ (Rechnung)
Cu 1,75			
Cu 3,5			
Fe 2			
Fe 12			

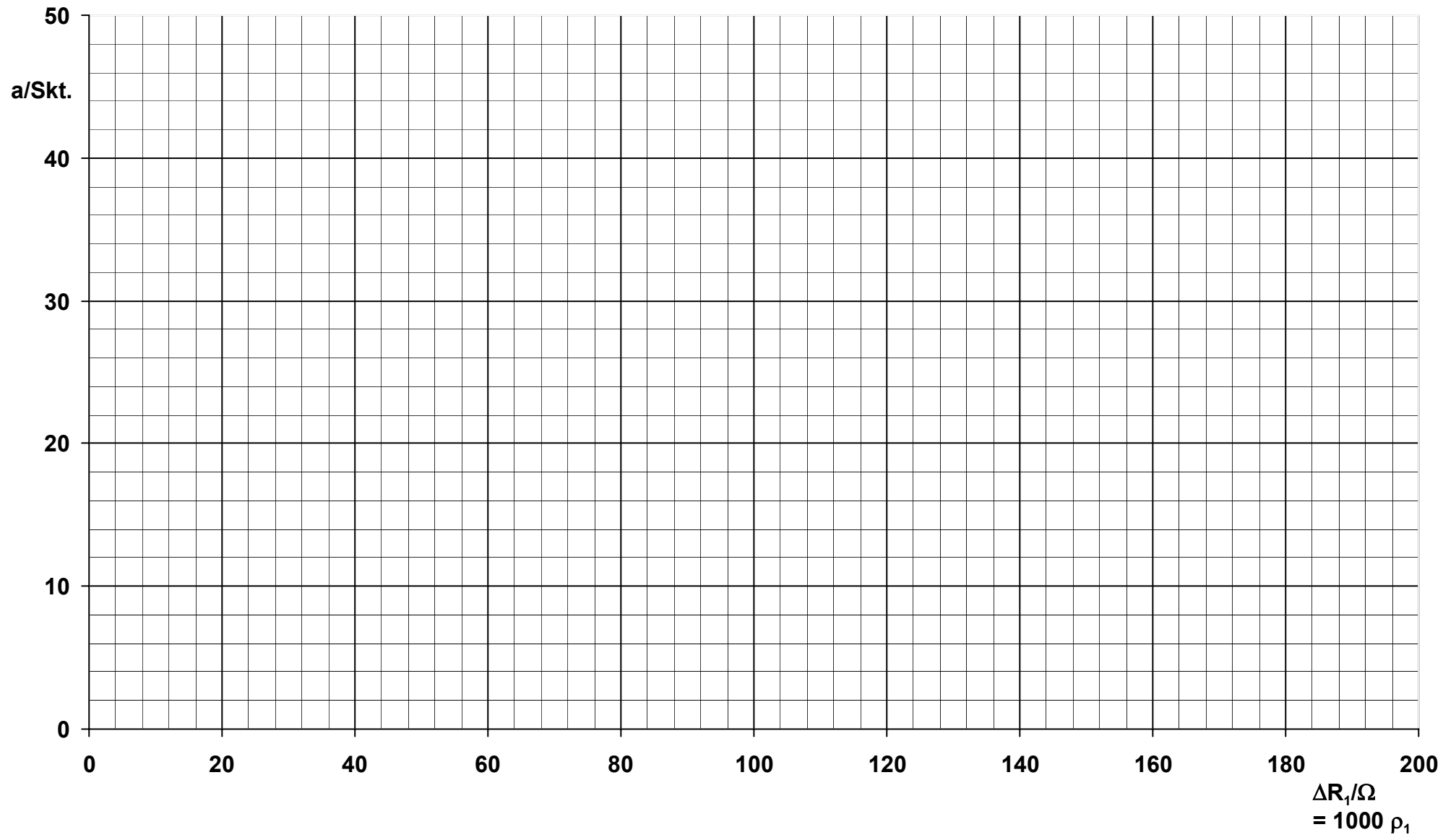


Diagramm 1 Messbrücke im Ausschlagverfahren

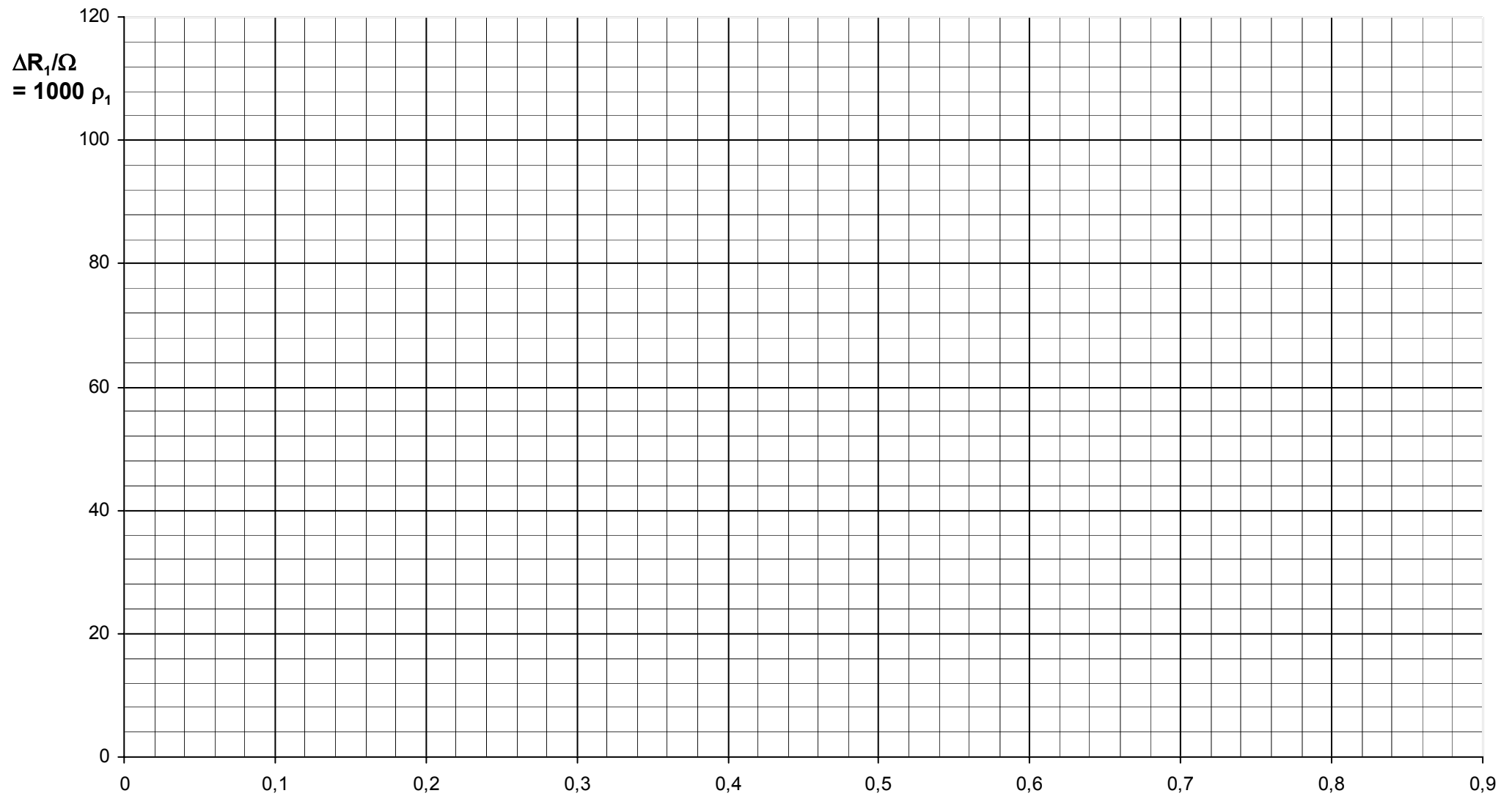


Diagramm 2 Fehler der Schleifdrahtbrücke