
Laborübung der Mess- und Automatisierungstechnik

Temperaturmessung

Versuch I: Pt100 Widerstandsthermometer

Bearbeiter:

Betreuer: Dr. Sommerlatt

Übungsgruppe: / A

Versuchsdatum: 19. Dezember 2003

Aufgabe 1:

Bestimmung der Badtemperatur mit einem Widerstandsthermometer (R_3) und manuell (R_3) abzugleichender WHEATSTONE- Brücke.

Messergebnisse:

$$R_3 = 124,7\Omega$$

$$\vartheta_{\text{Hg}} = 64,3^\circ\text{C}$$

Die Skale des Quecksilberthermometers ist in Schritte von 0,2K eingeteilt.

Auswertung:

- Es wurde eine Dreileiterschaltung gewählt.
- $R_3 = 124,7 \pm 0,05\Omega$
- aus Studienanleitung S. 67 Tabelle DIN 12778 $\Delta\vartheta_{\text{Hg}} = \pm 0,3^\circ\text{C}$
 $\vartheta_{\text{Hg}} = 64,3 \pm 0,3^\circ\text{C}$

ϑ_{Pt} wird mit Hilfe linearer Interpolation bestimmt. Als Interpolationspunkte werden dabei Grundwerte der genormten Kennlinie eines Pt-100 Messwiderstandes aus DIN EN 60751 verwendet.

$$y = y_1 \cdot \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} + y_0 \cdot \frac{x - x_1}{x_0 - x_1} \quad \text{Geradengleichung aus 2 Punkten}$$

$$\vartheta_{\text{Pt}} = 70^\circ\text{C} \cdot \frac{124,7\Omega - 123,24\Omega}{127,08\Omega - 123,24\Omega} + 60^\circ\text{C} \cdot \frac{124,7\Omega - 127,08\Omega}{123,24\Omega - 127,08\Omega}$$

$$\vartheta_{\text{Pt}} = 63,8^\circ\text{C}$$

$\pm 0,13^\circ\text{C}$ Unsicherheit der Temperatur, welche sich aus der Widerstandsermittlung ergibt

$\pm 0,619^\circ\text{C}$ Fehlergrenze Messwiderstand Pt 100 Klasse B für $63,8^\circ\text{C}$ (aus Studienanleitung S. 96)

$$\vartheta_{\text{Pt}} = 63,8 \pm 0,749^\circ\text{C}$$

- Die beiden Messwerte für die Badtemperatur dürfen sich maximal um 1,049 K unterscheiden, um als richtig zu gelten.

Aufgabe2:

Untersuchung des Einflusses des Leitungswiderstandes R_L bei Zwei (2LS) und Dreileiterschaltung (3LS)

Auswertung:

	Zweileiterschaltung	Dreileiterschaltung
ϑ_{Hg}	$64,3 \pm 0,3^\circ\text{C}$	$64,3 \pm 0,3^\circ\text{C}$
R_3 Messwert	$R_{2LS} = 138 \pm 0,05\Omega$	$R_{3LS} = 124,7 \pm 0,05\Omega$
ϑ_{Pt}	$98,66 \pm 0,9233^\circ\text{C}$	$63,8 \pm 0,749^\circ\text{C}$

$\Delta\vartheta_{RL} = 34,86\text{ K}$ systematischer Fehler

l Entfernung zwischen Thermometer und Messgerät

κ elektrischer Leitwert

A Leiterquerschnitt

$$R = \kappa^{-1} \cdot \frac{2l}{A} \qquad l = \frac{1}{2} R \cdot \kappa \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{1}{2} (138 - 124,7) \Omega \cdot 57 \frac{S \cdot m}{mm^2} \frac{\pi}{4} \cdot 0,5^2 mm^2 = \underline{\underline{74,4m}}$$

Ein dem Zusatzwiderstand äquivalenter Fehler tritt bei einer Entfernung von 74,4 m zwischen Thermometer und Messgerät auf.

$\Delta\vartheta_{RL} = \pm 0,619^\circ\text{C}$ Fehlergrenze Messwiderstand Pt 100 Klasse B für $63,8^\circ\text{C}$ (aus Studienanleitung S. 96)

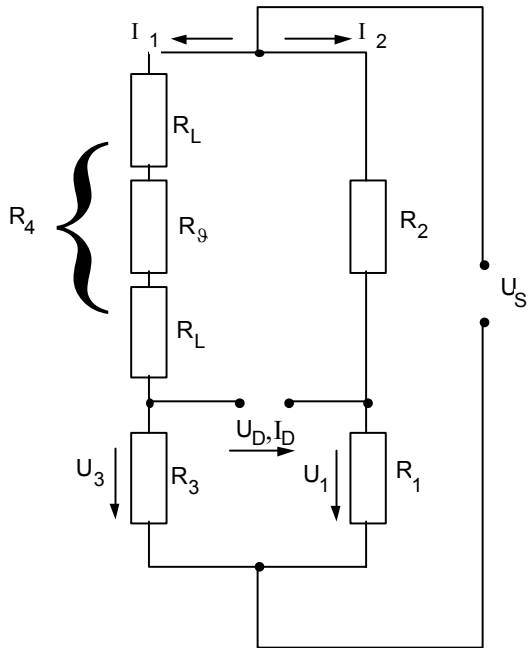
$\Delta R_L = \pm 0,24\ \Omega$ Fehlergrenze des Messwiderstandes umgerechnet in einen Fehler der Widerstandsermittlung

$$l = \frac{1}{2} R \cdot \kappa \frac{\pi}{4} \cdot d^2 = \frac{1}{2} 0,24\Omega \cdot 57 \frac{S \cdot m}{mm^2} \frac{\pi}{4} \cdot 0,5^2 mm^2 = \underline{\underline{1,34m}}$$

Es wäre eine Entfernung von 1,34m zulässig, wenn $\Delta\vartheta_{RL}$ klein gegenüber der Fertigungstoleranz des Messwiderstandes sein soll.

Die Leitungslänge hat großen Einfluss auf die Widerstandsmessung. Der gemessene Widerstand würde mit zunehmender Leitungslänge immer größer werden, so dass die ermittelte Temperatur um Größenordnungen zu hoch sein kann. Dies kann mit Hilfe der Fehlerrechnung ausgeglichen werden. Dazu müsste für jede Leitung der Leitungswiderstand ermittelt und vom Messwert abgezogen werden. Diese Variante ist bei einer Vielzahl von Leitungen äußerst aufwendig. Abhilfe schafft die Dreileiterschaltung, bei welcher der Leitungswiderstand auf den Messwert keinen Einfluss hat, erfordert allerdings eine dritte Leitung.

Zweileiterschaltung:



$$U_D = U_3 - U_1$$

$$\text{für } I_D = 0$$

$$I_2 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_S}{R_1 + R_2} \quad I_1 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{U_S}{R_4 + R_3}$$

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_S \quad U_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot U_S$$

$$U_D = U_S \cdot \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$$

für Zweileiterschaltung: $R_4 = R_g + 2R_L$

$$U_D = U_S \cdot \left[\frac{R_3}{R_3 + R_g + 2R_L} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right]$$

für $U_D=0$

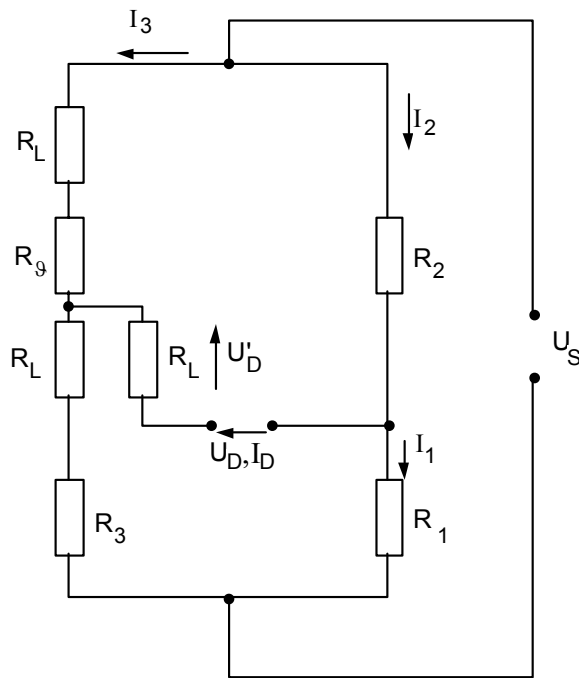
$$\frac{R_3}{R_3 + R_g + 2R_L} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \text{nach Umformung}$$

$$R_g = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1} - 2R_L$$

für $R_1=R_2$

$$R_g = R_3 - 2R_L$$

Dreileiterschaltung:



$$R_g = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3 + \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot R_L$$

für $R_1=R_2$

$$R_g = R_3$$

Herleitung:

$$I_D = I_2 - I_1 = \frac{U_D}{R_D} = \frac{U'_D}{R_L} \quad (1)$$

$$U_S = I_2 R_2 + I_1 R_1 \quad (2)$$

$$U_S = (R_L + R_g) I_3 + (R_L + R_3)(I_3 + I_D) \quad (3)$$

$$I_3 (R_L + R_g) = U_D + I_2 R_2 + (I_2 - I_1) R_L \quad (4)$$

aus (1) und (2) ergibt sich:

$$I_2 = \frac{U_S + U_D \frac{R_1}{R_D}}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

aus (1) und (3) folgt:

$$I_3 = \frac{U_S - U_D \left(\frac{R_L + R_3}{R_D} \right)}{R_g + 2R_L + R_3} \quad (6)$$

(1),(5) und (6) in (4) einsetzen, ergibt:

$$U_D \left[1 + \frac{1}{R_D} \left\{ R_L + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{(R_L + R_3)(R_L + R_g)}{R_g + 2R_L + R_3} \right\} \right] = U_S \left[\frac{R_L + R_g}{R_g + 2R_L + R_3} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

für $U_D=0$ folgt dann

$$R_g = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3 + \frac{R_2 - R_1}{R_1} \cdot R_L \quad (\text{siehe oben})$$

Aufgabe 3:

Prüfung einer aus Bausteinen der Prozessmesstechnik zusammengesetzten Temperaturmesskette

Auswertung_ Teil 1:

- $\vartheta_{Ana}=63^{\circ}C$
 $\vartheta_{Dig}=62,5^{\circ}C$
 $\vartheta_{Hg}=64,3^{\circ}C$

- $\Delta\vartheta_{Ana}=1,3K$ $\Delta\vartheta_{Ana} = \frac{\vartheta_{Ana} - \vartheta_{Hg}}{\vartheta_{Hg}} \cdot 100 = \frac{|63 - 64,3|}{64,3} \cdot 100 = 2\%$

$$\Delta\vartheta_{Dig}=1,8K \quad \Delta\vartheta_{Dig} = \frac{\vartheta_{Dig} - \vartheta_{Hg}}{\vartheta_{Hg}} \cdot 100 = \frac{|62,5 - 64,3|}{64,3} \cdot 100 = 2,8\%$$

- Fehler der einzelnen Bauteile

Sensor: $\Delta\vartheta_{Sensor} = \pm(0,3 + 0,005 \cdot |\vartheta|) = \pm 0,615^{\circ}C$

Fehler der anderen Bauteile wird mit folgender Formel berechnet

$$Fehlergrenze = \pm \frac{Messbereich \cdot Klasse}{100}$$

Messumformer: $\Delta\vartheta_{Messumformer} = \pm 0,6^{\circ}C$

analoge Anzeige: $\Delta\vartheta_{Analog} = \pm 1^{\circ}C$

digitale Anzeige: $\Delta\vartheta_{Digital} = \pm 0,1^{\circ}C$

- maximale Messunsicherheit

$$\Delta\vartheta_{max} = \left| \Delta\vartheta_{Sensor} + \Delta\vartheta_{Messumformer} + \Delta\vartheta_{Analog/Digital} \right|$$

analog: $\Delta\vartheta_{max} = \pm 2,215^{\circ}C$

digital: $\Delta\vartheta_{max} = \pm 1,315^{\circ}C$

- wahrscheinliche Messunsicherheit

$$\Delta\vartheta_{wahr} = \pm \sqrt{\Delta\vartheta_{Sensor}^2 + \Delta\vartheta_{Messumformer}^2 + \Delta\vartheta_{Analog/Digital}^2}$$

analog: $\Delta\vartheta_{wahr} = \pm 1,3118^{\circ}C$

digital: $\Delta\vartheta_{wahr} = \pm 0,865^{\circ}C$

- Baugruppe mit größter Messunsicherheit

analog

$$\Delta \vartheta_{\text{Anzeiger}} = \pm 1^\circ\text{C}$$

digital

$$\Delta \vartheta_{\text{Sensor}} = \pm 0,615^\circ\text{C}$$

- Anteil des Fehlers der Baugruppe an $\Delta \vartheta_{\text{max}}$

$$\frac{\Delta \vartheta_{\text{Anzeiger}}}{\Delta \vartheta_{\text{Temperaturmesskette}}} = 0,451$$

$$\frac{\Delta \vartheta_{\text{Sensor}}}{\Delta \vartheta_{\text{Temperaturmesskette}}} = 0,468$$

Die Bauglieder mit der größten Messunsicherheit haben sowohl in der analogen als auch in der digitalen Messung einen Anteil von über 45% an der Gesamtmessunsicherheit. D.h. das Bauteil mit der größten Messunsicherheit hat starken Einfluss auf die Gesamtmessunsicherheit. Daher ist bei der Auswahl der Bauteile darauf zu achten, dass die Messunsicherheit der Bauteile ungefähr gleich groß ist und nicht ein Bauteil einen besonders großen Anteil an der Messunsicherheit besitzt.

Auswertung_ Teil 2:

Messwerttabelle

R [Ω]	ϑ_{Dig} [$^\circ\text{C}$]	ϑ_{Ana} [$^\circ\text{C}$]
138	97,8	98
131	79,5	80
124	61,3	62
116	40,4	41
108	19,9	20
101	1,9	2

Die Solltemperatur wird mit Hilfe der Tabelle aus DIN EN 60751 aus dem eingestellten Widerstand ermittelt. Zwischen den Tabellenwerten wird linear interpoliert.

$$\Delta \vartheta_{\text{Ana / Dig}} = \left| \vartheta_{\text{Ana / Dig}} - \vartheta_{\text{Soll}} \right|$$

R [Ω]	ϑ_{Soll} [$^\circ\text{C}$]	$\Delta \vartheta_{\text{Ana}}$ [$^\circ\text{C}$]	$\Delta \vartheta_{\text{Dig}}$ [$^\circ\text{C}$]
101	2,56	0,56	0,66
108	20,54	0,54	0,64
116	41,19	0,19	0,79
124	61,98	0,02	0,68
131	80,26	0,26	0,79
138	98,6	0,6	0,8

• Fehler der einzelnen Bauteile

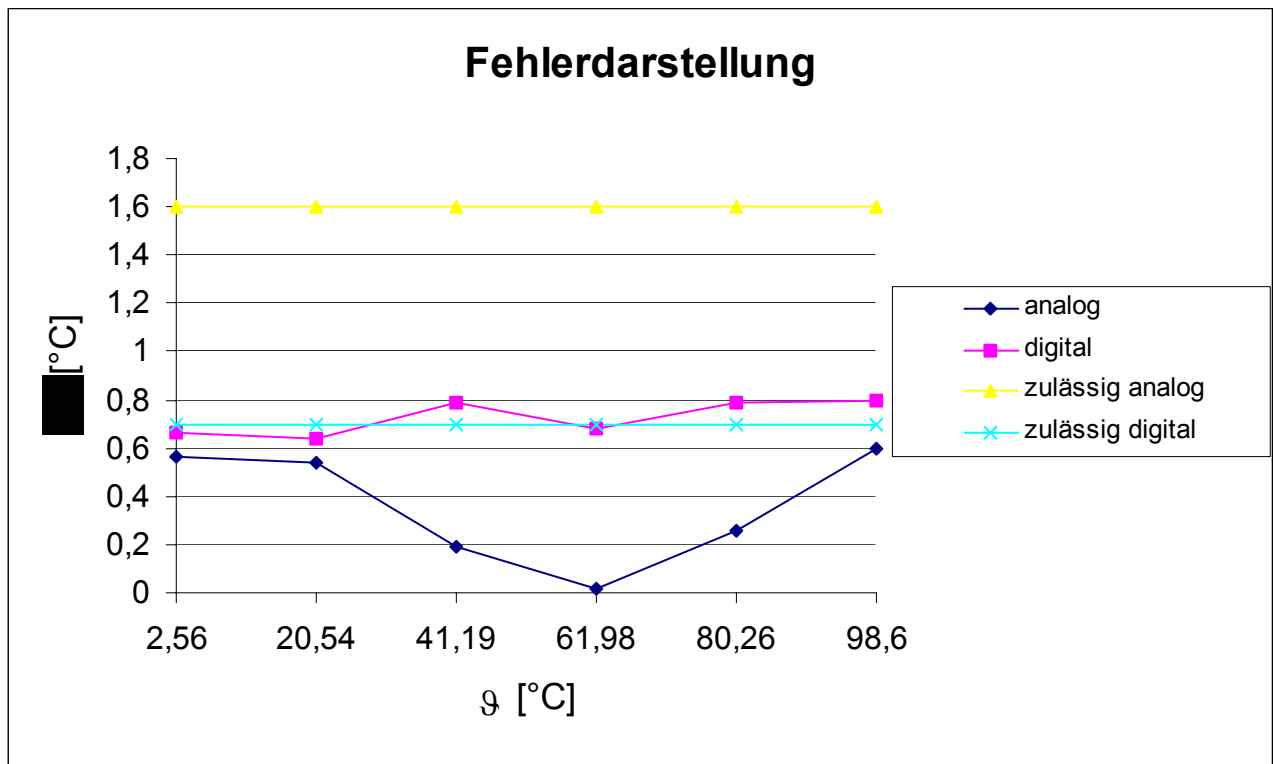
Messumformer: $\Delta g_{\text{Messumformer}} = \pm 0,6^\circ\text{C}$

analoge Anzeige: $\Delta g_{\text{Analog}} = \pm 1^\circ\text{C}$

digitale Anzeige: $\Delta g_{\text{Digital}} = \pm 0,1^\circ\text{C}$

Fehler analog: $\Delta g_{\text{Ana}} = \pm 1,6^\circ\text{C}$

Fehler digital: $\Delta g_{\text{Dig}} = \pm 0,865^\circ\text{C}$



Die von den Herstellern garantierten Fehlergrenzen werden für den Messumformer und den Analoganzeiger eingehalten.

Die Fehler vom Messumformer in Zusammenhang mit dem Digitalanzeiger sind grenzwertig. Sie tendieren aber dahingehend, dass der zulässige Fehler überschritten wird. Die vom Hersteller garantierten Fehlergrenzen werden nicht eingehalten.