

## Protokoll zum Laborversuch

Temperaturmessung mit Pt100-Temperaturfühler und sein Messumformer

SoSe 2018

Hiermit versichern wir, dieses Protokolls eigenständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln und Quellen angefertigt zu haben.

Name	Matr.-Nr	Unterschrift
Nils Hückstaedt	383113	<i>N. Hückstaedt</i>
Tom Gützlaff	381211	<i>T. Gützlaff</i>
Benedikt Baier	394151	<i>B. Baier</i>
Philipp Ziffer	391900	<i>P. Ziffer</i>

Vorbereitung	Punkte	Durchführung	Punkte	Auswertung	Punkte
1a	/4	2	/4	3a	/3
1b	/3			3b	/2
1c	/4			3c	/9
1d	/2			Fazit	/2
1e	/2				
Summe	/15	Summe	/4	Summe	/16

**Gesamt:** /35

## 1. Vorbereitungsaufgaben

- a) Die Kennlinie des Pt100 (Tabelle im Anhang) ist nicht linear. Approximieren Sie die Kennlinie des Pt100 mit der Gleichung (1), indem Sie den Temperaturkoeffizienten  $\alpha$  des Pt100 berechnen. Führen Sie die Approximation für Temperaturen zwischen 0°C und 80°C durch.

### Lösung:

Die Kennlinie des Pt100 kann mit leichten Abweichungen durch die lineare Gleichung

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot T) \quad (1)$$

Approximiert werden.

Durch umstellen der Gleichung (1) zu

$$R(T) = R_0 + R_0 \alpha \cdot T \quad (1^*)$$

lässt sich leicht erkennen, dass in der Gleichung  $R_0$  den Schnittpunkt mit der Y-Achse darstellt, und  $R_0 \alpha$  den Anstieg widerspiegelt. Nun kann die Kennlinie des Pt100 von 0° bis 80° durch eine Gerade approximiert werden, welche durch die Punkte  $P_1(0|100)$  und  $P_2(80|130,897)$  verläuft und durch die Gleichung

$$R(T) = 100 \, \Omega + 0,386 \frac{1}{k} \cdot T \quad (2)$$

Beschrieben wird.

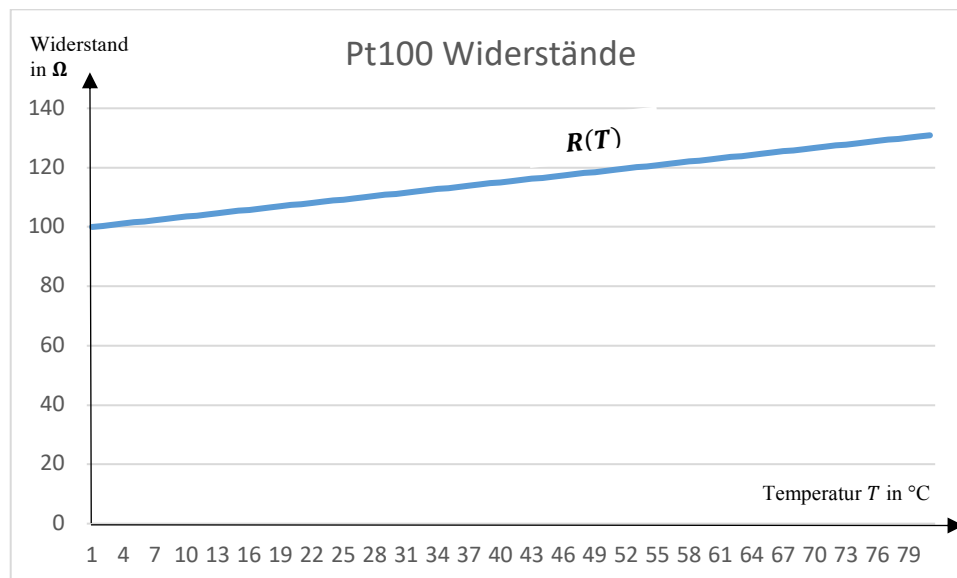


Abb. 1: Pt100 Widerstände in Abhängigkeit von der Temperatur

Somit lässt sich auch der Temperaturkoeffizient  $\alpha$  mit einem Widerstandswert von  $R_0 = 100 \, \Omega$  sehr leicht bestimmen:

$$R_0 \cdot \alpha = 0,386 \Leftrightarrow \alpha = 3,86 \cdot 10^{-3} \frac{1}{k}$$

- b) Zeichnen Sie ein Fehlerdiagramm, das den Approximationsfehler aus der Aufgabe 1a) darstellt. Wie groß ist der maximale Fehler für Temperaturen zwischen 0°C und 80°C?

**Lösung:**

Da die Kennlinie des Pt100 nur annähernd durch die Geradengeichung approximiert werden kann, existiert ein Fehler zwischen dem Widerstandswert aus der Tabelle und dem approximierten Wert. Dieser Fehler wird durch

$$Fehler = |R_{Tabelle} - R_{Approximiert}| \quad (3)$$

berechnet.

Die Fehlerwerte wurden mithilfe der Formel (3) und der Tabelle 1 im Anhang berechnet und im folgenden Diagramm dargestellt.

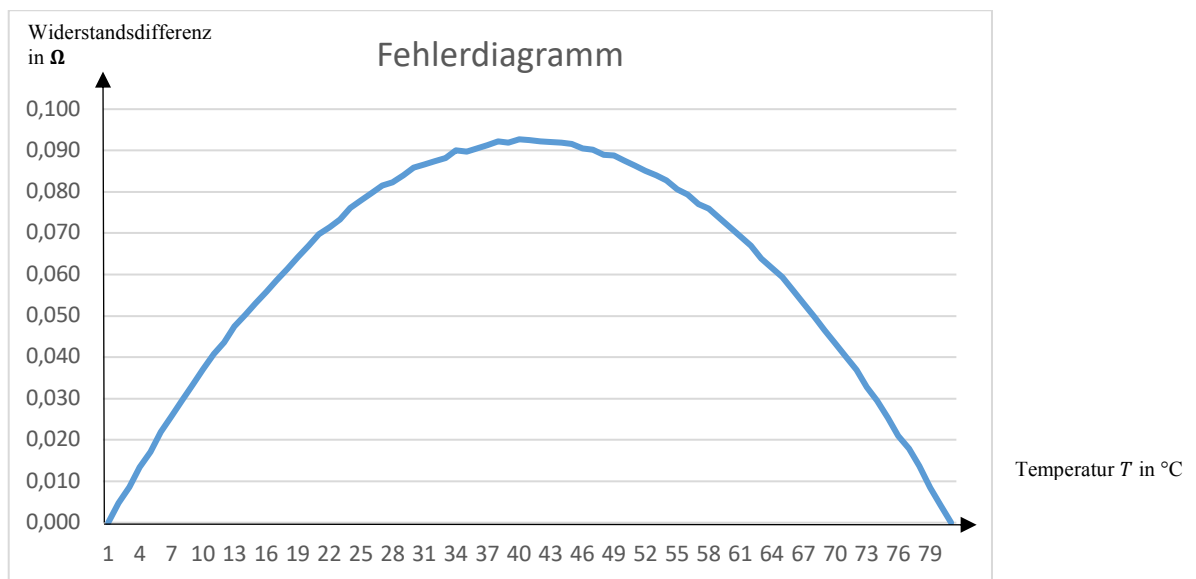


Abb. 2: Widerstands Differenz in Abhängigkeit von der Temperatur

Sowohl aus dem Diagramm, als auch aus der Tabelle lässt sich der maximale Fehler bei 41° C identifizieren. Er beträgt an dieser Stelle:  $Fehler = 0,093 \Omega$ .

- c) Bestimmen Sie die Formel der Brückenspannung  $U_{AB}(R_{Pt100})$  in Abhängigkeit von dem Widerstand des Pt100-Temperaturfühlers:
- Stellen Sie allgemein die Gleichungen für die Teilspannungen links und rechts ( $U_1$  und  $U_3$ ) mit Hilfe des Spannungsteilers auf.
  - Verwenden Sie die Maschenregel, um die Brückenspannung  $U_{AB}$  zu bestimmen

**Lösung:**

Da die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  in Reihe geschaltet sind ergibt sich der Gesamtwiderstand aus der Summe der beiden Teilwiderstände

$$R_{r1} = R_1 + R_2 \quad (4)$$

Da die Gesamtspannung und die Teilwiderstände gegeben sind lässt sich der Strom über das ohmsche Gesetz wie folgt ausdrücken

$$I = \frac{U}{R_{r1}} = \frac{U}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

Nach den Gesetzen der Reihenschaltung ist der Strom an allen Widerständen gleich und kann auch folgendermaßen beschrieben werden

$$I = \frac{U_1}{R_1} \quad (6)$$

Umstellen und gleichsetzen der Gleichungen (5) und (6) ergibt für die Spannung  $U_1$

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U \quad (7)$$

Für die Spannungen und Ströme auf der rechten Seite gilt das gleiche nur dass hier die Widerstände  $R_3$  und  $R_4$  verwendet wurden.

$$U_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot U \quad (8)$$

Wendet man nun die Maschenregel an so gilt

$$U_3 - U_1 - U_{AB} = 0 \Leftrightarrow U_{AB} = U_3 - U_1 \quad (9)$$

Einsetzen von (7) und (8) in (9) ergibt

$$U_{AB} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot U - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U = U \cdot \left( \frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) \quad (9^*)$$

- d) Zeichnen Sie ein Diagramm, das die Abhängigkeit der Brückenspannung  $U_{AB}$  von der Temperatur  $\vartheta$  für ein Temperaturintervall von  $0^\circ\text{C}$  bis  $80^\circ\text{C}$  darstellt.

**Lösung:**

In der Tabelle 1 im Anhang wurde zu jedem Temperaturwert  $\vartheta$  die Spannung  $U_{AB}$  mithilfe der Gleichung (9\*) und den Werten:

$$U = 5V$$

$$R_1 = R_3 = 5100 \Omega$$

$$R_2 = 100 \Omega \cdot \left(1 + 0,00392 \frac{1}{K} \cdot \vartheta\right)$$

$$R_4 = 100 \Omega$$

Anschließend werden die Werte in Abhängigkeit der jeweiligen Temperatur in ein Diagramm eingetragen.

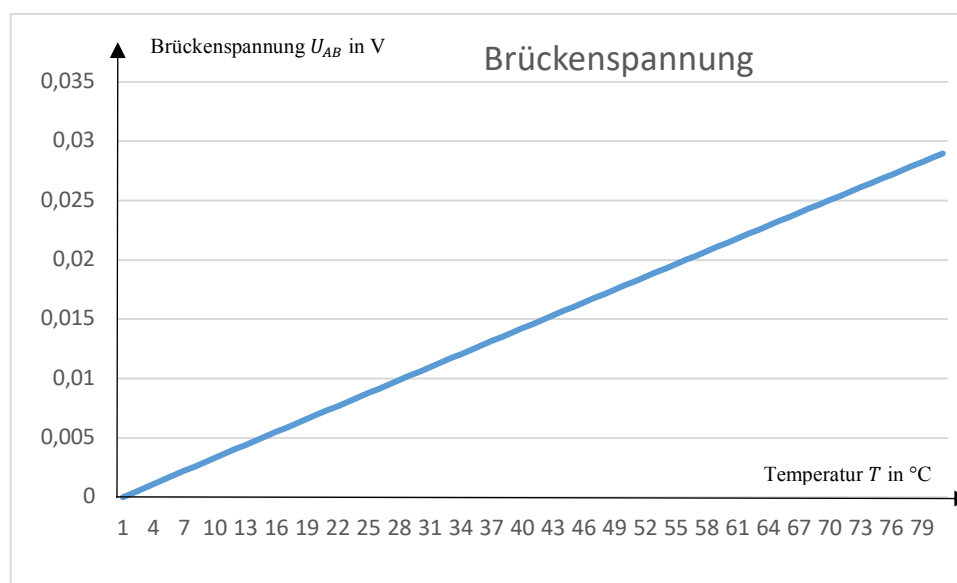


Abb. 3: Brückenspannung(theoretisch) in Abhängigkeit von der Temperatur

- e) Leiten Sie aus der Aufgabe 1c) die Abgleichbedingung ( $U_{AB} = 0$ ) her.

**Lösung:**

Null setzen von Gleichung (9\*) ergibt

$$U_{AB} = U \cdot \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = 0$$

Da  $U = 5V = \text{konst.}$  Muss  $\left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = 0$  gelten

Weiterhin gilt

$$R_1 = R_3.$$

Daraus Folgt

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

Somit lässt sich die Bedingung

$$R_2 = R_4$$

Ableiten. Man erkennt dies ist genau dann der Fall, wenn

$$T = 0^\circ\text{C}$$

Ist.

## 2. Durchführung

Der Versuchsaufbau (Abb. 3) besteht aus einer Gleichspannungsquelle, einem Amperemeter, einem Voltmeter, drei Widerständen, einem Pt100-Temperaturfühler, einer Heizplatte, einem Steckbrett und einigen Leitungen. Als erste wurden die drei Widerstände gemessen, um festzustellen an welcher Stelle sie eingebaut werden:

$$R_{1,3} = 5090 \, \Omega \quad R_4 = 101 \, \Omega$$

Anschließend wurde den Innenwiderstand des Amperemeters bestimmt, um eine Verfälschung der Messungen zu vermeiden:

$$R_A = 7,5 \, \Omega \quad (\text{Ideal sind } 6 \, \Omega)$$

Nun konnte der Versuch, wie in Abb. 3, aufgebaut werden. Nachdem alles korrekt zusammengebaut war, wurde der Pt100 Temperaturfühler auf die Heizplatte geklebt und die Spannungsquelle auf 5 V eingestellt. Darauf wurde die Temperatur der Heizplatte, beginnend bei 25°C, in fünf Schritten erhöht und jedes Mal die entsprechende Brückenspannung  $U_{AB}$  (Voltmeter) und der Strom durch den Pt100  $I_{Pt100}$  (Amperemeter) abgelesen (Siehe Tab. 1). Beendet war der Versuch nach dem Ablesen des letzten Messergebnisses, bei 80°C.

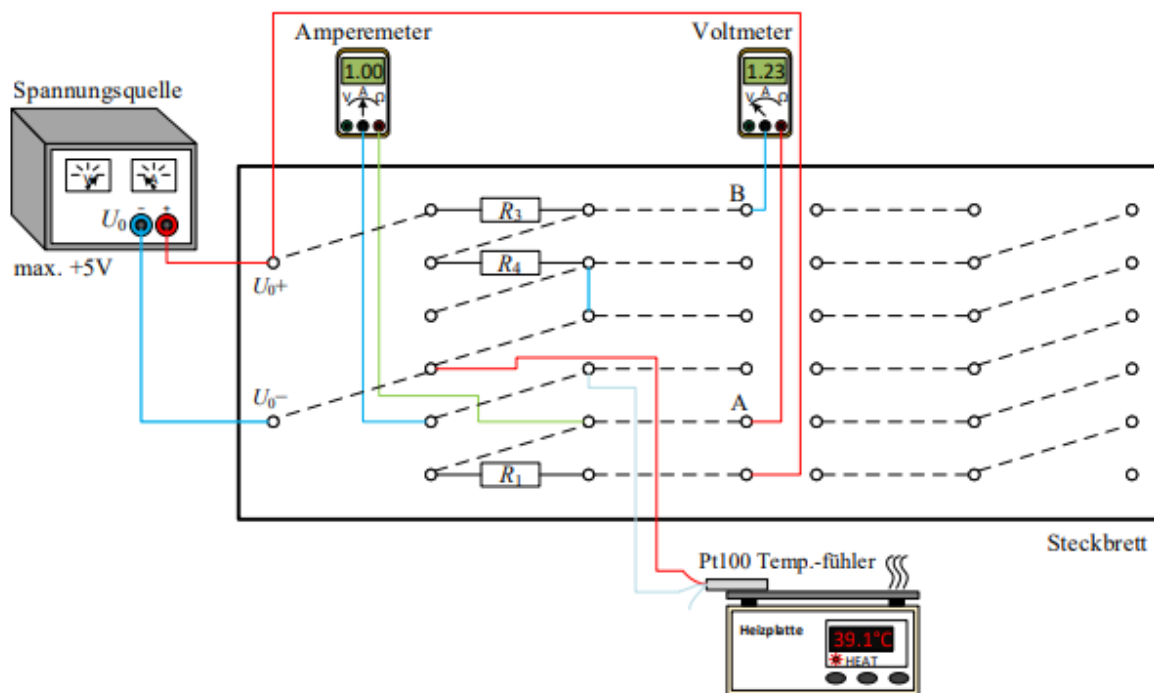


Abb. 4: Versuchsaufbau (Quelle: Aufgabenblatt Labor 1 SoSe 2018.pdf)

Messergebnisse:

$T$ (°C)	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$U_{AB}$ (mV)	17	18,2	19	20,4	21,2	22	23	24,1	25,5	26,4	27,2	31
$I_{Pt100}$ (mA)	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98

Tab. 1: Messergebnisse der Brückenspannung und des Stroms in Abhängigkeit der Temperatur

## Auswertung

- a) Zeichnen Sie aus den gemessenen Werten ein Diagramm der Brückenspannung  $U_{AB}$  in Abhängigkeit der Temperatur  $\vartheta$ .

Lösung:

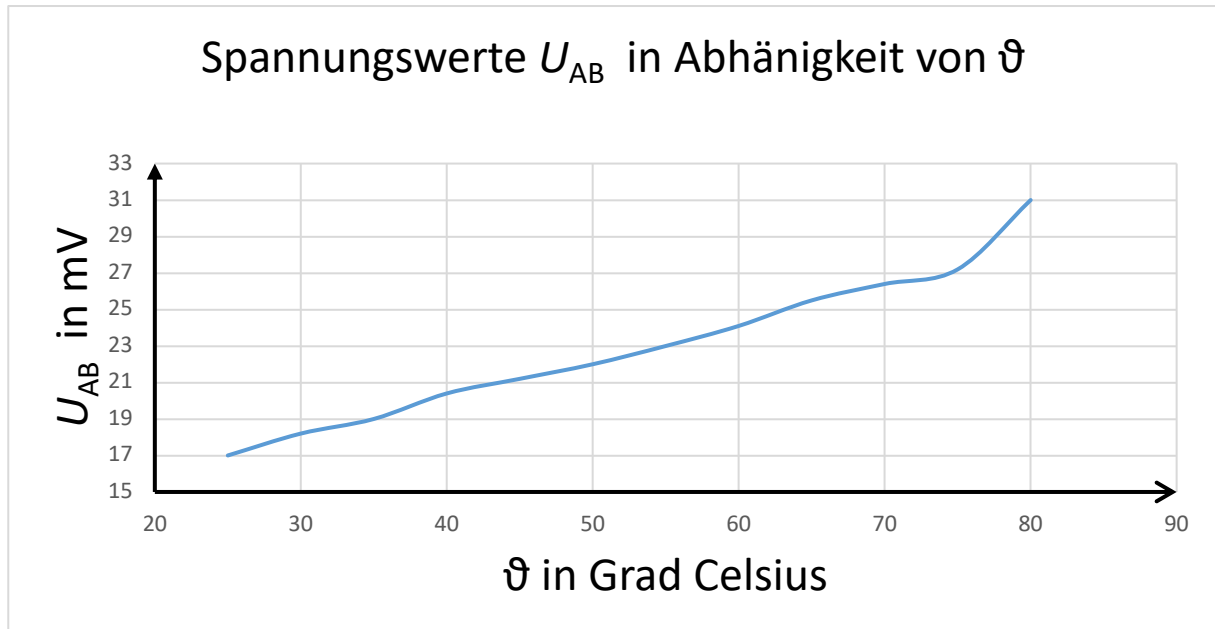


Abb. 5: Brückenspannung(Messwerte) in Abhängigkeit von der Temperatur

- b) Welche Fehler sind für die Abweichungen in Aufgabe 3a) verantwortlich und wie könnte man diese vermeiden?

Lösung:

Mögliche Gründe für die Abweichungen in Aufgabe 3a) ist die Vernachlässigung der Widerstände in den Kabeln und im Amperemeter. Ein weiterer Fehler, ist die nicht 100% akkurate Messgenauigkeit der Messgeräte.

Um diesen Fehler entgegen zu wirken könnte man genauere Messgeräte benutzen, alle Widerstände berücksichtigen bzw. Kabel verwenden die keine Widerstände haben (Supraleiter).

- c) Das Amperemeter besitzt bei einer Strommessung im mA-Messbereich einen Innenwiderstand:
- Erweitern Sie das Ersatzschaltbild in Abbildung 2 mit dem Innenwiderstand des Amperemeters.

Lösung:

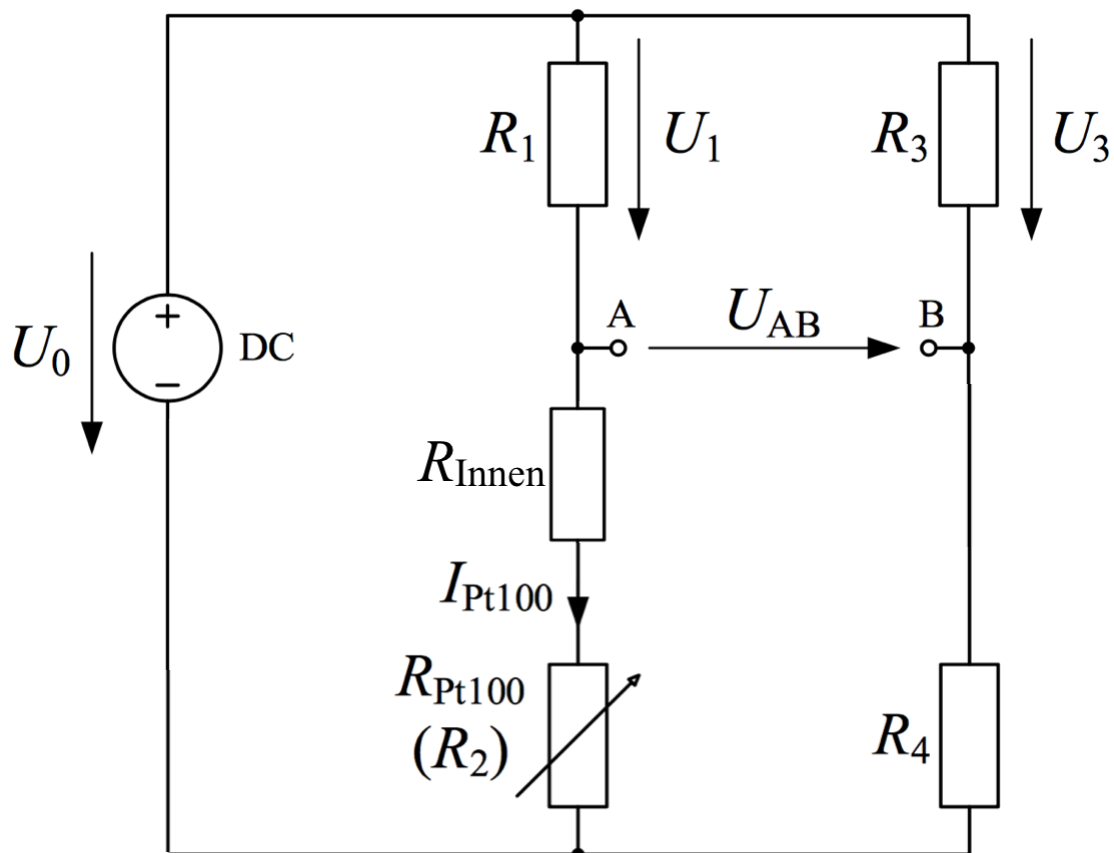


Abb. 6: Erweitertes Schaltbild

- ii. Stellen Sie erneut die Formel der Brückenspannung auf, die der Einfluss des Innenwiderstandes ebenfalls darstellt. Vergleichen Sie den Mittelwert des von der Formel berechneten Innenwiderstandes mit dem vom Ohmmeter gemessenen Innenwiderstand.

Lösung: Aus Aufgabe 1 c) ergibt sich, dass einen neuer widerstand in Reihengeschaltet wird. Daraus folgt:

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

Da nun der Innenwiderstand berechnet werden soll muss die Formel nach  $R_I$  umgestellt werden.

$$R_I = \frac{-R_1}{\frac{U_{AB}}{U} - \frac{R_3}{R_3+R_4}} - R_1 - R_2.$$



Setzt man nun die Messergebnisse ein und bildet den Mittelwert so erhält man 4,28 Ohm. Dieser weicht sehr stark vom gemessenen Wert ab, welcher 7,4 Ohm betrug, da man eine recht hohe Messungenauigkeit hat.

- iii. Zeichnen Sie wiederholt das Diagramm  $U_{AB}(\vartheta)$  und berücksichtigen Sie dabei den Innenwiderstand des Amperemeters, welcher den tatsächlichen Spannungswert verfälscht. Vergleichen Sie die korrigierten Werte mit den theoretischen Werten aus Aufgabe 1d). Sind die Messfehler angemessen, wenn man die Schaltung für eine Messung mit  $1^\circ\text{C}$  Genauigkeit einsetzen möchte?

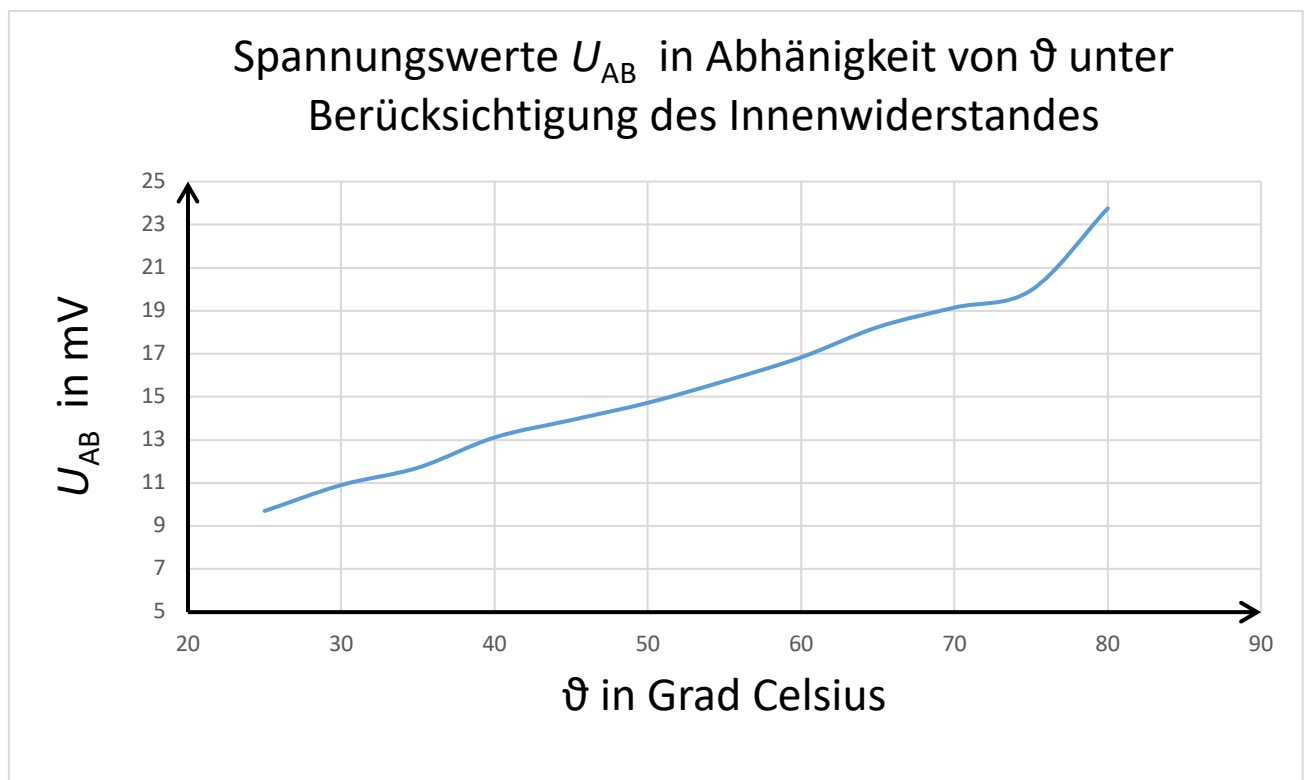


Abb. 7: Brückenspannung(Messwerte) mit Berücksichtigung des Innenwiderstandes

Vergleicht man die theoretischen Werte des Pt100 mit den gemessenen Werten unter Berücksichtigung des Innenwiderstandes des Amperemeters, so lässt sich eine Differenz feststellen. Diese ist in Tabelle 2 dargestellt. Die Größte Differenz beträgt 6,7 mV bei einer Temperatur von  $T = 75^\circ\text{C}$ . Dies bedeutet bei den theoretischen Wert schon einen

Temperaturunterscheid von ca. 17 °C. Deswegen sind die gemessenen Werte ungeeignet um Temperaturen mit einer Genauigkeit von 1 °C zu messen.

### **Fazit**

Die Messwerte weichen durch die ungenauen Messungen etwas von den theoretischen Werten ab. Dies ist durch die oben genannten Fehler entstanden. Deshalb eignet sich die Pt100 Messschaltung nicht um genaue Aussagen über die Temperatur zu treffen.

Temperatur	Kennlinie des Pt100[Ω]	Kennlinie approximiert[Ω]	Fehler	Brückenspannung[	R1 = R3 = 5100 Ω	R4 = 100 Ω	U = 5V
0	100,000	100	0,000	0			
1	100,391	100,386	0,005	0,000368704			
2	100,781	100,772	0,009	0,000736409			
3	101,172	101,159	0,013	0,001105002			
4	101,562	101,545	0,017	0,001472598			
5	101,953	101,931	0,022	0,00184108			
6	102,343	102,317	0,026	0,002208565			
7	102,733	102,703	0,030	0,002575994			
8	103,123	103,090	0,033	0,002943369			
9	103,513	103,476	0,037	0,003310689			
10	103,903	103,862	0,041	0,003677953			
11	104,292	104,248	0,044	0,004044221			
12	104,682	104,635	0,047	0,004411376			
13	105,071	105,021	0,050	0,004777534			
14	105,460	105,407	0,053	0,005143638			
15	105,849	105,793	0,056	0,005509687			
16	106,238	106,179	0,059	0,005875681			
17	106,627	106,566	0,061	0,00624162			
18	107,016	106,952	0,064	0,006607505			
19	107,405	107,338	0,067	0,006973335			
20	107,794	107,724	0,070	0,007339111			
21	108,182	108,110	0,072	0,007703892			
22	108,570	108,497	0,073	0,008068618			
23	108,959	108,883	0,076	0,00843423			
24	109,347	109,269	0,078	0,008798848			
25	109,735	109,655	0,080	0,009163411			
26	110,123	110,042	0,081	0,00952792			
27	110,510	110,428	0,082	0,009891435			
28	110,898	110,814	0,084	0,010255836			
29	111,286	111,200	0,086	0,010620182			
30	111,673	111,586	0,087	0,010983536			
31	112,060	111,973	0,087	0,011346835			
32	112,447	112,359	0,088	0,01171008			
33	112,835	112,745	0,090	0,01207421			
34	113,221	113,131	0,090	0,012436409			
35	113,608	113,517	0,091	0,012799493			
36	113,995	113,904	0,091	0,013162523			
37	114,382	114,290	0,092	0,013525498			
38	114,768	114,676	0,092	0,013887483			
39	115,155	115,062	0,093	0,014250351			
40	115,541	115,449	0,093	0,014612228			
41	115,927	115,835	0,092	0,014974051			
42	116,313	116,221	0,092	0,015335821			
43	116,699	116,607	0,092	0,015697537			
44	117,085	116,993	0,092	0,0160592			
45	117,470	117,380	0,090	0,016419873			
46	117,856	117,766	0,090	0,016781428			
47	118,241	118,152	0,089	0,0171411994			
48	118,627	118,538	0,089	0,017503443			
49	119,012	118,924	0,088	0,017863903			
50	119,397	119,311	0,086	0,018224309			
51	119,782	119,697	0,085	0,018584662			
52	120,167	120,083	0,084	0,018944962			
53	120,552	120,469	0,083	0,019305209			
54	120,936	120,855	0,081	0,019664467			
55	121,321	121,242	0,079	0,020024608			
56	121,705	121,628	0,077	0,02038376			
57	122,090	122,014	0,076	0,020743794			
58	122,474	122,400	0,074	0,021102841			
59	122,858	122,787	0,071	0,021461835			
60	123,242	123,173	0,069	0,021820776			
61	123,626	123,559	0,067	0,022179664			
62	124,009	123,945	0,064	0,022537565			
63	124,393	124,331	0,062	0,022896348			
64	124,777	124,718	0,059	0,023255078			
65	125,160	125,104	0,056	0,023612821			
66	125,543	125,490	0,053	0,023970512			
67	125,926	125,876	0,050	0,024328151			
68	126,309	126,262	0,047	0,024685737			
69	126,692	126,649	0,043	0,02504327			
70	127,075	127,035	0,040	0,025400752			
71	127,458	127,421	0,037	0,025758181			
72	127,840	127,807	0,033	0,026114624			
73	128,223	128,194	0,029	0,026471948			
74	128,605	128,580	0,025	0,026828288			
75	128,987	128,966	0,021	0,027184575			
76	129,370	129,352	0,018	0,027541742			
77	129,752	129,738	0,014	0,027897925			
78	130,133	130,125	0,008	0,028253124			
79	130,515	130,511	0,004	0,028609203			
80	130,897	130,897	0,000	0,02896523			

Temperatur	Brückenspannung(theoretisch) ohne verrechnetem Widerstand[mV]	Brückenspannungen(theoretisch) mit verrechnetem Widerstand [mV]	Differenz [mV]	Brückenspannungen(Messwerte) ohne Innenwiderstand [mV]	Differenz der Theoretischen und der gemessenen Brückenspannungen unter Berücksichtigung des Innenwiderstands [mV]
25	9,163411	16,46534303	7,301932035	9,698067831	0,534656831
30	10,983536	18,28004232	7,296506316	11,11405954	0,130523543
35	12,799493	20,09058848	7,29109548	11,95418976	0,845303243
40	14,612228	21,89792391	7,28569591	13,39421996	1,21800804
45	16,419873	23,70018634	7,280313339	14,2341091	2,185763895
50	18,224309	25,49925205	7,27494305	15,07389892	3,150410084
55	20,024608	27,29419406	7,269586064	16,11356907	3,911038934
60	21,820776	29,08502002	7,26424402	17,25311992	4,567656079
65	23,612821	30,87173753	7,25891653	18,69255185	4,920269155
70	25,400752	32,65435418	7,253602182	19,6318652	5,768886801
75	27,184575	34,43287754	7,248302539	20,47106035	6,713514655
80	28,96523	36,20824431	7,24301431	24,3101581	4,655071903

## Anhang 2