



Protokoll zum Versuch

Temperaturmessung

(Versuch 41)

Autor: Finn Zeumer (hz334)
Versuchspatnerin: Annika Künstle
Versuchsbegleiter: Leonie Frederike Müller
Datum der Ausführung: 02.09.2025
Abgabedatum: 09.09.2025

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	3
1.1. Motivation	3
1.2. Physikalische Grundlagen	3
1.3. Versuchsaufbau	4
Messdaten	5
II. Durchführung	7
2.1. Versuchsaufbau	7
2.2. Messverfahren	7
III. Auswertung	9
3.1. Eichung des Gasthermometers	10
3.2. Eichung des PT100-Widerstandthermometers	11
3.3. Gasthermometer vs. Pyrometer	12
3.4. Flammenanalyse via Thermoelement	16
IV. Diskussion	17
4.1. Zusammenfassung	17
4.2. Diskussion	17
4.3. Kritik	17

I. Einleitung

1.1. Motivation

In diesem Versuch beschäftigen wir uns mit verschiedenen Methoden der Temperaturmessung. Zunächst werden ein Gas- und ein Platin-Widerstandsthermometer im Bereich zwischen dem Siedepunkt von Wasser und dem Siedepunkt von flüssigem Stickstoff eingesetzt. Anschließend erfolgen Messungen im Bereich von 0 °C bis 100 °C mit einem Infrarot-Thermometer. Zuletzt wird mithilfe eines Thermoelements die Temperaturverteilung einer Bunsenbrennerflamme untersucht. Ziel des Versuchs ist es, die Ergebnisse der vier Methoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in verschiedenen Temperaturbereichen sowie ihrer Genauigkeit zu überprüfen.

1.2. Physikalische Grundlagen

[Wag25a, Dem17]

Gasthermometer Die Grundlage bildet die ideale Gasgleichung

$$pV = Nk_{\text{B}}T, \quad (1)$$

wobei p der Druck, V das Volumen, T die absolute Temperatur, N die Teilchenzahl und k_{B} die Boltzmann-Konstante ist. Bei konstantem Volumen folgt das Gesetz von Amontons:

$$T \propto p \quad (V = \text{konstant}). \quad (2)$$

Das im Praktikum verwendete Gasthermometer besteht aus einem Glasballon, der über eine Kapillare mit einem Manometer verbunden ist. Systematische Fehler entstehen durch die thermische Ausdehnung des Ballons und durch das

„schädliche Volumen“ der Luftsäule in der Kapillare, die bei Raumtemperatur bleibt. Diese Effekte sind jedoch klein gegenüber der Temperaturabhängigkeit des Drucks. Luft kann oberhalb des Verflüssigungspunktes und bei niedrigem Druck als ideales Gas angenähert werden.

Zur Korrektur realer Gase könnte die van-der-Waals-Gleichung verwendet werden:

$$\left(p + \frac{n^2a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT, \quad (3)$$

mit den Stoffmengen n , der Gaskonstante R sowie den stoffabhängigen Konstanten a und b .

Thermoelement Die Funktionsweise beruht auf dem Seebeck-Effekt: An der Kontaktstelle zweier unterschiedlicher Metalle entsteht eine Thermospannung

$$U_{\text{th}} = K(T_1 - T_2), \quad (4)$$

wobei T_1 die Temperatur an der Kontaktstelle, T_2 die Referenztemperatur und K eine materialabhängige Konstante ist. Vorteile: kleiner Messfühler, große Temperaturbereiche, robuste Bauweise, geringe Kosten. Nachteil: Nur relative Messungen möglich, die Referenztemperatur T_2 muss bekannt oder konstant sein. Für präzise Messungen wird eine definierte Vergleichsstelle benötigt.

Platin-Widerstandsthermometer Die Temperaturabhängigkeit des Widerstands eines Pt100-Sensors lässt sich durch ein quadratisches Polynom annähern:

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2), \quad (5)$$

mit dem Nennwiderstand $R_0 = 100\ \Omega$ bei 0°C und den Koeffizienten

$$A = 3,9083 \cdot 10^{-3}\ ^\circ\text{C}^{-1} \quad (6)$$

$$B = -5,775 \cdot 10^{-7}\ ^\circ\text{C}^{-2} \quad (7)$$

Ergibt sich eine Gleichung zur Berechnung der Temperatur T in Abhängigkeit des Widerstandes R :

$$T(R) = \frac{-R_0 A + \sqrt{R_0^2 A^2 - 4R_0 B(R_0 - R)}}{2R_0 B}. \quad (8)$$

Der Temperaturfehler für ein Pt100 der Klasse B beträgt

$$\Delta T = 0,30\ ^\circ\text{C} + 0,005 \cdot |T|. \quad (9)$$

Die Widerstandsmessung erfolgt im Praktikum mit einer Konstantstromquelle von $1\ \text{mA}$. Um Leitungseinflüsse zu vermeiden, wird eine Vierleiterschaltung verwendet.

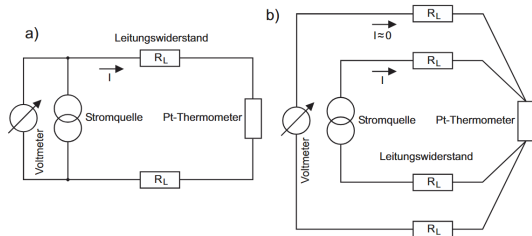


Abbildung I.1.: Schematischer Aufbau einer a) Zweileiterschaltung und b) einer Vierleiterschaltung.

Pyrometer Jeder Körper mit $T > 0\ \text{K}$ emittiert Wärmestrahlung. Das Plancksche Strahlungsgesetz beschreibt die spektrale Strahlungsleistung:

$$M_\lambda(\lambda, T) dA d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/(\lambda k_B T)} - 1} dA d\lambda, \quad (10)$$

wobei h das Plancksche Wirkungsquantum und c die Lichtgeschwindigkeit ist.

Die gesamte abgestrahlte Leistung eines Körpers folgt aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$P = \epsilon(T) \sigma A T^4, \quad (11)$$

mit σ als Stefan-Boltzmann-Konstante und dem Emissionsfaktor $\epsilon(T) \leq 1$. Das eingesetzte IR-Pyrometer misst im Bereich von 8 bis $14\ \mu\text{m}$. Bei Raumtemperatur ($T \approx 300\ \text{K}$) liegt das Strahlungsmaximum bei $\lambda \approx 10\ \mu\text{m}$.

1.3. Versuchsaufbau

1.)

Tabelle 1

	Zweileiter	Vierleiter
Spannung	100,5 mV	100,7 mV
Wasserdampfdruck	916 mbar	916 mbar
Pyrometer-temperatur	-0,5°C	-0,6°C
Flüssigkeitstemperatur	0,5°C	0,5°C

Vergleich von Zwei- und Vierleiter bei 0°C bei kurzen Kabeln

2.)

Tabelle 2

Ziel-Temperatur [°C]	Druck [mbar]	Pyrometer [°C]	Pt100-Spannung [mV]
10	964	9,6	106,1
20	931	20,2	108,1
30	1025	31,7	112,3
40	1063	42,6	116,6
50	1097	52,9	120,3
60	1137	65,4	124,4
70	1170	73,7	128,0
80	1203	81,7	132,3
90	1238	87,6	137,1
100	1273	92,8	138,3

Werte in Temperaturabhängigkeit in 10°C ± 1,5°C

Luftdruck vorher: 1007

Luftdruck nachher: 1017

02.08.2025

Finn Zauner

Annika Künstele

Benutzte Geräte:

Multimeter: Benning MM 1-2 Eingangsbelastung: 70 kΩ
3 Digits
Gleichspannung: bis 200 mV 100 µV ± 0,5% + 2 Digits

Infrarotthermometer: PC5-380 3 1/2 Digits -Anzeige

Bereich: -50°C - 1600°C

Auflösung: 0,1°C bis 2000°C

Genauigkeit: ± 5°C -50 ... -20 °C
± 1,5% -20 ... 200 °C ± 2°C
± 2,0% 200 ... 538 °C ± 2°C
± 3,5% 538 ... 1300 °C ± 5°C
± 3,8% 1300 ... 1600 °C ± 5°C

Spannungsbereich: 8-14 µV

Manometer: GDH-AN

0,1 mbar

Genauigkeit: 1 mbar ± 1 Digit

Immersionstiefe: Unbekannt

Temperatur vorher: 25,1°C

Druck: 1007 mbar

Temperatur nachher: 25,9

Druck: 1017 mbar

Temperatur 15:05 = 25,6°C

3.)

Trockeneis-Alkohol-Gemisch:

Spannung: 77 mV

Druck: 709 mBar

Flüssigstickstoff:

Spannung: 29,7 mV

Druck: 255 mBar

4.)

Tabelle 3

Typ S

Stelle	Temp bei Schwacher Luftzufuhr [mV]	Temp bei starker Luftzufuhr [mV]
1	0,10	0,8
2	0,30	0,8
3	0,45	0,8
4	0,70	0,8
5	0,80	0,8

Vergleich starker vs. schwacher
Luftzufuhr für Thermoelement Typ S
an 5 Flammenstellen



II. Durchführung

2.1. Versuchsaufbau

Aufgabe 1: Eichung der Thermometer bei 0 °C

Für die Eichung wird ein Pt100-Thermometer mit Adapterbox verwendet. Die vier Anschlussleitungen können über 4 mm-Buchsen abgegriffen werden. Eine Stromquelle liefert den Messstrom von 1 mA. Ein Voltmeter dient zur Spannungsmessung und kann wahlweise an die Buchsen der Stromquelle (Zweileiterschaltung) oder direkt an die Adapterbox (Vierleiterschaltung) angeschlossen werden. Zur Erzeugung der Referenztemperatur von 0 °C wird ein Becherglas mit zerkleinertem Eis und Wasser befüllt. Der Glasballon mit dem Messsensor wird vollständig in das Gemisch eingetaucht. Zusätzlich stehen ein Pyrometer zur Messung der Oberflächentemperatur sowie ein Flüssigkeitsthermometer zur Verfügung.

Aufgabe 2: Temperaturmessung bis 100 °C

Das Wasserbad wird mit einer Heizplatte erhitzt. Zur Temperaturhomogenisierung wird ein Rührmechanismus verwendet. Als Messgeräte dienen das Pt100-Thermometer, das Gasthermometer und ein Pyrometer. Der Umgebungsdruck wird mit einem Barometer bestimmt.

Aufgabe 3: Temperaturmessung bei tiefen Temperaturen

Ein Dewargefäß wird wahlweise mit einer Trockeneis-Alkohol-Mischung oder mit flüssigem Stickstoff befüllt. Der Glasballon mit

Messsensor wird in das jeweilige Kühlmedium eingebracht. Für die Messung stehen das Pt100-Thermometer sowie das Gasthermometer zur Verfügung.

Aufgabe 4: Temperaturmessung mit dem PtRh-Thermoelement

Zur Untersuchung hoher Temperaturen wird ein Gasbrenner mit regelbarer Luftzufuhr genutzt. Das PtRh-Thermoelement (Typ S oder Typ B) wird in verschiedene Bereiche der Flamme eingeführt. Die Temperaturbestimmung erfolgt über die gemessene Thermospannung unter Zuhilfenahme der passenden Eich-tabelle.

2.2. Messverfahren

Nach dem Aufbau der Zwei- und Vierleiterschaltung werden beide Varianten ausprobiert. Bei stabilisierter Temperatur im Wasser-Eis-Gemisch wird die Spannung des Pt100, der Druck des Gasthermometers sowie die Pyrometertemperatur aufgezeichnet. Das Flüssigkeitsthermometer wird als zusätzliche Kontrolle herangezogen. Maßgeblich ist das Minimum der Pt100-Spannung als Eichpunkt.

Das Wasser wird stufenweise erhitzt. Beginnend bei etwa 10 °C werden in Schritten von ca. 10 °C die Pt100-Spannung, der Gasthermometerdruck und die Pyrometertemperatur aufgenommen. Als letzter Messpunkt dient die Temperatur des siedenden Wassers. Der Luftdruck wird parallel am Barometer erfasst. Das Pyrometer wird schräg auf die Wasseroberfläche gerichtet, um Verfälschungen durch Wasserdampf zu vermeiden.

Zunächst wird die Trockeneis-Alkohol-Mischung genutzt. Nach ausreichender Abkühlung und Temperaturstabilisierung werden Pt100-Spannung und Druck protokolliert. Anschließend wird der Versuch mit flüssigem Stickstoff wiederholt. Der Glasballon wird vollständig eingetaucht und die Messwerte nach Abklingen der starken Verdampfung notiert. Das Pyrometer wird nicht eingesetzt, da es bei diesen Temperaturen unbrauchbar ist.

Aufgabe 4: Temperaturmessung mit dem PtRh-Thermoelement

Das Thermoelement wird in die Flamme des Gasbrenners eingeführt. Bei starker und schwacher Luftzufuhr werden jeweils mehrere Messpunkte in unterschiedlichen Flammenzonen untersucht. Für jeden Punkt wird die Thermo-spannung bestimmt. Die Flammenform wird zusätzlich skizziert und mit den Messwerten ergänzt. Die Umrechnung in Temperatur erfolgt anhand der für den verwendeten Thermoelementtyp gültigen Eich-tabelle.

III. Auswertung

Fehlerrechnung

Für die statistische Auswertung von n Messwerten x_i werden folgende Größen definiert [Wag25b]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Arithmetisches Mittel} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Variation} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Standardabweichung} \quad (3)$$

$$\Delta \bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad \text{Fehler des Mittelwerts} \quad (4)$$

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad \text{Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz für } f(x, y) \quad (5)$$

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad \text{Fehler für } f = x + y \quad (6)$$

$$\Delta f = |a| \Delta x \quad \text{Fehler für } f = ax \quad (7)$$

$$\frac{\Delta f}{|f|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2} \quad \text{relativer Fehler für } f = xy \text{ oder } f = x/y \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{|a_{lit} - a_{gem}|}{\sqrt{\Delta a_{lit}^2 + \Delta a_{gem}^2}} \quad \text{Berechnung der signifikanten Abweichung} \quad (9)$$

3.1. Eichung des Gasthermometers

Wir beginnen mit der Eichung des Gasthermometers. Hier für nutzen wir die Tabelle 1 des [Protokolls](#):

	Zweileiter	Vierleiter
Spannung	100,5 mV	100,1 mV
Wasserdruck	916 mBar	916 mBar
Pyrometer-temperatur	-0,5 °C	-0,6 °C
Flüssigkeits-temperatur	0,5 °C	0,5 °C

Tabelle III.1.: Vergleich von Zwei- und Vierleiter

Außerdem ist dem Protokoll der Luftdruck von 1007 hPa zu entnehmen, bei 25,1 °C. Dieser Druck stellt in der [Abbildung zur Eichung des Gasthermometers](#) den Punkt bei 0 °C dar. Dies ist unser erster Eichpunkt. Den zweiten bestimmen wir über eine Gleichung zur Normierung der Siedetemperatur von Wasser [[Wag25a](#)]:

$$p_{NB} = \frac{1013,5 \text{ hPa}}{p_{LD}} \cdot p_{gem} \quad (10)$$

In dieser Gleichung steht p_{gem} für den gemessenen Wasserdruck bei Siedetemperatur, p_{LD} den Luftdruck und das Ergebniss p_{NB} den gemessenen Luftdruck umgerechnet auf Normalbedingung, da der Siedepunkt (von Wasser) druckabhängig ist. Benutzen wir also die Gleichung für die [Normalbedingung](#), so kommen wir auf einen Wert von

$$\frac{1013,25}{1007,0} \cdot 1247 = \underline{p_{NB} = 1254,7396 \text{ [hPa]}}. \quad (11)$$

Wir können aber den Wert nicht als genau annehmen und müssen daher seine Ungenauigkeit bestimmen. Dafür nutzen wir die

Gauß'sche fehlerfortpflanzung.

$$\Delta p_{NB} = \sqrt{\left(\frac{\Delta p_{LD}}{p_{LD}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta p_{gem}}{p_{gem}}\right)^2} \cdot p_{NB}. \quad (12)$$

Für die Ungenauigkeit des Wasserdruckes nehmen wir die Ungenauigkeit des Manometers $\Delta p_{gem} = 0,1 \text{ hPa}$ an. Für die Ungenauigkeit des Luftdruckes werden 50% der Skaleneinheit angenommen, also $p_{LD} = 0,5 \text{ hPa}$. Setzen wir diese Werte in die [Gleichung für die Ungenauigkeit](#) ein, so kommen wir auf:

$$\begin{aligned} \Delta p_{NB} &= \sqrt{\left(\frac{0,5}{1007}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{916}\right)^2} \cdot p_{NB} \\ &= 0,63789 \text{ [hPa]}. \end{aligned} \quad (13)$$

Damit liegt unser zweiter Eichpunkt bei:

$$\underline{\underline{E_{100^\circ C} = (1254,7 \pm 0,6) \text{ hPa}}}. \quad (14)$$

Die beiden Eichpunkte wurden in der [Abbildung](#) eingezeichnet, und eine Eichkurve durch beide gezogen. Beim Druck von 0 hPa wäre nach den Messwerten der Absolute Nullpunkt bei -275,8 °C. Die Abweichung bekommen wir, wenn wir die Fehlergerade (orange) anschauen und die Differenz der beiden Temperaturen bei 0 hPa betrachten. Dann kommen wir auf ein Ergebniss von:

$$T_0 = (-275,8 \pm 13)^\circ \text{C}. \quad (15)$$

Wir können auch die Temperaturen für Flüssigstickstoff T_{N_2} und Trockeneis T_{TE} bestimmen:

$$T_{N_2} = (-197,16 \pm 10,4)^\circ \text{C} \quad (16)$$

$$T_{TE} = (-58,346 \pm 5,2)^\circ \text{C}. \quad (17)$$

Auch hier haben wir den Fehler über die Fehlergerade (orange) bestimmt. Wir wollen nun den errechneten Wert des Flüssigstickstoffes

mit dem Literaturwert verglichen und seine σ -Abweichung bestimmen:

$$\frac{|T_{N_2,lit} - T_{N_2,gem}|}{\Delta T_{N_2}} = 0,13\sigma \quad (18)$$

Wir haben den Literaturwert hier als »perfekt« $-195,8^\circ\text{C}$ angenommen, was dieser natürlich nicht ist. Nun nutzen wir den Literaturwert des Flüssigstickstoffes als neuen Eichpunkt, um eine verbesserte Eichkrurve (blau) zu erlangen. Unser neuer Nullpunkt liegt bei

$$T_{0,2} = (-171,68 \pm 9,1)^\circ\text{C}. \quad (19)$$

Wir wollen diesen Nullpunkt nun vom Literaturwert des Nullpunktes von $-273,15^\circ\text{C}$ vergleichen und kommen auf eine σ -Abweichung von:

$$\frac{|T_{0,lit} - T_{0,2}|}{\Delta T_{0,2}} = 0,16\sigma. \quad (20)$$

Zusätzlich können wir unseren neuen Messwert für die Temperatur des Trockeneises $T_{TE} = (-61,0 \pm 3)^\circ\text{C}$ mit dem Literaturwert von Trockeneis $T_{TE} = -78,4^\circ\text{C}$ vergleichen und erhalten eine Abweichung von

$$\frac{|T_{TE,lit} - T_{TE,2}|}{\Delta T_{TE}} = 5,8\sigma \quad (21)$$

3.2. Eichung des PT100-Widerstandsthermometers

Als nächstes wollen wir in in eine zweite [Abbildung](#) noch weitere Messwerte einbeziehen. Dafür nutzen wir das PT100-Thermometer und seine [Temperaturbestimmungsgleichung des PT100 \(1.8\)](#). Hierfür ist besonders der Zusammenhang, von Spannung, Strom und Widerstand wichtig:

$$U = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{U}{I} \quad (22)$$

Wir legen dabei eine konstanten Strom von 1mA an. Somit ist der Widerstand nur noch von der Spannung abhängig. Wir nehmen dabei

den Strom als Fehlerfrei an und gehen nur von einer Ungenauigkeit der Spannung aus. Somit würde sich unsere Ungenauigkeit auf

$$\Delta R = \frac{\Delta U}{I} \quad (23)$$

belaufen.

Die Messungsgenauigkeit des benutzten Multimeters beläuft sich auf $\Delta_1 U = \pm(0,05\%^1 + 2 \text{ Digets})$. Inklusive des Ablesefehlers von $\Delta_2 U = 0,1\text{mV}$ ergibt sich eine GesamtUngenauigkeit von

$$\Delta R = \sqrt{(\Delta_1 U)^2 + (\Delta_2 U)^2} \cdot \Omega \quad (24)$$

Die Temperatur T_E berechnen wir über die Eichkrurve und den gemessenen Druck p . Zudem haben wir die PT100-Spannung aus der [Tabelle 2 des Protokolls](#) und über die [Gleichung zur Berechnung des Widerstandes \(22\)](#) haben wir verschiedenen Temperaturen einen Widerstand R zugeordnet. Diese Werte sind der [Tabelle 3.2](#) zu entnehmen.

$p[\text{hPa}]$	$T_E[^\circ\text{C}]$	$\Delta T_E[^\circ\text{C}]$	$R[\Omega]$	$\Delta R[\Omega]$
964	13,0	2	106,1	0,11
991	23,4	1	108,1	0,11
1025	32,5	1	112,3	0,11
1063	44,2	1	116,6	0,12
1087	50,7	1	120,3	0,12
1137	65,0	2	124,4	0,12
1170	75,4	2	128,0	0,12
1203	85,8	3	132,5	0,12
1238	96,2	3	137,1	0,12
1247	101,4	3	138,3	0,12

Tabelle III.2.: Messwerte von Druck, Pyrometer-Temperatur und Pt100-Spannung

Wir entnehmen zunächst der [Abbildung 3.2](#) die Steigungen der Ausgleichsgeraden m_A und

¹beziehen sich auf den Messwert

der Fehlergeraden m_F :

$$m_A = \frac{25,75\Omega}{78^\circ C} = 0,330 \frac{\Omega}{^\circ C} \quad (25)$$

$$m_F = \frac{32,19\Omega}{88,4^\circ C} = 0,364 \frac{\Omega}{^\circ C} \quad (26)$$

Über diese beiden Spannungen können wir die Ungenauigkeit der Steigung Δm bestimmen:

$$\Delta m = |m_A - m_F| = 0,034 \frac{\Omega}{^\circ C}. \quad (27)$$

Nun noch m_A und seine Ungenauigkeit Δm zu einem Gesamtergebnis zusammenfassen:

$$\underline{\underline{m = (0,330 \pm 0,034) \frac{\Omega}{^\circ C}}}. \quad (28)$$

Dieser Wert ist nun rein graphisch bestimmt worden, diese Methode ist besonders anfällig. Jedoch haben wir die [Gleichung 1.5](#) und wollen den Wert rechnerisch ein zweites Mal bestimmen. Die genutzten Werte sind der Einleitung unter Gleichung 1.5 zu entnehmen. Wir vergleichen nur den linearen Teil des Polynoms mit unserer Steigung. Dafür bestimmen wir die Widerstände bei $0^\circ C$, $R_{0^\circ C}$ und bei $100^\circ C$, $R_{100^\circ C}$:

$$R_{100^\circ C} = 100\Omega \quad (29)$$

$$R_{0^\circ C} = 139,089\Omega. \quad (30)$$

Damit lässt sich nun die Steigung der Geraden bestimmen:

$$m_{pt100} = \frac{39,089\Omega}{100^\circ C} = 0,39089 \frac{\Omega}{^\circ C}. \quad (31)$$

Nun wollen wir sehen, wie gut sich die Werte decken und nutzen dafür die [signifikante Abweichung \$\sigma\$](#) :

$$\frac{|0,330 - 0,39089|}{0,034} = 1,7909\sigma. \quad (32)$$

Tabelle III.3.: Vergleich zwischen Soll-Temperatur und gemessener Pyrometer-Temperatur

$T_{\text{Gas}} [^\circ C]$	$\Delta T_{\text{Gas}} [^\circ C]$	$T_{\text{Pyro}} [^\circ C]$	$\Delta T_{\text{Pyro}} [^\circ C]$
13,0	2	9,60	2,15
23,4	1	20,2	2,3
32,5	1	31,7	2,5
44,2	1	42,6	2,6
50,7	1	52,9	2,8
65,0	2	65,4	3,0
75,4	2	73,700	3,107
85,8	3	81,700	3,227
96,2	3	87,6	3,3
101,4	3	92,8	3,4

3.3. Gasthermometer vs. Pyrometer

Wir entnehmen die Werte aus [Tabelle 2 des Protokolls](#) und tragen die Werte des Gasthermometers und des Pyrometers auf:

Die Ungenauigkeit des Pyrometers setzt sich aus der Ablesungenauigkeit von $\Delta_1 T_{\text{Pyro}} = 0,1^\circ C$ und durch Messungenauigkeiten des Pyrometers selbst $\Delta_2 T_{\text{Pyro}} = \pm 1,5\% \pm 2^\circ C$:

$$\Delta T_{\text{Pyro}} = \sqrt{(\Delta_1 T_{\text{Pyro}})^2 + (\Delta_2 T_{\text{Pyro}})^2}. \quad (33)$$

Diese Werte wurden in [Abbildung 3.3](#) graphisch dargestellt.

Wir können nun wieder die Steigungen bestimmen:

$$m_A = \frac{78^\circ C}{85^\circ C} = 0,9176 \quad (34)$$

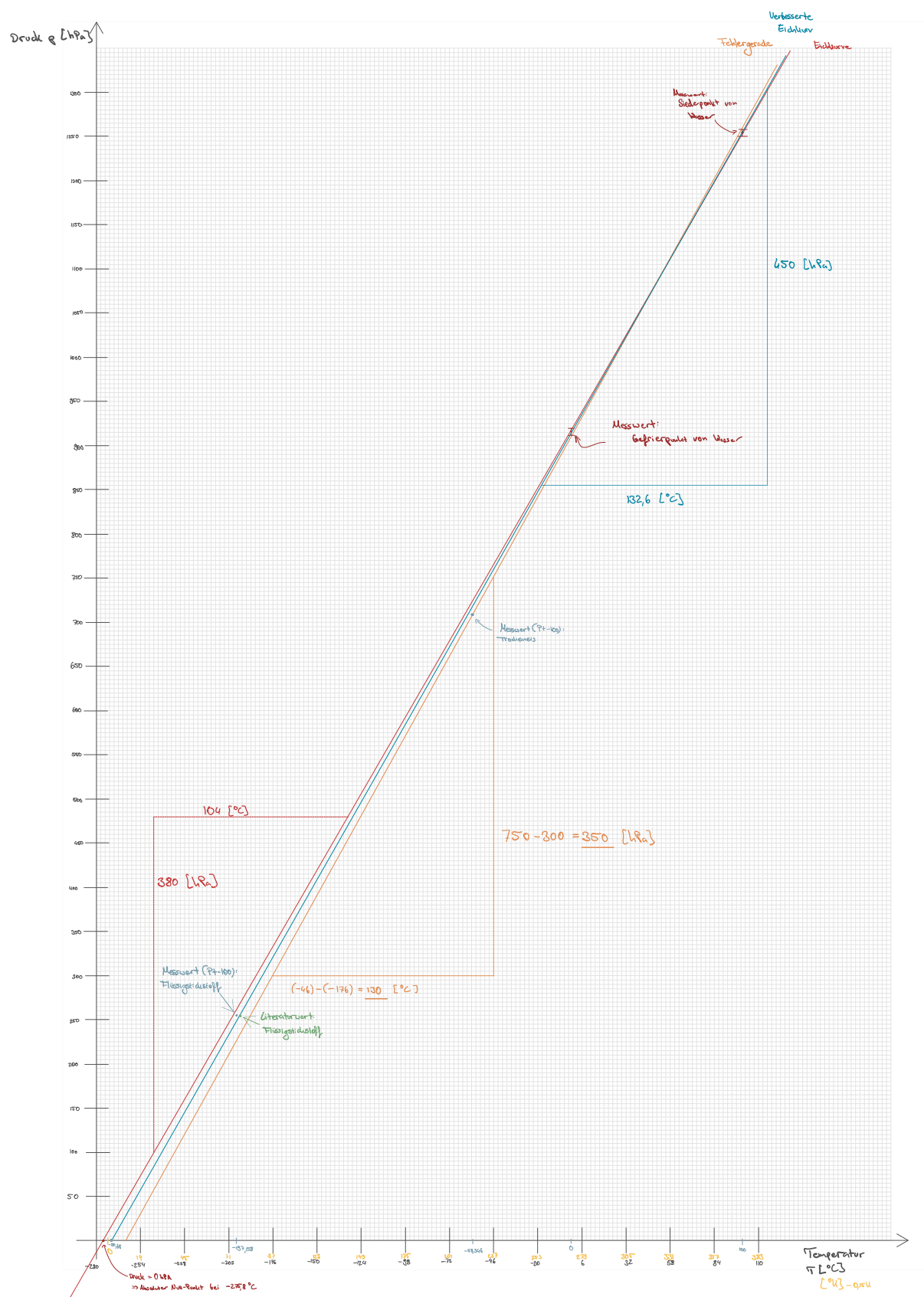
$$m_F = \frac{84,45^\circ C}{88,4^\circ C} = 0,9553. \quad (35)$$

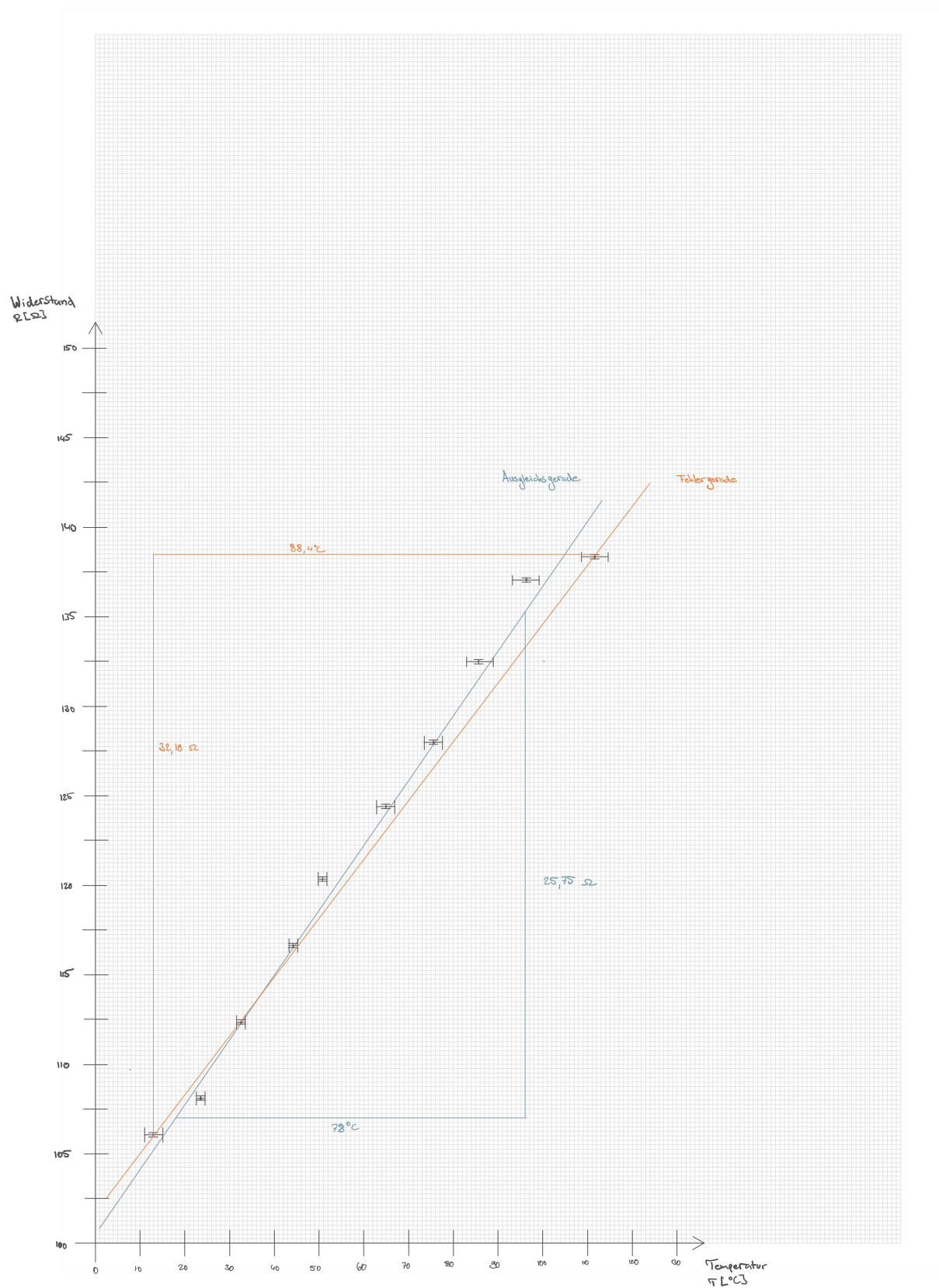
Subtrahieren wir wieder, um den Fehler Δm zu ermitteln:

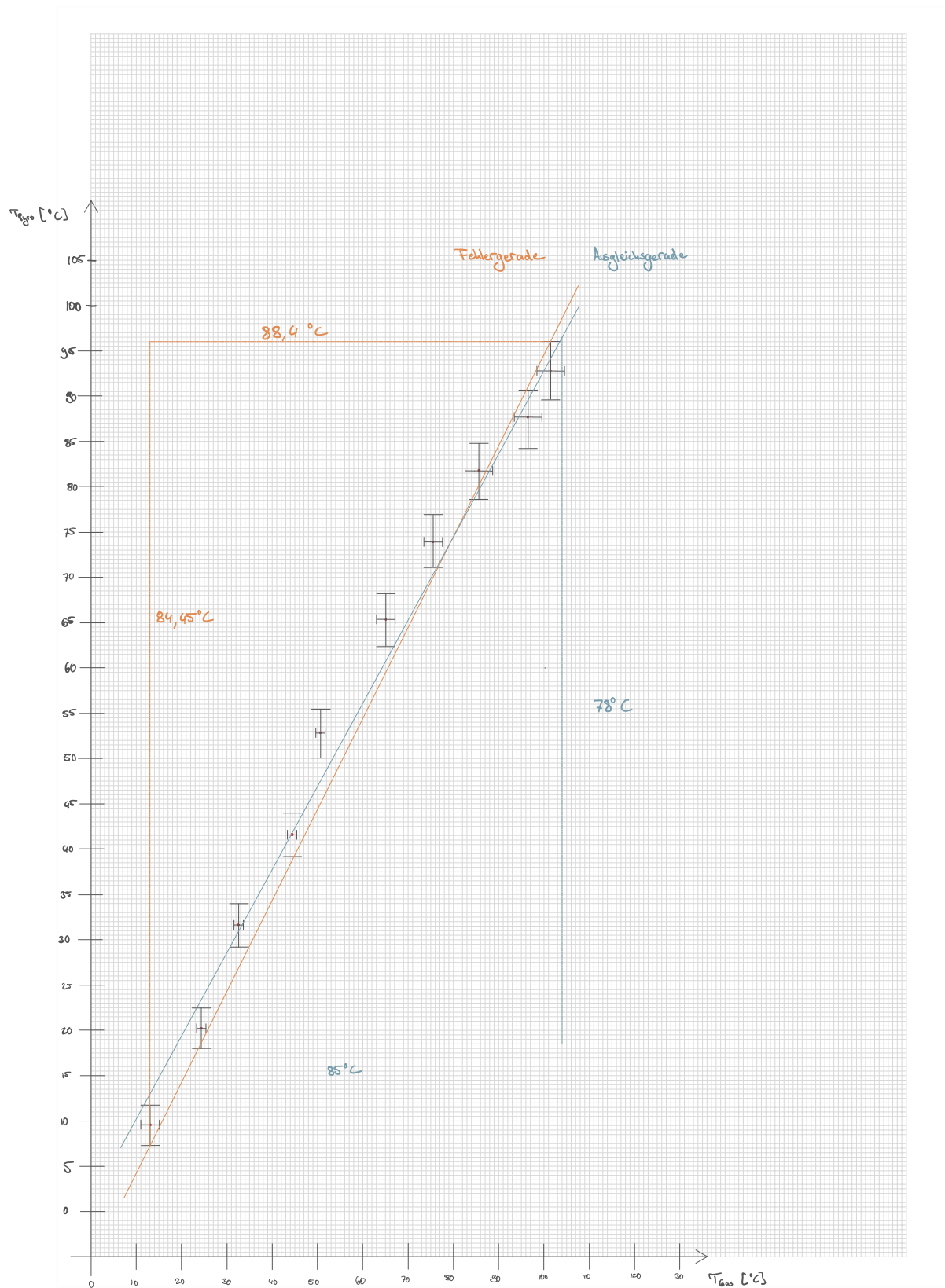
$$\Delta m = |0,917 - 0,9553| = 0,0377. \quad (36)$$

Fassen wir das Ergebnis zusammen, kommen wir auf:

$$\underline{\underline{(91,76 \pm 3,77)\%}}. \quad (37)$$







3.4. Flammenanalyse via Thermoelement

Im letzten Aufgabenteil wollen wir uns die Temperatur einer Flamme an verschiedenen Stellen anschauen. Dafür wurde ein Thermoelement des Typen S verwendet. Wir haben dabei auch die Luftzufuhr des Bunsenbrenners variiert. Hier wird die Tabelle der Messwerte aus dem [Protokoll](#) aufgelistet und ergänzt. Die Werte sind in [Tabelle 3.4](#). Die Fehler der Spannung berechnen sich über den Gerätefehler des Multimeters $\pm(0,5\% + 2 \text{ Digits})$, wobei der Gerätefehler für jeden Wert unerheblich gegenüber dem Ablesefehler ist. Aus der Spannungstabelle für Thermoelemente Typ S (Pt10/Rh-Pt), die im Labor auslag, lassen sich die gemessenen Thermospannungen betragsmäßig in Temperaturen umrechnen, wobei als Temperaturwert jeweils der nächstgelegene Eichwert verwendet wurde. Dabei entspricht T_{TE} der aus der Tabelle bestimmten Temperatur, die an der entsprechenden Flammenstelle gemessen wurde. $\Delta_{min}T$ ist die Temperatur, die man bekommt, wenn man die Spannung U und ihre Ungenauigkeit ΔU subtrahiert und diese Spannung nutzt, um die Temperatur zu bestimmen. Der Fehler der Temperatur ist dann die Differenz von $\Delta T = T_{TE} - \Delta_{min}T$.

Tabelle III.4.: Verzweiflung.....

Luftzufuhr	Position	$U[mV]$	$\Delta U[mV]$	$T_{TE}[^{\circ}C]$	$\Delta_{min}T[^{\circ}C]$	$\Delta T[^{\circ}C]$
Schwach	1	0,10	0,0205	17,78	14,24	3,54
	2	0,30	0,0215	50,17	46,84	3,33
	3	0,45	0,02225	72,52	69,29	3,23
	4	0,70	0,0235	107,31	104,15	3,16
	5	0,80	0,024	120,59	117,43	3,16
Stark	1	0,80	0,024	120,59	117,43	3,16
	2	0,80	0,024	120,59	117,43	3,16
	3	0,80	0,024	120,59	117,43	3,16
	4	0,80	0,024	120,59	117,43	3,16
	5	0,90	0,0245	133,58	130,42	3,16

IV. Diskussion

4.1. Zusammenfassung

4.2. Diskussion

4.3. Kritik

Abbildungsverzeichnis

I.1. Schematischer Aufbau einer a) Zweileiterschaltung und b) einer Vierleiterschaltung.	4
III.1. Eichkrurve des genutzen Gasthermometers mit 0°C bei 1007 hPa.	13
III.2. Widerstand R gegen Temperaturen T des geeichten Gasthermometers	14
III.3. Temperatur des pyrometers T_{Pyro} gegen Temperaturen T_{Gas} des geeichten Gasthermometers, mit Fehlergeraden (orange) und Ausgleichsgeraden (blau) . . .	15

Tabellenverzeichnis

I.1. Vergleich Zwei- und Vierleiter	7
III.1. Vergleich von Zwei- und Vierleiter	10
III.2. Messwerte von Druck, Pyrometer-Temperatur und Pt100-Spannung	11
III.3. Vergleich zwischen Soll-Temperatur und gemessener Pyrometer-Temperatur . . .	12
III.4. Verzweiflung.....	16

Literaturverzeichnis

- [Dem17] Jochen Demtröder. *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 7 edition, 2017.
- [Wag25a] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, chapter 41. Universität Heidelberg, 2025.
- [Wag25b] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, pages 4–28. Universität Heidelberg, 2025.