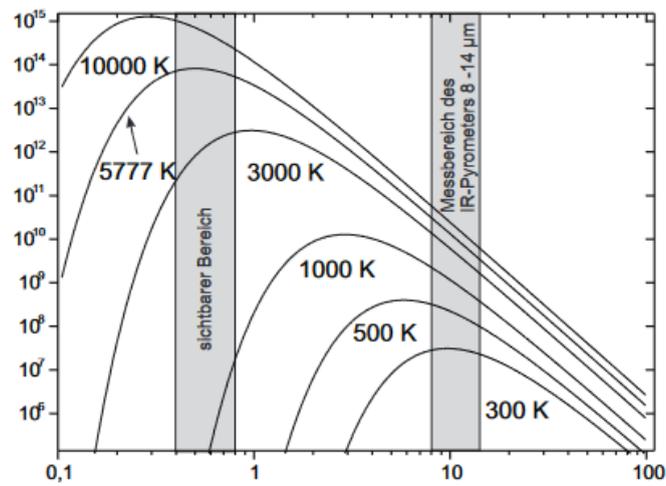


Versuch 41 - Temperaturmessung

PAP 1, [2] [1]

27.09.2024



Teilnehmender Student: **Jonathan Rodemers**

Gruppe des Teilnehmenden: 1

Kurs: Nachmittags

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Messverfahren	1
1.3	Grundlagen aus der Physik	1
1.3.1	Temperatur und Thermodynamik	1
1.3.2	Gasgesetze und das Gasthermometer	1
1.3.3	Platin-Widerstandsthermometer (Pt100)	2
1.3.4	Thermoelemente und der Seebeck-Effekt	2
1.3.5	Pyrometrie und Schwarzkörperstrahlung	3
2	Durchführung	4
2.1	Messprotokoll	4
3	Auswertung	9
3.1	Eichkurve	9
3.2	Temperatur Gasthermometer vs. Pyrometer	10
3.3	Wärmeverteilung in der Flamme	10
4	Zusammenfassung und Diskussion	11
	Quellen- und Literaturverzeichnis	12

1. Einleitung

1.1 Motivation

Ziel dieses Experiments ist es, verschiedene Methoden der Temperaturmessung und ihre praktischen Anwendungen zu erforschen. Durch den Einsatz verschiedener Thermometer, darunter Gas-, Platin-Widerstands- und Infrarot-Thermometer, wollen wir die Genauigkeit, die Kalibrierung und das physikalische Verhalten dieser Geräte unter verschiedenen Bedingungen untersuchen. Das Experiment sieht auch vor, extrem hohe Temperaturen mit einem Thermoelement zu messen.

1.2 Messverfahren

Der Versuchsaufbau umfasst mehrere Komponenten:

- Pyrometer für berührungslose Temperaturmessungen
- Pt100 Platin-Widerstandsthermometer, zusammen mit einer Konstantstromquelle (1 mA)
- Gasthermometer, das zur Messung der Temperatur auf der Grundlage des idealen Gasgesetzes funktioniert
- Thermoelement für Hochtemperaturmessungen.
- Multimeter zum Aufzeigen der Spannung
- Heizbad und Rührer
- Bunsenbrenner

Zu Beginn des Experiments werden die Thermometer bei 0°C mit einem Eis-Wasser-Gemisch kalibriert. Danach folgen Messungen bis 100°C mit kochendem Wasser, während der Pt100 und das Gasthermometer kontinuierlich überwacht werden. Anschließend wird das Gasthermometer und Pt zur Messung tiefer Temperaturen mit Trockeneis und flüssigem Stickstoff eingesetzt. Schließlich wird ein Thermoelement verwendet, um die Temperaturverteilung in einer Bunsenbrennerflamme zu untersuchen.

1.3 Grundlagen aus der Physik

1.3.1 Temperatur und Thermodynamik

Die Temperatur charakterisiert den thermischen Zustand eines Systems und kann durch verschiedene physikalische Eigenschaften gemessen werden. Bei dem Experiment werden verschiedene Temperaturmessverfahren eingesetzt, die jeweils auf unterschiedlichen physikalischen Prinzipien beruhen. Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden und die ihnen zugrunde liegenden theoretischen Konzepte vorgestellt.

1.3.2 Gasgesetze und das Gasthermometer

Das in diesem Experiment verwendete Gasthermometer funktioniert auf der Grundlage des idealen Gasgesetzes:

$$pV = NkT \tag{1.1}$$

wobei:

- p der Druck des Gases,

- V das Volumen,
- N die Anzahl der Teilchen,
- k die Boltzmann-Konstante,
- T ist die absolute Temperatur ist.

Bei einem konstanten Volumen ist die Temperatur direkt proportional zum Druck:

$$T \sim p \tag{1.2}$$

Diese Beziehung wird zur Bestimmung der Temperatur durch Messung der Druckänderungen in einem Gas mit festem Volumen verwendet. Zwei wichtige Faktoren für die Genauigkeit sind die Ausdehnung des Gasbehälters und das nicht ideale Gasverhalten. Obwohl sich der Glasbehälter bei Erwärmung ausdehnt, ist dieser Effekt aufgrund des viel höheren Ausdehnungskoeffizienten des Gases aber vernachlässigbar. Bei sehr niedrigen Temperaturen (in der Nähe des Siedepunkts von Stickstoff) weichen reale Gase vom idealen Verhalten ab, aber unter den meisten Versuchsbedingungen gilt die Annahme.

1.3.3 Platin-Widerstandsthermometer (Pt100)

Das Platin-Widerstandsthermometer (Pt100) nutzt die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands von Platin aus. Der Widerstand $R(T)$ ändert sich mit der Temperatur gemäß der Gleichung:

$$R(T) = R_0(1 + AT + BT^2) \tag{1.3}$$

wobei:

- R_0 der Widerstand bei 0° Grad ist: also 100Ω
- $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
- $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Zur Berechnung der Temperatur aus einem gemessenen Widerstand R wird die folgende Formel verwendet:

$$T(R) = \frac{-R_0A + \sqrt{R_0^2A^2 - 4R_0B(R_0 - R)}}{2R_0B} \tag{1.4}$$

Im Experiment wird eine Vierdraht-Messtechnik angewandt, um den durch den Widerstand der Anschlussdrähte verursachten Fehler zu minimieren.

1.3.4 Thermoelemente und der Seebeck-Effekt

Thermoelemente beruhen auf dem Seebeck-Effekt, der eine Spannung zwischen zwei ungleichen Metallen erzeugt, die an einem Ende miteinander verbunden sind. Diese Spannung ist proportional zur Temperaturdifferenz zwischen der Verbindungsstelle und den offenen Enden:

$$U_{th} = K(T_1 - T_2) \tag{1.5}$$

wobei:

- K eine Materialbezogene Konstante
- T_1 die Temperatur am Zusammenschluss

- T_2 die referenzTemperatur an den offenen Enden

Für genaue Temperaturmesswerte muss T_2 kontrolliert werden oder bekannt sein. Thermoelemente sind ideal für die Messung hoher Temperaturen, wie sie in der Flamme eines Bunsenbrenners herrschen. In diesem Experiment wird ein Platin-Rhodium-Thermoelement (PtRh) verwendet, um die Temperaturverteilung in der Flamme zu erfassen.

1.3.5 Pyrometrie und Schwarzkörperstrahlung

Ein Pyrometer misst die Temperatur, indem es die von einem Objekt ausgehende Wärmestrahlung erfasst. Das zugrundeliegende Prinzip wird durch das Plancksche Gesetz für Schwarzkörperstrahlung bestimmt:

$$M_\lambda(\lambda, T)dAd\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} - 1} dAd\lambda \quad (1.6)$$

wobei:

- $M_\lambda(\lambda, T)$ die spektrale Strahldichte,
- h die Plancksche Konstante,
- c die Lichtgeschwindigkeit,
- k die Boltzmannsche Konstante,
- λ die Wellenlänge, und
- T die Temperatur ist.

Das Pyrometer misst die Strahlung im Infrarot Bereich, wo die Strahlungsintensität mit der Temperatur zunimmt. Die gesamte von einem Körper abgegebene Strahlung ist durch das Stefan-Boltzmann-Gesetz gegeben:

$$P = \varepsilon \sigma AT^4 \quad (1.7)$$

Dabei ist:

- P die gesamte abgestrahlte Leistung,
- ε der Emissionsgrad des Objekts,
- σ die Stefan-Boltzmann-Konstante,
- A ist die Oberfläche des Objekts, und
- T ist die absolute Temperatur ist.

Das Pyrometer wird in diesem Experiment für berührungslose Temperaturmessungen verwendet, insbesondere im Bereich von 0°C bis 100°C .

2. Durchführung

2.1 Messprotokoll

Messprotokoll
Jonathan Rodemers, Theodora Lazarovic

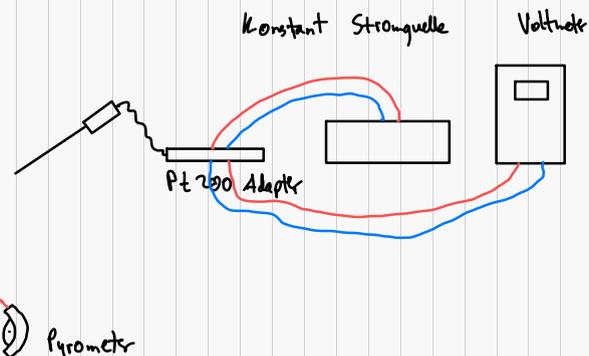
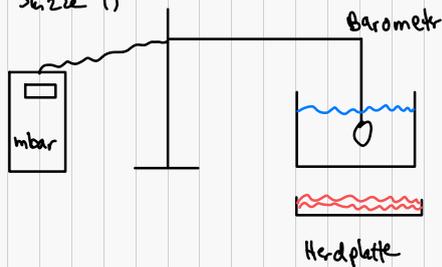
27.05.2024
nachmittag

Versuch 41 - Temperaturmessung

Messgeräte:

- Pyrometer
- Pt100-Thermometer (Klasse B)
- Konstantstromquelle 1mA
- Dewargefäß
- Gasthermometer
- Topf für Temperaturbad
- Thermoelement für hohe Temperaturen (PtPt, Typ B oder TypS) mit Eichstelle
- Multimeter
- Butangas-Brennbeimer
- Schutzbrille und Schutzhandschuhe

Skizze 1)



Fehler der Ausrüstung:

Pyrometer: $\pm 1,5\% \pm 2^\circ\text{C}$

Barometer: 2mbar

Multimeter: $\pm 0,08\% \pm \text{mV}$ $60\text{mV} < U < 600\text{mV}$
 $\pm 0,08\% \pm 0,1\text{mV}$ $0 < U < 60\text{mV}$

Wir haben die Wasser-Eis-Mischung 900ml in ein Glasgefäß gefüllt und auf die Heizung gelegt. Dann haben wir das Glasgefäß ringsherum bis sie vollständig von der Gemisch umgeben war und alle 10°C den Druck und die Spannung gemessen bis das Wasser gekocht hat.

Tabelle 1: Temperaturmessung bis 100°C

Nr.	Pyrometer (°C)	Pt 100 Spannung (mV)	Ballondruck (mbar)
1	0,6	102	322
2	10,9	105	360
3	20,2	108	386
4	30,0	112	7024
5	40,1	116	1067
6	50,1	120	1093
7	60,0	125	1137
8	70,2	128	1136
9	79,9	133	1200
10	90,5 (89,5)	137	1234
11	94,5 (90)	138	1237

Raumtemperatur: $24 \pm 0,5^\circ\text{C}$

Atmosphärischer Druck: $(357,8 \pm 0,5)$ mbar

Man hebt wir die Glaskugel in ein Trodaneis-Alkohol-Gemisch und in flüssigen Stickstoff gekühlt und folgende Werte gemessen:

Tabelle 2: Temperaturmessung Trodaneis und flüssiger Stickstoff

	Pt 100 Spannung (mV)	Ballondruck (mBar)
Trodaneis	770	704
flüssig Stickstoff	22	257

Anschließend haben wir die Spannung in den verschiedenen Bereichen der Flamme gemessen und daraus mithilfe der Eichkurve die Temperatur bestimmt.

Messung hoher Temperaturen mit dem Pt 100 Thermoelement:

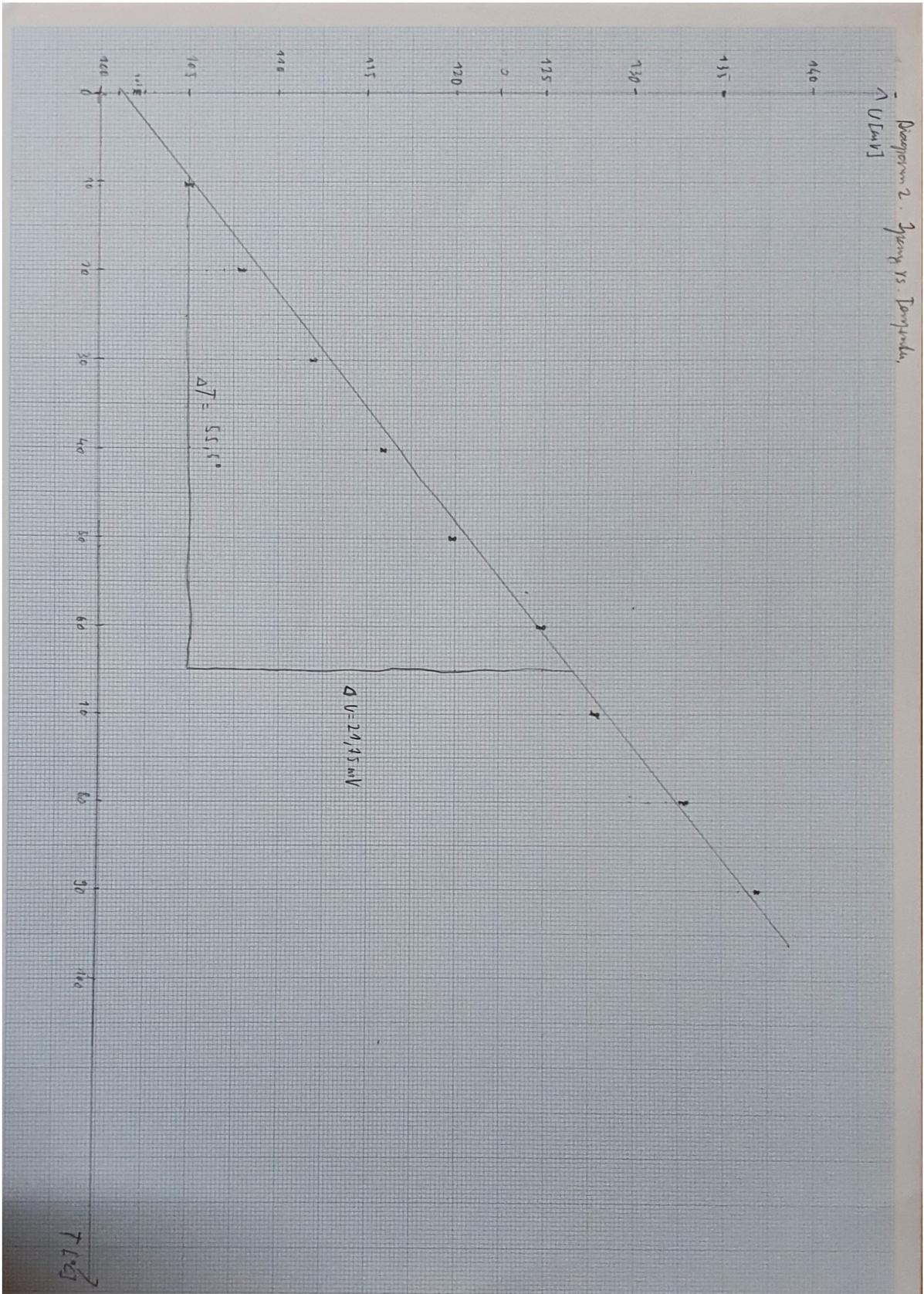
Tabelle 3: Temperaturverteilung in einer Flamme (Pt 100 Typ B)

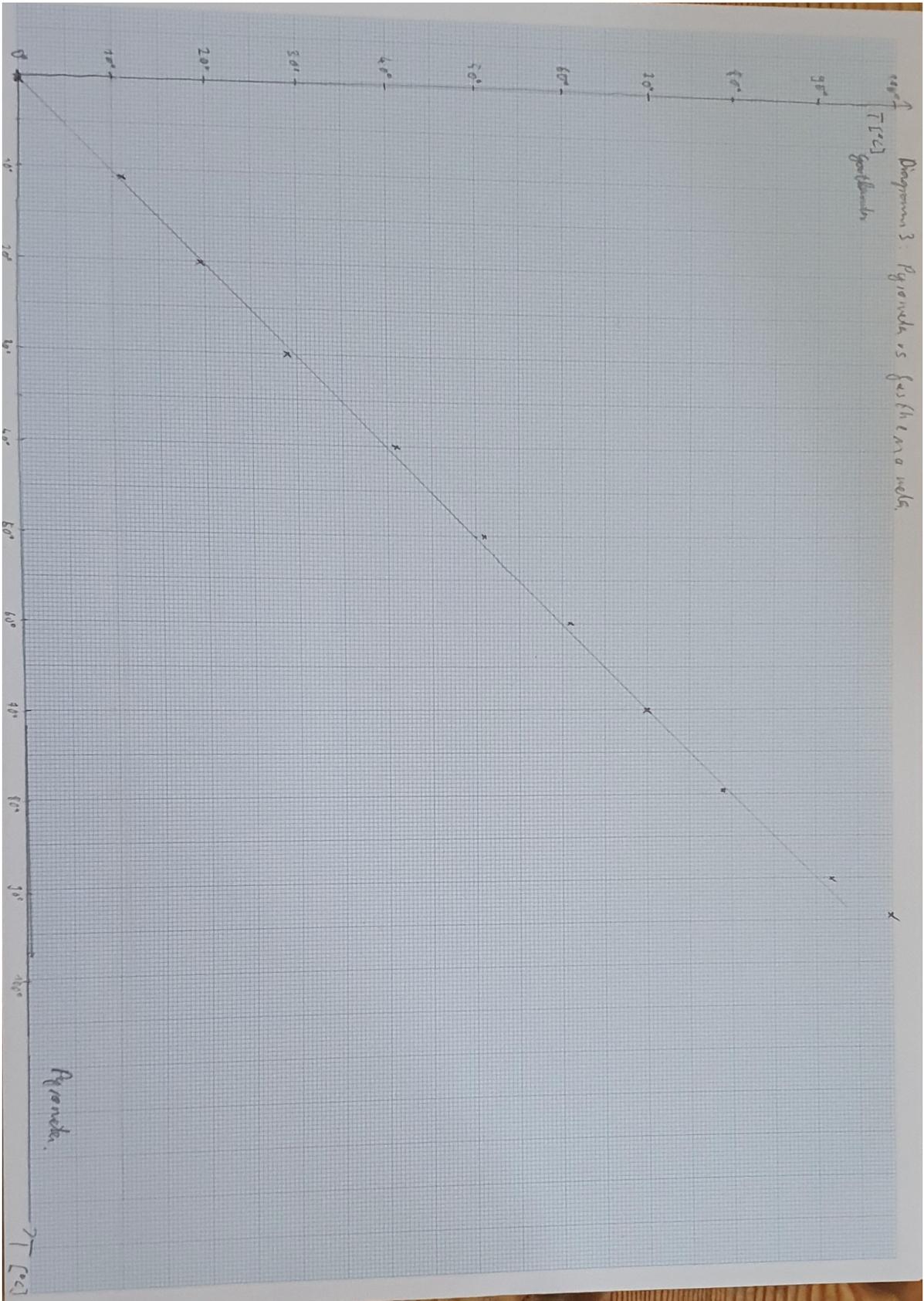
Art	Nr	Spannung (mV)	Temperatur (°C)	Flamme
Schwach	1	1 ± 0,5	450	
	2	2 ± 0,5	630	
	3	2 ± 0,5	630	
	4	2 ± 0,5	630	
	5	1 ± 0,5	450	
stark	1	2 ± 0,5	630	
	2	3 ± 0,5	780	
	3	4 ± 0,5	900	
	4	4 ± 0,5	900	
	5	3 ± 0,5	780	

Fehler d. Multimeters ist $\pm 0,5\% \pm 2$ Digits Anzeigegenauigkeit 100µV

Kad

VERSUCH 41 - TEMPERATURMESSUNG





3. Auswertung

3.1 Eichkurve

Mithilfe der Fixpunkte bei Eiswasser (0°C) und Siedetemperatur von Wasser (100°C), können wir das Gasthermometer eichen und erhalten die Eichkurve, die in Diagramm 1 aufgezeigt ist. Dort lesen wir ab, dass der Druck bei $(-171 \pm 1)^\circ\text{C}$ Null werden würde. Dies deckt sich in etwa mit der Annahme, dass der Druck beim absoluten Nullpunkt von $-273,15^\circ\text{C}$ Null werden würde. Desweiteren können wir nun den Druck des Gasthermometers bei flüssigen Stickstoff eingtragen und erhalten eine abgelesene Temperatur von:

$$T_{\text{N}_2} = (-194,4 \pm 0,5) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dabei wurde ein Ablesefehler aus dem Diagramm von $0,5^\circ\text{C}$ gewählt, welches einem halben Milimeter entspricht.

Vergleicht man diesen Wert mit dem Literaturwert von $-195,8^\circ\text{C}$ [2], so erhält man eine Abweichung von $2,8 \sigma$, welches hier allerdings noch nicht als signifikante Abweichung angesehen wird, da die Eichkurve selbst auf dem subjektiven Einschätzungen beruht, wann das Wasser siedet.

Auf eine weitere Gerade, mit dem Literaturwert von flüssigem Stickstoff als zweiten Fixpunkt wurde hierbei abgesehen, da die Strichdicke der ursprünglichen Gerade bereits diesen Wert berührt und es zu keiner sinnvoll ablesbaren Veränderung führen würde.

Für die Temperatur des Trockeneises erhalten wie einen Wert von:

$$T_{\text{Trockeneis}} = (-64,2 \pm 0,5) \text{ } ^\circ\text{C}$$

Die aus der Eichkurve bestimmten Temperaturen des Gasthermometers sind in folgender Tabelle eingetragen:

Druck [mbar]	Temp [°C]
922	0
960	$(11 \pm 0,5)$
986	$(19,5 \pm 0,5)$
1024	$(29 \pm 0,5)$
1061	$(41 \pm 0,5)$
1093	$(51 \pm 0,5)$
1131	$(61 \pm 0,5)$
1163	$(70 \pm 0,5)$
1200	$(79 \pm 0,5)$
1234	$(92 \pm 0,5)$
1237	100

Tabelle 3.1: Temperaturen des Gasthermometers

Im weiteren haben die die gemessenen Spannungswerte des Multimeters in Diagramm 2 gegen die Temperatur geplottet. Da die Spannung bei konstantem Strom linear zum Widerstand ist, ist es egal, ob wir den tatsächlichen Widerstand oder die Spannung nutzen für das Diagramm. Der

resultierende lineare Zusammenhang zwischen Spannung(Widerstand) und der Temperatur ist unabhängig davon erkennbar. Die Steigung dieser Geraden beträgt:

$$m = (0,391 \pm 0,001) \frac{\Omega}{^{\circ}C}$$

Dabei wurde auf das Zeichnen einer Fehlergeraden verzichtet, da diese innerhalb der Ableseungenauigkeit die gleiche Steigung hat, wie die Ausgleichsgerade. Deswegen wurde die Ableseungenauigkeit (ca. 1 Kästchen) genutzt um somit den Ablesefehler als obere Grenze des Fehlers abzuschätzen.

Im Vergleich mit dem Linearen Teil der Gleichung, welche $R_0A = 0,39083$ beträgt erhalten wir lediglich eine Abweichung von $0,17\sigma$

3.2 Temperatur Gasthermometer vs. Pyrometer

Vergleichen wir die Temperaturen der beiden thermometer so erhalten wir folgende Tabelle, welche als Grundlage für Diagramm 3 dient. Man erkennt, das die Temperaturen ziemlich ähnlich

Pyrometer Temo [$^{\circ}C$]	Gasthermometer Temp [$^{\circ}C$]
0,6	0
10,9	(11 \pm 0,5)
20,2	(19,5 \pm 0,5)
30,0	(29 \pm 0,5)
40,1	(41 \pm 0,5)
50,1	(51 \pm 0,5)
60,0	(61 \pm 0,5)
70,2	(70 \pm 0,5)
79,9	(79 \pm 0,5)
90,5	(92 \pm 0,5)
94,5	100

Tabelle 3.2: Vergleich der Thermometer

sind, aber bei höheren Temperaturen das Pyrometer stark abweicht. Allerdings muss auch gesagt werden, dass die $100^{\circ}C$ des Gasthermometers so festgelegt worden sind.

In Diagramm 6 sieht man die jeweilige Kurve, die nahezu die Winkelhalbierende beschreibt.

3.3 Wärmeverteilung in der Flamme

Die Wärmeverteilung in der Flamme wurde als SKizze bereits im Messprotokoll angefertigt.

4. Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Versuch haben wir verschiedene Methoden kennengelernt, um die Temperatur einer Flüssigkeit zu messen.

Dabei haben wir zuerst ein Gasthermometer mithilfe von Eis- und Siedendem Wasser geeicht und anschließend daraus den Nullpunkt mit

$$T_{\text{Null}}(-171 \pm 1)^\circ\text{C}$$

bestimmt.

Anschließend konnten wir anhand des geeichten Gasthermometers die Temperatur von flüssigem Stickstoff bestimmen. Dabei haben wir den Druck am Barometer abgelesen und an unserer Eichkurve folgenden Wert abgelesen:

$$T_{N_2} = (-194,4 \pm 0,5)^\circ\text{C}$$

Verglichen mit dem Literaturwert erhält man eine Abweichung von $2,8\sigma$, welche akzeptabel ist und trotzdem für das Experiment spricht.

Die Temperatur des Trockeneis-Alkohol Gemischs wurde als

$$T_{\text{Trockeneis}} = (-64,2 \pm 0,5)^\circ\text{C}$$

bestimmt.

Im einem weiteren parallel durchgeführten Versuch, haben wir den Widerstand, bzw Spannung, eines Widerstandsthermometers beobachtet und konnten daraus einen linearen Zusammenhang in dem von uns beobachteten Temperaturbereich feststellen und bestätigen.

Beim Vergleich der Temperaturen des Gasthermometers und des Pyrometers sind keine signifikanten Unterschiede aufgefallen.

Man erkennt also, dass der Versuch hier gut funktioniert hat und die Fehler angenehm gering ausfallen.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] CAPTAIN JONI: *pap1-tex-vorlage*. <https://github.com/captain-joni/pap1-tex-vorlage>. – [Online; Stand 28.08.2024]
- [2] DR. J. WAGNER: *Physikalisches Praktikum 1 für Studierende der Physik B.Sc.* <https://www.physi.uni-heidelberg.de/Einrichtungen/AP/info/Corona/PAP1.pdf>. – [Online; Stand 01/2014]