

# **Versuch 41 - Temperaturmessung**

## **PAP 1**

17.9.2025

Teilnehmender Student: **Paul Saß**

Gruppe: 9

Kurs: Vormittags

Tutor/in : Samuel Remmers

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Messverfahren . . . . .	1
1.2.1 Gasthermometer . . . . .	1
1.2.2 Thermoelement . . . . .	2
1.2.3 Pt-100 Thermometer . . . . .	2
1.2.4 Flüssigkeitsthermometer . . . . .	2
1.2.5 Pyrometer . . . . .	2
1.3 Versuchsskizze . . . . .	3
1.4 Standartabweichung . . . . .	3
<b>2 Durchführung</b>	<b>4</b>
2.1 Messprotokoll . . . . .	4
<b>3 Auswertung</b>	<b>9</b>
3.1 Diagramm 1 . . . . .	9
3.2 Diagramm 2 . . . . .	9
3.3 Diagramm 3 . . . . .	10
3.4 Diagramm 4 . . . . .	10
<b>4 Zusammenfassung und Diskussion</b>	<b>12</b>
4.1 Diagramm 1 . . . . .	12
4.2 Diagramm 2 . . . . .	12
4.3 Diagramm 3 . . . . .	12
4.4 Diagramm 4 . . . . .	13

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Um eine Motivation zu schreiben habe ich ChatGPT um Hilfe gebeten. Da es mir keine sinnvolle Antwort geben konnte, muss ich jetzt tatsächlich selber zu Wort kommen.

Frodo und Sam stiegen den Vulkan empor um sie brannte die Erde. Sie waren so weit gekommen um den Ring zu zerstören, dass sie dieser Berg nicht aufhalten würde. Sie hatten es geschafft. Als sie in das Innere des Vulkan vorstießen stellte sich ihnen Gollum entgegen. Ein verworlostes Wesen welches Jahre lang in Besitz des Rings war. "Mein Schatz" rief er. "Nein er muss zerstört werden" erwiderte Sam. Frodos Körper war schwer, der Ring um seinen Hals machte Laufen schwer. Ein erbitterter Kampf entfachte um Leben und Tod, unter ihnen brodelte die Lava. Schließlich fiel Gollum die Falswand hinab und mit ihm der Ring. Als dieser die Lava berührte passierte nichts.

## Warum?

Die beiden hatten vergessen die Temperatur der Lava zu bestimmen denn sie war zu kalt um den Ring zu schmelzen. Wie konnte ihnen das passieren? Dabei gibt es viele gute Methoden dies zu tun, manche sind besser als andere. Um das herauszufinden wird in dem folgenden Versuch das Messverhalten von Thermometern wie dem Pt-100, dem Gasthermometer, dem Thermoelement, dem Pyrometer und einem Flüssigkeitsthermometer untersucht. Genaue Temperaturbestimmung ist in der Physik essentiell. Deshalb ist der Umgang mit Thermometern ein zentrales Element dieses Versuchs.

## 1.2 Messverfahren

Zuerst wurde die Temperatur innerhalb einer Gasflame einer Bunsenbrenners, einmal bei leichtender und bei rauschender Flamme gemessen. Und die Temperaturen der einzelnen Flammenteile aufgezeichnet. Dabei durften wir den Bunsenbrenner trotz vorhandenen Führerscheins nicht anzünden.

Anschließend wurde ein Eiswasserbad aufgesetzt mit welchem das Gasthermometer und das Pt-100 Thermometer auf einen ersten Fixpunkt geeicht wurden. Danach wurde die Temperatur schrittweise erhöht und die Messwerte aller Thermometer notiert.

Schließlich konnte bei dem Siedepunkt ein zweiter Fixpunkt erstellt werden

Zuletzt wurden die Thermometerwerte der Siedepunkte von Stickstoff und einer  $CO_2$ -Alkohol Lösung bestimmt.

### 1.2.1 Gasthermometer

Ein Gasthermometer besteht aus einem Glasballon, der mit Luft gefüllt ist und einem Barometer. Diese sind über einen Glashalm verbunden. In dem Glashalm bleibt die Temperatur nahezu auf Raumtemperatur, was dafür sorgt, dass die Luft in diesem nach Temperaturänderung des Glasballons komprimiert bzw. expandiert wird. Das Barometer kann diese Druckänderung messen. Da Luft als nahezu ideales Gas betrachtet werden kann gilt:

$$p = NkT \quad (1)$$

Weshalb gilt  $p \propto T$ . Daraus kann dann die Temperatur bestimmt werden.

### 1.2.2 Thermoelement

Das Thermoelement funktioniert über den Seebeck-Effekt. Dieser besagt, dass an der Kontaktfläche zweier Metallen mit unterschiedlichen Austrittsarbeiten eine Spannung, in Abhängigkeit der Temperatur an der Kontaktfläche und der Temperatur an den Enden der Metalle, induziert wird. Aus dieser Spannung kann dann eine relative Temperatur bestimmt werden. Verwendet wird in dem Versuch ein Platin-Rhodium Thermoelement.

### 1.2.3 Pt-100 Thermometer

Das Pt-100 Thermometer funktioniert über einen Temperaturabhängigen Platinwiderstand. Bei diesen wird ein kleiner Strom von 1 mA angelegt, damit möglichst wenig Eingenwärme erzeugt wird. Aus dem Spannungsanstieg bzw Abfall kann dann die relative Temperatur bestimmt werden. Der Zusammenhang zwischen Widerstand und Spannung wird durch das folgende Polynom beschrieben:

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

mit den Koeffizienten

$$\begin{aligned} A &= 3,9083 \times 10^{-3} [\text{°C}^{-1}] \\ B &= -5,775 \times 10^{-7} [\text{°C}^{-2}]. \end{aligned}$$

Im Temperaturbereich 0–1001°C kann dieser Zusammenhang näherungsweise als linear betrachtet werden.

### 1.2.4 Flüssigkeitsthermometer

Das Flüssigkeitsthermometer ist das klassische Haushaltsthermometer. Dort wird die Temperatur durch die Ausdehnung einer Flüssigkeit unter Temperaturänderung betrachtet. Die Temperatur kann dann an des Spiegels der ausgedehnten Flüssigkeit abgelesen werden.

### 1.2.5 Pyrometer

Körper, dessen einer Temperatur  $> 0K$  beträgt, sendet Wärestrahlung aus. Ein Pyrometer misst die von einem Körper ausgehende Strahlungsleistung zur Temperaturbestimmung.

$$P = \epsilon(T)\sigma AT^4 \quad (3)$$

Wobei  $A$  die strahlende Fläche,  $\sigma$  die Stefan-Bolzmannkonstante und  $T$  die absolute Temperatur.  $\epsilon(T) < 1$  stellt den Faktor dar, der eine realen Körper von einem schwarzen Strahler unterscheidet. Die eingesetzten pyrometer können Strahlung im Bereich von  $8\mu m$  bis  $14\mu m$  integrieren.

### 1.3 Versuchsskizze

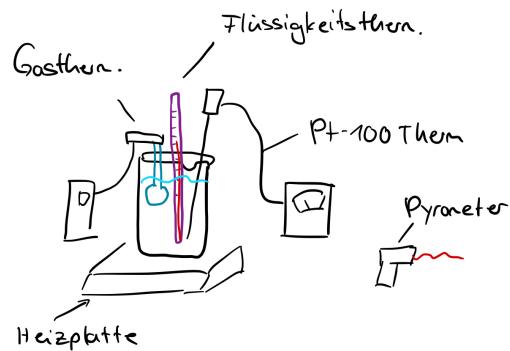


Abbildung 1.1: Skizze Temperaturmessung Wasser

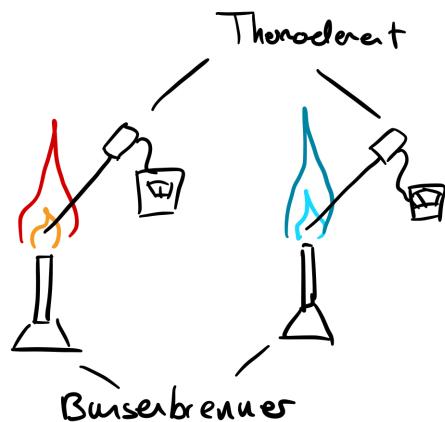


Abbildung 1.2: Skizze Temperaturmessung Bunsenbrenner

### 1.4 Standartabweichung

Allgemein lässt sich die Abweichung eines Messwertes  $x$  zu einem Literaturwert  $x_{Lit}$  darstellen durch die Sigmaabweichung:

$$\frac{|x - x_{Lit}|}{\Delta x} = k\sigma \quad \text{mit } k \in \mathbb{R} \quad (4)$$

## 2. Durchführung

### 2.1 Messprotokoll

Messprotokoll

17. 9. 25

9:30 - 12:30 Uhr

### Versuch 41 - Temperaturmessung

Geräte:

- Pyrometer
- Pt 100 - Thermometer (Klasse B)
- Konstantstromquelle 1mA
- Dewasgefäß
- Gasthermometer
- Heizbad mit Rührvorrichtung
- Thermoelement für hohe Temperaturen (PtRh, Typ B oder Typ S) mit Eichabelle
- Multimeter
- Butangas - Bunsenbrunner
- Schutzbrille und Schutzhandschuhe

#### Aufgabe 1: Eichung der Thermometer bei 0°C

Zunächst wird eine Wasser-Eis Mischung in einem Becherglas zusammengebracht. Die Temperatur soll bei 0°C liegen. Dann wird mit den verschiedenen Thermometern das Gemisch gemessen. Bei dem Pt-Thermometer soll zusätzlich eine Messung mit Vierleiters- und Zweileiterschaltung durchgeführt werden.

#### Tabelle 1: Pt - Thermometer 0°C

	Spannung U [V]
Vierleiterschaltung	0,100 ± 0,001
Zweileiterschaltung	0,102 ± 0,001

Abbildung 2.1: Messprotokoll Versuch 34 Seite 1

Tabelle 2: Gasthermometer und Pyrometer bei  $0^{\circ}\text{C}$ 

Gasthermometer	$904 \text{ mBar} \pm 1 \text{ mBar}$
Pyrometer	$0,7^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$

Aufgabe 2: Temperaturmessung bis  $100^{\circ}\text{C}$ 

Nun soll die Temperatur schrittweise in  $10^{\circ}\text{C}$ -Schritten erhöht werden, bis das Wasser bei  $100^{\circ}\text{C}$  siedet. Bei jedem Schritt sollen wieder mit den vorherigen Thermometern gemessen werden.

Der Luftdruck liegt bei:  $1012,2 \text{ hPa}$

Tabelle 3: Pt - Thermometer  $10^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ 

Nr.	Temperatur	U [mV]
1	$10^{\circ}\text{C}$	$105 \pm 1$
2	$20^{\circ}\text{C}$	$108 \pm 1$
3	$30^{\circ}\text{C}$	$113 \pm 1$
4	$40^{\circ}\text{C}$	$116 \pm 1$
5	$50^{\circ}\text{C}$	$120 \pm 1$
6	$60^{\circ}\text{C}$	$124 \pm 1$
7	$70^{\circ}\text{C}$	$128 \pm 1$
8	$80^{\circ}\text{C}$	$131 \pm 1$
9	$90^{\circ}\text{C}$	$135 \pm 1$
10	$100^{\circ}\text{C}$	$131 \pm 1$

Abbildung 2.2: Messprotokoll Versuch 34 Seite 2

Tabelle 4: Gasthermometer 10°C - 100°C

Nr.	Temperatur	Druck [mBar]
1	10°C	945 ± 1
2	20°C	982 ± 1
3	30°C	1018 ± 1
4	40°C	1049 ± 1
5	50°C	1082 ± 1
6	60°C	1115 ± 1
7	70°C	1148 ± 1
8	80°C	1179 ± 1
9	90°C	1207 ± 1
10	100°C	1230 ± 1

Tabelle 5: Pyrometer 10°C - 100°C

Nr.	Temperatur	angenäher. Temp. [°C]
1	10°C	10,9 ± 7,5
2	20°C	21,4 ± (1% + 2)
3	30°C	31,4 ± (1% + 2)
4	40°C	39,2 ± (1% + 2)
5	50°C	47,0 ± (1% + 2)
6	60°C	56,0 ± (1% + 2)
7	70°C	68,9 ± (1% + 2)
8	80°C	77,5 ± (1% + 2)
9	90°C	80,5 ± (1% + 2)
10	100°C	89,4 ± (1% + 2)

Abbildung 2.3: Messprotokoll Versuch 34 Seite 3

Aufgabe 3: Temperatur von Trockeneis und flüssigem Stickstoff am Siedepunkt

Nun sollen Temperaturmessungen in einem Trockeneis-Alkohol-Chenisch durchgeführt werden.

Dazu wird in einem Dewar-Gefäß Trockeneis und Alkohol gemischt.

Tabelle 6: Temperaturmessung Trockeneis

	Anzeige
Pt-Thermometer	(74 ± 1) mV
Glasthermometer	(680 ± 1) mBar

Dasselbe soll danach mit flüssigem Stickstoff gemacht werden.

Tabelle 6: Temperaturmessung Siedepunkt von Stickstoff

	Anzeige
Pt-Thermometer	(20 ± 1) mV
Glasthermometer	(245 ± 1) mBar

Allgemein: Umgebungstemperatur 23,2°C

Lv

Abbildung 2.4: Messprotokoll Versuch 34 Seite 4

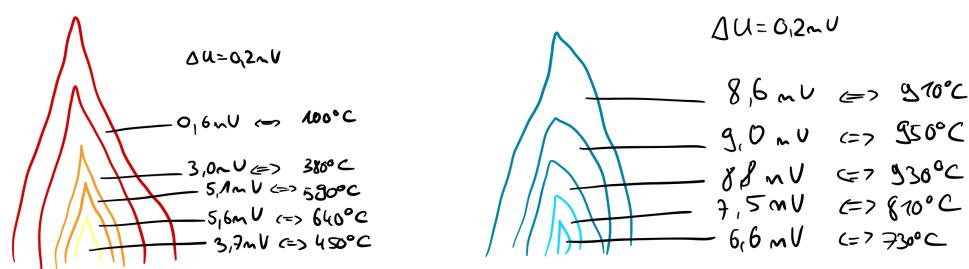


Abbildung 2.5: Messungen Temperatur Bunsenbrenner

### 3. Auswertung

#### 3.1 Diagramm 1

Für Diagramm 1 werden die beiden Fixpunkte bei  $0^\circ\text{C}$  und  $100^\circ\text{C}$  eingetragen. Dafür muss zuerst der Wert bei  $100^\circ\text{C}$  noch auf Normalbedingungen korrigiert werden. Dafür gilt:

$$p_{NB} = p_{gem} \frac{1013,25\text{hPa}}{p_{LD}} \quad (4)$$

Wobei  $p_{gem}$  der gemessene Druck und  $p_{LD}$  der Außendruck ist. In dem Fall beträgt der Außendruck 1012,2hPa. Daraus verschiebt sich der Wert für  $100^\circ\text{C}$  auf:

$$\underline{\underline{T_{100} = 1231^\circ\text{C}}}$$

Daraus ergibt sich eine Eichgerade mithilfe welcher aus dem gemessenen Druck des siedenden Stickstoffs  $245 \pm 1\text{mbar}$  die Temperatur bestimmen. Für diesegilt:

$$\underline{\underline{T_{N_2} = -202 \pm 7^\circ\text{C}}}$$

Der Literaturwert ist gegeben durch  $T_{N_2Lit} = -195,8^\circ\text{C}$ . Daraus ergiebt sich nach Gleichung 4 eine Abweichung  $1\sigma$ .

Es ließ sich ebenfalls der Nullpunkt bestimmen. Dieser liegt bei:

$$\underline{\underline{T_0 = -275 \pm 5^\circ\text{C}}}$$

Im Vergleich zum Literaturwert von  $-273,15^\circ\text{C}$  entspricht das einer Abweichung von  $0,4\sigma$ .

#### 3.2 Diagramm 2

Für das zweite Diagramm wurde die Temperatur von siedendem Stickstoff als weiterer Referenzpunkt hinzugefügt. Daraufhin verändert sich die Temperatur des absoluten Nullpunkt auf:

$$\underline{\underline{T_0 = -269 \pm 2^\circ\text{C}}}$$

Dieser wert entspricht einer Abweichung von  $2\sigma$ .

Aus diesem Diagramm ließ sich ebenfalls aus dem gemessenen Druck des siedenen Kohlenstoffdioxids  $680 \pm 1\text{mbar}$  dessen Temperatur ablesen:

$$\underline{\underline{T_{CO_2} = -66 \pm 1^\circ\text{C}}}$$

Aus den gemssenen Drücken für die Messchritte des Wassers, konnten mithilfe der Eichgerade die Zugehörigen Temperatuen abgelesen werden. Da der Fehler auf dem Diagramm nicht ablesbar klein war, wird der Fehler hier nach oben mit  $0,5^\circ\text{C}$  abgeschätzt.

**Tabelle 3.1:** Gasthermometer Druck-Temperatur

Druck[mbar]	Temperatur[°C]
904	0
945 ± 1	14,5 ± 0,5
982 ± 1	25,0 ± 0,5
1018 ± 1	34,0 ± 0,5
1049 ± 1	45,0 ± 0,5
1082 ± 1	54,5 ± 0,5
1115 ± 1	65,0 ± 0,5
1148 ± 1	74,5 ± 0,5
1179 ± 1	83,0 ± 0,5
1207 ± 1	92,5 ± 0,5
1230	100

### 3.3 Diagramm 3

Für Diagramm 3 wurden der Widerstand des Pt-100 nach Temperatur aufgetragen. Dafür berechnet sich der Widerstand nach dem Ohmschen Gesetz mit dem konstanten Strom von 1 mA. Der Widerstand der Kabel ist durch das hochohmige Voltmeter vernachlässigbar.

Aus dem Diagramm lässt sich die Steigung ablesen, welche den Zusammenhang zwischen Temperatur und Widerstand beschreibt ablesen. Allgemein kann die Widerstand im Idealfall durch das folgende Polynom nach Gleichung 2 bestimmt werden. In dem betrachteten Temperaturfenster kann dieser Zusammenhang linearisiert betrachtet werden. Für die gemessene Steigung gilt:

$$m = \frac{\Delta R}{\Delta T} \quad (5)$$

$$\underline{\underline{m = 0,45 \pm 0,14 \frac{\Omega}{K}}}$$

Wobei der Fehler durch die Differenz zu Steigung der Fehlergeraden berechnet wurde:

$$\Delta m = m - m_{Fehler} \quad (6)$$

Es gilt, mit  $A$  von dem Polynom aus Gleichung 2,  $m = R_0 A$  wobei  $R_0 = 100\Omega$  der Widerstand bei  $T = 0^\circ C$  ist.

$$R_0 A = 0,39083 \frac{\Omega}{K}$$

Daraus folgt eine Abweichung von  $0,4\sigma$ .

### 3.4 Diagramm 4

Im 4. Diagramm wurde die gemessene Temperatur des Gasthermometers gegen die des Pyrometers aufgetragen. Im Idealfall gibt sich für die Steigung der Geraden 1, da sie die gleichen Temperaturen messen sollten. Die abgelesene Steigung ist:

$$m = \frac{\Delta T_{Pyro}}{\Delta T_{Druck}} \quad (7)$$

$$\underline{\underline{m = 0,94 \pm 0,14}}$$

Daraus lässt sich die Abweichung bestimmen:  $0,4\sigma$ .

## 4. Zusammenfassung und Diskussion

### 4.1 Diagramm 1

Im ersten Diagramm wurde der Druck der Fixpunkte des Gasthermometers zu deren Temperaturen aufgetragen. Daraus wurde eine Trendgerade erstellt mit welcher die Temperatur von flüssigem Stickstoff und die das absoluten Nullpunkts ermittelt werden konnte. Bei der Auswertung von Diagramm 1 fällt auf, dass die gemessene Temperatur des Stickstoffs

$$T_{N_2} = -202 \pm 7^\circ C$$

um  $1\sigma$  von dem Literaturwert abweicht. Dies liegt noch im  $3\sigma$  Bereich und die MEssung kann deshalb als genau angesehen werden. Ebenfalls liegt der Wert des absoluten Nullpunkts mit

$$T_0 = -275 \pm 5^\circ C$$

im  $0,5\sigma$  Bereich und kann ebenfalls als genau angenommen werden. Beide Fehler sind ausreichend klein um die Ergebnisse als aussagekräftig zu interpretieren.

### 4.2 Diagramm 2

Diagramm zwei wurde analog zu Diagramm 1 erstellt, bis auf den Unterscheid, dass hier der Literaturwert der Temperatur des Stickstoffs als weiterer Fixpunkt verwendet wurde. Es fällt auf, dass die abgelesenen Temperaturwerte abseits der Fixpunkte systematisch nach oben abweichen um  $2,5 - 5^\circ C$ . Es ist auf einen systematischen Fehler zu schließen, welcher sich wahrscheinlich auf das Einstellen der Temperatur beläuft. Es ist zu vermuten, dass sich das Flüssigkeitsthermometer nicht zu Ende gesetzt hat bevor die Messung vollzogen wurde. Aus den adneren Diagrammen wäre ebenfalls zu vermuten, dass das Flüssigkeitsthermometer eine systematische Ungenauigkeit eventuell durch Eichung hervorruft.

Die gemessene Siedetempereatur von Kohlenstoffdioxid betrug:

$$T_{CO_2} = -66 \pm 1^\circ C$$

Da kein Literaturwert vorhanden war lässt sich auch keine Abweichung bestimmen.

### 4.3 Diagramm 3

Im dritten Diagramm wurde der gemessene Widerstand des Platinthermometers auf die gemessene Temperatur des Flüssigkeitthermometers aufgetragen. Daraus wurde eineut eine Trendgerade erstellt und die Steigung bestimmt umden Zusammenhang zwischen Widerstand und Temperatur zu bestimmen.

Bei der Auswertung von Diagramm 3 fällt auf, dass der Widerstand bei  $100^\circ C$  mit  $131 \pm 1\Omega$  sehr stark von dem Trend der restlichen Werte abweicht. Zu vermuten ist ein systematischer Ablesefehler bei welche der Wert des Multimeters falsch notiert wurde. Deshalb wurde dieser Wert für die Geradeneinzeichnung und Fehlerrechnung nicht berücksichtigt.

Der berechnete Koeffizient  $m = 0,45 \pm 0,14 \frac{\Omega}{K}$  liegt im  $0,4\sigma$  Bereich des Literaturwerts, wobei hier

kritisch betrachtet werden muss, dass der Fehler  $\approx 30\%$  des berechneten Werts beträgt. Daraus lässt sich schließen, dass die Messung ausreichend genau ist, aber deutlich genauer durchgeführt werden kann.

#### 4.4 Diagramm 4

In Diagramm 4 wurde die Temperaturen aus Diagramm zwei gegen die Temperaturen des Pyrometers aufgetragen. Im Idealfall messen diese die gleichen Temperaturen, weshalb das Verhältnis, also die Steigung = 1 sein sollte. Der abgelesene Wert betrug:

$$m = 0,94 \pm 0,14$$

Das entspricht einer Abweichung von  $0,4\sigma$  zum angegebenen Literaturwert. Bei der Durchführung fiel auf, dass die Messungen des Pyrometers nicht auf die des Flüssigkeitsthermometers passten. Anzumerken ist hier, dass die Messwerte trotzdem ausreichend gut übereinstimmen und die Messung gut im  $3\sigma$  Bereich liegt.

Es ist darauf zu schließen, dass der Fehler bei dem Flüssigkeitsthermometer lag, da es wahrscheinlicher ist, dass die einzelne Messung falsch ist, als sowohl die des Gasthermometers als auch die des Pyrometers.