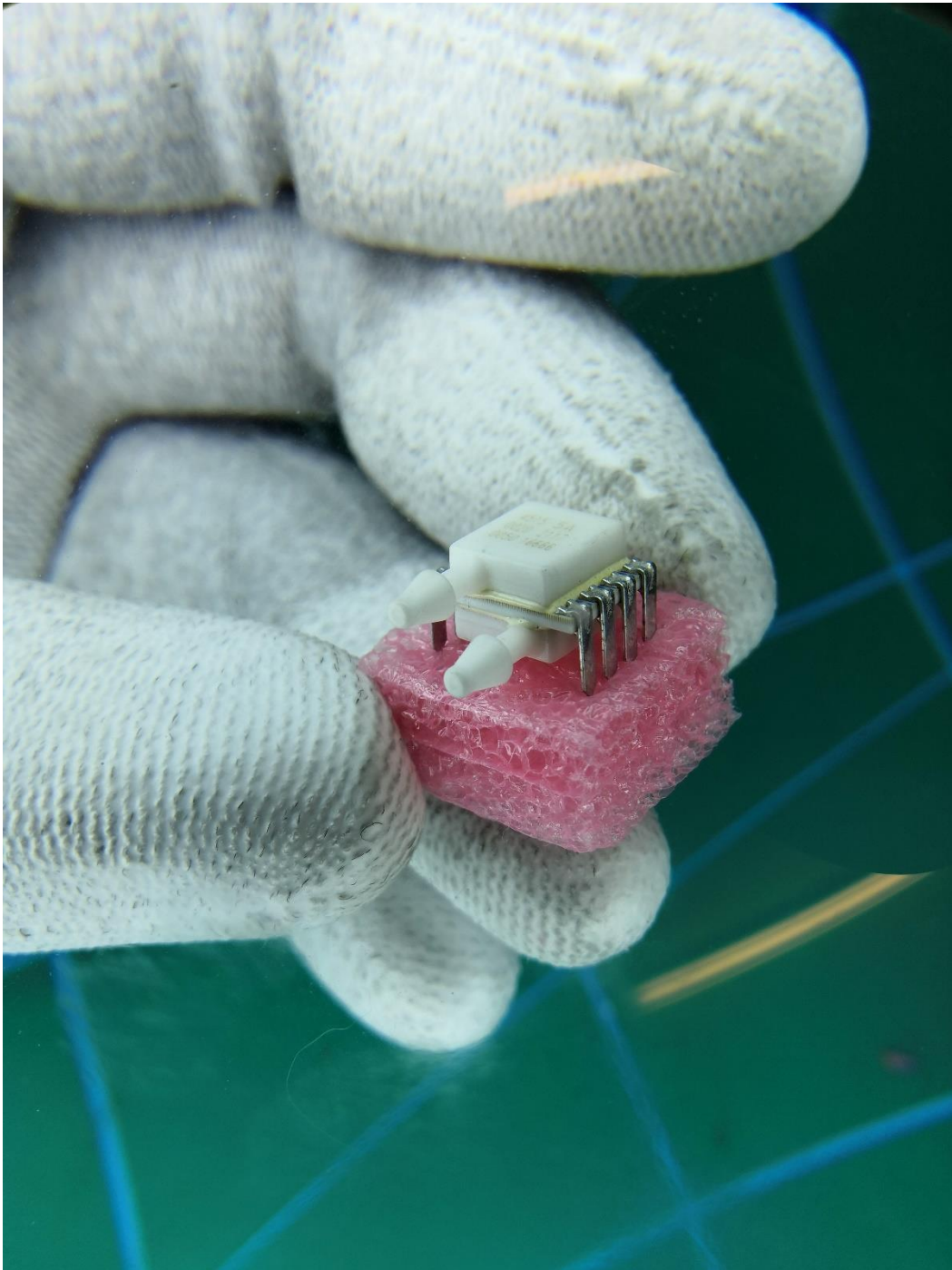


# Bestimmung des absoluten Nullpunkts durch die Korrelation zwischen Druck und Temperatur in idealen Gasen

---

Physik IDAF – 05.12.2021



Simon Widmer

---

Berufsfachschule Uster Berufsmaturität, Klasse TE19BMa

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	2
2. Die Idee.....	2
3. Theorie.....	2
3.1 Ideale Gase .....	2
3.2 Charles Gesetz .....	2
3.3 Boyle-Mariotte Gesetz.....	3
3.4 Amontons Gesetz .....	3
3.5 Avogadro Gesetz .....	3
3.6 Allgemeine Gasgleichung .....	3
4. Das Experiment .....	4
4.1 Versuchsaufbau .....	4
4.2 Vorgehen .....	5
4.3 Resultate.....	6
5. Konklusion .....	8
6. Verweise .....	9
7. Abbildungsverzeichnis.....	10
8. Tabellenverzeichnis .....	10
9. Glossar .....	10

## 1. Einleitung

In dieser Arbeit soll der absolute Nullpunkt in C° durch die im Gesetz des Amontons beschriebene Korrelation von Druck zur Temperatur in Idealen Gasen approximiert werden. Um dies erreichen zu können, wird ein Experiment durchgeführt, welches die beiden Zustandsgrößen in Zusammenhang setzt. Aus den gewonnenen Daten sollte es dann möglich sein, eine Approximation des absoluten Nullpunkts zu kalkulieren.

## 2. Die Idee

Zu Beginn muss geklärt werden, was der absolute Nullpunkt der Temperatur überhaupt ist. Wie es der Name schon erahnen lässt, ist dies die tiefst mögliche Temperatur. Der Grund, wieso es dies überhaupt gibt, ist, dass die Temperatur eine Zustandsgröße ist, welche die ständige Bewegung einzelner Atome in einem Material beschreibt. Genauer beschreibt sie den Durchschnitt deren Energie. Demnach muss es eine Temperatur geben, bei der sich die Teilchen nicht mehr bewegen, dies ist dann der absolute Nullpunkt. Dies ist auch der Punkt, an dem sich in idealen Gasen keinen Druck mehr ergibt, da die Gasteilchen sich nicht mehr bewegen und somit auch keine Kräfte mehr ausüben [1].

Mithilfe des Amontonschen Gesetz soll nun die Konstante des Verhältnisses von Druck zur Temperatur berechnet werden, in dem der Druck bei zwei verschiedenen Temperaturen gemessen wird. Hierdurch kann dann nach der Temperatur beim Druck Nullpunkt aufgelöst werden. Diese Temperatur in C° ist dann der absolute Nullpunkt im Verhältnis zum Gefrierpunkt von Wasser bei Normaldruck [2].

## 3. Theorie

### 3.1 Ideale Gase

Da das Modell, auf welchem das Experiment basiert, idealisiert ist, muss geklärt werden, was ideale Gase sind. Konzeptionell gilt ein Gas als ideal, solange intermolekulare Kräfte ignoriert werden. Zu diesen gehören die Keesom, Debye und London Kräfte sowie elektromagnetische Anziehung und Abstoßung aufgrund von Dipolen. Daraus lässt sich nun schließen, dass die einzigen Interaktionen, die zwischen den Gasmolekülen oder anderen Molekülen stattfinden Kollisionen sind [3]. Aufgrund dieser Idealisierung können nun diverse Gesetze für ideale Gase abgeleitet werden, die meist auch in der Realität anwendbar sind.

### 3.2 Charles Gesetz

Dieses von Joseph Jacques Charles stammende Gesetz besagt, dass sich bei gleichbleibendem Druck und gleichbleibender Stoffmenge das Volumen eines idealen Gases proportional zu dessen Temperatur verhält [4].

Somit gilt für  $n = \text{const.}$  und  $p = \text{const.}$  :

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \rightarrow \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

### 3.3 Boyle-Mariotte Gesetz

Dieses von Robert Boyle und Edme Mariotte unabhängig voneinander entdeckte Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Druck und Volumen eines wiederum idealen Gases. Dabei ist das Verhältnis invers proportional und gilt nur bei konstant gehaltener Stoffmenge und Temperatur [4].

Somit gilt für  $n = \text{const.}$  und  $T = \text{const.}$  :

$$p \cdot V = \text{const.} \rightarrow p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

### 3.4 Amontons Gesetz

Dieses von Guillaume Amontons entwickelte Gesetz, oft auch 2. Gesetz von Gay-Lussac genannt, umschreibt das kausale Verhalten von Temperatur und Druck bei idealen Gasen [5]. Es gilt wiederum, dass das Volumen und die Stoffmenge konstant gehalten werden müssen.

Somit gilt für  $n = \text{const.}$  und  $V = \text{const.}$  :

$$\frac{p}{T} = \text{const.} \rightarrow \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

### 3.5 Avogadro Gesetz

Dieses von Amedeo Avogadro aus den oben beschriebenen Gesetzmässigkeiten abgeleitete Gesetz beschreibt das Verhältnis der Stoffmenge und dem Volumen bei gleichbleibender Temperatur und gleichbleibendem Druck. Dies gilt wiederum nur für ideale Gase [6].

Somit gilt für  $T = \text{const.}$  und  $p = \text{const.}$  :

$$\frac{V}{n} = \text{const.} \rightarrow \frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

### 3.6 Allgemeine Gasgleichung

Aus all den zuvor beschriebenen Kausalzusammenhänge lässt sich nun die allgemeine Gasgleichung ableiten. Sie beschreibt den Zustand eines idealen Gases hinsichtlich der Zustandsgrößen Druck, Volumen, Temperatur und Stoffmenge [7]. Sie ist oft in verschiedenen zueinander korrelierenden Formen zu finden, wobei alle diese Arten das untersuchte System äquivalenten und eindeutig beschreiben.

Somit kann folgendes abgeleitet werden:

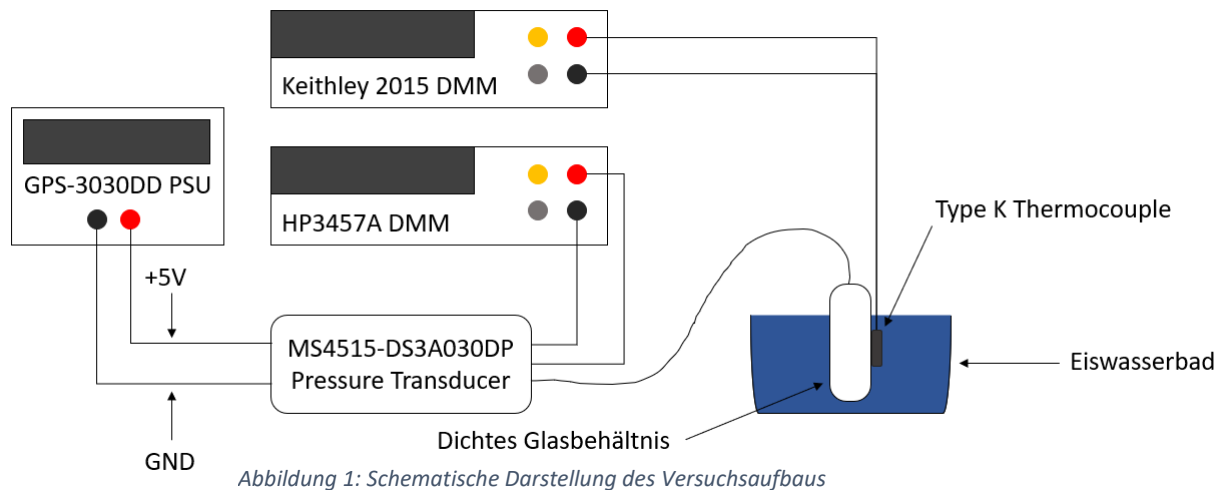
$$\frac{p \cdot V}{T \cdot n} = \text{const.} \rightarrow \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2}$$

Nun gilt per Amedeo Avogadro, dass die Konstante für alle idealen Gase denselben wert annimmt. Diese Konstante wird als allgemeine Gaskonstante bezeichnet und hat das Formelzeichen  $R$ . [8]

## 4. Das Experiment

### 4.1 Versuchsaufbau

Um den absoluten Nullpunkt in  $^{\circ}\text{C}$  durch den Zusammenhang von Druck zur Temperatur in idealen Gasen zu ermitteln. Wurde der folgende Aufbau erarbeitet. Dieser kann vollkommen in meinem eigenen Labor durchgeführt werden, wobei der in Abbildung 1 zusehende MS4515-DS3A030DP [9] Pressure Transducer mir freundlicherweise von TE-CONNECTIVITY zur Verfügung gestellt wurde.



Das Keithley 2015 Multimeter [10] dient in diesem Fall als Temperatur-Messgerät mit einem Type K Thermocouple als Temperaturfühler. Weiter wird das HP3457A [11] Multimeter zur Digitalisierung des Ausgangssignales des MS4515-DS3A030DP [3] genutzt. Der Port 2 des differentiellen Drucksensor wird direkt mit dem Glasbehältnis durch einen PVC-Schlauch verbunden, wobei der andere Eingang Port 1 offenbleibt, damit die Differenz des Umgebungsdrucks und dem Druck im Sample gemessen werden kann. Für die Spannungsversorgung des Transducers wird ein lineares Labor Netzgerät von GW-Instek genutzt. Das zusehende Eiswasserbad dient dazu, das Sample herunter kühlen zu können, auf möglichst stabile  $0^{\circ}\text{C}$ . Zu guter Letzt wird der Umgebungsdruck durch ein No-Name Druckmessgerät digitalisiert.

Schlussendlich sah der Aufbau wie in Abbildung 2 zu sehen ist aus.

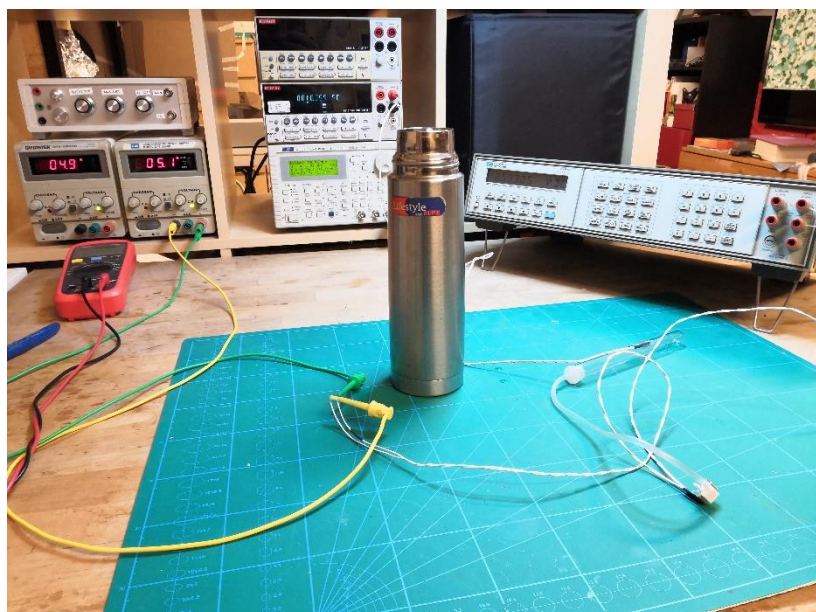


Abbildung 2: Versuchsaufbau Umsetzung

## 4.2 Vorgehen

Das Experiment wird wie folgt durchgeführt. Als erstes wird der Aufbau wie in Abbildung 1 zusehen ist vorbereitet, dabei wird das Sample jedoch noch nicht in das Wasserbad getaucht und auch noch nicht an den Drucksensor angeschlossen.

Danach wird das Glasbehältnis bei Raumtemperatur geschlossen und zu Stabilisierungszwecken für 5 Minuten stengelassen. Die Temperatur, die nach dieser Zeit im Behältnis besteht, ist  $T_1$  und wird durch den beschriebenen Temperaturmessaufbau gemessen. Die Druckdifferenz wird vom Sensor als Spannung ausgegeben und durch das HP3457A [11] gemessen. Diese Spannung entspricht dem  $U_1$ . Diese kann dann später nach  $\Delta P_1$  aufgelöst werden und mit dem Umgebungsdruck  $P_{\text{Umgebung-1}}$  addiert werden. Daraus ergibt sich dann  $P_1$ .

Nach dieser ersten Messung wird das Sample für 5 Minuten in das Eiswasser getaucht. Die nach dieser Zeit im Sample bestehende Temperatur ist dann unser  $T_2$ . Weiter wird wiederum  $U_2$  und  $P_{\text{Umgebung-2}}$  gemessen und festgehalten. Wie zuvor kann dies zu  $P_2$  umgerechnet werden.

Dieser Vorgang wird 3-mal durchgeführt, damit sichtbar wird, ob die Wiederholbarkeit gewährleistet ist und um schlussendlich einen Durchschnitt der Ergebnisse nehmen zu können, was ein akkurateres Ergebnis zur Folge haben sollte.

### 4.3 Resultate

Nun zu den Resultaten der Messungen. Folgende in Tabelle 1 zusehenden Messresultate konnten akquiriert werden.

Durchgang	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	Durchgang	P <sub>Umgebung-1</sub>	P <sub>Umgebung-2</sub>
1	2,50786V	0,760527	1	1 Bar	1 Bar
2	2,50598V	0,600741	2	1 Bar	1 Bar
3	2,50232V	0,653171	3	1 Bar	1 Bar

Durchgang	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
1	20,312 C°	0,481 C°
2	20,533 C°	0,464 C°
3	20,540 C°	0,493 C°

Tabelle 1: Messresultate

Die in Tabelle 1 zusehenden Werte sind die Resultate des Experimentes. Um damit nun den absoluten Nullpunkt zu berechnen, wird sich der in Kapitel «Theorie» gegebenen Korrelation von Druck zur Temperatur in idealen Gasen bedient. Jedoch müssen zuerst wie bereits beschrieben, die gemessenen Spannungen zu absoluten Druckwerten umgerechnet werden.

Das Verhältnis der Ausgangsspannung des Sensors und der Druckdifferenz ist im Datenblatt des der MS4515-DS3A030DP beschrieben und ist folgende. [9]

$$U_{out} = \frac{U_{supply} \cdot 80\%}{P_{max} - P_{min}} \cdot (P_{diff} - P_{min}) + 0.5$$

Wenn man diese nun nach  $P_{diff}$  auflöst und dazu den Umgebungsdruck addiert, erhalten wir den gesuchten absoluten Druck. Dabei sieht die Formel dann wie folgt aus.

$$\frac{(U_{out} - 0.5) \cdot (P_{max} - P_{min})}{U_{supply} \cdot 80\%} + P_{min} + P_{Umgebung} = P_{absolut}$$

Zu guter Letzt muss noch das Gay-Lussac Gesetz nach  $T_{zero}$  also der Differenz zwischen 0 K und 0 C° umgestellt werden. Dies ergibt dann Folgendes.

$$T_{zero} = \frac{P_1 \cdot T_2 - P_2 \cdot T_1}{P_2 - P_1}$$



Mit der genannten Formel für  $P_{\text{absolut}}$  können nun die Werte für  $P_1$  und  $P_2$  berechnet werden. Das Ergebnis ist in Tabelle 2 zusehen.

Durchgang	$P_1$	$P_2$	$T_1$	$T_2$
1	1,000294 Bar	0,9350075 Bar	20,312 C°	0,481 C°
2	1,000223 Bar	0,9290373 Bar	20,533 C°	0,464 C°
3	1,000087 Bar	0,9309963 Bar	20,541 C°	0,493 C°

Tabelle 2: Druck und Temperatur Werte

Diese Werte können nun in die die Formel für  $T_{\text{zero}}$  eingesetzt werden, was die in Tabelle 3 zusehenden Werte ergibt. Zur Veranschaulichung sind diese zusätzlich in einem Graphen in Abbildung 3 dargestellt.

Durchgang	Theoretischer Absoluter Nullpunkt in °C
1	-283,531
2	-261,454
3	-269,654
Durchschnitt	-271,5463

Tabelle 3: Ergebnisse für den Absoluten Nullpunkt der verschiedenen Messdurchläufe

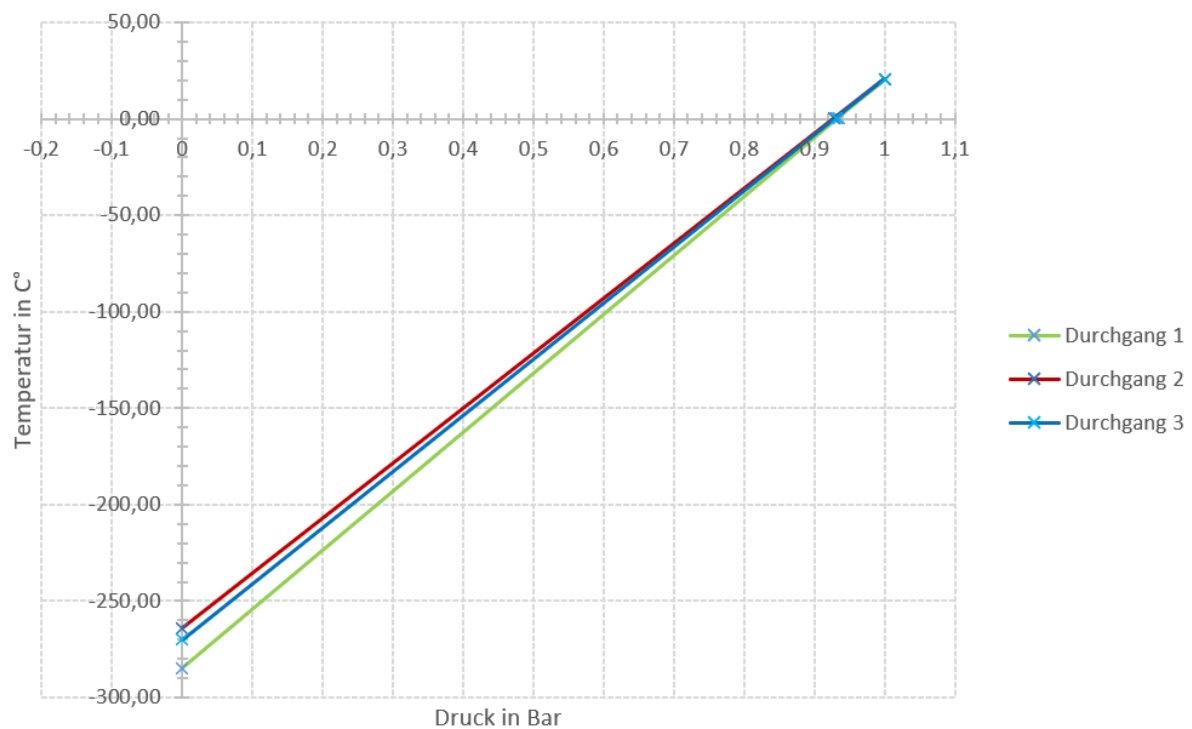


Abbildung 3: Temperatur in Abhängigkeit des Drucks der aller Messdurchgänge



## 5. Konklusion

Wie zu erwarten war, sind die einzelnen Ergebnisse weit vom Sollwert von  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$  entfernt. Interessanter weisse ist jedoch der Durchschnitt aller Durchgänge, welcher  $-271,5463\text{ }^{\circ}\text{C}$  beträgt nicht einmal um  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  falsch. Dies ist jedoch sehr wahrscheinlich nur Zufall.

Darüber hinaus muss noch gesagt, dass meine Vorgehensweise, um den absoluten Nullpunkt zu bestimmen, sicherlich nicht die Beste ist. Es wäre um einiges genauer, wenn man es mithilfe des Boyle-Mariotte oder des Gay-Lussacs Gesetzes machen würde und nicht über die isochore Methode. Über entsprechende vorgehen konnte ich einige Artikel finden. Im Artikel V080105 des Physikdepartements der ETH wurde es mit der isothermen Methode [12] und in einem Artikel in THE PHYSICS TEACHER wurde es mit der isobaren Methode versucht [13].

Auf jeden Fall konnte meinerseits viel von diesem Experiment sowie dieser Arbeit gelernt beziehungsweise profitiert werden. Zu meinem Bedauern musste ich beim Schreiben dieser Arbeit auf einige Ausführungen verzichten, da ich sonst die gegebene Seiten Zahl masslos überschritten hätte.

## 6. Verweise

- [1] A. Thompson and B. N. Taylor, "Guide for the Use of the International System of Units (SI)," NIST, 2008.
- [2] S.-Y. Ly, M. S. Kim and M.-H. Kim, "A Simple Laboratory Experiment for the Determination of Absolute Zero," *Journal of Chemical Education*, vol. 78, no. 2, February 2001.
- [3] J. G. Calvert, "Glossary of atmospheric chemistry terms," in *Pure and Applied Chemistry*, vol. 62, no. 11, 1990, p. 2196.
- [4] O. Flanigan, "CHAPTER 4 - Gas Laws," in *Underground Gas Storage Facilities*, 1995, pp. 32-39.
- [5] N. L. Heckman and E. D. Tidwell, "A SIMPLE APPARATUS FOR DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN PRESSURE AND TEMPERATURE OF GASES," 2015.
- [6] A. Neumann, "Journal of the Franklin Institute," *Avogadro's law deduced from the fundamental principle of the mechanical theory of gases*, vol. 89, no. 5, pp. 353-3355, May 1870.
- [7] A. Laugier and J. Garai, "Derivation of the Ideal Gas Law," *Journal of Chemical Education*, vol. 84, no. 11, November 2007.
- [8] D. B. Macnaughton, "Generalization of Eight Methods for Determining R in the Ideal Gas Law," 2007.
- [9] TE Connectivity Ltd., "PCB Mounted Pressure Transducers," *MS4515 datasheet*, April 2019.
- [10] Tektronix Inc., "2015 6½-Digit THD Multimeter".*Keithley 2015 datasheet*.
- [11] Hewlett Packard Inc., "HP3457A Multimeter," *HP3457A Service Manual*, February 1988.
- [12] Physikdepartement ETH Zurich, "Bestimmung des absoluten Nullpunktes".
- [13] D. T. Ivanov, "Experimental Determination of Absolute Zero Temperature," *THE PHYSICS TEACHER*, vol. 41, pp. 172-175, March 2003.

## 7. Abbildungsverzeichnis

*Abbildung Titelblatt: MS4515-DS3A030DP pressure transducer*

*Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus*

*Abbildung 2: Versuchsaufbau Umsetzung*

*Abbildung 3: Temperatur in Abhängigkeit des Drucks der aller Messdurchgänge*

## 8. Tabellenverzeichnis

*Tabelle 1: Messresultate*

*Tabelle 2: Druck und Temperatur Werte*

*Tabelle 3: Ergebnisse für den absoluten Nullpunkt der verschiedenen Messdurchgänge*

## 9. Glossar

<b>isotherm</b>	Dies beschreibt eine Zustandsänderung, bei der die Temperatur konstant bleibt.
<b>isochor</b>	Dies beschreibt eine Zustandsänderung eines Stoffs, bei der dessen Volumen konstant bleibt.
<b>isobar</b>	Dies beschreibt eine Zustandsänderung, bei der der Druck im System konstant bleibt.
<b>DMM</b>	Dies ist eine Abkürzung für ein Digitales Multimeter.
<b>PSU</b>	Dies ist eine Abkürzung für eine Power Supply Unit.
<b>Typ K Thermocouple</b>	Dies ist eine Nickel-Chrom Paar, welches aufgrund des Seebeck-Effektes eine Spannung generiert, welche direkt proportional zur Temperatur Differenz der beiden Enden der Metalle ist.