

Protokoll zum Grundpraktikum
Versuch T4 - Zustandsgleichung idealer Gase

Tammo Rukat
Mtrknr.: 528345
MB Physik/Mathematik

Humboldt-Universität zu Berlin

Versuchspartner: Benjamin Bujak (529551)
Versuchsplatz 1

22. April 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Das Jollysche Gasthermometer	1
2	Messungen und Auswertung	3
2.1	Ermittlung der Gasdrücke	3
2.2	Ermittlung des Spannungskoeffizienten	4
2.3	Ermittlung der Zimmertemperatur	4
3	Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung	4
3.1	Spannungskoeffizient	4
3.2	Raumtemperatur	5
3.3	Sonstige Ergebniseinschätzung	5
3.4	Fazit	6
4	Anlage	6
4.1	Messdaten	6
4.2	verwendete Software	6

1 Physikalische Grundlagen und Aufgabenstellung

1.1 Einleitung

In der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts machten der Ire Robert Boyle und der Franzose Edme Mariotte unabhängig voneinander die experimentelle Feststellung, dass das Produkt aus Druck und Volumen einer Gasprobe bei gleichbleibender Temperatur stets konstant ist. Auf diesem sogenannten Boyle-Mariotte-Gesetz aufbauend gelang es Jacques Charles und Joseph Louis Gay-Lussac erst über ein Jahrhundert später eine ähnliche Gesetzmäßigkeit für Prozesse bei konstantem Volumen bzw. konstantem Druck zu ermitteln: Das **Gay-Lussac'sche Gesetz**. Für isochore ($V = \text{const.}$) Prozesse lautet es:

$$p_t = p_0(1 + \gamma t), \quad (1)$$

wobei p_t der Druck des Gases bei einer beliebigen Temperatur t , p_0 der Druck bei 0°C und γ der Druck- oder Spannungskoeffizient des Gases ist.

Wir wollen uns dieses Gesetz im folgenden zunutze machen und unter Zuhilfenahme eines Gasthermometers den Druck eines konstanten Luftvolumens bei ca. 0°C und bei der Siedetemperatur von Wasser bestimmen, um so den Spannungskoeffizient zu ermitteln.

Hierfür verwenden wir den sich aus (1) ergebenden Zusammenhang:

$$\gamma = \frac{p_t - p_0}{p_0 t}. \quad (2)$$

Im weiteren werden wir mit Hilfe dieses Spannungskoeffizienten und einer Messung des Luftdrucks bei Raumtemperatur selbige ermitteln und mit der von einem gewöhnlichen Quecksilberthermometer angezeigten Temperatur vergleichen.

In den Fällen in denen eine Fehlerfortpflanzungsrechnung, die Bestimmung einer Standardabweichung oder eines Mittelwerts notwendig ist gehen wir ohne die Angabe weiterer Nebenrechnungen nach dem Heft ‚Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik‘¹ vor. Fehlerfortpflanzungsrechnungen nehmen wir außerdem mit pythagoräischer Addition vor. Weitere Informationen zur Versuchsdurchführung und zum physikalischen Hintergrund sind dem Heft zum physikalischen Grundpraktikum ‚Mechanik und Thermodynamik‘² zu entnehmen.

1.2 Das Jollysche Gasthermometer

Dieses Thermometer, bestehend aus einem zur einen Seite geöffneten und zur anderen Seite mit einem Glasballon verbundenen U-Rohr-Manometer, ermöglicht es den Druck des immer gleichen Gasvolumens anhand einer Quecksilbersäule und demzufolge in mmHG zu messen. Zum Einstellen der Temperaturen des Gasvolumens tauchen wir den Glasballon einmal in kochendes Wasser und einmal in Eis.

¹<http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Einfuehrung/PDF-Datei/Einfuehrung.pdf>, S.36-39 (Stand: 22.04.2009)

²<http://gpr.physik.hu-berlin.de/Skripten/Mechanik%20und%20Thermodynamik/PDF-Dateien/Mechanik%20und%20Thermodynamik.pdf> (Stand: 22.04.2009)

2 Messungen und Auswertung

Wir verwenden folgende Indizes:

$R \equiv$ Raumtemperatur $0 \equiv$ Eistemperatur $S \equiv$ Siedepunkt von Wasser

$G \equiv$ Im Glasballon bei Normalbedingungen

und erhalten durch Messungen mit einem Digital-Thermometer die Werte:

$$T_R = (22.5 \pm 0, 2)^\circ C \quad T_0 = (0, 2 \pm 0, 2)^\circ C \quad T_S = (100, 3 \pm 0, 3)^\circ C$$

2.1 Ermittlung der Gasdrücke

Für die Höhe der Quecksilbersäule führen wir je 10 Messungen durch und ermitteln die Standardabweichungen σ . Als systematische Messabweichung für das Ablesen der Quecksilberhöhe an der Spiegelskala verwenden wir die Abweichung eines Büromaßstabs (siehe Anhang). Wir erhalten:

$$h_G = (318, 7 \pm 1, 4)mm$$

$$h_0 = (256, 7 \pm 2, 4)mm$$

$$h_S = (517, 0 \pm 2, 3)mm$$

Die Vergleichshöhe der Quecksilbersäule, mit einem Eichstrich markiert, beträgt $300mm \pm 0, 5mm$ (ohne zufällige Messabweichung). Als Höhendifferenz Δh zur Höhe bei Raumtemperatur ergibt sich nun:

$$\Delta h_G = (18, 7 \pm 2, 3)mm$$

$$\Delta h_0 = -(43, 3 \pm 3, 3)mm$$

$$\Delta h_S = (217 \pm 3, 4)mm$$

Dies führt mit der Beziehung $1mm Hg = 133, 3Pa$ zu

$$\Delta p_G = (2487 \pm 307)Pa$$

$$\Delta p_0 = -(5772 \pm 440)Pa$$

$$\Delta p_S = (28926 \pm 453)Pa$$

Als Normaldruck lesen wir an einem digitalen Messgerät $p_R = (101700 \pm 100)Pa$ ab.

Da auf der offenen Seite des U-Rohrs genau dieser Druck vorliegt ergeben sich die absoluten Drücke p_0 und p_S als Summe aus den angegebenen Differenzen und p_R :

$$p_G = \Delta p_G + p_R = (104187 \pm 407)Pa$$

$$p_0 = \Delta p_0 + p_R = (95928 \pm 540)Pa$$

$$p_S = \Delta p_S + p_R = (130626 \pm 553)Pa$$

2.2 Ermittlung des Spannungskoeffizienten

Zuerst errechnen wir die Siedetemperatur des Wassers unter Zuhilfenahme des o.a. Raumdrucks. Es gilt:

$$T_S = 100^\circ C + 2,81 \cdot 10^{-4}(p_R - 101300 Pa) = (100,11 \pm 0,03)^\circ C$$

Diese Temperatur liegt im Ergebnisintervall der mit dem Thermometer ermittelten Temperatur.

Aus den ermittelten Größen können wir nun mit (2) und unter Beachtung der Fehlerfortpflanzung und der Korrelation der Größen den den Spannungskoeffizienten berechnen:

$$\gamma = \frac{p_s - p_o}{p_o T_s} = (3,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C}$$

2.3 Ermittlung der Zimmertemperatur

Für die Zimmertemperatur (eigentlich die Temperatur im unbeeinflussten Glasballon) ergibt sich nach Umformung von (1) und unter erneuter Beachtung der korrelierten Fehlerfortpflanzung:

$$t_G = \frac{p_G - p_0}{p_0 \gamma} = (23,8 \pm 2,7)^\circ C$$

3 Fehleranalyse und Ergebniseinschätzung

3.1 Spannungskoeffizient

Der gemessene Spannungskoeffizient γ stimmt unter Berücksichtigung der Messungenauigkeit mit dem Literaturwert von $\frac{1}{273,17^\circ C} = 3,66 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C}$ überein. Die Unengenauigkeiten der zu seiner Ermittlung benötigten Größen wollen wir diskutieren:

- Die beiden **Gasdrücke** p_0 und p_s wurden mithilfe des Gasthermometers ermittelt. Bei je 10 Messungen ist der Einfluss zufälligen Messabweichungen minimiert, wir können mit diesen Werten gut arbeiten.

Weiterhin sollten wir das **Quecksilber** betrachten: Es hat sowohl bei $0^\circ C$ als auch bei $100^\circ C$ einen Dampfdruck der weit unter unseren gemessenen Drücken liegt und demnach stets auch zu geringen Teilen gasförmig vor³. Flüssiges Quecksilber dehnt sich bei Temperaturerhöhung sehr schnell aus, für das gasförmige gilt jedoch näherungsweise auch das ideale-Gas-Gesetz, sodass die Anwesenheit von Quecksilberdampf unsere Messung nicht merklich beeinflusst. Die Temperatur des flüssigen Quecksilbers wird beim verändern der Gastemperatur nur vernachlässigbar beeinflusst.

Ebenfalls Erwähnung finden soll die Tatsache, dass die **Luft in der Kapillare** des Gasthermometers nicht vollständig erwärmt bzw. abgekühlt werden kann. Dieser

³Quelle: <http://www.wikipedia.de/Quecksilber>(Stand 22.04.2009)

Effekt ist wegen des geringen Gasvolumens in der Kapillare jedoch zu vernachlässigen. (Er würde einer möglichen Abweichung durch Temperaturänderung des Quecksilbers ansonsten entgegenwirken)

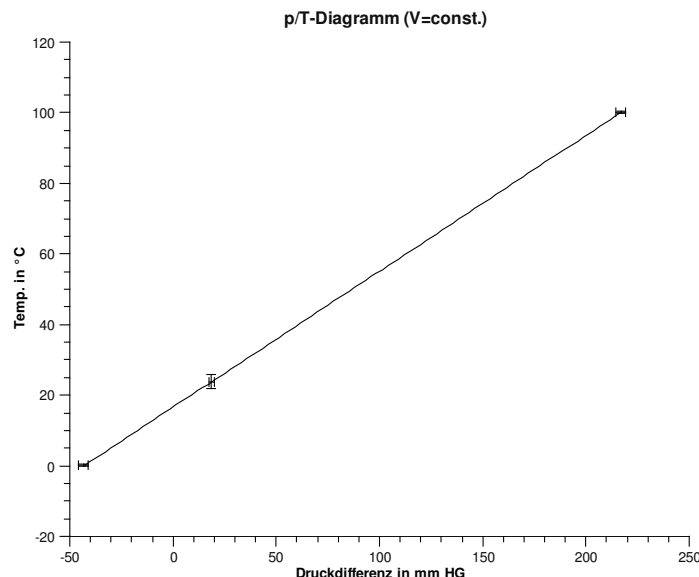
- Die **Siedetemperatur** wurde mit zwei verschiedenen Methoden zu in etwa gleichen Ergebnissen ermittelt und ist deshalb als Fehlerquelle unwahrscheinlich. Auch der ihrer einen Messung zugrundeliegende digital gemessene Raumluftdruck weist nur eine geringe Unsicherheit auf und stimmt mit den Werten verschiedener Wetterdienste überein. ⁴

3.2 Raumtemperatur

Die hier gemessene Temperatur ist die im Glasballon unter Normalebedingungen. Sie liegt im Toleranzbereich der mit einem herkömmlichen Quecksilberthermometer gemessenen Temperatur, ist jedoch etwas höher, was mit dem Luftzug im Versuchsraum im Zusammenhang stehen könnte. Die Fenster waren geöffnet und die Lufttemperatur im Raum höher als draußen, wohingegen im Glasballon natürlich keine Luftzug herrscht. Ansonsten ist die einzige noch nicht diskutierte Größe, die die Temperatur beeinflusst der Druck im Glaskolben p_G für den gleiches wie für p_0 und p_s im vorangegangenen Abschnitt gilt.

3.3 Sonstige Ergebniseinschätzung

Um das Gesetz von Boyle und Mariotte zu überprüfen plotten wir unsere Datenpaare (Drücke und Temperaturen) und führen eine gewichtete lineare Regression durch



Der lineare Zusammenhang ist deutlich zu erkennen.

⁴<http://www.meteo24.de>, <http://www.wetternet.de> (beide am 22.04.2009)

3.4 Fazit

Uns ist durch drei mal zehn Druckmessungen eine gute Bestimmung des γ -Wertes, so wie der Temperatur des Gasgemischs im Glasballon gelungen, wobei insbesondere bei der letzterer die Messunsicherheit durch weitere Messungen minimiert hätte werden können. Nichtsdestotrotz stimmen unsere Ergebnisse mit den Erwartungen überein und veranschaulichen die Gültigkeit des **Boyle-Mariotte**'schen und des **Gay-Lussac**'schen Gesetzes.

4 Anlage

4.1 Messdaten

Quecksilberhöhen am Gasthermometer

h_R [mmHg]	h_0 [mmHg]	h_S [mmHg]
318	259	519
319	258	520
320	256	519
320	254	514
320	253	519
319	258	518
319	258	515
318	258	515
318	254	516
316	259	515
$\bar{h}_R = 318,7$	$\bar{h}_0 = 256,7$	$\bar{h}_S = 517$
$\sigma_R = 1,3$	$\sigma_0 = 2,3$	$\sigma_S = 2,2$

Es wurde beim abkühlen eine weitere Messreihe für ca. $80^\circ C$ durchgeführt. Die Temperatur des Wassers schwankte aber so stark, dass eine verlässliche Aussage über die Lufttemperatur in einem angemessenen Konvidenzintervall nicht möglich ist.

4.2 verwendete Software

- L^AT_EX
- Texmaker 1.7
- QtiPlot 0.9.6.2
- Ubuntu 8.10 - Interprid Ibex