

W2 Gasthermometer

Stoffgebiet: Temperaturmessung, Gasthermometer, Gasgesetze

Versuchsziel: Mit Hilfe eines Gasthermometers sind der Ausdehnungs- und Druckkoeffizient von Luft zu bestimmen.
Beschäftigung mit den Gasgesetzen und deren experimentelle Nachprüfung.

Literatur: Lehrbücher der Physik, z.B.
Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure
Dobrinski, Krakau, Vogel: Physik für Ingenieure,
Helmut Lindner: Physik für Ingenieure.

1. Grundlagen:

1.1 Gasthermometer und Temperaturmessung

Für die Definition der Temperatur und ihre genaue Messung sind exakte Messverfahren notwendig. Flüssigkeitsthermometer sind dafür - trotz ihrem praktischen Wert - nicht geeignet. Erstens kann mit ihnen nur in einem begrenzten Temperaturbereich gemessen werden, z.B. mit einem Quecksilberthermometer von -39°C bis 800°C , zweitens zeigt sich, dass der zur Temperaturdefinition benutzte Ausdehnungskoeffizient, selbst wieder mehr oder weniger, je nach Substanz, von der Temperatur abhängt. Natürlich ist es möglich, den Volumenausdehnungskoeffizient - z.B. von Quecksilber - als von der Temperatur unabhängig anzunehmen, kommt so aber zu einer Temperaturdefinition, die vom Stoff abhängt, man spricht deshalb auch z.B. von einer Quecksilbertemperatur.

Besser zur Definition und Messung der Temperatur sind Gase geeignet. Gasthermometer sind für genaue Messungen die allein maßgebenden; mit ihnen werden auch die Flüssigkeitsthermometer geeicht (insbesondere mit Helium- und Wasserstoffgasthermometern). Der Vorteil gegenüber Flüssigkeiten rührt daher, dass Gase ein einheitlicheres Verhalten zeigen und die „idealen Gase“ denselben Gesetzen gehorchen. Die durch das Gasthermometer definierte Temperatur - die Gastemperatur - ist natürlich auch noch von der Substanz, dem verwendeten Gas, abhängig; es zeigt sich aber, dass die Gastemperatur nahezu mit der thermo-

dynamischen Temperatur, deren Definition frei ist von den Eigenschaften jedes materiellen Stoffes, übereinstimmt (siehe Literatur).

1.2 Gasgesetze

Das Verhalten der Gase, z.B. bei Temperaturänderung, wird durch die Gasgesetze beschrieben. Der thermodynamische Zustand eines „idealen Gases“ ist durch die Angabe der Masse **m**, des Druckes **p**, des Volumens **V** und der Temperatur **T** beschrieben. Es gilt die allgemeine Gasgleichung, die bei konstanter Masse in der Form

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const} \quad \text{oder} \quad \frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} \quad (1)$$

geschrieben werden kann (T in K). Demnach genügen zwei der Zustandsvariablen (bei konstanter Masse), um den Zustand zu beschreiben.

Ideale Gase sind dabei solche Gase, deren Moleküle sich gegenseitig nicht beeinflussen und bei denen das Eigenvolumen der Moleküle vernachlässigt werden kann. Diese Bedingungen sind in der Praxis umso besser erfüllt, je weiter der Zustand des Gases von seinem Verflüssigungspunkt entfernt ist, d.h. je höher die Temperatur und je niedriger der Druck ist.

Sonderfälle der allgemeinen Gasgleichung

Wird eine der Zustandsvariablen **p**, **V**, **T** festgehalten, so ergeben sich die folgenden Sonderfälle:

Isotherme Zustandsänderung

$$T = \text{const.} \quad ; \quad p \cdot V = p_0 \cdot V_0 \quad (2)$$

Isobare Zustandsänderung

$$p = \text{const.} \quad ; \quad \frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \quad (3)$$

Isochore Zustandsänderung

$$V = \text{const.} \quad ; \quad \frac{p}{T} = \frac{p_0}{T_0} \quad (4)$$

Wählen wir für den Zustand „0“ die Temperatur **T₀ = 273,15 K** (den Nullpunkt der Celsiusskala), dann erhalten wir mit **T = T₀ + ΔT** aus Gl. (3) und (4):

$$p = \text{const.}: \quad V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad \text{oder} \quad \frac{V - V_0}{V_0 \cdot \Delta T} = \gamma \quad (5)$$

$$V = \text{const.}: \quad p = p_0(1 + \gamma \cdot \Delta T) \quad \text{oder} \quad \frac{p - p_0}{p_0 \cdot \Delta T} = \gamma \quad (6)$$

p_0 ist dabei der Druck und V_0 das Volumen des Gases bei 0°C ($273,15 \text{ K}$); weiter ist

$$\gamma = \frac{1}{273,15} \text{ K}^{-1} \approx 0,00366 \text{ K}^{-1} \quad (7)$$

Bei denjenigen wirklichen Gasen, die vom Idealzustand nur sehr wenig abweichen, - wie z.B. Luft bei „gewöhnlichen“ Bedingungen - bestehen kleine Unterschiede zwischen den nach Gl. (5) und (6) gemessenen Werten von γ , die sich auch von dem für ideale Gase gültigen Wert ein wenig unterscheiden. Den nach Gl. (5) gemessenen Wert γ nennt man den Ausdehnungskoeffizienten, den nach Gl. (6) gemessenen Wert den Druck- oder Spannungskoeffizienten.

2. Versuchsdurchführung

2.1 Meßverfahren

Das hier verwendete Gasthermometer besteht aus einer Glasröhre mit konstantem Querschnitt, in welcher eine Luftmenge durch einen Quecksilbertropfen abgeschlossen ist (Abb. 1).

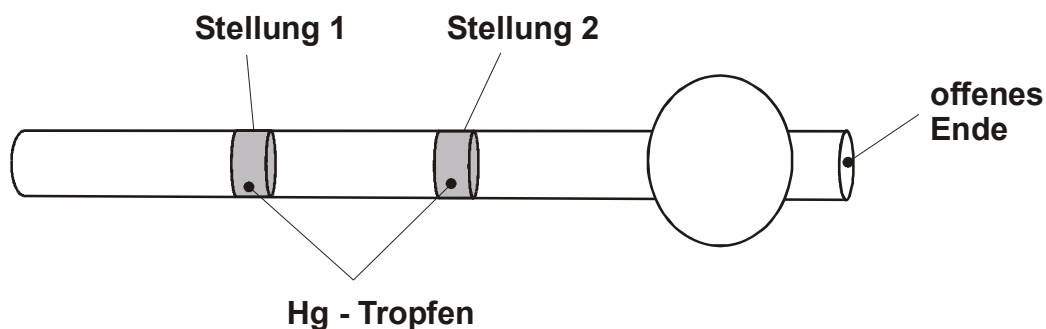


Abbildung 1

Ausdehnungskoeffizient

Nach Gl. (5) lässt sich der Ausdehnungskoeffizient γ bestimmen, wenn bei festgehaltenem Druck das Volumen des Gases in Abhängigkeit von ΔT gemessen wird.

Dies geschieht, indem das Gasthermometer in ein Wasserbad gebracht wird (mit Rührer und Thermostat), dessen Temperatur langsam durch einen Tauchsieder erhöht wird. Das Volumen V_0 wird vorher bestimmt, indem das Gasthermometer vollständig in ein Gefäß mit schmelzendem Eis gebracht wird.

Da bei dem Versuch das Ende des Gasthermometers offen bleibt, ist gewährleistet, dass der Druck konstant bleibt (falls sich der äußere Luftdruck nicht ändert).

Druckkoeffizient

Nach Gl. (6) kann der Druckkoeffizient γ gemessen werden, indem bei festgehaltenem Volumen der Druck in Abhängigkeit von ΔT gemessen wird. Wir beschränken uns hier auf die Messung bei zwei Temperaturen. Dafür wählt man günstig 0°C ($\Delta T = 0 \text{ K}$) und die bei der Messung des Ausdehnungskoeffizienten erreichte höchste Temperatur von ca. 80°C ($\Delta T = 80 \text{ K}$). Um das Volumen konstant zu halten, wird am offenen Ende ein Kolbenprober angeschlossen, mit welchem Über- oder Unterdruck erzeugt wird, so dass der Quecksilbertropfen trotz Temperaturänderung in derselben Lage bleibt. Der Überdruck p_M , der sich bei der Temperaturerhöhung ergibt, wird durch ein zusätzlich angeschlossenes Manometer gemessen. (Siehe Abb. 2).

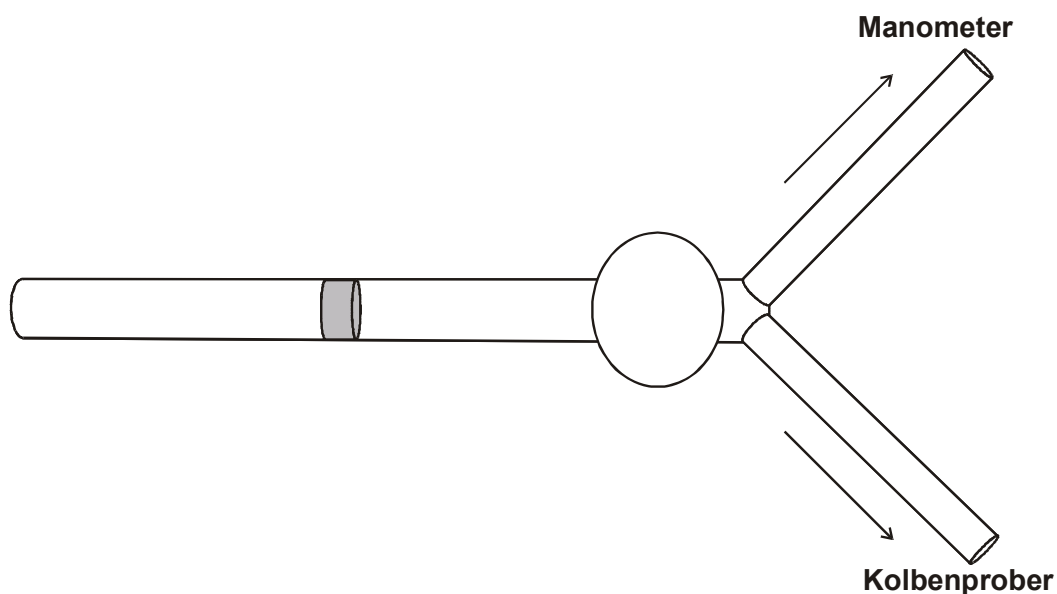


Abbildung 2

2.2 Messungen

2.2.1 Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten

- a) Der untere Teil des Gasthermometers wird in ein Eis-Wasser-Gemisch gebracht, bis eine Längenänderung der Luftsäule nicht mehr feststellbar ist. Zusätzlich wird die Temperatur des Bades mit einem Thermometer kontrolliert. (Es ist darauf zu achten, dass nicht nur einige Eisstücke auf dem Bad schwimmen, deshalb das Eis evtl. zerkleinern und durchrühren). Die Stellung des Quecksilbertropfens wird notiert (Stellung 1 in Abb. 1) und die Länge l_0 abgelesen. l_0 ist demnach die Länge der Luftsäule bei $\Delta T = 0 \text{ K}$ und dem äußeren Luftdruck $p_B = p_0$ (p_B am Barometer ablesen). Auf diesen Teil des Versuches ist besondere Sorgfalt zu verwenden.
- b) Anschließend wird das Gasthermometer im Wasserbad (nur destilliertes Wasser verwenden) langsam in einzelnen Schritten auf **ca. 80 °C** erwärmt und die Länge l der Luftsäule in Abhängigkeit von ΔT gemessen. (da der Querschnitt konstant bleibt, ist V proportional zu l)
- c) Maximal **10** Messpunkte, Thermostat und Rührer verwenden.
- d) Die Messwerte sind in einer Tabelle festzuhalten und l als Funktion von ΔT graphisch von Hand aufzutragen (auf mm-Papier).
- e) Der Ausdehnungskoeffizient wird zusätzlich mit Hilfe der linearen Regression am PC bestimmt.
- f) Der mittlere Fehler der Messung ist zu bestimmen.
- g) Die prozentuale Abweichung dieses Wertes gegenüber dem theoretischen Wert für das ideale Gas ist anzugeben.

2.2.2 Bestimmung des Druckkoeffizienten

- a) Das Gasthermometer befindet sich noch vom vorherigen Teilversuch im Wasserbad bei einer Temperatur von ungefähr **80 °C**. Es bleibt darin, die Temperatur wird durch den Thermostat konstant gehalten und Kolbenprober und Manometer nach Abb. 2 angebracht.
- b) Mit dem Druck des Kolbenprobers wird der Hg-Tropfen in Stellung **1** (Stellung bei **0 °C** und Druck **p_B**) gebracht und die Anzeige **p_M** des Manometers abgelesen.
- c) Das Gas steht jetzt unter dem Druck **p = p_B + p_M** bei der Temperatur **T₀ + ΔT**. Dasselbe Volumen lag aber auch bei **T₀** und dem Druck **p₀ = p_B** vor. Damit ergibt sich für den Druckkoeffizienten nach Gl. (6)

$$\gamma = \frac{p_M}{p_B \cdot \Delta T} \quad (8)$$

- d) Es ist zu überlegen, ob bei der Messung des Druckkoeffizienten der Druck des Hg-Tropfens einen Einfluss ausübt und gegebenenfalls in Gl. (8) die entsprechende Korrektur anzubringen.
- e) Der Druckkoeffizient ist aus (der evtl. korrigierten) Gl.(8) zu berechnen. Die prozentuale Abweichung gegenüber dem theoretischen Wert für das ideale Gas ist anzugeben.
- f) Die Unsicherheit in der Ablesung von **p_M**, **p_B** und **ΔT** ist abzuschätzen, und daraus der sich ergebende maximale relative Fehler $\frac{\Delta\gamma}{\gamma}$ zu berechnen.
- g) Die prozentuale Abweichung dieses Wertes gegenüber dem theoretischen Wert für das ideale Gas ist anzugeben.

3. Fragen zum Versuch

- 3.1 Mit welchen Geräten können Temperaturen gemessen werden ?
Welche eignen sich für tiefe, welche für hohe Temperaturen ?
- 3.2 Welche Bedeutung hat die Temperatur **-273,15 °C** ?
- 3.3 In Gl. (5) ist z.B. bei einer hohen Temperatur von **80 °C** $\Delta T = 80 \text{ K}$.
Warum nicht $\Delta T = 80 \text{ °C}$?
- 3.4 Welches Volumen erhält man nach Gl. (5) für die Temperatur **0 K** ?
Vergleichen Sie es mit den Voraussetzungen für das ideale Gas.
- 3.5 Bei welcher Temperatur wird Luft flüssig ? (Normaldruck)
- 3.6 Das allgemeine Gasgesetz ist in Gl. (1) formuliert. Geben Sie eine andere Formulierung mit der allgemeinen Gaskonstanten an.
- 3.7 Durch die Gln. (2), (3) und (4) sind drei spezielle Zustandsänderungen beschrieben. Geben Sie eine weitere spezielle Zustandsänderung an.
Wodurch ist diese charakterisiert ?
- 3.8 Bei Erwärmung dehnt sich nicht nur die Luft im Gasthermometer aus, sondern auch das Gasthermometer (Glas) selbst. Wird dadurch, wenn dies nicht berücksichtigt wird, der Ausdehnungs- bzw. Druckkoeffizient zu groß oder zu klein gemessen ?
- 3.9 Die Länge der Luftsäule wird in Abhängigkeit der Temperatur gemessen, wie erhält man daraus den Ausdehnungskoeffizienten ?