W06 Physikalisches Praktikum	Gasgesetze	b-tu Brandenburgische Technische Universität Cottbus · Senftenberg

Thermodynamische Zustandsgrößen werden für Luft in ihrem Zusammenhang untersucht. Dabei werden die Gesetze von Boyle-Mariotte, Gay-Lussac und Amontons abgeleitet.

1. Theoretische Grundlagen

Im Gegensatz zu festen und flüssigen Körpern hängt das Volumen eines gasförmigen Körpers wesentlich vom Druck und von der Temperatur ab. Volumen, Druck und Temperatur kennzeichnen den Zustand des Gases, man nennt sie daher Zustandsgrößen. Einfache Zustandsgrößen mitunter daher, weil sie der Messung in einfacher Weise zugänglich sind, im Gegensatz zu anderen Zustandsgrößen, wie z.B. innere Energie, Enthalpie, Entropie. Man kann wahlweise eine der Zustandsgrößen im Experiment konstant halten und erhält dann zwischen den beiden anderen Größen einfache funktionale Zusammenhänge, welche als Gasgesetze bekannt sind.

a) Isochore Zustandsänderung

Schließt man beispielsweise ein Gas in einen starren Kasten vom Volumen V_1 ein, dann hängt sein Druck p von der Temperatur ϑ gemäß:

$$\boldsymbol{V = V_1}: \qquad p = p_0 \cdot (1 + \beta \cdot \Delta\vartheta) \tag{1}$$

ab (*Gesetz von Amontons*); p_0 ist der Druck des Gases bei 0°C und β der Spannungskoeffizient.

b) Isobare Zustandsänderung

Ist hingegen eine der Wände verschiebbar, (*Zylinder mit eingepasstem Kolben*) und ist der Druck p_1 fest vorgegeben, dann hängt das Volumen V seinerseits von der Temperatur ϑ ab (*Gesetz von Gay-Lussac*) gemäß

$$\boldsymbol{p = p_1}: \qquad V = V_0 \cdot (1 + \gamma \cdot \Delta\vartheta) \tag{2}$$

V_0 ist das Volumen bei 0°C und γ der Volumenausdehnungskoeffizient.

c) Isotherme Zustandsänderung

Hält man die Temperatur ϑ_1 des Gases im Wärmebad konstant und ändert das Volumen V mit Hilfe des verschiebbaren Kolbens, dann gilt, wenn p_1, V_1 und p_2, V_2 zwei Zustände des Gases bezeichnen, das Gesetz von *Boyle-Mariotte*

$$\boldsymbol{\vartheta = \vartheta_1}: \qquad p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \tag{3}$$

Ideale Gase

In vielen Fällen gilt unabhängig von der Art des verwendeten Gases annähernd folgender Zusammenhang zwischen Spannungskoeffizienten β und Volumenausdehnungskoeffizienten γ:

$$\beta = \gamma = \frac{1}{273{,}15\ \mathrm{K}} \tag{4}$$

Dieses Gesetz von Gay-Lussac (4) deutet an, dass es einen absoluten Nullpunkt der Temperaturskala gibt, nämlich die Temperatur $\boldsymbol{\vartheta} =$ **-273,15 °C** , denn aufgrund der Gleichungen (1) und (2) würden Druck und Volumen bei dieser Temperatur verschwinden. Jedoch lässt sich der ideale Gaszustand, der allein diesen Gesetzen genügt, nicht bis an den absoluten Temperaturnullpunkt aufrechterhalten, weil z. B. vorher eine Kondensation eintritt.

Die Gleichungen (1) bis (3) lassen sich mit Hilfe der Beziehung (4) in eine ***allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase*** zusammenfassen, welche eine besonders einfache Form annimmt, wenn eine neue Temperaturskala eingeführt wird, die absolute oder thermodynamische Temperatur

$$T = \vartheta + 273{,}15\ \mathrm{K} \qquad [T] = \mathrm{K} \tag{5}$$

Man erhält so die ***allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase***

$$\boxed{\frac{p \cdot V}{T} = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0}} \tag{6}$$

p, V, T bzw. p_0, V_0, T_0 sind jeweils zusammengehörige Zustandswerte.

In Gleichung (6) ist der konstante Ausdruck $p \cdot V/T$ proportional der Masse des eingeschlossenen Gases, also $p \cdot V/T \sim m$.
Den Proportionalitätsfaktor bezeichnet man als ***spezifische Gaskonstante*** R_S, deren Zahlenwert von der Gasart abhängt. Nach der Umstellung ergibt sich die Zustandsgleichung (*2. Form*) zu:

$$p \cdot V = m \cdot R_S \cdot T \tag{7}$$

2. Versuch

2.1 Vorbetrachtung

Aufgabe 1: Wenden Sie das ideale Gasgesetz auf die Zustandsänderungen isobar, isotherm und isochor an!

Aufgabe 2: Ein mit Luft gefüllter Kolben kühlt sich von einer Temperatur $\boldsymbol{\vartheta}$=**180 °C** auf **60 °C** ab. Dabei ändert sich die Druckdifferenz von $\boldsymbol{\Delta p} = \mathbf{320\ mbar}$ auf $\mathbf{80\ mbar}$. Der örtliche Luftdruck beträgt dabei $\boldsymbol{p_L}$=$\mathbf{740\ Torr}$.

- Stellen Sie die Funktion $\boldsymbol{p} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{\vartheta})$ graphisch dar und bestimmen Sie die Funktionsgleichung $[\boldsymbol{p}] = [\boldsymbol{p_{abs}}] = \mathbf{kPa}$. Berechnen Sie daraus den Spannungskoeffizienten β.

ϑ / °C	60	80	100	120	140	160	180
Δp / mbar	80	120	160	210	250	290	320

Wertetabelle

2.2 Versuchsdurchführung

2.2.1 Verwendete Geräte

Glasmantelsystem gefüllt mit Silikonöl, komplett montiert, Manometer, Thermometer, Heizgerät, Temperaturmess- und –regelgerät

2.2.2 Versuchshinweise

Glasmantelsystem: Eine Gasspritze (100 ml), über deren beweglichen Kolben das darin befindliche Luftvolumen verändert werden kann, befindet sich in einem mit Badflüssigkeit (*Silikonöl*) gefüllten Glasmantel (***Bild 1***). Über diese Umhüllung kann die in der Gasspritze befindliche Luft temperiert werden. Die Gasspritze ist über einen Dreiwegehahn mit einem Manometer verbunden.

Aufgabe 1: Bestimmung des Druckes p als Funktion des Volumens V bei konstanter Temperatur ϑ (*Boyle-Mariotte*) für eine Luftsäule

- Lesen Sie den örtlichen Luftdruck p_L(*Raumbarometer*) und die Temperatur der Temperierflüssigkeit ab.
- Füllen Sie die Gasspritze ***mit*** $50\,\mathrm{ml}$ Luft. Öffnen Sie dazu den Dreiwegehahn.
- Schließen Sie den Dreiwegehahn.
- Komprimieren Sie kontinuierlich die Luft ***von*** $(50$ *bis* $25)\,\mathrm{ml}$ in $5\,\mathrm{ml}$-***Schritten*** und lesen Sie die jeweilige Druckänderung am Manometer ab.

Achtung: ***Arbeiten Sie zügig!***

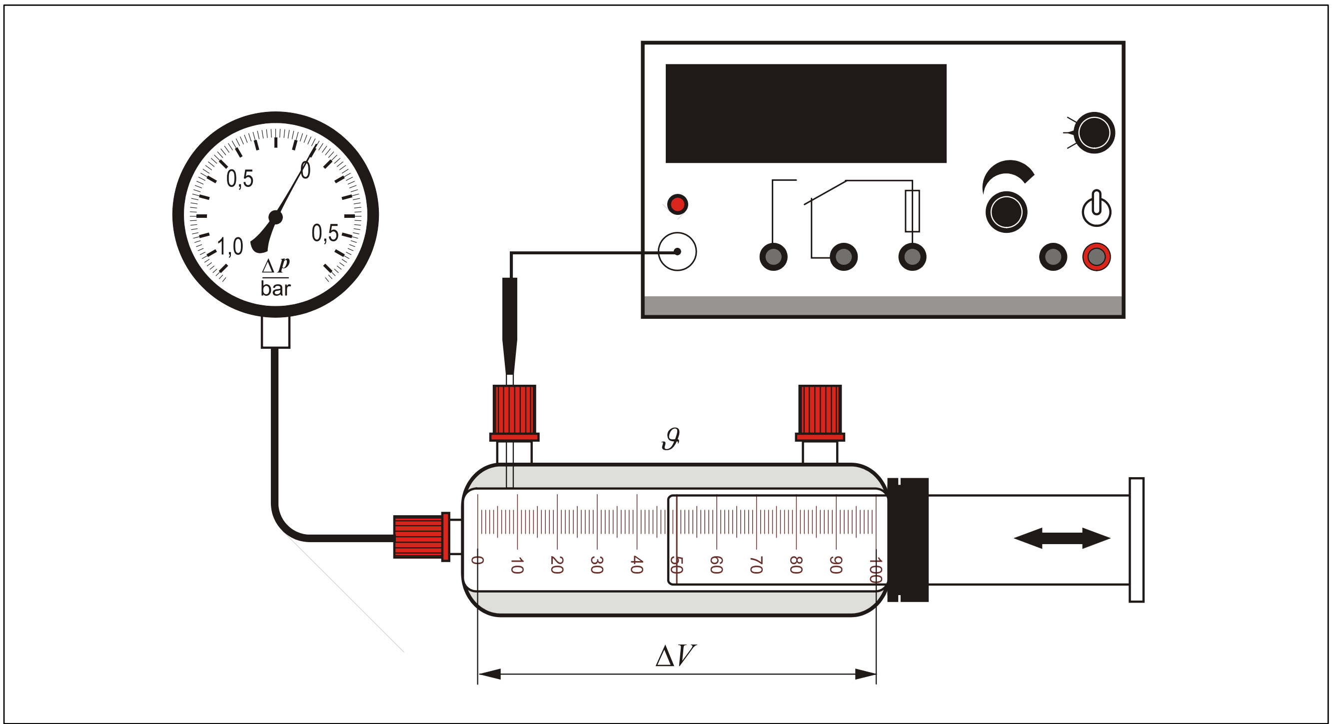

Bild 1: Versuchsaufbau

- Füllen Sie die Gasspritze erneut über den Dreiwegehahn ***mit*** $50\,\mathrm{ml}$ Luft.
- Expandieren Sie kontinuierlich die Luft ***von*** $(50$ *bis* $100)\,\mathrm{ml}$ in $5\,\mathrm{ml}$-***Schritten*** und lesen Sie die jeweilige Druckänderung am Manometer ab.

Achtung: ***Arbeiten Sie zügig!***

Aufgabe 2: Bestimmung des Volumens V als Funktion der Temperatur ϑ bei konstantem Druck p (*Gay-Lussac*).

Aufgabe 3: Bestimmung des Drucks p als Funktion der Temperatur ϑ bei konstantem Volumen V (*Amontons*).

Hinweis: *Die Messungen der **Aufgabe 2** und **3** müssen gleichzeitig durchgeführt werden*

- Füllen Sie die Gasspritze wieder über den Dreiwegehahn ***mit*** $50\mathrm{ml}$ Luft.
- Betätigen Sie ***niemals*** während der Messung den Dreiwegehahn.
- Messen Sie die Volumenzunahme ΔV sowie den jeweiligen Differenzdruck Δp bei Temperaturen ***von*** $(180 \ldots 40)\mathrm{°C}$ in $\boldsymbol{\Delta T = 10}$ K***-Schritten***.

Achtung:

Äußerste Vorsicht an der Apparatur!
Die Badflüssigkeit (Silikonöl) hat eine Temperatur von ***ca.*** $\underline{180\mathrm{°C}}$.

Glasmantel mit Badflüssigkeit (*Silikonöl*) aufheizen:

- Um die erste Messung ***bei*** $180\ \mathrm{°C}$ durchführen zu können, stellen Sie eine Solltemperatur ***von*** $185\ \mathrm{°C}$ am Temperaturregelgerät („*Sollwert*") ein.
- Stellen Sie dann den Wahlschalter zur Temperaturmessung auf „*Istwert*".
- Durch gleichmäßiges Umrühren mit Hilfe der Magnetrührstäbchen unterstützen Sie den Durchmischungsprozess im Temperiergefäß. Dadurch ist der Heizprozess homogener.
- Fahren Sie das Heizgerät bei Erreichen des Sollwertes mit der Laborhebebühne nach unten.
- Stellen Sie die Solltemperatur ***auf*** $< 20\ \mathrm{°C}$ am Temperaturregelgerät („*Sollwert*") ein.

Volumenmessung

- Ziehen Sie den Kolben heraus bis sich der Ausgangsdruck ($\boldsymbol{\Delta p = 0}$) einstellt, und lesen Sie die Volumenzunahme ab.

Druckmessung

- Bringen Sie den Kolben in die Ausgangsstellung ($50\mathrm{ml}$) und lesen Sie die Druckzunahme ab.

2.3 Versuchsauswertung

Aufgabe 1: Bestimmung des Drucks als Funktion des Volumens bei konstanter Temperatur nach Boyle-Mariotte

- Stellen Sie die Messwerte (*Kompression und Expansion*) in ***einem*** *p*-*V*-Zustandsdiagramm der Funktion $\boldsymbol{p = f(V)}$ graphisch dar und achten Sie dabei auf die Einheiten für den absoluten Druck $[\boldsymbol{p_{abs}}] = \mathrm{hPa}$ und das Volumen $[\boldsymbol{V}] = \mathrm{m}^3$.
- Tragen Sie die Regressionskurve mit ein und bestimmen Sie die auftretenden relativen Messunsicherheiten unter Verwendung selbst festzulegender Fehlerbalken.
- Führen Sie eine auswertende Diskussion einschließlich einer Grenzwertbetrachtung an Hand der Darstellung $\boldsymbol{p \cdot V = f(V)}$ durch. Bestimmen Sie den Mittelwert sowie die Ober- und Untergrenze.

Aufgabe 2 und 3: Bestimmung nach Gay-Lussac bzw. nach Amontons

- Stellen Sie die Funktionen $\boldsymbol{p = f(\vartheta)}$ und $\boldsymbol{V = f(\vartheta)}$ graphisch in je einem Diagramm dar und tragen Sie die lineare Regression ein. Schätzen Sie dabei die relative Messunsicherheit unter Verwendung selbst festzulegender Fehlerbalken ab.
- Bestimmen Sie die Anstiege und lassen Sie diese Ergebnisse in die Berechnungen des Spannungskoeffizienten β und Volumenausdehnungskoeffizienten γ nach den Gleichungen (1) und (2) einfließen. Ermitteln Sie die Messunsicherheiten durch eine Fehlerrechnung (*absolut und relativ*).
- Vergleichen und diskutieren Sie Ihre Ergebnisse mit den Tabellenwerten.
- Ermitteln Sie graphisch in einem gesonderten V–ϑ-Diagramm der Funktion $\boldsymbol{V = f(\vartheta)}$ den absoluten Nullpunkt.
  (*Tabellenwerte bei* 0°C: β_{Luft}=3,655 $\cdot 10^{-3}$ K^{-1}, γ_{Luft}=3,548 $\cdot 10^{-3}$ K^{-1})

Hinweis: $\boxed{\boldsymbol{p = p_{abs} = p_L + \Delta p}}$