

Versuch W6: Thermische Zustandsgleichung des idealen Gases

Aufgaben:

1. Führen Sie isotherme Zustandsänderungen durch! Zeigen Sie die Gültigkeit des Gesetzes von BOYLE – MARIOTTE für Luft bei Zimmertemperatur!
2. Zeigen Sie durch isobare Zustandsänderung die Gültigkeit des Gesetzes von GAY – LUSSAC!

Grundlagen:

- Zustandsgleichung des idealen Gases
- isochore, isobare und isotherme Zustandsänderung
- 1. Hauptsatz der Wärmelehre

Der **Druck** p , das **Volumen** V und die **Temperatur** T (ϑ -Temperatur in Celsius) sind physikalische Größen, die den Zustand eines Körpers beschreiben. Man nennt sie deshalb **Zustandsgrößen** bzw. -variablen. Der Druck und die Temperatur sind sog. innere Zustandsvariable, da sie sich ausschließlich auf innere Eigenschaften des Systems beziehen. Äußere Zustandsgrößen, wie das Volumen werden durch die Umgebung bestimmt.

Druck und Temperatur sind innerhalb bestimmter Grenzen frei vorgebar. Liegen zwei Phasen im Gleichgewicht vor (z.B. Wasser und Wasserdampf), so können sich die Zustandsvariablen nur auf der Phasengrenzkurve (Dampfdruckkurve) bewegen. Für das Gleichgewicht zwischen allen drei Phasen existiert kein Freiheitsgrad, es gibt nur einen Zustand, den Tripelpunkt mit definierten Werten der Zustandsvariablen.

Zustandsänderungen sind besonders leicht überschaubar, wenn man eine der Größen konstant halten kann. Dabei unterscheidet man zwischen **isobaren** Zustandsänderungen ($p = \text{const.}$), **isochoren** Zustandsänderungen ($V = \text{const.}$) und **isothermen** Zustandsänderungen ($T = \text{const.}$). In einem einkomponentigen Gas liefert das Vorhandensein von zwei Freiheitsgraden, dass mit dem Festhalten einer Zustandsvariable aus p , T und V eine zweite variierbar und die jeweils dritte funktional abhängig sein muss. Für **isotherme Zustandsänderungen** von Gasen gilt nach **BOYLE und MARIOTTE** damit:

$$p \cdot V = \text{const.} = n \cdot R_m \cdot T$$

$$p(V) = n R_m T \cdot \frac{1}{V} \quad ,$$

während **isobare Zustandsänderungen** (Gesetz von **GAY – LUSSAC**) durch

$$V = V_0 (1 + \alpha_V \cdot \vartheta) = V_0 + V_0 \alpha_V \cdot \vartheta$$

und **isochore Zustandsänderungen** durch

$$p = p_0 (1 + \alpha_p \cdot \vartheta)$$

beschrieben werden (Gesetz von **AMONTONS** oder 2. Gesetz von **GAY – LUSSAC**), wobei das Gas bei der **Temperatur 0°C** unter dem **Druck p_0** steht und **das Volumen V_0** einnimmt! Hierbei ist α_V der **kubische Ausdehnungskoeffizient** und α_p der **Spannungskoeffizient** des Gases. Für ein ideales Gas sind beide Koeffizienten identisch:

$$\alpha_V = \alpha_p = \frac{1}{273.15} \text{ K}^{-1} = 0.00366 \text{ K}^{-1} .$$

Unabhängig von der speziellen Natur des Gases erhält man unter Verwendung der **molaren Gaskonstanten** R_m und der **Stoffmenge** n die **thermische Zustandsgleichung** für das **ideale Gas**:

$$p \cdot V = n \cdot R_m \cdot T$$

Unter Normalbedingungen mit $p_N = 101\,325\text{ Pa}$ und $T_N = 273.15\text{ K}$ gilt $V_N = V/n = 22,41 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3\text{ mol}^{-1}$, womit für die molare Gaskonstante $R_m = 8.314\text{ JK}^{-1}\text{ mol}^{-1}$ folgt.

Literatur:

Geschke, Physikalisches Praktikum:

2.0 Allgemeine Grundlagen – Zustandsänderungen und Phasenumwandlungen

Grimsehl, Lehrbuch der Physik – Band X:

11.4 Ausdehnung der Gase durch Wärme

12.1 Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Stroppe, Physik:

16.4 Die thermische Zustandsgleichung des idealen Gases

17.4 Anwendung des ersten Hauptsatzes auf spezielle Zustandsänderungen des idealen Gases

Testfragen:

1. Was verstehen Sie unter dem Modell des idealen Gases? An welche Gültigkeitsgrenzen ist das Modell gebunden?
2. Erläutern Sie die grundlegenden Zustandsänderungen (isochor, -bar, -therm, adiabatisch) für ein ideales Gas! Wie verhalten sich die Zustandsgrößen dabei? Was passiert mit der inneren Energie? Wird jeweils Wärme bzw. mechanische Energie mit der Umgebung ausgetauscht?
3. Was sind extensive und intensive Zustandsgrößen? Wie kann man aus extensiven Zustandsgrößen intensive Größen ableiten?

Hinweise zur experimentellen Durchführung:

Zu 1:

Die Gültigkeit der **thermische Zustandsgleichung** einer festen Luftmenge (**geschlossenes System**) wird bei **konstant gehaltener Temperatur** untersucht. Die Luft wird **komprimiert** bzw. **expandiert**. Der jeweilige Druck wird gemessen.

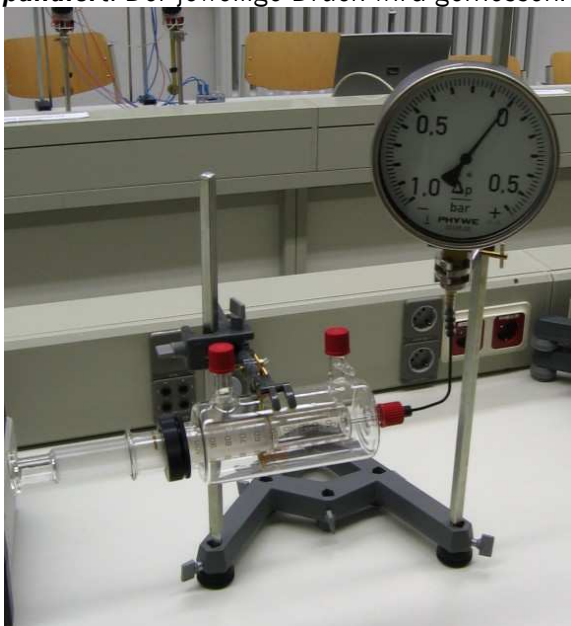


Abb. 1:

Versuchsanordnung zur **isothermen** Zustandsänderung

Machen Sie sich zu Beginn mit den **Betriebsanleitungen** des **Glasmantels**, des **Manometers**, des **Heizgerätes** und des **Temperaturmessgerätes** vertraut. Der Aufbau der Versuchsanordnung erfolgt nach Abb. 1. Der **Gasspritzenkolben** wird **leicht** mit Öl eingerieben und die **Gasspritze** in den **Glasmantel** eingesetzt. Stellen Sie ein **Anfangsvolumen** von $V_L = 50\text{ cm}^3$ ein. Achten Sie dabei insbesondere darauf, dass der Kolben nicht aus der Gasspritze herausrutscht! Schließen Sie das Manometer mit Hilfe des Adapters an.

Kontrollieren Sie zuerst, dass aus dem geschlossenen System durch **Kompression** und

Expansion keine Luft mehr **entweichen** bzw. **eindringen** kann. Beginnen Sie mit den Messungen nicht, bevor Sie sich von der **Dichtheit** des Systems überzeugt haben!

Messen Sie den **Umgebungsdruck** p_L und ordnen Sie diesen Druck der entsprechenden **Anzeige** auf dem **Manometer** zu, da sich diese **nicht** notwendigerweise auf dem Wert **Null** befinden muss.

Durch Verschieben des **Kolbens** in der **Gasspritze** wird die eingeschlossene Gasmenge jeweils in Schritten von 2 cm^3 **komprimiert** (bis 30 cm^3) und anschließend entsprechend bis max. 70 cm^3 **expandiert**. (Entspannen Sie nach Aufnahme eines Messpunktes die Gasspritze erst wieder, bevor Sie den nächsten Wert einstellen!) Sollte nach der Komprimierungs- oder Expansionsphase das Volumen um mehr als 3 cm^3 von 50 cm^3 abweichen, verwerfen Sie die Messreihe!

Tragen Sie jeweils die Werte für das **Volumen** und die **Druckänderung** in eine Tabelle ein.

Stellen Sie jeweils das Anfangsvolumen von 50 cm^3 neu ein! Wiederholen Sie die Kompression und Expansion je 2-mal.

Zu 2:

Die **thermische Zustandsgleichung** einer Luftmenge wird bei **konstant gehaltenem Druck** untersucht. Durch Erwärmung bei konstantem Druck wird die Temperatur ϑ variiert und das Volumen V gemessen.

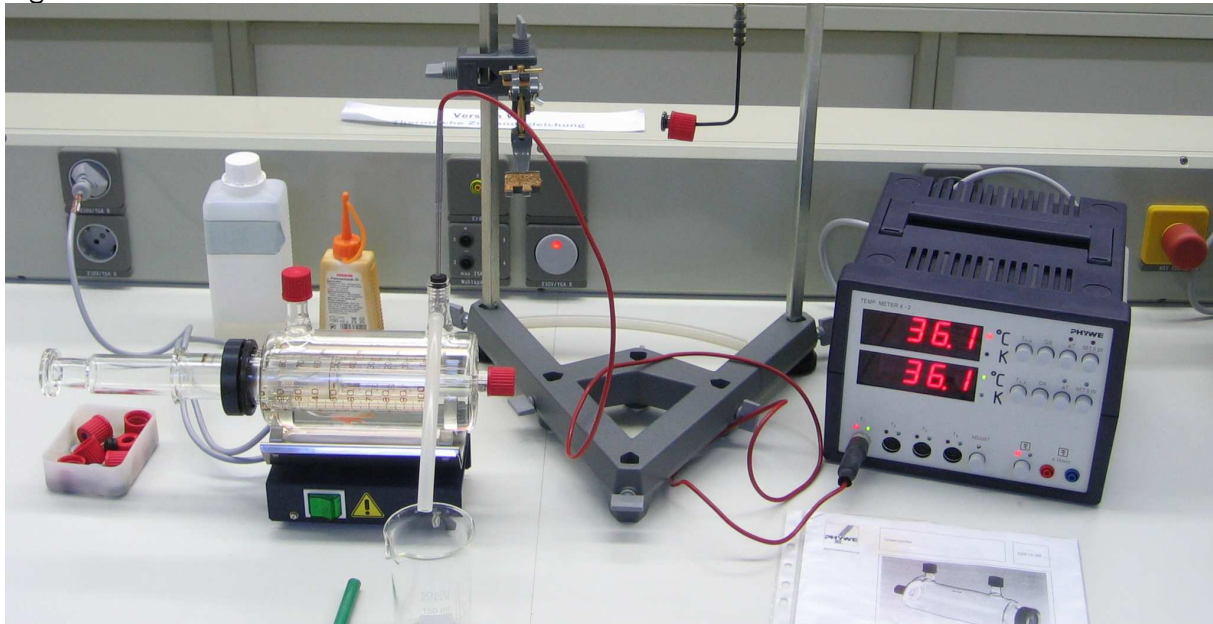


Abb. 2: Versuchsanordnung zur **isobaren** Zustandsänderung

Schalten Sie das Temperaturmessgerät ein.

Der Aufbau der Versuchsanordnung erfolgt nach Abb. 2 (Während des Aufbaus den Glasmantel erst mal in der Klemme lassen!). Stellen Sie das Anfangsvolumen auf **$V_L = 50 \text{ cm}^3$** ein. Schließen Sie den Gasspritzenstutzen durch eine Gummikappe (Blindtülle) und verschließen Sie dieses Ende des Glasmantels mit einer Kappe. Füllen Sie den Glasmantel soweit mit Siliconöl, dass die Gasspritze vollständig damit bedeckt ist, aber darüber noch genügend Platz ist, damit sich das Siliconöl bei der Erwärmung ausdehnen kann, ohne auszulaufen. Legen Sie das **Magnetührstäbchen** hinein. Schieben den Temperaturfühler durch eine durchstoßene Gummikappe und setzen diese in den rechten Schacht, sodass der Fühler die Temperatur in der Mitte des Heizbades messen kann. Verschließen den linken Schacht und versehen Sie den Anschluss am Thermometerschacht mit einem Gummischlauch, welchen Sie in ein Auffanggefäß leiten. Setzen Sie erst jetzt den Glasmantel auf das Heizbad.

Lesen Sie die **Anfangstemperatur** und das **Anfangsvolumen** der zu erwärmenden **Luftmenge** ab. Die Temperatur der Luftmenge kann nur indirekt mittels der Temperatur des Heizbades gemessen werden und ist damit eigentlich nur dann maßgebend für die Temperatur der Luftmenge in der Gasspritze, wenn sich Heizbad und Luft im thermischen Gleichgewicht befinden! Erwärmen Sie deshalb das Heizbad **langsam!** und bewegen Sie das Magnetührstäbchen ständig durch

Entlangfahren am Glasmantel mit dem Stabmagneten, um die Wärmemenge gleichmäßig auf die Gasspritze und damit auf die eingeschlossene Luft zu übertragen. Achten Sie darauf, dass der Glasmantel nicht vom Heizgerät rutscht! **Unterbrechen Sie die Wärmezufuhr regelmäßig**, um zu gewährleisten, dass sich die vom Heizgerät abgegebene Wärmemenge gleichmäßig und langsam auf die in der Gasspritze eingeschlossene Luft verteilt!

Messen Sie **pro Zunahme des Volumens um 1 cm^3** die **Temperatur** ϑ des Heizbades (max. 20 Messwerte). **Drehen** Sie dabei ab und zu den **Kolben** zur **Überwindung** der **Haftreibung** leicht, damit sich der Druck in der abgeschlossenen Luftmenge auf den Außendruck einstellen kann.

Brechen Sie das Experiment beim Überschreiten der **Temperatur von 100°C** ab!

Achten Sie darauf, dass kein Siliconöl auf die Heizfläche tropft, um eine Entzündung des Öls zu vermeiden!

Wiederholen Sie die Messreihe während des **Abkühlens** des Heizbades. Setzen Sie dazu den Glasmantel wieder in die Universalklemme am Stativ ein! Achten Sie auch jetzt darauf, das Heizbad häufig **umzurühren**.

Hinweise zur Auswertung der Messergebnisse:

Zu 1:

Berechnen Sie die Werte für den **absoluten Druck** $p = p_L + \Delta p$.

Ergänzen Sie Ihre **Tabelle** durch die Werte für den **absoluten Druck** sowie das **Produkt** aus **Druck** und **Volumen**. Stellen Sie für die Messreihe den **absoluten Druck** über dem **Volumen** für die **Kompression** und **Expansion** in einer gemeinsamen Kurve dar. Beginnen Sie bei den **Skalen** für das Volumen und den Druck jeweils mit dem Wert **Null**, um die **1/V-Abhängigkeit** des Druckes bei konstanter Temperatur besser erkennen zu können.

Passen Sie die Messreihe mit einer **potentiellen** Regressionskurve an!

Da sich die Messwerte nicht deutlich unterscheiden werden, tragen Sie die beiden Wiederholungen jeweils in ein neues Diagramm ein.

Diskutieren Sie die Anpassung! (Lage der Messpunkte auf der Kurve; Größe des Exponenten der Regressionskurve)

Stellen Sie weiterhin das **Produkt** aus **Druck** und **Volumen** über dem **Volumen** dar. Beginnen Sie auch hier bei den Skalen jeweils mit **Null**.

Bleibt das **Produkt** aus Volumen und Druck **konstant**?

Wenn nicht, **diskutieren** Sie **Ursachen** der Abweichungen!

Zu 2:

Stellen Sie die in einer **Tabelle** registrierten Werte in einem **Diagramm** in Form einer Abhängigkeit des **Volumens** V von der **Temperatur** ϑ (**in $^\circ\text{C}$!**) **getrennt** nach **Erwärmungs-** und **Abkühlungsphase** dar. Ermitteln Sie für die theoretisch zu erwartende lineare Beziehung zwischen dem Volumen und der Temperatur des Gases die **Regressionsgerade** sowohl für die Messreihe bei der **Erwärmung** als auch bei der **Abkühlung** des Gases.

Ermitteln Sie aus den **beiden Parametern** der Regressionsgeraden den kubischen **Ausdehnungskoeffizienten** α_V (einmal für die Erwärmungs- und einmal für die Abkühlungsphase). Beachten Sie dabei die Definition des **Zusammenhangs** zwischen dem **Volumens** V und der **Temperatur** ϑ bei isobarer Zustandsänderung **gemäß der Grundlagen!**

Tipp:

Stellen Sie das **Volumen** V über der **Temperatur** ϑ in $^\circ\text{C}$ dar. Beginnen Sie bei der **Darstellung** der Temperatur bei **0°C** . Gehen Sie bei der Bestimmung der Regressionsgeraden (mit Excel) in das **Dialogfenster**: „**Trendlinie formatieren**“ in das **Register** „**Optionen**“ und **aktivieren** neben „**Gleichung im Diagramm darstellen**“ auch „**Trend**“ soweit „**rückwärts**“, dass Sie das **Volumen** bei **0°C** auch im Diagramm ablesen können. Das **Verhältnis** aus dem **Anstieg** der Regressionsgeraden und dem ermittelten **Volumen** V_0 , dass das Gas bei 0°C erreichen würde, liefert Ihnen den gewünschten **Ausdehnungskoeffizienten**.

Diskutieren Sie Unterschiede zwischen beiden Messreihen!

Diskutieren Sie Gründe für mögliche Abweichungen vom erwarteten linearen Zusammenhang und von Abweichungen des experimentell ermittelten **kubischen Ausdehnungskoeffizienten** von dem des idealen Gases.

Versuchszubehör:

- Manometer –1.0 bis 0.6 bar, Adapter: Manometer – Glasmantelsystem, Zimmerbarometer
- Glasmantel, Gasspritze 100 ml
- Stativfuß, Stativstange, Doppelmuffe, Universalklemme, Universalklemme mit Gelenk
- Temperaturmessgerät, Temperaturtauchsonde
- Heizgerät
- Stabmagnet, Magnetrührstäbchen
- Becherglas, Gummischlauch, Blindtüllen
- Siliconöl, Gleitöl

Nordhausen, den 01.03.11