

# Zustandsgleichung idealer Gase mit Cobra SMARTsense (Gasgesetze: Gay-Lussac, Amontons, Boyle)



In diesem Experiment wird die Gültigkeit der allgemeinen Gasgesetze bestätigt. Dabei werden jeweils gleiche Luftvolumina unter Veränderung der äußeren Einflüsse wie Druck oder Temperatur untersucht

Physik → Wärmelehre / Thermodynamik → Kinetische Gastheorie & Gasgesetze

Chemie → Allgemeine Chemie → Stöchiometrie

Chemie → Physikalische Chemie → Gasgesetze



Schwierigkeitsgrad

mittel



Gruppengröße

-



Vorbereitungszeit

20 Minuten



Durchführungszeit

45+ Minuten

This content can also be found online at:



<http://localhost:1337/c/66a756549d46c200021f954f>

PHYWE



# Allgemeine Informationen

## Anwendung

PHYWE



Versuchsaufbau

Dieser Versuchsaufbau kombiniert die Untersuchung der Grundlagen der von Robert Boyle, Jacques Charles, Amadeo Avogadro, Guillaume Amontons und Joseph-Louis Gay-Lussac postulierten Gasgesetze. Diese drei beschriebenen Gasgesetze definieren die modernen Gesetze der Thermodynamik.

Die Grundlage dieser Gasgesetze ist das ideale Gasgesetz. Dieses beschreibt eine Gleichung, die den Druck  $p$ , Temperatur  $T$ , Volumen  $V$  und Stoffmenge  $n$  in Beziehung zueinander setzt.

## Sonstige Informationen (1/2)

PHYWE

### Vorwissen



Die Studenten müssen mit Einheiten wie Druck, Temperatur, Masse und Volumen vertraut sein und Berechnungen damit durchführen können. Darüber hinaus müssen sie mit der allgemeinen guten Laborpraxis und den allgemeinen Sicherheitsvorschriften für Labore vertraut sein.

### Prinzip



Der Zustand eines Gases wird durch Temperatur, Druck und Stoffmenge bestimmt. Für den Grenzfall der idealen Gase sind diese Zustandsgrößen über das ideale Gasgesetz miteinander verknüpft. Für eine Zustandsänderung unter isobaren Bedingungen geht diese Gleichung in das erste Gesetz von Gay-Lussac über, während sie unter isochoren Bedingungen in das Gesetz von Amontou und bei isothermer Prozessführung in das Gesetz von Boyle und Mariotte übergeht.

## Sonstige Informationen (2/2)

PHYWE

### Lernziel



In diesem Experiment machen sich die Studierenden mit den verschiedenen Verhaltensweisen von Gasen vertraut und vertiefen ihr Wissen über physikalische Gleichungen. Indem sie die verschiedenen Versuche mit dem gleichen Luftvolumen unter Veränderung der äußeren Einflüsse durchführen, lernen sie die Zusammenhänge von Druck, Temperatur und Volumen kennen.

### Aufgaben



1. Experimentelle Untersuchung der Gültigkeit der drei Gasgesetze für eine konstante Gasmenge (Luft).
2. Berechnung der universellen Gaskonstante anhand der erhaltenen Beziehung.
3. Berechnung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten anhand der Ergebnisse von Messungen unter isobaren Bedingungen.
4. Berechnung des thermischen Spannungskoeffizienten anhand der Ergebnisse von Messungen unter isochoren Bedingungen.

## Theorie (1/4) - Gasgesetze

PHYWE

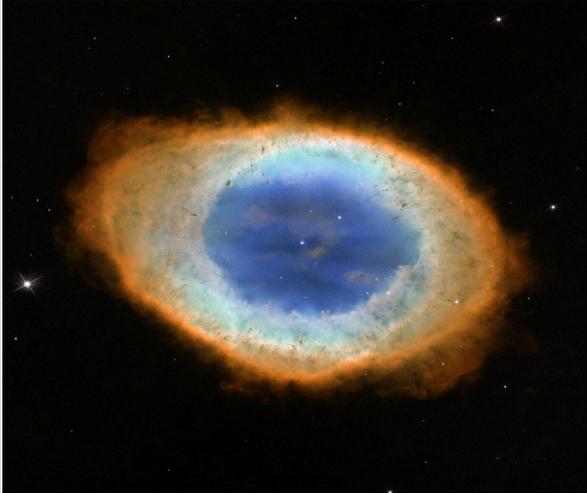


Abb. 1: Gase gibt es auf jedem Planeten im Universum

Diese drei Experimente veranschaulichen das ideale Gasgesetz. Trotz zahlreicher Einschränkungen ist dieses Gesetz eine gute Annäherung an das Verhalten vieler Gase unter vielen gegebenen Bedingungen.

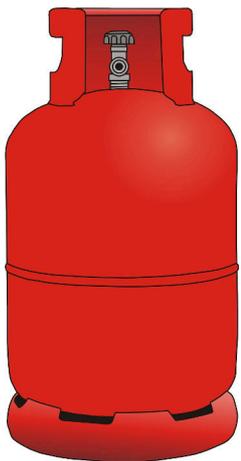
Das ideale Gasgesetz beschreibt eine Gleichung, die den Druck  $p$ , die Temperatur  $T$ , das Volumen  $V$  und die Stoffmenge  $n$  enthält. Es ist definiert als

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

mit der Avogadro- oder idealen Gaskonstante  $R$ .

## Theorie (2/4) - Gesetz von Boyle

PHYWE



Gasflasche

Das Gesetz von Boyle

$$p \cdot V = \text{konstant}$$

besagt, dass der Druck eines idealen Gases bei konstanter Temperatur umgekehrt proportional zum Volumen ist. Das bedeutet, wenn der Druck  $p$  steigt, verringert sich das Volumen  $V$  und umgekehrt. Anders ausgedrückt:

$$p \sim 1/V$$

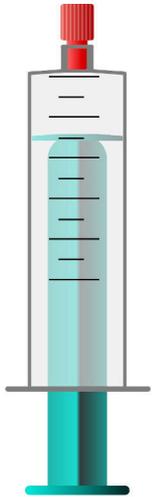
Die erklärt sich aus der Formel für das ideale Gasgesetz

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

da bei dem Versuch die Temperatur  $T$  und die Stoffmenge  $n$  konstant bleibt.

## Theorie (3/4) - Gesetz von Gay-Lussac

PHYWE



Volumen in Spritze

Das Gesetz von Gay-Lussac gilt unter der Bedingung, dass der Druck während der Messung konstant bleibt. Diese Beziehung wird mathematisch ausgedrückt als:  $V/T = \textit{konstant}$

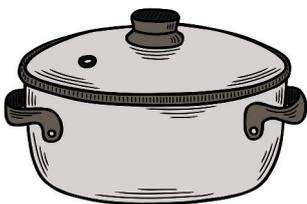
Das Gesetz von Gay-Lussac  $V \sim T$  besagt, dass das Volumen eines idealen Gases bei konstantem Druck direkt proportional zur Temperatur ist

Das bedeutet, wenn die Temperatur eines Gases steigt, erhöht sich das Volumen, sofern der Druck konstant bleibt.

Das Gesetz von Gay-Lussac findet Anwendung in Druckbehältern, Klimaanlage, Luftballons und bei der Analyse von chemischen Reaktionen und meteorologischen Bedingungen.

## Theorie (4/4) - Gesetz von Amontons

PHYWE



Druck im Kochtopf

Das Gesetz von Amontons gilt unter der Bedingung, dass das Volumen während der Messung konstant bleibt. Diese Beziehung wird mathematisch ausgedrückt als:

$$p/T = \textit{konstant}, \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Das Gesetz von Amontons  $p \sim T$  besagt, dass der Druck eines idealen Gases bei konstantem Volumen direkt proportional zur Temperatur ist.

Unterschied zum Gasgesetz von Gay-Lussac: Das Gesetz von Amontons (manchmal auch als 2. Gesetz von Gay-Lussac bezeichnet) besagt, der Druck eines Gases steigt, wenn die Temperatur erhöht wird, solange das Volumen konstant bleibt.

## Sicherheitshinweise

PHYWE



- Beim Umgang mit Chemikalien sollten Sie geeignete Schutzhandschuhe, eine Schutzbrille und geeignete Kleidung tragen.
- Für dieses Experiment gelten die allgemeinen Anweisungen für sicheres Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht.
- Für die H- und P-Sätze konsultieren Sie bitte das Sicherheitsdatenblatt der jeweiligen Chemikalie.

## Material

Position	Material	Art.-Nr.	Menge
1	Set Gasgesetze mit Glasmantel und Cobra SMARTsense	43022-00	1
2	Leistungssteller, 230 Volt, max. 2990 Watt	32288-93	1

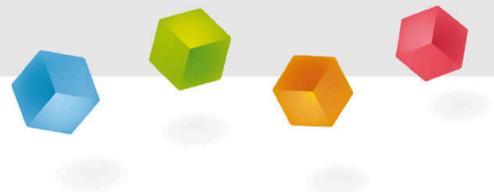
## Zusätzliches Material

PHYWE

<u>Position</u>	<u>Material</u>	<u>Menge</u>
1	PC mit Windows XP® oder höher	1

PHYWE

## Aufbau und Durchführung



## Allgemeiner Versuchsaufbau (1/4)

PHYWE

- Befestigen Sie die beiden kurzen Stativstangen in die mittleren Löchern des Stativ Fußes DEMO.
- Bringen Sie anschließend die Grundplatte wie in Abb. 1 zu sehen ist an.
- Befestigen Sie an der Rückseite die längere Stativstange waagrecht mit zwei Doppelmuffen (Abb. 1).



Abb. 1: Aufbau Stativfuß

## Allgemeiner Versuchsaufbau (2/4)

PHYWE

- Stellen Sie das Heizgerät für das Glasmantelsystem auf die Grundplatte.
- Befestigen Sie zwei weitere Doppelmuffen jeweils am oberen Teil der beiden kurzen Stativstangen (Abb. 2).



Abb. 2: Aufbau komplettes Stativ

## Allgemeiner Versuchsaufbau (3/4)

PHYWE

- Befestigen Sie die beiden Universalklemmen an den beiden Doppelmuffen, um den Glasmantel mit der Gasspritze direkt über dem Heizgerät zu fixieren.
- Verwenden Sie eine der beiden Schlauchklemmen, um ein kurzes Stück Schlauch [so kurz wie möglich, so lang wie nötig] an der Spitze der Gasspritze zu befestigen (Abb. 3).

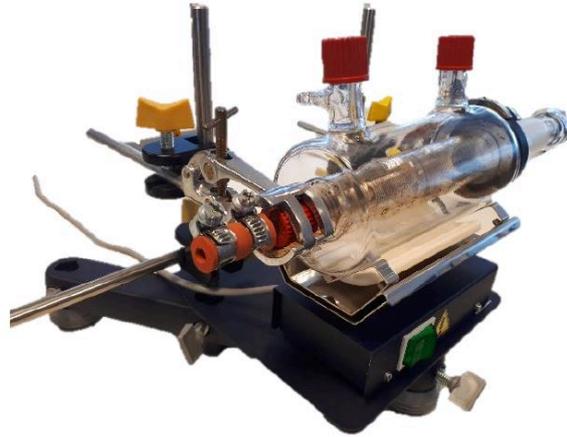


Abb. 3: Vollständiger Versuchsaufbau

## Allgemeiner Versuchsaufbau (4/4)

PHYWE

- Befestigen Sie den Cobra SMARTsense – Absolute Pressure mit einer zweiten Schlauchschelle am Rohr der Gasspritze wie in der roten Box in Abbildung 4 zu sehen ist.

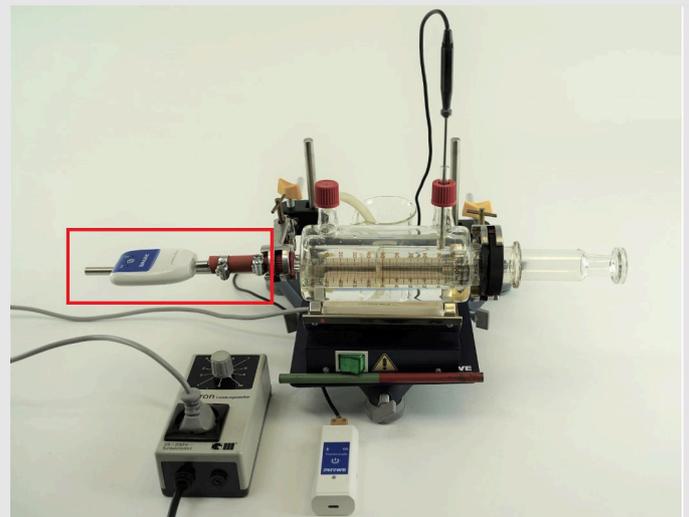


Abb. 4: Anschluß des Drucksensors

PHYWE

# Gesetz von Boyle



## Aufbau (1/3) - Gesetz von Boyle

PHYWE

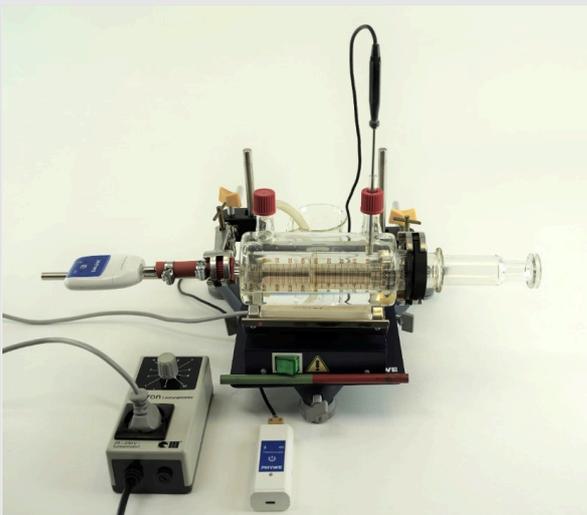


Abb. 5: Versuchsaufbau

In diesem Versuch wird die Druck-Volumen-Korrelation bei konstanter Temperatur untersucht.

- Bauen Sie das Experiment wie in Abb. 5 gezeigt auf und verbinden Sie das Cobra SMARTsense Thermoelement mit dem Temperatursfühler.
- Starten Sie die Software "measureLAB" auf Ihrem PC und wählen Sie das Experiment aus ("PHYWE Versuche", suchen Sie nach "P2320167", und klicken Sie auf den Ordner, der dieses Experiment enthält). Alle erforderlichen Voreinstellungen werden geladen.
- Verbinden Sie (Bluetooth oder USB) den Cobra SMARTsense Thermocouple mit der measureLAB.

## Aufbau (2/3) - Gesetz von Boyle

PHYWE

- Füllen Sie den Glasmantel über den Trichter mit Wasser und setzen Sie einen Magnetrührstab ein. Während des Versuches muss die Temperatur konstant sein.
- Schließen Sie einen Silikonschlauch an den Schlauchnippel der oberen Rohrhülse des Mantels an, damit die Badflüssigkeit, die sich bei Erwärmung ausdehnt, durch den Schlauch in ein Becherglas fließen kann.
- Setzen Sie das Thermoelement ein und platzieren Sie es so nah wie möglich an der Spritze.

## Aufbau (3/3) - Gesetz von Boyle

PHYWE

- Stellen Sie das Anfangsvolumen der Gasspritze auf genau 50 ml ein.
- Stellen Sie sicher, dass die Schläuche sowohl an der Düse der Gasspritze als auch am Reduzierstück mit Schlauchschellen gesichert sind.
- Bevor Sie beginnen, müssen Sie einen berechneten Kanal für das Volumen mit dem erwarteten Maximum von 65, dem erwarteten Minimum von 50 und dem Berechnungsterm  $V = \text{index} + 50$  erstellen, indem Sie auf  $\sqrt{x}$  und  $+$  klicken.

## Durchführung (1/2) - Gesetz von Boyle

PHYWE

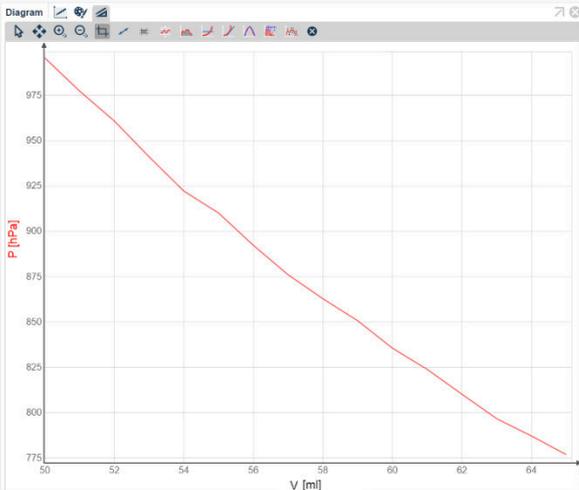


Abb. 6: Korrelation zwischen dem Volumen und dem Druck bei konstanten Temperaturen

- Starten Sie die Messung mit .
- Anschließend die eingeschlossene Luftmenge in 1-ml-Schritten auf ein Volumen von etwa 65 ml ausdehnen.
- Notieren Sie das Volumen für jeden Schritt, indem Sie auf  klicken.
- Indem Sie den Magnetrührstab (im Glasmantel) mit Hilfe eines Stabmagneten bewegen, sorgen Sie für eine konstante Temperatur.

## Durchführung (2/2) - Gesetz von Boyle

PHYWE

- Beenden Sie die Messung durch Drücken von .
- Nach Beendigung der Messung zeigt die measureLAB-Software ein Diagramm an, das die Korrelation zwischen Volumen und Druck bei konstanter Temperatur darstellt.
- Um den Druck im Verhältnis zum reziproken Volumen darzustellen, klicken Sie auf das Symbol , um den Datenpool zu öffnen
- Nun können Sie einige Kanaländerungen vornehmen, indem Sie auf  klicken. Ziehen Sie zunächst Ihre Messdaten (Volumen) per Drag & Drop in die Messungen und dann die Daten in Ihre Formel.
- Gehen Sie zurück zum Datenpool  und wählen Sie die Messdaten für den Druck und den von Ihnen geänderten Kanal pVT. Wenn Sie ausgewählt sind, wählen Sie die Option "Diagramm" und die Software präsentiert Ihnen das Diagramm, das die Korrelation zwischen Druck p und der Größe 1/V zeigt.
- Damit können Sie das Programm die Steigung anzeigen lassen.

PHYWE



# Gesetz von Gay-Lussac

## Aufbau - Gesetz von Gay-Lussac

PHYWE

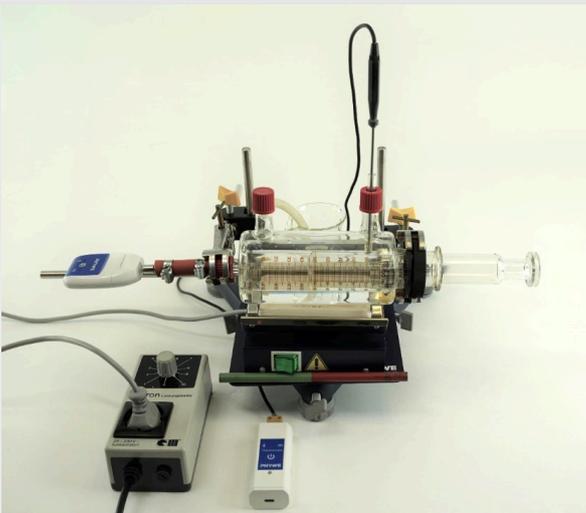


Abb. 5: Versuchsaufbau

In diesem Versuch wird die Volumen-Temperatur-Korrelation bei konstantem Druck untersucht.

- Bauen Sie das Experiment wie in Abb. 5 gezeigt auf (analog dem Gesetz von Boyle). Verbinden Sie das Cobra SMARTsense Thermoelement mit dem Temperaturfühler.
- Starten Sie die Software "measureLAB" auf Ihrem PC und wählen Sie das Experiment aus ("PHYWE Versuche", suchen Sie nach "P2320167", und klicken Sie auf den Ordner, der dieses Experiment enthält). Alle erforderlichen Voreinstellungen werden geladen.
- Verbinden Sie (Bluetooth oder USB) den Cobra SMARTsense Thermocouple mit der measureLAB.

## Durchführung (1/2) - Gesetz von Gay-Lussac

- Starten Sie die Messung in MeasureLAB mit .
- Notieren Sie die Anfangstemperatur, indem Sie auf  klicken.
- Stellen Sie anschließend das Heizgerät mit dem Leistungsregler auf langsames Heizen ein.
- Mischen Sie das Wasser im Glasmantel, indem Sie den Magnetrührstab mit Hilfe eines Stabmagneten bewegen und den Druckausgleich in der Gasspritze durch Drehen des Kolbens erleichtern.
- Nach jeder Erhöhung des Volumens um 1 ml wird der nächste Wert genommen.
- Nachdem das Gasvolumen 60 ml erreicht hat ist das Heizgerät auszuschalten und die Messung durch Drücken von  zu beenden.

## Durchführung (2/2) - Gesetz von Gay Lussac

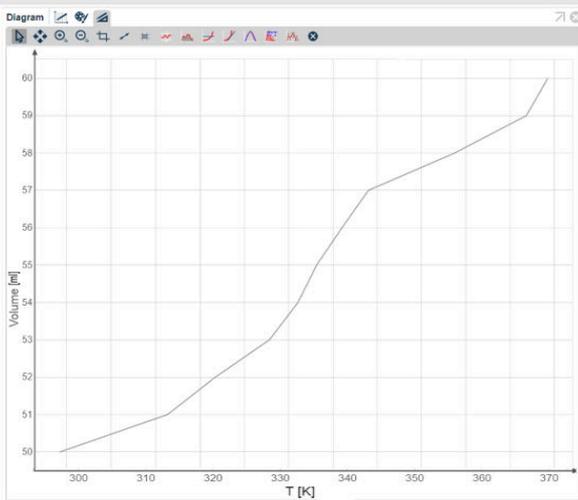


Abb. 7: Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur bei konstantem Druck

- Um das Diagramm der Menge  $pV/T$  gegen das Volumen zu erhalten, gehen Sie zum Datenpool  und klicken Sie auf .
- Nun können Sie einige Kanaländerungen vornehmen, indem Sie die Messdaten für Volumen, Temperatur und Druck per Drag & Drop in die Messungen ziehen und anschließend die Daten in die Formel.
- Gehen Sie zum Datenpool und wählen Sie die Messdaten für das Volumen und Ihren geänderten Kanal  $pV/T$  aus. Wenn Sie ausgewählt sind, wählen Sie die Option "Diagramm" und die Software wird Ihnen das gewünschte Diagramm präsentieren.

PHYWE



# Gesetz von Amontons

## Aufbau - Gesetz von Amontons

PHYWE

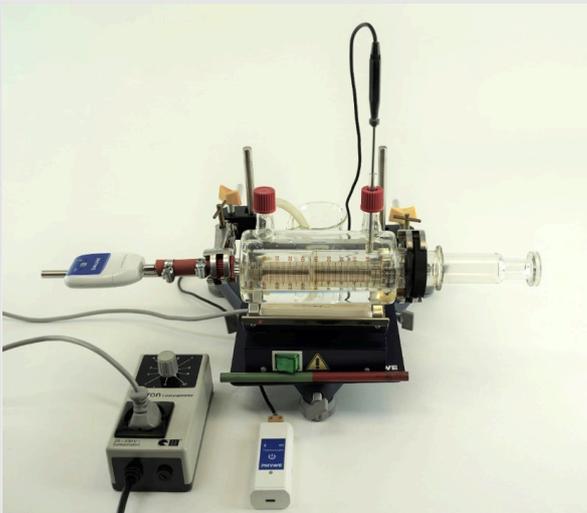


Abb. 5: Versuchsaufbau

In diesem Versuch wird die Druck-Temperatur-Korrelation bei konstantem Volumen untersucht.

- Bauen Sie das Experiment wie in Abb. 5 gezeigt auf (analog dem Gesetz von Boyle). Verbinden Sie das Cobra SMARTsense Thermoelement mit dem Temperaturfühler.
- Starten Sie die Software "measureLAB" auf Ihrem Computer und wählen Sie das Experiment aus ("PHYWE Versuche", suchen Sie nach "P2320167", und klicken Sie auf den Ordner, der dieses Experiment enthält). Alle erforderlichen Voreinstellungen werden geladen.
- Verbinden Sie (Bluetooth oder USB) den Cobra SMARTsense Thermocouple mit der measureLAB.

## Durchführung (1/2) - Gesetz von Amontons

- Starten Sie die Messung mit .
- Notieren Sie den Druck der bei Anfangstemperatur herrscht, indem Sie auf  klicken
- Stellen Sie anschließend das Heizgerät mit dem Leistungsregler auf langsames Heizen ein.
- Mischen Sie das Wasser im Glasmantel, indem Sie den Magnetrührstab mit Hilfe eines Stabmagneten bewegen und den Druckausgleich in der Gasspritze durch Drehen des Kolbens erleichtern.
- Drücken Sie nach jeder Temperaturerhöhung um 5 K den Kolben zügig in die Gasspritze, bis das Gasvolumen auf das Ausgangsvolumen  $V = 50 \text{ ml}$  komprimiert ist und übernehmen Sie den nächsten Wert durch Klicken auf .
- Nach Erreichen einer Temperatur von ca. 370 K oder bei deutlichem Luftverlust während der Kompression ist das Heizgerät auszuschalten und die Messung durch Drücken von  abzubrechen.

## Durchführung (2/2) - Gesetz von Amontons

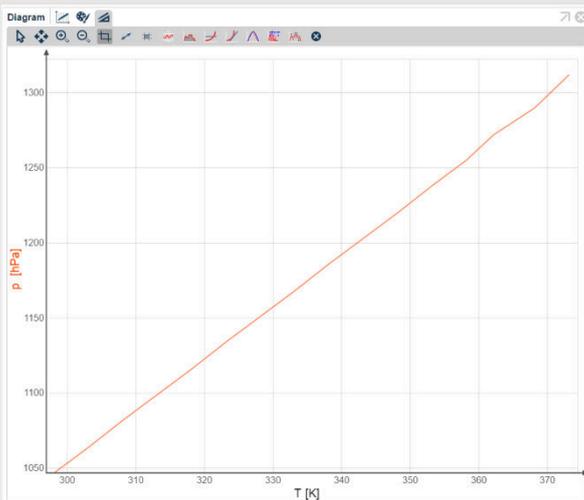


Abb. 8: Abhängigkeit des Drucks von der Temperatur bei konstantem Volumen

- Um die Achsendarstellung des Graphen aus Abb. 8 in  $pV/T$  gegen  $T/V$  zu ändern, gehen Sie zum Datenpool  und klicken Sie auf .
- Jetzt können Sie einige Kanaländerungen vornehmen, indem Sie die Messdaten für  $V$ ,  $T$  und  $p$  per Drag & Drop in die Messungen ziehen. Ziehen Sie anschließend die Daten per Drag & Drop in die Formel.
- Gehen Sie zum Datenpool  und wählen Sie die Messdaten für die Temperatur und Ihren geänderten Kanal  $pV/T$  aus. Wenn Sie ausgewählt sind, wählen Sie die Option "Diagramm" und die Software wird Ihnen das gewünschte Diagramm präsentieren.

PHYWE

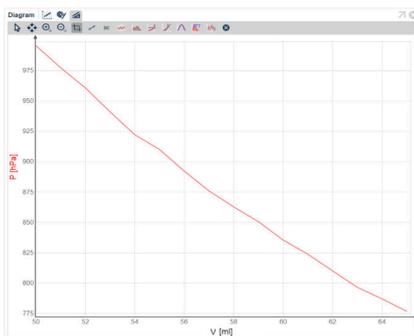
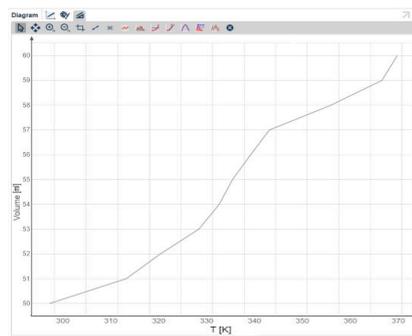
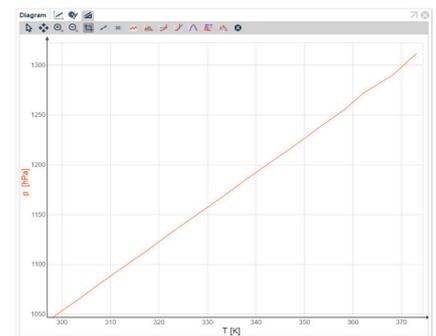
## Auswertung



## Auswertung (1/13)

PHYWE

## Ergebnisse

Gesetz von Boyle:  $p \sim 1/V$ Gesetz von Gay-Lussac:  $V \sim T$ Gesetz von Amontons:  $p \sim T$ 

Wie die Untersuchungen zeigen, gilt zwischen den jeweiligen äußeren Zustandsgrößen Druck, Temperatur und Volumen ein linearer Zusammenhang analog den drei Gasgesetzen.

## Auswertung (2/13)

PHYWE

Der Zustand eines Gases ist eine Funktion der Zustandsgrößen Temperatur  $T$ , Druck  $p$  und die Menge der Substanz  $n$ , die sich gegenseitig bedingen. So wird die Abhängigkeit des Drucks von den Variablen Temperatur, Volumen und Menge des Stoffes durch das Gesamtdifferential beschrieben.

$$dV = \left(\frac{\delta V}{\delta T}\right)_{p,n} dT + \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_{T,n} dp + \left(\frac{\delta V}{\delta n}\right)_{T,V} dn \quad (1.1)$$

Analog gilt für die Änderung des Drucks mit  $T$ ,  $V$  und  $n$ :

$$dp = \left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_{V,n} dT + \left(\frac{\delta p}{\delta V}\right)_{T,n} dV + \left(\frac{\delta p}{\delta n}\right)_{T,V} dn \quad (1.2)$$

## Auswertung (3/13)

PHYWE

Diese Beziehung vereinfacht sich für eine bestimmte Stoffmenge ( $n = \text{const}$ ,  $dn = 0$ ; eingeschlossene Gasmenge in der Gasspritze) und isothermische Zustandsänderung ( $T = \text{const}$ ,  $dT = 0$ ) an

$$dV = \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_{T,n} dp \quad (2.1) \quad \text{und} \quad dp = \left(\frac{\delta p}{\delta V}\right)_{T,n} dV \quad (2.2)$$

Der partielle Differentialquotient  $(\delta V / \delta p)_{T,n}$  bzw.  $(\delta p / \delta V)_{T,n}$  entspricht geometrisch der Steigung einer Tangente an die Funktion  $V = f(p)$  oder  $p = f(V)$  und charakterisiert somit die gegenseitige Abhängigkeit von Druck und Volumen. Der Grad dieser Abhängigkeit wird durch das Ausgangsvolumen oder den Ausgangsdruck bestimmt. Man definiert also den kubischen Kompressibilitätskoeffizienten, indem man ihn in Beziehung setzt zu  $V$  oder  $V_0$  unter  $T_0 = 273.15 \text{ K}$ .

$$X_0 = \frac{1}{V_0} \left(\frac{\delta V}{\delta p}\right)_{T,n} \quad (3)$$

## Auswertung (4/13)

PHYWE

Der partielle Differentialquotient  $(\delta p / \delta T)_{V, n}$  entspricht geometrisch der Steigung einer Tangente an die Funktion  $p = f(T)$  und charakterisiert die Abhängigkeit von  $p$  von  $T$ . Das Ausmaß dieser Abhängigkeit wird durch den Ausgangsdruck bestimmt. Daher definiert man den thermischen Spannungskoeffizienten  $\beta_0$  als Maß für die Temperaturabhängigkeit, indem man ihn mit  $p$  oder  $p_0$  referenziert bei  $T_0 = 273.15\text{K}$

$$\beta_0 = \frac{1}{V_0} \frac{\delta p}{\delta T}_{p,n} \quad (4)$$

Der partielle Differentialquotient  $(\delta V / \delta T)_{p, n}$  entspricht geometrisch der Steigung einer Tangente an die Funktion  $V = f(T)$  und charakterisiert somit die gegenseitige Abhängigkeit von Volumen und Temperatur. Das Ausmaß dieser Abhängigkeit wird durch das Ausgangsvolumen bestimmt. Der Wärmekoeffizient  $y_0$  der Ausdehnung wird daher als Maß für die Temperaturabhängigkeit des Volumens definiert, indem man es in Bezug setzt zu  $V$  oder  $V_0$  unter  $T_0 = 273.15\text{K}$ .

$$y_0 = \frac{1}{V_0} \left( \frac{\delta V}{\delta T} \right)_{p,n} \quad (5)$$

## Auswertung (5/13)

PHYWE

Für den Grenzfall eines idealen Gases (hinreichend niedrige Drücke, hinreichend hohe Temperaturen) ist die Korrespondenz zwischen den Zustandsgrößen  $p, V, T$  und  $n$  durch das ideale Gasgesetz beschrieben:

$$pV = nRT \quad (6)$$

mit  $R$  als die Universelle Gaskonstante.

Für den Fall einer konstanten Stoffmenge und einer isothermen Prozessführung geht diese Gleichung in die folgenden Gleichungen über:

$$pV = \text{const.} \quad (6.1) \quad \text{und} \quad p = \text{const.} \quad (6.2)$$

Nach dieser von Boyle und Mariotte empirisch ermittelten Korrelation geht eine Druckerhöhung mit einer Volumenabnahme einher und umgekehrt.

## Auswertung (6/13)

PHYWE

Die grafische Darstellung der Funktionen  $V = f(p)$  oder  $p = f(V)$  Im Gegensatz dazu ergibt die Darstellung des Drucks eine Hyperbel.  $p$  gegen das reziproke Volumen  $1/V$  ergibt sich eine gerade Linie, bei der  $p = 0$  unter  $1/V$ . Aus der Steigung dieser linearen Beziehungen,

$$\left(\frac{\delta p}{\delta v^{-1}}\right)_{T,n} = nRT(7)$$

ist es möglich, die Gaskonstante zu bestimmen  $R$  experimentell, wenn die eingeschlossene konstante Menge an Luft  $n$  ist bekannt. Dies ist gleich dem Quotienten aus dem Volumen  $V$  und das molare Volumen  $V_m$ ,  $n = \frac{V}{V_m}$  (8), die lautet  $V_0 = 22.414l \cdot mol^{-1}$  unter  $T_0 = 273.15K$  und  $p_0 = 1013.25hPa$  unter Standardbedingungen.

## Auswertung (7/13)

PHYWE

Ein Volumen gemessen an  $p$  und  $T$  wird daher zunächst auf diese Bedingungen reduziert, indem die Beziehung aus (6) verwendet wird:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{pV}{T} (9)$$

Für den Grenzfall eines idealen Gases (ausreichend niedriger Druck, ausreichend hohe Temperatur) ergibt sich die Integration einer Differentialgleichung aus (1.2) und (4), wobei  $\beta_0 = \text{const.}$ , ergibt sich

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p}{T} (10.1)$$

und

$$p = \text{const. } T$$

## Auswertung (8/13)

PHYWE

Nach diesem von Charles und Amontons entdeckten Zusammenhang ergibt die grafische Darstellung des Drucks in Abhängigkeit von der Temperatur eine ansteigende Gerade, wobei  $p = 0$  unter  $T = 0$ .

Aus (4) und dem idealen Gasgesetz (6) ergibt sich für die Steigung dieser linearen Beziehungen Folgendes

$$\left(\frac{\delta p}{\delta T}\right)_{V,n} = p_0 \beta_0 = \frac{nR}{V} \quad (11)$$

Daraus ergibt sich der thermische Spannungskoeffizient  $\beta_0$  und die universelle Gaskonstante  $R$  kann bei bekanntem Anfangsdruck bestimmt werden  $p_0$  und eine bekannte Menge eines Stoffes  $n$ . Die beigefügte konstante Menge an Stoffen  $n$  ist gleich dem Quotienten aus dem Volumen  $V$  und das molare Volumen  $V_m$ .

## Auswertung (9/13)

PHYWE

Für den Grenzfall eines idealen Gases (ausreichend niedriger Druck, ausreichend hohe Temperatur) ergibt sich die Integration einer Differentialgleichung aus (1.2) und (5), wobei  $y_0 = \text{konstant}$ , ergibt sich

$$\frac{V_0}{T_0} = \frac{V}{T} \quad (12.1) \text{ und } V = \text{const. } T \quad (12.2)$$

Nach dieser von Gay-Lussac entdeckten Korrelation ergibt die grafische Darstellung des Volumens in Abhängigkeit von der Temperatur eine verlaufende Gerade, bei der  $V = 0$  für  $T = 0$ . Aus (5) und dem idealen Gasgesetz (6) ergibt sich für die Steigung dieser linearen Beziehungen Folgendes:

$$\left(\frac{\delta V}{\delta T}\right) = V_0 \gamma_0 = \frac{nR}{p} \quad (13)$$

Daraus ergibt sich der thermische Ausdehnungskoeffizient  $\gamma_0$  und die universelle Gaskonstante  $R$  sind bei bekanntem Ausgangsvolumen experimentell zugänglich  $V_0$  und einer bekannten Menge der Substanz  $n$ .

## Auswertung (10/13)

PHYWE

### Daten und Ergebnisse

Die theoretischen Werte für ein ideales Gas sind

$$R_{lit.} = 8.31441 Nm \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1} = J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$$

$$\gamma_{0,lit.} = 3.661 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

$$\beta_{0,lit.} = 3.661 \cdot 10^{-3} K^{-1}$$

## Auswertung (11/13)

PHYWE

### 1. Boyle und Mariotte's Gesetz

Die im ersten Versuch gewonnenen Daten bestätigen die Gültigkeit des Gesetzes von Boyle und Mariotte. Anhand der Steigung, die für  $n = 2.086$  und  $(T = 295.15 K, (\delta p / \delta V^{-1})_{T,n} = 4.6464 kPa / m^{-3} = 4.6464 Nm)$  der linearisierten Korrelation zwischen  $p$  und  $1/V$  kann die universelle Gaskonstante wie folgt berechnet werden  $R = 7.547 Nm \cdot K^{-1}$ .

Die Abweichung vom Literaturwert ist auf die unvermeidliche mangelnde Gasdichtheit bei zunehmender Abweichung vom Atmosphärendruck durch Kompression oder Expansion zurückzuführen, wobei der Zustand  $dn = 0$  verletzt wird und die beobachtete Steigung  $(\delta p / \delta V^{-1})_T$  im Vergleich zu dem mit einer konstanten Stoffmenge messbaren Wert vermindert ist.

## Auswertung (12/13)

PHYWE

### 2. Gay-Lussac's Gesetz

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Volumen und Temperatur bei einer konstanten Gasmenge von  $n = 2.23 \text{ mmol}$ , berechnet nach den Beziehungen (8) und (9), bestätigt die Gültigkeit des ersten Gay-Lussac-Gesetzes mit einer linearen Beziehung.

Aus der entsprechenden Steigung  $(\delta V / \delta T)_{p,n} = 0.18 \text{ ml/K}$  und für das Ausgangsvolumen  $V_0 = 50 \text{ ml}$  erhält man folgende Werte für die universelle Gaskonstante  $R$  und der Wärmeausdehnungskoeffizient  $\gamma_0$ .

$$R_{exp} = 8.07174 \text{ Nm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\gamma_{0,exp} = 3.04 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

## Auswertung (13/13)

PHYWE

### 3. Amontonsches Gesetz

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Druck und Temperatur bei einer konstanten Gasmenge von , berechnet nach den Beziehungen (8) und (9), bestätigt die Gültigkeit des Charles'schen (Amontons'schen) Gesetzes mit der im dritten Versuch nachgewiesenen linearen Beziehung.

Aus der entsprechenden Steigung  $(\delta p / \delta T)_{V,n} = 3.72 \text{ hPa/K}$  und für den Anfangsdruck  $p_0 = 1002.2 \text{ hPa}$  erhält man folgende Werte für die universelle Gaskonstante  $R$  und der Koeffizient der thermischen Spannung  $\beta_0$ .

$$R_{exp} = 8.34 \text{ Nm} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\beta_{0,exp} = 3.71 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$