

## Ideales Gas – Gasgesetze



Bildquelle: <https://www.pexels.com/de-de/foto/schwarzer-schaltwerk-296848/>

Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungsniveau	Durchführungsniveau	Vorbereitung
Sek I	Thermodynamik	Ideales Gas	•	•	5 Min.

### Aufgabenstellung

Temperatur, Volumen und Druck eines Gases werden gleichzeitig gemessen, um zu zeigen, dass sie sich gemäß dem idealen Gasgesetz ändern. Auch Sonderfälle mit konstantem Volumen und konstanter Temperatur werden untersucht. Was hat dies mit einem Fahrradreifen zu tun?

## 1. Hintergrund

Im Jahr 1662 entdeckte Robert Boyle, dass das Produkt aus Druck ( $p$ ) und Volumen ( $V$ ) eines Gases bei konstanter Temperatur konstant ist.

$$pV = k1, (1)$$

$k1$  ist eine Konstante. Daher sind der Druck und das Volumen umgekehrt proportional.

Im Jahre 1787 wurde von Jacques Charles experimentell nachgewiesen, dass das Volumen und die Temperatur ( $T$ ) eines Gases bei konstantem Druck direkt proportional sind.

$$\Delta V = k2 * \Delta T, (2)$$

$k2$  ist eine Konstante.

Im Jahr 1802 entdeckte Joseph Gay-Lussac die direkte Beziehung zwischen dem Druck und der Temperatur eines Gases bei konstantem Volumen:

$$\Delta p = k3 * \Delta T, (3)$$

$k3$  ist eine Konstante.

Das ideale Gasgesetz kombiniert die drei obigen Entdeckungen. Es setzt den absoluten Druck ( $p$ ) und das Volumen ( $V$ ) eines Gases mit der absoluten Temperatur ( $T$ ) in Grad Kelvin in Beziehung.

$$pV = n * R * T, (4)$$

$n$  ist die Molmenge der Moleküle des Gases und  $R$  ist die universelle Gaskonstante.

## 2. Materialien und Ausrüstung

Gasgesetze – Versuch mit Smart Sensoren (Bestellnummer: [121.2303](#))  
SPARKvue (Bestellnummer: [110.4020](#)) oder kostenlos als Android und iPhone App  
3 hohe Glaswannen (Bestellnummer: [104.0630](#))

## 3. Versuchsablauf: Ideales Gas Gesetz

Das robuste Gerät zur Untersuchung der Gasgesetze ermöglicht die gleichzeitige Messung von Temperatur und Druck eines Gases, während es komprimiert wird. Der Mini-Stereo-Klinkenstecker ist mit einem Thermistor mit geringer thermischer Masse verbunden, der in das Ende der Spritze eingebaut ist. Temperaturänderungen werden innerhalb der Spritze damit gemessen. Der Mini-Stereo-Klinkenstecker wird direkt an den Smart Temperatur-Interface angeschlossen.

Die weiße Kunststoff-Schlauchkupplung wird am Smart Drucksensor befestigt und durch eine



leichte Drehbewegung rastet die Kupplung am Anschluss ein. Dieses weiße Verbindungsstück kann während des Experiments ab- und wieder angesteckt werden, um unterschiedliche Ausgangspositionen des Stempels zu ermöglichen.

Der Stempel ist mit einem mechanischen Anschlag ausgestattet, der den Thermistor schützt und außerdem eine schnelle, vorbestimmte Volumenänderung ermöglicht. Schlagen Sie den Stempel niemals auf den Tisch. Fassen Sie die Spritze und den Stempel immer wie gezeigt an, um die Luft zu komprimieren.



#### 4. Daten sammeln

- In SPARKvue verbinden Sie beide Sensoren. Wählen Sie einen Graphen für Temperatur vs. Zeit und Druck vs. Zeit aus. Wählen Sie eine Abtastrate von 20 Hz.
- Entkoppeln Sie den Drucksensor von der Spritze und drücken Sie einmal den Stempel ganz nach unten. Messen Sie das minimale Volumen. Es sollte ca. 20 ml betragen.
- Ziehen Sie die Spritze auf 40 ml auf und verbinden Sie den Drucksensor erneut.
- Starten Sie die Messung. Drücken Sie den Stempel schnell bis ganz zum Anschlag nach unten und halten Sie ihn gedrückt.
- Achten Sie auf die Messung und halten Sie weiterhin den Stempel gedrückt bis sich die Temperatur stabilisiert hat. Dies sollte ca. 10 Sekunden dauern.
- Nach dem sich die Werte nicht mehr ändern, lassen Sie den Stempel ganz los. Achten Sie auch wieder auf die Messung.
- Wenn hier sich die Messwerte stabilisiert haben, beenden Sie die Messung.

#### 5. Datenanalyse

- Betrachten Sie Ihre Druck- und Temperaturkurven. Ordnen Sie die Änderungen von Druck und Temperatur der Bewegung des Stempels zu.
- Was geschieht mit der Temperatur, wenn die Luft komprimiert wird? Warum?
- Wie hoch ist die Gleichgewichtstemperatur des Gases, wenn es komprimiert wird? Warum? Wie hoch ist der Gleichgewichtsdruck? Warum geht er nicht auf "Raumdruck" zurück?
- Was geschieht mit der Temperatur während der Expansion (Beim Loslassen des Stempels)? Warum? Fällt sie unter die Raumtemperatur? Fällt der Druck unter den "Raumdruck"? Was müssten Sie tun, damit dies geschieht?
- Erstellen Sie eine Datentabelle einem neuen Blatt in SPARKvue mit den Druck- und Temperaturdaten.

- f. Messen Sie die Anfangstemperatur ( $T_1$ ) und den Druck ( $P_1$ ) des Gases aus Ihren Daten, kurz bevor Sie es komprimiert haben. Sie können einen Bereich im Diagramm markieren (klicken und ziehen) und diese Daten werden in der Datentabelle angezeigt. Diese Daten entsprechen einem Anfangsvolumen ( $V_1$ ) von 40 ml.
- g. Markieren Sie den Bereich in der Temperaturkurve, in dem die Temperatur ihren Höchststand erreicht. Wählen Sie die Stelle aus, an der die Temperatur ihren Spitzenwert erreicht hat, nicht der Druck. Der Temperatursensor braucht etwa 1/2 Sekunde, um zu reagieren. Notieren Sie die Spitzentemperatur ( $T_2$ ) und den entsprechenden Druck ( $P_2$ ) für diese Zeit. Sie wollen zwei Werte, die zur gleichen Zeit aufgetreten sind. Diese Daten entsprechen dem Volumen ( $V_2$ ) von 20 ml. Hinweis: Wenn das auf der Spritze angegebene komprimierte Volumen von 20 ml abweicht, verwenden Sie stattdessen diesen Wert.
- h. Verwenden Sie das ideale Gasgesetz, um zu zeigen, dass das Verhältnis der Volumina ausgedrückt werden kann als

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1 * P_2}{T_2 * P_1}$$

wobei sich der tiefgestellte Index 1 auf den Anfangszustand (Volumen = 40 ml) und der tiefgestellte Index 2 auf den Endzustand (Volumen = 20 ml) nach der Kompression bezieht.

- i. Berechnen Sie mit den Werten für Druck und Temperatur das Verhältnis der Volumina. Wie verhält sich dieses zum tatsächlichen Verhältnis? Sind sie etwa gleich groß?

## 6. Versuchsablauf: konstante Temperatur

- a. Fügen Sie ein neues Blatt mit einer Tabelle hinzu. In der Tabelle fügen Sie eine dritte Spalte hinzu. In der ersten Spalte notieren manuell das Volumen der Spritze mit den Werten 50 ml, 45 ml, 40 ml, 35 ml, 30 ml und 25 ml. In den anderen Spalten messen Sie den Druck und die Temperatur.
- b. Setzen Sie die Abtastrate auf 20 Hz und stellen Sie eine manuelle Messung ein. Achten Sie auf die Zeile unter der Tabelle, in der die aktuellen Messwerte angezeigt werden.
- c. Entfernen Sie wieder den Drucksensor und ziehen Sie die Spritze auf 50 ml auf. Verbinden Sie den Drucksensor wieder.
- d. Starten Sie die Messung. Merken Sie sich die Temperatur als Referenz. Nehmen Sie den ersten Messwert auf, in dem Sie auf das grüne Häkchen klicken.
- e. Drücken Sie den Stempel auf 45 ml herunter und halten Sie ihn in dieser Position. Warten Sie bis sich die Temperatur sich wieder auf den Ausgangswert zurückgekehrt ist. Nehmen Sie einen weiteren Messwert auf.
- f. Wiederholen Sie diesen Vorgang für die Volumen 40 ml, 35 ml, 30 ml und 25 ml.
- g. Beenden Sie danach die Messung.

## 7. Datenanalyse

- Erstellen Sie auf einem neuen Blatt den Graphen Druck vs. Volumen. Tragen Sie einen linearen Fit in den Graphen ein. Wie gut passt diese lineare Anpassung?
- In welcher Beziehung stehen Druck und Volumen zu einander? Unter welchen Randbedingungen ist diese Beziehung wahr.
- Welche physikalische Bedeutung hat die Steigung?
- Benutzen Sie die Steigung, um die Anzahl der Moleküle in mol in der Spritze zu bestimmen. Achten Sie auf die Einheiten.
- Gibt es einen y-Achsenabschnitt bei Volumen? Welche Bedeutung hat er?

## 8. Fragen zur Analyse

Wenn Sie die Messung bei 60 ml beginnen und ohne Zwischenschritte mit der Messung bei 45 ml beginnen. Warum hat sich die Steigung geändert? Ist das Ausgangsvolumen auf dem Graph ungefähr gleich geblieben?

## 9. Versuchsablauf: konstantes Volumen

Die Apparatur zur Ermittlung des absoluten Nullpunkts besteht aus einer Hohlkugel, die als Behälter mit konstantem Volumen fungiert, während die Apparatur in Wasserbäder mit unterschiedlichen Temperaturen gestellt wird. Schließen Sie die Mini-Klinkenbuchse an das Smart Temperatur-Interface an, um die Temperatur mit Hilfe des in der Wand der Kugel eingebetteten Thermistors zu messen. Schließen Sie die weiße Druckkupplung an den Smart Drucksensor erst zu Beginn des Versuchs an.

Zur Durchführung des Versuchs brauchen Sie zwei Wasserbäder mit unterschiedlichen Temperaturen.



## 10. Daten sammeln

- Setzen Sie die Abtastrate auf 10 Hz. Erstellen Sie in SPARKvue ein weiteres Blatt mit einem Graphen von Temperatur in °C vs. Druck. Erstellen Sie eine Tabelle mit Temperatur und Druck. Wählen Sie manuelle Messung aus den Abtastoptionen im Setup-Menü. Es ist auch hilfreich, eine Tabelle mit Temperatur und Druck einzurichten.
- Füllen Sie eine Glaswanne mit so viel heißem Wasser, dass die Kugel bedeckt ist. In die zweite Wanne füllen Sie Eis und Wasser. Befüllen Sie die dritte Wanne mit Wasser bei Raumtemperatur. Tauchen Sie die Kugel vollständig in das heiße Wasser ein. Schließen Sie den Smart Drucksensor erst jetzt an die Kugel an.

- c. Starten Sie die Messung. Tauchen Sie die Kugel vollständig und warten Sie kurz bis sich Temperatur und Druck stabilisiert haben. Klicken Sie auf das Häkchen, um die Messwerte zu speichern.
- d. Wechseln zum Wasser-Eis-Bad. Tauchen Sie die Kugel auch hier vollständig unter. Achten Sie darauf, dass der Drucksensor sich während des ganzen Versuchs nicht löst. Warten Sie bis die Messwerte im Gleichgewicht sind und speichern Sie die Messwerte.
- e. Tauchen Sie die Kugel vollständig ins Wasserbad bei Raumtemperatur. Wenn sich Temperatur und Druck stabilisiert haben speichern Sie die Messwerte.
- f. Beenden Sie diesen Versuchsdurchlauf.
- g. Starten Sie einen neuen Durchlauf mit der Kugel im Eiswasser. Belüften Sie die Kugel indem Sie den Drucksensor kurz abschrauben und neu an der Kugel anbringen. Dadurch variieren Sie die Anzahl der Luftmoleküle in der Kugel. Speichern Sie die Messwerte, nachdem sich Druck und Temperatur stabilisiert haben.
- h. Wiederholen Sie die Messungen im heißen Wasserbad und dem Wasserbad bei Raumtemperatur. Speichern Sie jeweils die Messwerte nachdem sich das Gleichgewicht eingestellt hat.
- i. Beenden Sie den Durchlauf.
- j. Im dritten Durchlauf fangen Sie im Wasserbad bei Raumtemperatur an und belüften die Kugel vor dem Start der Messung.

## 11. Datenanalyse

- a. Verwenden Sie einen Messschieber, um den Durchmesser der Kugel zu messen und ihr Volumen zu berechnen. Ist dieser Messwert größer oder kleiner als das tatsächliche Volumen der Kugel? Warum?
- b. Verwenden Sie das ideale Gasgesetz, um zu zeigen, dass ein Graph von Temperatur vs. Druck eine gerade Linie mit einer Steigung ergibt, die sich durch

$$\text{Steigung} = \frac{V}{n * R}$$

beschreiben lässt.

- c. Bestimmen Sie die Steigung dieser Linie aus dem Diagramm Temperatur vs. Druck für einen Ihrer Durchläufe. Benutzen Sie Ihre Messwerte, um die Anzahl der Luftmoleküle ( $n$ ) in der Kugel zu bestimmen. Achten Sie dabei auf die Einheiten!
- d. Vergleiche Sie alle drei Durchläufe miteinander.

## 12. Fazit

Schreiben Sie eine Zusammenfassung Ihrer Ergebnisse. Welche allgemeinen Schlussfolgerungen können Sie aus Ihren Ergebnissen ziehen? Wie ändert sich zum Beispiel der Druck eines Gases, wenn das Volumen bei konstanter Temperatur verringert wird?

Geben Sie den von Ihnen gemessenen Zahlenwert des absoluten Nullpunkts einschließlich der Unsicherheit, des Literaturwerts und der relativen Differenz zwischen beiden an. War der von Ihnen gefundene Wert niedriger oder höher als der Literaturwert? Liegt der Literaturwert innerhalb der Unsicherheit Ihrer Messung? Warum oder warum nicht?

Der Fahrradreifen kann als konstantes Volumen angesehen werden. Welchen Effekt hat das Aufpumpen des Reifens oder das Luft rauslassen? Welche Größen ändern sich wie? Erklären Sie