

# Der gewölbte Joghurtdeckel - Zufall oder Physik?

(Arbeitsmaterial)

## Einstieg

Beim Öffnen des Kühlschranks fällt dir auf, dass der Deckel eines Joghurts nach außen gewölbt ist. Du fragst dich: Ist der Joghurt verdorben, oder gibt es einen anderen Grund? Interessanterweise sehen Joghurtdeckel im Flugzeug häufig genauso aus - und dort gilt das als völlig normal. Was passiert da im Inneren der Verpackung? Die Antwort liefert die Physik: Gase verhalten sich bei Volumen- und Druckänderungen auf eine ganz bestimmte Weise. Mithilfe eines einfachen Experiments mit einer Spritze und einem Gasdrucksensor kannst du dieses Problem nachvollziehen und verstehen, warum sich der Deckel manchmal wölbt - ohne dass der Joghurt schlecht ist.



(Bild erzeugt mit KI)

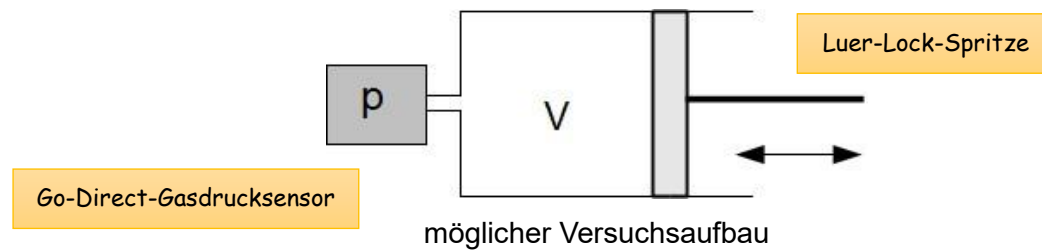
### Problemfrage:

Wie verändert sich der Innendruck eines geschlossenen Gasraums, wenn sich sein Volumen ändert und die wie erklärt dieses Verhalten die Wölbung eines Joghurtdeckels?

## Versuchsdurchführung

Zu Beginn des Experiments wird eine Luer-Lock-Spritze mit einem maximalen Volumen von 30 ml auf ein Anfangsvolumen von etwa  $10 \text{ cm}^3$  aufgezogen. Anschließend wird die Spritze luftdicht mit einem Go-Direct-Gasdrucksensor verbunden, sodass ein abgeschlossenes Luftvolumen im Inneren der Spritze verbleibt. In der folgenden Versuchsdurchführung wird dieses Luftvolumen zunächst kontrolliert auf etwa  $5 \text{ cm}^3$  reduziert, indem der Kolben langsam hineingeschoben wird. Danach wird das Volumen schrittweise in  $1\text{-cm}^3$ -Schritten bis auf ca.  $15 \text{ cm}^3$  vergrößert. Für jede Volumeneinstellung wird der zugehörige Luftdruck mit dem Sensor gemessen und dokumentiert.

Besondere Sorgfalt ist auf eine zügige Durchführung des Versuchs zu legen, da geringfügige Undichtigkeiten an der Luer-Lock-Verbindung oder der Spritze selbst das Messergebnis beeinflussen könnten. Ziel der Messreihe ist es, die Beziehung zwischen Druck und Volumen in einem abgeschlossenen Gasraum unter isothermen Bedingungen zu untersuchen, um so experimentell das Boyle-Mariotte-Gesetz zu überprüfen.



### Aufgaben:

- Führen Sie den Versuch gemäß der Anleitung durch und messen Sie für jede Volumeneinstellung den Gasdruck (in kPa). Notieren Sie den gemessenen Wert in einer Tabelle.
- Konstruieren Sie, mit Hilfe des grafikfähigen Taschenrechners ein Diagramm, in welchem Sie den gemessenen Druck gegen das Volumen auftragen. Beschreiben Sie mit eigenen Worten, wie sich der Druck verändert, wenn das Volumen vergrößert oder verkleinert wird.
- Nutzen Sie eine KI, um sich das Boyle-Mariotte-Gesetz in eigenen Worten erklären zu lassen. Verwenden Sie dazu folgenden Prompt: „*Erkläre mir das Boyle-Mariotte-Gesetz einfach und mit einem Beispiel aus dem Alltag.*“ Dokumentieren Sie die erhaltene Antwort stichpunktartig und bewerten Sie die Antwort: Ist sie korrekt und hilfreich? Ergänzen oder korrigieren Sie die Erklärung falls nötig, mithilfe des Grundlagentextes.
- Beziehen Sie sich nun auf Ihre Messergebnisse und Ihr Diagramm. Beantworten Sie die Problemfrage in eigenen Worten und erklären Sie dabei den physikalischen Zusammenhang mithilfe des Boyle-Mariotte-Gesetzes.
- Ist ein gewölbter Joghurtdeckel immer ein Zeichen für Verderb? Nutzen Sie eine KI, um Argumente dafür und dagegen zu finden und formulieren Sie daraus ein kurzes Fazit.
- Nennen Sie mit Hilfe einer KI mindestens zwei weitere Beispiele aus dem Alltag, bei denen das Boyle-Mariotte-Gesetz eine Rolle spielt. Beschreiben Sie jeweils kurz die physikalische Situation.

#### Das Boyle-Mariotte-Gesetz (Grundlagen):

Das Boyle-Mariotte-Gesetz beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Volumen und dem Druck eines Gases bei konstanter Temperatur (isotherme Zustandsänderung). Es lautet:

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

Das bedeutet: Der Druck eines Gases ist **umgekehrt proportional** zu seinem Volumen. Wenn man das Volumen eines Gases verringert, steigt der Druck - und umgekehrt. Diese Beziehung gilt nur, wenn keine Temperaturänderung und keine Gasaustauschvorgänge stattfinden. Mathematisch kann man das als Hyperbel im p-V-Diagramm darstellen.

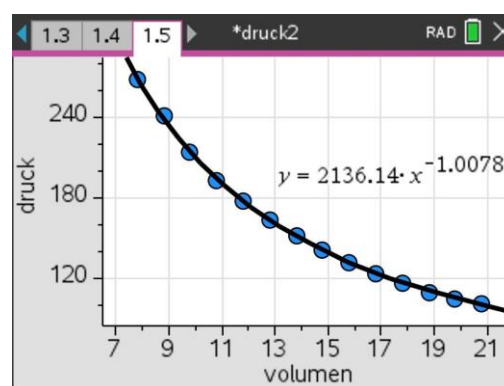
# Der gewölbte Joghurtdeckel - Zufall oder Physik?

(Material für die Lehrkraft)

## Auswertung des Versuchs:

In der folgenden Auswertung wird eine Beispielmessung gezeigt, welche mit dem TI-Nspire™ CX II-T CAS und dem Go-Direct-Gasdrucksensor von Vernier durchgeführt wurde:

| gemessenes Volumen (in cm <sup>3</sup> ): | korrigiertes Volumen (in cm <sup>3</sup> ): | Druck (in kPa): |
|---|---|-----------------|
| 7,0 cm <sup>3</sup>                       | 7,8 cm <sup>3</sup>                         | 268,182 kPa     |
| 8,0 cm <sup>3</sup>                       | 8,8 cm <sup>3</sup>                         | 241,557 kPa     |
| 9,0 cm <sup>3</sup>                       | 9,8 cm <sup>3</sup>                         | 213,885 kPa     |
| 10,0 cm <sup>3</sup>                      | 10,8 cm <sup>3</sup>                        | 193,021 kPa     |
| 11,0 cm <sup>3</sup>                      | 11,8 cm <sup>3</sup>                        | 177,381 kPa     |
| 12,0 cm <sup>3</sup>                      | 12,8 cm <sup>3</sup>                        | 164,257 kPa     |
| 13,0 cm <sup>3</sup>                      | 13,8 cm <sup>3</sup>                        | 151,858 kPa     |
| 14,0 cm <sup>3</sup>                      | 14,8 cm <sup>3</sup>                        | 140,933 kPa     |
| 15,0 cm <sup>3</sup>                      | 15,8 cm <sup>3</sup>                        | 132,401 kPa     |
| 16,0 cm <sup>3</sup>                      | 16,8 cm <sup>3</sup>                        | 124,294 kPa     |
| 17,0 cm <sup>3</sup>                      | 17,8 cm <sup>3</sup>                        | 116,594 kPa     |



Das interne Volumen des Go-Direct-Gasdrucksensors beträgt hier 0,8 cm<sup>3</sup>. Wegen des direkten Anschlusses der Luer-Lock-Spritze an den Sensor, muss kein Volumen eines Anschlussschlauchs berücksichtigt werden. Für das korrigierte Volumen werden alle von der Spritze abgelesenen Volumina um 0,8 cm<sup>3</sup> vergrößert, der Volumenbereich erstreckt sich also von 7,8 cm<sup>3</sup> bis 17,8 cm<sup>3</sup>. Die Regression ergibt einen Exponenten von etwa -1.

Es gilt somit das Gesetz von Boyle-Mariotte:

$$p = \frac{1}{V}$$

Die Messergebnisse zeigen, dass der Druck in einem abgeschlossenen Gasraum steigt, wenn das Volumen verringert wird, und entsprechend sinkt, wenn das Volumen vergrößert wird. Im Druck-Volumen-Diagramm (kurz:  $p$ - $V$ -Diagramm) ergibt sich dabei ein typischer hyperbolischer Verlauf, der auf eine umgekehrt proportionale Beziehung zwischen Druck und Volumen hinweist. Dieser Zusammenhang wird durch das **Boyle-Mariotte-Gesetz** beschrieben, das für isotherme Zustandsänderungen gilt. Es lautet:

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

Demnach verändert sich der Druck eines Gases genau dann, wenn sich sein Volumen ändert - vorausgesetzt, die Temperatur bleibt konstant. Wird das Volumen verkleinert, treffen mehr Gasteilchen in kürzerer Zeit auf die Gefäßwände, wodurch der Druck steigt. Umgekehrt nimmt der Druck bei größerem Volumen ab, da die Teilchen seltener mit den Wänden kollidieren.

Bezogen auf die Problemfrage erklärt das Boyle-Mariotte-Gesetz die Wölbung eines Joghurtdeckels folgendermaßen: Bei einem Überdruck im Inneren - etwa durch Erwärmung oder Gärungsprozesse - steigt der Druck, während das Volumen weitgehend konstant bleibt. Der flexible Deckel reagiert auf diesen Druckanstieg, indem er sich nach außen wölbt. Das beobachtete Phänomen lässt sich somit physikalisch eindeutig durch den Druck-Volumen-Zusammenhang erklären.

Ein gewölbter Joghurtdeckel kann verschiedene Ursachen haben. Einerseits kann die Wölbung auf Gärungsprozesse im Inneren der Verpackung hinweisen, bei denen durch mikrobielle Aktivität Gase wie Kohlenstoffdioxid entstehen. Diese Gase erhöhen den Innendruck, was auf einen beginnenden oder fortgeschrittenen Verderb hindeuten kann - insbesondere dann, wenn die Kühlkette unterbrochen wurde oder das Haltbarkeitsdatum überschritten ist. Andererseits kann ein gewölbter Deckel auch ohne Verderb auftreten, etwa durch physikalische Druckunterschiede. Beispielsweise bei Transport in großen Höhen (zum Beispiel im Flugzeug) oder durch Temperaturänderungen kann sich das eingeschlossene Luftvolumen ausdehnen, wodurch der Deckel ebenfalls gewölbt erscheint. In solchen Fällen ist der Joghurt meist noch genießbar. Demnach kann man als Fazit sagen: Ein gewölbter Joghurtdeckel ist nicht zwangsläufig ein Zeichen für Verderb, kann aber ein Hinweis darauf sein. Die genaue Ursache hängt vom Kontext ab (zum Beispiel Lagerung, Transport, Temperatur). Eine Prüfung von Haltbarkeitsdatum, Geruch und Geschmack kann zur genaueren Beurteilung der Genießbarkeit beitragen.

**Autor:**

*Benedikt Bannenberg*

**Info:**

*Benedik Bannenberg unterrichtet Biologie, Chemie und Physik am Franz-Stock-Gymnasium in Arnsberg.*