Rückblick **Lösungen der Trainingsaufgaben:**

A1 ○ Druckunterschied $\Delta p = 199\,\text{bar} = 199 \cdot 10^5\,\text{Pa} = 199 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Kraft $F = \Delta p \cdot A = 199 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 4 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2 = 7960\,\text{N}$

A2 ◒ **a)** Man geht von konstantem Volumen aus: Dann gilt nach Amontons:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \Leftrightarrow \quad p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1}$$

Das ergibt $p_2 = 190\,\text{kPa} \cdot \frac{313\,\text{K}}{288\,\text{K}} = 206\,\text{kPa}$

b) Im Reifen mit dem Volumen V_R herrscht nun der Druck p_2. Man stellt sich vor, das Ventil würde geöffnet werden und die Luft würde sich vom Volumen V_R bei konstanter Temperatur soweit ausdehnen, dass in dem dann bestehenden Volumen V_x der Ausgangsdruck p_1 besteht. Dann gilt nach Boyle-Mariotte:

$$p_2 \cdot V_R = p_1 \cdot V_x \quad \Leftrightarrow \quad V_x = \frac{p_2}{p_1} \cdot V_R = \frac{206\,\text{kPa}}{190\,\text{kPa}} \cdot V_R = 1{,}087 \cdot V_R$$

D.h., etwa 8,7% der Luft muss abgelassen werden. Davon wird abgeraten, weil sich die Gasmenge im Reifen verringert. Bei Abkühlung besteht dann nicht mehr der vorgeschriebene Reifendruck und die Fahrsicherheit wird beeinträchtigt.

A3 ● **a)** Wenn sich die Kugel in Ruhe befindet, ist die insgesamt auf sie wirkende Kraft null. Da sie zwei Gasräume voneinander trennt, muss die Druckdifferenz null sein. Druck und Volumen hängen über $p \cdot V = \text{konstant}$ zusammen. Die Kugel stellt sich so ein, dass auf beiden Seiten der gleiche Druck herrscht.
b) Es wird eine Druckdifferenz und damit eine Kraft erzeugt, die zur Beschleunigung führt. Die Kraft wirkt nach rechts, weil links der Druck erhöht wird. Das Volumen auf der rechten Seite wird verkleinert, der Druck damit erhöht. Die Kugel kommt zur Ruhe, wenn links und rechts wieder der gleiche Druck herrscht. Das Messgerät zeigt einen größeren Wert.
c) Am Messgerät kann man bei ruhender Kugel den Druck im rechten Raum ablesen. Das Volumen dieses Gasraumes ergibt sich aus Querschnittsfläche und Länge. Man erhält zusammengehörige Werte von Druck und Volumen, wenn man mit Hilfe des Kolbens verschiedene Ruhestellungen der Kugel einstellt.

A4 ◒ Das Ei rutscht langsam in die Flasche, obwohl sein Durchmesser etwas größer ist als die Flaschenöffnung.
Erklärung: Die Flasche wird erhitzt und damit auch die Luft in ihr. Dadurch dehnt sich die Luft aus und ein Teil entweicht aus der Flasche. Für das weitere muss angenommen werden, dass das Ei den Innenraum der Flasche und den Außenraum weitgehend gasdicht voneinander trennt. Außerhalb des Backofens kühlt die Flasche und damit die Luft in ihr ab, der Druck sinkt unter den Umgebungsdruck. Der Druckunterschied führt zu einer Kraft auf das Ei in Richtung des kleineren Drucks, also ins Flascheninnere.
Zum Entfernen dreht man die Flasche um, sodass das Ei jetzt von innen die Öffnung verschließt. Man bläst kräftig in die Flasche, wobei das Ei kurz den Weg frei geben muss (wie ein Kugelventil). So entsteht jetzt in der Flasche ein Überdruck, der zu einer nach außen weisenden Kraft auf das Ein führt.
Andere Möglichkeit: Man dreht die Flasche um, sodass das Ei die Öffnung von innen verschließt. Dann erwärmt man die Flasche z.B. mit Hilfe eines Föhns. Dadurch erwärmt sich die Luft in der Flasche; es entsteht in der Flasche ein Überdruck, der zu einer nach außen weisenden Kraft auf das Ei führt.

A5 ● **a)** Isotherm heißt „konstante Temperatur“. Isothermen sind also Kurven im *V*-*p*-Diagramm, zu denen jeweils eine bestimmte Temperatur gehört.

b) Boyle-Mariotte:
Die Temperatur muss konstant sein, d. h., man braucht Werte von einer der Kurven, z. B. für 300 K.

V abgelesen in m^3	0,02	0,04	0,06
p abgelesen in Pa	$1{,}3 \cdot 10^5$	$0{,}6 \cdot 10^5$ Pa	$0{,}4 \cdot 10^5$
$p \cdot V$ in Nm	2600	2400	2400

Gay-Lussac:
Der Druck muss konstant sein, d. h., man braucht Werte auf einer Parallelen zur *V*-Achse, z. B. für $p = 3 \cdot 10^5$ Pa

T in K	300	600	900
V abgelesen in m^3	0,008	0,017	0,025
V/T in K/m^3	$3{,}75 \cdot 10^4$	$3{,}53 \cdot 10^4$	$3{,}60 \cdot 10^4$

Amontons:
Das Volumen muss konstant sein, d. h., man braucht Werte auf einer Parallelen zur *p*-Achse, z. B. für $V = 0{,}04\,m^3$

T in K	300	900	1200
p abgelesen in Pa	$0{,}7 \cdot 10^5$	$1{,}9 \cdot 10^5$	$2{,}6 \cdot 10^5$
p/T in Pa/K	233	211	216

In allen Fällen muss wegen des kleinen Maßstabes mit größeren Schätzfehlern beim Ablesen gerechnet werden.

c) $p_1 \cdot \frac{V_1}{T_1} = p_2 \cdot \frac{V_2}{T_2}$ bedeutet, dass sich der Wert des mit *p*, *V* und *T* gebildeten Terms nicht ändert.

T in K	300	900	1200
p abgelesen in Pa	$1{,}3 \cdot 10^5$	$1{,}3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
V abgelesen in m^3	0,02	0,06	0,035
$p \cdot V/T$ in $\frac{Pa \cdot m^3}{K}$	8,67	8,67	8,75

d) C → D: Die Temperatur ist konstant, d. h., es gilt $p \cdot V =$ konstant (Boyle-Mariotte)
D → A: Das Volumen ist konstant, d. h., es gilt $p/T =$ konstant (Amontons)
D → B: Der Druck ist konstant, d. h., es gilt $V/T =$ konstant (Gay-Lussac)

A6 ● **a)** Erklärung: In beiden Fällen wirken auf beide Körper die Gewichtskraft und die Auftriebskraft. In der Ausgangssituation ist die Summe auf beiden Seiten gleich.
B2a: das Gas wird entfernt, d. h. die Auftriebskraft entfällt. Sie ist beim rechten Körper mit dem größeren Volumen größer. Der Körper sinkt also nach unten.
B2b: Auch hier wird die Auftriebskraft auf der rechten Seite geringer, zugleich wird aber die Gewichtskraft geringer, weil nur noch die Ballonhülle am Waagebalken hangt. Im Inneren des aufgeblasenen Ballons auf der linken Seite ist der Druck höher als in der umgebenden Luft. Der Ballon enthält also mehr Luftteilchen als ein entsprechendes Volumen der umgebenden Luft. Links wirkt also die Gewichtskraft der Luft und die der Ballonhülle, rechts nur die der Hülle.
b) Beide Beobachtungen zeigen, dass Luft ein Gewicht hat. Das geht zum einen aus der obigen Erklärung zu **B2b** hervor, folgt aber auch aus **B2a**: Wenn die Luft kein Gewicht hätte, könnte sie keinen Auftrieb bewirken.