Stand: 11. Juli 2025

Aufgabe - Die Luft ist raus (Kurzaufgabe) (5.0 Pkt.)

(4. Rd. zur IPhO 2024, Aufgabengruppe der PhysikOlympiade - Fabian Bühler)

In einem thermisch nicht isolierten Glasgefäß befindet sich Luft bei einem Druck p_1, der größer ist als der Umgebungsdruck p_0. Die Temperatur ist gleich der Umgebungstemperatur T_u. Über ein Ventil kann Luft abgelassen werden. Das Ventil wird geöffnet, so dass der Druck im Gefäß rasch auf p_0 absinkt. Unmittelbar danach wird es wieder geschlossen. In der Folge steigt der Druck im Gefäß auf p_2 an. Das nebenstehende, linear skalierte Diagramm zeigt den Druckverlauf im Gefäß in Abhängigkeit von der Zeit.

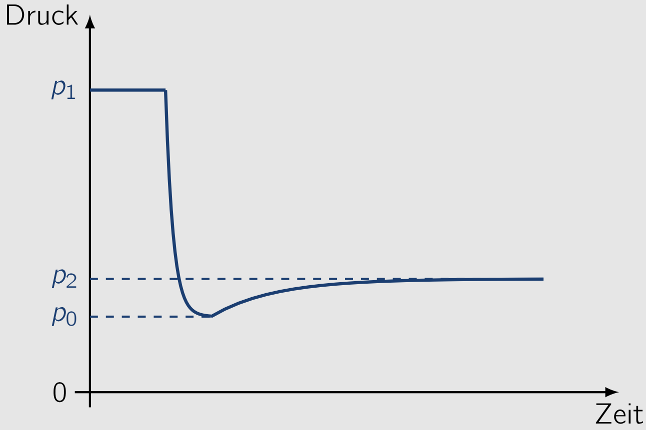

Abb. 1. *Graph des Drucks über der Zeit.*

Bestimme mit Hilfe des Diagramms den Wert des Adiabatenexponenten von Luft.

Lösung

Betrachte die anfänglich in dem Gefäß eingeschlossene Gasmenge. Anfänglich besitzt diese ein Volumen V_1, das dem Innenvolumen des Gefäßes entspricht und einen Druck p_1. Wenn das Ventil geöffnet wird, dehnt sich die Luft auf ein Volumen V_0 aus. Der Druck sinkt dabei auf p_0 ab.

Die Expansion bei geöffnetem Ventil verläuft in einem kurzen Zeitraum, so dass sie als adiabatisch angesehen werden kann. Somit gilt:

$$p_1\, V_1^{\varkappa} = p_0\, V_0^{\varkappa} \qquad \text{bzw.} \qquad \frac{p_1}{p_0} = \frac{V_0^{\varkappa}}{V_1^{\varkappa}}\,. \tag{1.1}$$

Dabei ist $\varkappa$ der Adiabatenexponent von Luft. Luft kann näherungsweise als ideales Gas betrachtet werden. Aus der Zustandsgleichung für ideale Gase folgt dann:

$$\frac{p_0\, V_0}{T_0} = \frac{p_1\, V_1}{T_u} \qquad \text{bzw.} \qquad \frac{V_0}{V_1} = \frac{p_1\, T_0}{p_0\, T_u}\,. \tag{1.2}$$

Damit lässt sich das Volumen in (1.1) eliminieren und es ergibt sich:

$$\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{1-\varkappa} = \left(\frac{T_0}{T_u}\right)^{\varkappa}\,. \tag{1.3}$$

Die Erwärmung des Gases in dem Gefäß nach dem Schließen des Ventils erfolgt bei konstantem Volumen, d.h. es gilt $\frac{p}{T} = \text{konst.}$, woraus mit der Zustandsgleichung folgt:

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_0}{T_0}\,. \tag{1.4}$$

Da die Temperatur am Schluss wieder der Umgebungstemperatur entspricht, gilt $T_2 = T_u$. Daher ist:

$$\frac{p_2}{T_u} = \frac{p_0}{T_0} \quad \Rightarrow \quad \frac{T_0}{T_u} = \frac{p_0}{p_2}\,. \tag{1.5}$$

Eingesetzt in Gleichung (1.3) erhält man:

$$\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{1-\varkappa} = \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\varkappa} . \tag{1.6}$$

Durch Logarithmieren ergibt sich:

$$(1-\varkappa)\ln\frac{p_1}{p_0} = \varkappa \ln\frac{p_0}{p_2} = -\varkappa \ln\frac{p_2}{p_0} \qquad \text{und damit} \qquad \boxed{\varkappa = \frac{1}{1-\frac{\ln\frac{p_2}{p_0}}{\ln\frac{p_1}{p_0}}}} . \tag{1.7}$$

Aus dem Diagramm liest man die Verhältnisse $\frac{p_1}{p_0} \approx 3{,}9$ und $\frac{p_2}{p_0} \approx 1{,}5$ ab. Mit diesen Werten erhält man:

$$\boxed{\varkappa \approx 1{,}4} . \tag{1.8}$$

Bewertung - Die Luft ist raus (Kurzaufgabe)		**Punkte**
1	Erkennen der adiabatischen Expansion und Adiabatengleichung (1.1)	1.0
	Nutzen der Zustandsgleichung (1.2)	0.5
	Formulieren der Druck- und Temperaturverhältnisse für die adiabatische Expansion (1.3)	0.5
	Erkennen der isochoren Erwärmung (1.4)	1.0
	Angeben des Verhältnis der Drücke (1.6)	1.0
	Ablesen der Druckverhältnisse und numerisches Ergebnis (1.8) (-0.2 falls drei oder mehr Nachkommastellen angegeben)	1.0
		5.0