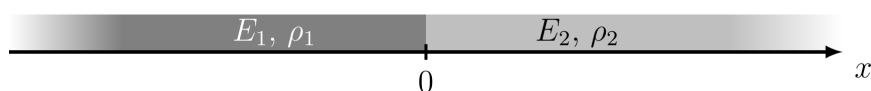


# 1. Longitudinalwellen in Metallstäben [ $\sum 15$ ]

Zwei Stäbe mit gleichem Querschnitt  $S = 0.2 \text{ cm}^2$  seien an der Stelle  $x = 0$  verbunden. Der erste Stab habe die Dichte  $\rho_1 = 9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  und das Elastizitätsmodul  $E_1 = 144 \text{ GPa}$ , für den zweiten Stab gelte  $\rho_2 = 20 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$  und  $E_2 = 80 \text{ GPa}$ .



Betrachten Sie eine sich von links auf die Grenzfläche zubewegende Longitudinalwelle der Form

$$\xi_{\text{in}}(x, t) = A e^{i\omega(\frac{x}{v_1} - t)},$$

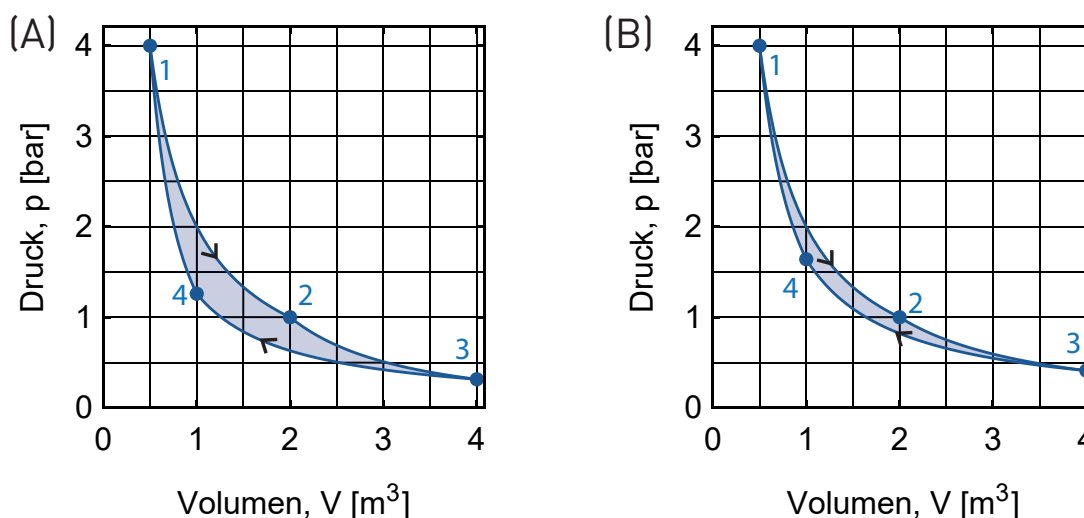
wobei  $\omega$  die Kreisfrequenz bezeichnet und der Realteil von  $\xi_{\text{in}}$  der longitudinalen Auslenkung entspricht.

- Berechnen Sie die Wellengeschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  in den beiden Stäben. [3]
- Berechnen Sie den zeitlichen Mittelwert der von der einfallenden Welle  $\xi_{\text{in}}$  transportierten Leistung für die Amplitude  $A = 10 \mu\text{m}$  und die Kreisfrequenz  $\omega = 2\pi f$  mit  $f = \frac{1}{\pi} \text{ kHz}$ . [3]
- Formulieren Sie einen allgemeinen Ansatz zur Beschreibung der an der Grenzfläche reflektierten Welle  $\xi_r$  und der transmittierten Welle  $\xi_t$  in Abhängigkeit der Amplitude  $A$  und der Kreisfrequenz  $\omega$ . Berechnen Sie unter Verwendung der Randbedingung bei  $x = 0$  den Transmissions- und den Reflektionskoeffizienten. [6]
- Geben Sie den Intensitätspegel der reflektierten Welle relativ zur Intensität der einfallenden Welle in dB an. Nähern Sie Ihr Ergebnis mit Hilfe von  $\log_{10}(2) \approx 0.3$ . [3]

2. **Carnot'scher Kreisprozess.** [  $\sum 16$  ] Wir betrachten die in Abbildung 1 gezeigten  $pV$ -Diagramme der Carnot'schen Kreisprozesse zweier idealer Gase mit jeweils gleicher Stoffmenge  $\nu$ . Die Temperatur am Punkt 1 sei in beiden Fällen 300 K. Die Pfeile geben an, in welche Richtung die Kreisprozesse ablaufen.

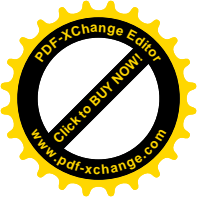
Kreuzen Sie in jeder Teilaufgabe die richtige Aussage an. **In allen Teilaufgaben ist jeweils nur eine der möglichen Aussagen richtig!**

*Bewertung der Aufgabe: Multiple Choice. Jede richtig beantwortete Teilaufgabe wird mit 2 Punkten bewertet, jede falsch beantwortete Teilaufgabe mit 0 Punkten.*

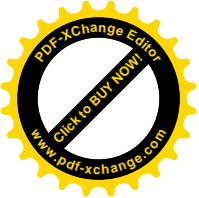


**Abbildung 1** – Druck-Volumen-Diagramme zweier Carnot-Prozesse (A) und (B).

- (a) Schätzen Sie die in beiden Kreisprozessen gleiche Stoffmenge  $\nu$  ab. Verwenden Sie dazu die in der Graphik angegebenen Drücke und Volumina.
- ☐  $\nu \approx 8000$  mol.
  - ☐  $\nu \approx 800$  mol.
  - ☐  $\nu \approx 80$  mol.
  - ☐  $\nu \approx 8$  mol.
- (b) Die am System verrichtete Arbeit  $W$  während eines gesamten Zyklus ist in beiden Fällen ...
- ☐ null.
  - ☐ positiv.
  - ☐ negativ.
- (c) Der Adiabatenkoeffizient ...
- ☐ ist für beide Gase A und B identisch.
  - ☐ ist für Gas A grösser als für Gas B.
  - ☐ ist für Gas B grösser als für Gas A.



- (d) Welche der folgenden Aussagen trifft zu?
- ☐ Alle vier Prozessabschnitte verlaufen jeweils isotherm.
  - ☐ Prozessabschnitte  $2 \rightarrow 3$  und  $4 \rightarrow 1$  sind jeweils adiabatisch. Die anderen beiden Prozessabschnitte sind isotherm.
  - ☐ Prozessabschnitte  $2 \rightarrow 3$  und  $4 \rightarrow 1$  sind jeweils isotherm. Die anderen beiden Prozessabschnitte sind adiabatisch.
  - ☐ Alle vier Prozessabschnitte verlaufen adiabatisch.
- (e) Die innere Energie des Gases  $U$  ist ...
- ☐ an Punkt 1 und an Punkt 2 identisch.
  - ☐ an Punkt 3 kleiner als an Punkt 4.
  - ☐ an Punkt 4 grösser als an Punkt 2.
- (f) Betrachten Sie den Fall A. Wie gross ist die dem System während eines Zyklus zugeführte Wärmemenge? Verwenden Sie dazu, die in der Graphik angegebenen Drücke und Volumina für Ihre Abschätzung.
- ☐  $\approx +100 \text{ kJ}$
  - ☐  $\approx +10 \text{ kJ}$
  - ☐  $\approx -10 \text{ kJ}$
  - ☐  $\approx -100 \text{ kJ}$
- (g) Der Carnot-Wirkungsgrad ist
- ☐ im Fall A grösser als im Fall B.
  - ☐ im Fall B grösser als im Fall A.
  - ☐ in beiden Fällen gleich.
- (h) Welche der folgenden Aussagen ist in beiden Fällen korrekt?
- ☐ Die Entropie des Gases bleibt während des gesamten Kreisprozesses unverändert.
  - ☐ Die Entropie des Gases nimmt beim Übergang von Punkt 2 nach Punkt 3 zu.
  - ☐ Die Entropie des wärmeren der beiden Reservoirs nimmt während eines Zyklus des Kreisprozesses zu.
  - ☐ Die Zunahme der Entropie des kälteren Reservoirs während eines Zyklus ist mindestens so gross wie die Abnahme der Entropie des wärmeren Reservoirs.



3. **Schmelzen von Eis.** [  $\sum 13$  ] In einem thermisch isolierten Gefäß befinde sich Eis mit einer Masse von 0.1 kg bei einer Temperatur von  $-30^\circ\text{C}$ .

Hinweis: Verwenden Sie für Ihre Berechnungen die genäherten Werte  $\lambda_{\text{schmelz}} \approx 330 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  für die spezifische Schmelzwärme von Eis,  $c_{\text{Wasser}} \approx 4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$  für die spezifische Wärmekapazität von Wasser und  $c_{\text{Eis}} \approx 2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$  für die spezifische Wärmekapazität von Eis.

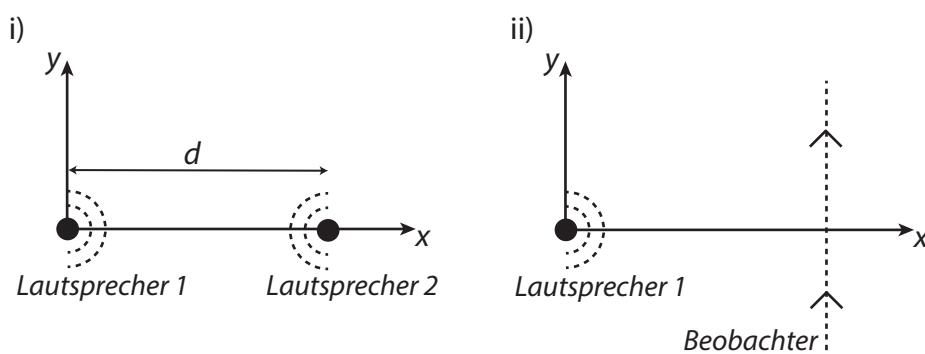
*Hinweis:* Sämtliche numerische Werte müssen lediglich auf eine Genauigkeit von  $\pm 30\%$  bestimmt werden.

- (a) Welche Wärmemenge  $Q$  muss dem Eis mindestens zugeführt werden, damit das gesamte Eis schmilzt? [3.5]
- (b) Nehmen Sie nun an, das Eis werde geschmolzen indem es mit 1 kg Wasser übergossen wird. Welche Temperatur  $T_{\text{min}}$  muss das Wasser anfänglich mindestens haben, damit das gesamte Eis schmilzt? [4]
- (c) Hinweis: Numerische Werte müssen im folgenden Aufgabenteil NICHT berechnet werden.

Nehmen Sie an, das Wasser habe anfänglich die in b) bestimmte Temperatur  $T_{\text{min}}$ . Um wieviel hat sich die Entropie des Gesamtsystems bestehend aus Eis und Wasser nach dem Schmelzvorgang geändert? Leiten Sie hierfür einen Ausdruck her. Ist die Entropieänderung positiv oder negativ? Begründen Sie Ihre Antwort. [5.5]

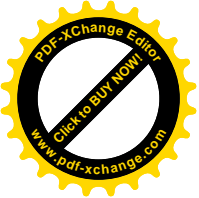
#### 4. Lautsprecher [ $\sum 11$ ]

Eine sich im Ursprung befindende punktförmige Schallquelle sendet einen Ton der Frequenz  $f = 343 \text{ Hz}$  in Richtung der positiven  $x$ -Achse aus. Eine zweite, identische punktförmige Schallquelle befindet sich im Abstand  $d = 10 \text{ m}$  entfernt auf der  $x$ -Achse (Koordinate  $x = 10 \text{ m}$ ,  $y = 0$ ) und sendet einen Ton der gleichen Amplitude  $A$ , Frequenz  $f$  und Phase  $\varphi$  in Richtung der negativen  $x$ -Achse, siehe Abbildung 2 i).



**Abbildung 2 – Lautsprecher**

- Wie viele Intensitätsminima entstehen auf der Verbindungslinie zwischen beiden Lautsprechern? Die Schallgeschwindigkeit beträgt  $v_s = 343 \text{ m/s}$ . [2]
- Welche Intensitätsminima sind am ausgeprägtesten, d.h. bei welchen  $x$ -Koordinaten haben die Minima auf der Verbindungslinie zwischen beiden Lautsprechern die geringste Intensität? Argumentieren Sie qualitativ, indem Sie berücksichtigen, dass die Amplitude einer Schallwelle im 3-dimensionalen Raum mit zunehmendem Abstand zu ihrer Quelle abnimmt. [2]
- Welche Phase  $\varphi \in [0, 2\pi)$  muss der zweite Ton haben, damit er an der Position  $x = 5.1 \text{ m}$  destruktiv mit dem ersten Ton interferiert? Die Phase des Tons des ersten Lautsprechers sei Null. Verwenden Sie, dass die Auslenkung der von Lautsprecher 1 und 2 ausgesandten Schallwellen proportional zu  $\sin(kx - \omega t)$  bzw. zu  $\sin(k(d - x) - \omega t + \varphi)$  ist. [4]
- Lautsprecher 2 sei nun entfernt und eine Person bewege sich mit einer Geschwindigkeit von  $5 \text{ m/s}$  entlang einer Geraden parallel zur  $y$ -Achse in positive Richtung, siehe Abbildung 2 ii). Geben Sie die von der Person wahrgenommene Frequenz für folgende Grenzwerte der Position der Person an:  $y \rightarrow -\infty$ ,  $y = 0$ ,  $y \rightarrow +\infty$ . [3]



## Tabelle physikalischer Konstanten

Grösse	Symbol	Wert	Einheit
Gravitationskonstante:	$G$	$6.673 \cdot 10^{-11}$	$\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
Avogadro-Konstante:	$N_A$	$6.022 \cdot 10^{23}$	$\text{mol}^{-1}$
Boltzmann-Konstante:	$k$	$1.381 \cdot 10^{-23}$	$\text{J K}^{-1}$
Universelle Gaskonstante:	$R$	8.315	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
Gravitationsbeschleunigung Erde	$g$	9.81	$\text{m s}^{-2}$