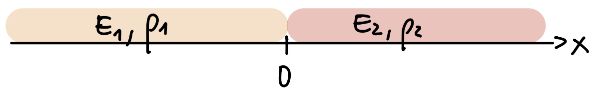
Physik1 BP 22. Jan. 2020 Lina De Windt

Aufgabe 1:



Werte:

$$\begin{cases} S = 0.2\,\text{cm}^2 \overset{\circledast}{=} 0{,}2\times10^{-4}\,\text{m}^2 \\ \rho_1 = 9\,\text{g/cm}^3 = \dfrac{9\times10^{-3}\,\text{kg}}{10^{-6}\,\text{m}^3} = 9\times10^{3}\,\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ E_1 = 144\,\text{GPa} = 144\times10^{9}\,\text{Pa} \\ \rho_2 = 20\,\text{g/cm}^3 = \dfrac{20\times10^{-3}\,\text{kg}}{10^{-6}\,\text{m}^3} = 20\times10^{3}\,\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ E_2 = 80\,\text{GPa} = 80\times10^{9}\,\text{Pa} \end{cases}$$

⊛ In SI-Einheiten: (immer gut sofort umzuwandeln :))

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

← von links einfallende Longitudinalwelle

ω: Kreisfrequenz

$Re\{\xi_{in}(x,t)\}$ = logitudinale Auslenkung A

a) Wir haben für longitudinale Wellen in kontunierlichen Medien:

$$v = \pm\sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Da die Welle nach rechts (also in die positive x-Richtung) geht, haben wir:

$$v_1 = +\sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{144\times10^{9}\,\text{Pa}}{9\times10^{3}\,\text{kg/m}^3}} = \underline{\underline{4000\,\text{m/s}}}$$

$$v_2 = +\sqrt{\frac{E_2}{\rho_2}} = \sqrt{\frac{80\times10^{9}\,\text{Pa}}{20\times10^{3}\,\text{kg/m}^3}} = \underline{\underline{2000\,\text{m/s}}}$$

b) $A = 10\,\mu\text{m}$

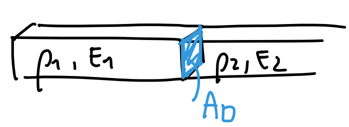
$\omega = 2\pi f$, $f = \frac{1}{\pi}\,\text{kHz}$

$\langle P(\xi_{in})\rangle$?

Wir haben für die Leistung von longitudinalen Wellen folgende Formel:

$$\langle P\rangle = \left\langle \iint_{A_\square} I\cdot dA \right\rangle \underset{\uparrow}{=} \langle I\rangle A_\square = \frac{1}{2}\rho\omega^2 A^2 v\cdot A_\square$$

I gleichmässig in $A_\square$



Also haben wir für die mittlere Leistung, die von ξ_{in} transportiert wird:

$$\langle P(\xi_{in})\rangle = \frac{1}{2}\rho_1 \omega^2 A^2 v_1 A_\square =$$

// $v_1 = 4000\,m/s$ aus a)
$A_\square$ (Querschnitt) $= S = 0.2\,cm^2$

$$= \frac{1}{2}\times 9\times 10^3 \frac{kg}{m^3}\times\left(2\cancel{\pi}\cdot\frac{1}{\cancel{\pi}}\times 10^3\,Hz\right)^2\times\left(10\times 10^{-6}\,m\right)^2\times 4000\,m/s\times 0.2\times 10^{-4}\,m^2$$

$$= \underline{\underline{144\,mW}}$$

c) $\xi_{in} = Ae^{i\omega\left(\frac{x}{v_1}-t\right)}$

ξ_r geht in die entgegengesetzte Richtung wie ξ_{in}

Reflektierter Anteil: $\xi_r(x,t) = r\cdot A\, e^{i\omega\left(-\frac{x}{v_1}-t\right)}$ //

Reflexionskoeffizient

Geschwindigkeit ändert sich nicht nach Reflexion

ξ_t geht in die gleiche Richtung wie ξ_{in}

Transmittierter Anteil: $\xi_t(x,t) = t\cdot Ae^{i\omega\left(\frac{x}{v_2}-t\right)}$ //

Transmissionskoeffizient

Geschwindigkeit ändert sich im Medium 2!

Randbedingungen bei $x=0$:
1) Stetigkeit: $\xi_{in}\big|_{x=0} + \xi_r\big|_{x=0} \stackrel{!}{=} \xi_t\big|_{x=0}$
2) Energieerhaltung: $\langle P_{in}\rangle = \langle P_r\rangle + \langle P_t\rangle$

$\Rightarrow$ 1) $$Ae^{i\omega\left(\frac{x}{v}-t\right)}\Big|_{x=0} + r\cdot Ae^{i\omega\left(-\frac{x}{v_1}-t\right)}\Big|_{x=0} \stackrel{!}{=} t\cdot Ae^{i\omega\left(\frac{x}{v_2}-t\right)}\Big|_{x=0}$$

$$\Leftrightarrow\; Ae^{-i\omega t} + r\cdot Ae^{-i\omega t} = t\cdot Ae^{-i\omega t} \qquad / \div Ae^{-i\omega t}$$

$$\Leftrightarrow\; 1 + r = t \quad \cdots ①$$

$\Rightarrow$ 2) $\langle P_{in}\rangle = \langle P_r\rangle + \langle P_t\rangle \qquad / \langle P\rangle = \frac{1}{2}\rho v \omega^2 A^2 A_\square$

$$\Leftrightarrow\; \cancel{\tfrac{1}{2}}\rho_1 v_1 \cancel{\omega^2}\cancel{A^2}\cancel{A_\square} = \cancel{\tfrac{1}{2}}\rho_1 v_1 \cancel{\omega^2}(r\cdot\cancel{A})^2\cancel{A_\square} + \cancel{\tfrac{1}{2}}\rho_2 v_2 \cancel{\omega^2}(t\cdot\cancel{A})^2\cancel{A_\square} \qquad / \div A^2, \div\tfrac{1}{2}, \div A_\square, \div\omega^2$$

$$\Leftrightarrow\; \rho_1 v_1 = \rho_1 v_1 r^2 + \rho_2 v_2 t^2 \qquad / \div \rho_1 v_1$$ (möglich, da $\rho_1 v_1 \neq 0$ ✓)

$$\Leftrightarrow\; 1 = r^2 + \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1}t^2 \quad \cdots ②$$

PDF-XChange Editor Click to BUY NOW! www.pdf-xchange.com

① in ② einsetzen: $1-r^2 = \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} \cdot (1+r)^2$

$$\Leftrightarrow (1+r)(1-r) = \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} \cdot (1+r)^2 \quad \Big| \div (1+r) \quad \text{(möglich, da } (1+r) \neq 0 \ \checkmark)$$

$$\Leftrightarrow 1-r = \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1}(1+r)$$

$$\Leftrightarrow 1-r = \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} + \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} r$$

$$\Leftrightarrow r + \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} r = 1 - \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1}$$

$$\Leftrightarrow r = \frac{1 - \frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1}}{\frac{\rho_2 v_2}{\rho_1 v_1} + 1} = \frac{\frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1}}{\frac{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}{\rho_1 v_1}} \cdot \underbrace{\frac{\rho_1 v_1}{\rho_1 v_1}}_{\times 1\text{-Trick}}$$

$$\Rightarrow r = \frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} = \frac{9 \times 10^3 \times 4000 - 20 \times 10^3 \times 2000}{9 \times 10^3 \times 4000 + 20 \times 10^3 \times 2000} = -\frac{1}{19} \approx \underline{\underline{-0{,}053}}$$

$$\Rightarrow t = 1 + r = 1 + \frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} = \frac{\rho_1 v_1 + \cancel{\rho_2 v_2} + \rho_1 v_1 - \cancel{\rho_2 v_2}}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} = \frac{2\rho_1 v_1}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2}$$

$$t = \frac{2 \times 9 \times 10^3 \times 4000}{9 \times 10^3 \times 4000 + 20 \times 10^3 \times 2000} = \underline{\underline{0{,}947}}$$

(Check: $|r|, |t| < 1$ ✓
$r + 1 = -0{,}053 + 1 = 0{,}947 = t$ ✓)

d) Intensität von ξ_r relativ zu Intensität von ξ_{in} Erinnerung: $\boxed{\langle I \rangle = \frac{1}{2} \rho v \omega^2 A^2}$

$$\Rightarrow \begin{aligned} \langle I_{in} \rangle &= \tfrac{1}{2} \rho_1 v_1 \omega^2 A^2 \\ \langle I_r \rangle &= \tfrac{1}{2} \rho_1 v_1 \omega^2 (r A)^2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \frac{\langle I_r \rangle}{\langle I_{in} \rangle} = r^2 = \left(\frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \right)^2$$

$$\Rightarrow \text{In dB: } 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\langle I_r \rangle}{\langle I_{in} \rangle} \right) \text{dB} = 10 \cdot \log_{10} \left(\left(\frac{\rho_1 v_1 - \rho_2 v_2}{\rho_1 v_1 + \rho_2 v_2} \right)^2 \right) = 10 \cdot \log_{10} \left(\left(-\frac{1}{19} \right)^2 \right)$$

Achtung 10x in Ph1

$$= 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{361} \right) \approx \underline{\underline{-25{,}6 \text{ dB}}}$$

TR

(Bem: Keine Ahnung was man hier mit $\log_{10}(2)$ annähern kann...)

PDF-XChange Editor Click to BUY NOW! www.pdf-xchange.com

Aufgabe 2:

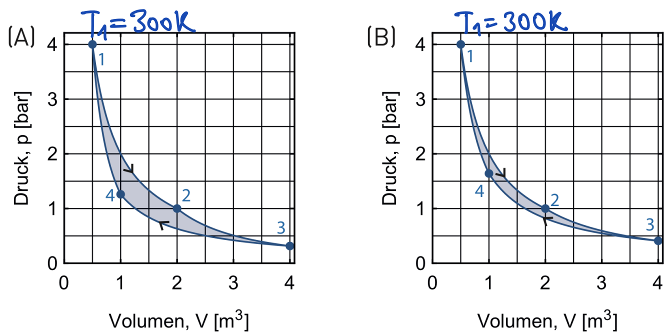


Abbildung 1 – Druck-Volumen-Diagramme zweier Carnot-Prozesse (A) und (B).

→ ideale Gase
→ Stoffmenge ν

a) $pV = \nu RT$ $(\hat{=} \tilde{n})$

Im Prozess A), Zustand 1 ist p, V, T bekannt

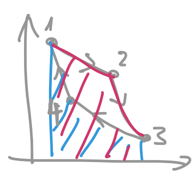
SI-Einheiten!

$$\Rightarrow p_1 V_1 = \nu R T_1 \Leftrightarrow \nu = \frac{p_1 V_1}{R T_1} = \frac{4\,\text{bar} \times 0.5\,\text{m}^3}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \cdot 300\,\text{K}} = \frac{4 \times 10^5\,\text{Pa} \times 0.5\,\text{m}^3}{8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}} \cdot 300\,\text{K}} \simeq \underline{\underline{80\,\text{mol}}}$$

b) am System verrichtet: $W^{\swarrow}$

⇒ <u>negativ</u> (Da die im Uhrzeigersinn orientiert eingeschlossene Fläche im pV-Diagramm entspricht der Arbeit, welche die Maschine in die Umgebung (also $W^{\nearrow}$)

Mathematisch: $W^{\swarrow} = -\int_{V_A}^{V_E} p\,dV = -\underbrace{\int_1^2 p\,dV}_{>0} - \underbrace{\int_2^3 p\,dV}_{>0} - \underbrace{\int_3^4 p\,dV}_{<0} - \underbrace{\int_4^1 p\,dV}_{<0}$



$$\Leftrightarrow W^{\swarrow} = \underbrace{-\left(\int_1^2 p\,dV + \int_2^3 p\,dV\right)}_{\text{grössere}} + \underbrace{\int_3^4 p\,dV + \int_4^1 p\,dV}_{\text{kleinere Fläche}} < 0$$

c) Adiabatenkoeffizient: $\kappa = \frac{f+2}{f}$ wobei f = Freiheitsgrad der Atome im Gas

→ Da beide Gase identisch sind, ist der Adiabatenkoeffizient <u>für beide Gase A und B identisch.</u>

d)

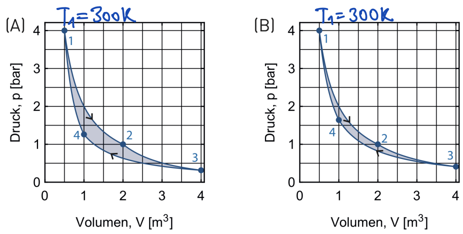


Abbildung 1 – Druck-Volumen-Diagramme zweier Carnot-Prozesse (A) und (B).

A) ① → ②: isotherm, da $p_1V_1 = p_2V_2$

(d) Welche der folgenden Aussagen trifft zu?

☐ Alle vier Prozessabschnitte verlaufen jeweils isotherm. → falsch, da bei A) ② → ③: $p_2V_2 \neq p_3V_3$ ⇒ nicht isotherm

☒ Prozessabschnitte 2 → 3 und 4 → 1 sind jeweils adiabatisch. Die anderen beiden Prozessabschnitte sind isotherm.

☐ Prozessabschnitte 2 → 3 und 4 → 1 sind jeweils isotherm. Die anderen beiden Prozessabschnitte sind adiabatisch. → falsch da bei A) ② → ③: $p_2V_2 \neq p_3V_3$ ⇒ nicht isotherm

☐ Alle vier Prozessabschnitte verlaufen adiabatisch. → falsch, da bei A) ① → ②: $p_1V_1 = p_2V_2$ ⇒ isotherm
→ ∃ mind. 1 nicht adiabatisch

e) Die innere Energie des Gases U ist ...

☒ an Punkt 1 und an Punkt 2 identisch. → Richtig da bei isothermen Prozessen gilt $\Delta U = 0$

☐ an Punkt 3 kleiner als an Punkt 4.

☐ an Punkt 4 grösser als an Punkt 2.

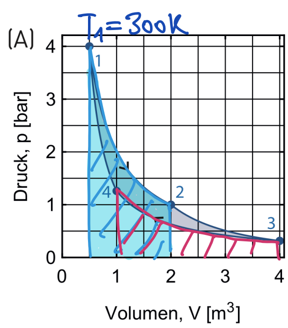
f) Betrachten Sie den Fall A. Wie gross ist die dem System während eines Zyklus zugeführte Wärmemenge? Verwenden Sie dazu, die in der Graphik angegebenen Drücke und Volumina für Ihre Abschätzung.

☐ ≈ +100 kJ

☐ ≈ +10 kJ

☐ ≈ −10 kJ

☐ ≈ −100 kJ



$$Q^{\swarrow} = Q^{\swarrow}_{1\to2} + \cancel{Q^{\swarrow}_{2\to3}}^{\,0} + Q^{\swarrow}_{3\to4} + \cancel{Q^{\swarrow}_{4\to1}}^{\,0}$$

bei adiabatischen Prozessen ist $\Delta Q = 0$

$$= -W^{\swarrow}_{1\to2} - W^{\swarrow}_{3\to4}$$

bei isothermen Prozessen ist $Q^{\swarrow} = -W^{\swarrow}$

$$= -\left(-\int_{V_1}^{V_2} p\,dV\right) - \left(-\int_{V_3}^{V_4} p\,dV\right)$$

$$= \int_{V_1}^{V_2} p\,dV + \underbrace{\int_{V_3}^{V_4} p\,dV}_{<0}$$

(negative Fläche → verwirrend :/)

$$= \int_{V_1}^{V_2} p\,dV - \underbrace{\int_{V_4}^{V_3} p\,dV}_{>0}$$

(positive Fläche :))

⇒ Bestimme anhand Graphik (Fläche !)

$$Q^{\swarrow} \cong \underbrace{11}_{\text{ungefähr 11 Kästchen}}\cdot(0.5\,\text{bar} \times 0.5\,\text{m}^3) - \underbrace{6}_{\text{ungefähr 6 Kästchen}}\cdot(0.5\,\text{bar} \times 0.5\,\text{m}^3) = 125\,\text{kJ} \cong \underline{\underline{+100\,\text{kJ}}}$$

PDF-XChange Editor Click to BUY NOW! www.pdf-xchange.com

PDF-XChange Editor
Click to BUY NOW!
www.pdf-xchange.com

g) Carnot - Wirkungsgrad: $\eta = \frac{\text{gewonnene Arbeit}}{\text{zugeführte Arbeit}} = \frac{\sum W^{\nearrow}}{\sum Q^{\swarrow}}$

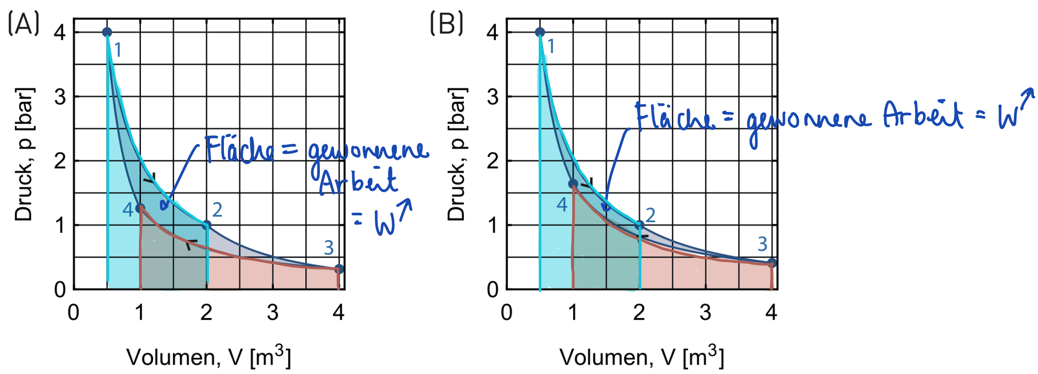


Abbildung 1 – Druck-Volumen-Diagramme zweier Carnot-Prozesse (A) und (B).

$Q^{\swarrow}$: Wie in f überlegen: Fläche − Fläche

Bei B) ist $W^{\nearrow}$ deutlich kleiner als bei A).

Gleichzeitig ist $Q^{\swarrow}$ bei beiden Fällen fast gleich (bei B) ein bisschen kleiner, aber nicht so viel kleiner wie $W^{\nearrow}$).

Folglich ist der Wirkungsgrad im Fall A grösser als im Fall B.

nicht 100% sicher

h) Welche der folgenden Aussagen ist in beiden Fällen korrekt?

☐ Die Entropie des Gases bleibt während des gesamten Kreisprozesses unverändert. → falsch. Bei den isothermen Prozessen ändert sich die entropie

☐ Die Entropie des Gases nimmt beim Übergang von Punkt 2 nach Punkt 3 zu.

☐ Die Entropie des wärmeren der beiden Reservoire 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.

falsch da 2 → 3 ist ein adiabatischer Prozess → $\Delta S = 0$

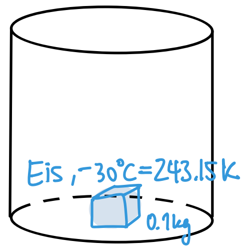
Macht keinen Sinn, woher soll die Wärme kommen? $dS = \frac{dQ^{\swarrow}}{T}$ → Maschine entzieht Wärme aus dem Wärmereservoir um daraus mechanische Arbeit zu erzeugen!

korrekt da bei Carnotprozessen gilt $\Delta S = 0$ über einen ganzen Zyklus, sowohl für die Maschine als auch für die Umgebung.

(D.h. es ist eigentlich sogar ΔS (kalter Reservoir) $= -\Delta S$ (warmer Reservoir))

PDF-XChange Editor Click to BUY NOW! www.pdf-xchange.com

Aufgabe 3:



$\lambda_{Schmelz} \approx 330 \frac{kJ}{kg}$ (für Übergang Eis → Wasser)

$c_{Wasser} \approx 4 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

$c_{Eis} \approx 2 \frac{kJ}{kg \cdot K}$

a) $Q^{\swarrow} = \underbrace{m \cdot c_{Eis} \cdot \Delta T}_{\text{benötigte Wärme bis das Eis 0°C erreicht}} + \underbrace{m \cdot \lambda_{Schmelz}}_{\text{benötigte Wärme für das Schmelzen vom Eis}} = m \cdot \left(c_{Eis} \cdot (T_{Ende} - T_{Anfang}) + \lambda_{Schmelz} \right) =$

$= 0.1\,kg \cdot \left(2 \times 10^3 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (273.15\,K - 243.15\,K) + 330 \times 10^3 \frac{J}{kg} \right) =$

$= \underline{\underline{39\,kJ}}$

b) 1 kg Wasser

Das ganze Eis muss schmelzen. T_{min}, s.d. es genau schmilzt (und keine Wärme "übrig" ist):

$\underbrace{Q^{\nearrow}_{Wasser}}_{\text{Wärme, die von Wasser entnommen wird}} = -m_{Wasser} \cdot c_{Wasser} \cdot \Delta T_{min} \overset{!}{=} 39\,kJ = Q^{\swarrow}_{Eis}$

$\Leftrightarrow \quad \Delta T_{min} = \frac{-Q^{\nearrow}}{m_W \cdot c_W} = \frac{-39\,kJ}{1\,kg \times 4 \times 10^3 \frac{J}{kg \cdot K}} = -9.75\,K$

Da $\Delta T_{min} = \underbrace{T_{Ende}}_{0°C = 273.15\,K} - \underbrace{T_{Anfang,min}}_{?}$

$\Rightarrow T_{Anfang,min} = T_{Ende} - \Delta T_{min} = 273.15\,K + 9.75\,K = 282,9\,K = \underline{\underline{9.75°C}}$

c) Gesamtsystem Eis und Wasser:

$\Rightarrow$ Die Entropie hat sich erhöht, da nun mehr Unordnung im System herrscht (Entropie $\hat{=}$ Mass der Unordnung). Man kann auch argumentieren, dass

PDF-XChange Editor Click to BUY NOW! www.pdf-xchange.com

Eis eine feste Zustandsordnung ist (Teilchen sind in gitterform angeordnet und können sich kaum bewegen) wobei sich die Teilchen im Wasser viel freier bewegen können. D.h. die im System involvierten Teilchen können sich nach dem vollständigen Schmelzen des Eis viel freier bewegen als am Anfang, wo das System aus Eis und Wasser bestand. Folglich können mehr Zustände der Teilchen auftreten → Entropie hat sich erhöht

↳ d.h.  ...

(statistische Definition der Entropie)

Mathematischer Ausdruck:

$$\Delta S_{System} = \Delta S_{Eis} + \Delta S_{Wasser} = \int \frac{1}{T_{Eis}} \, dQ_{Eis}^{\swarrow} - \int \frac{1}{T_{Wasser}} \, dQ_{Wasser}^{\nearrow}$$

$$\propto \int_{T_{anfang}}^{T_{ende}} \frac{1}{T_{Eis}} \, dT - \int_{T_{anfang}}^{T_{ende}} \frac{1}{T_{Wasser}} \, dT =$$

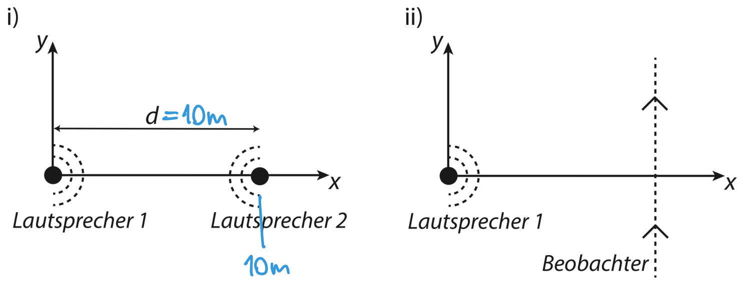
da $Q \propto T$

$$= \int_{-30°C}^{0°C} \frac{1}{T} \, dT - \int_{9.75°C}^{0°C} \frac{1}{T} \, dT$$

$$= \ln\left(\frac{273.15}{243.15}\right) - \ln\left(\frac{273.15}{282.9}\right) > 0$$

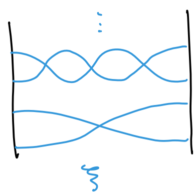
$\square$

Aufgabe 4: $f = 343\,\text{Hz}$ $\qquad v = 343\,\text{m/s}$ (Schall)

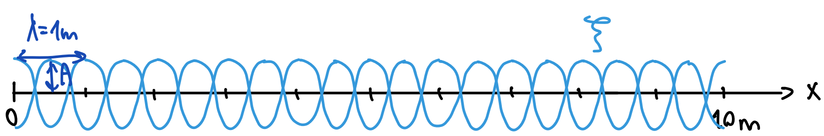


a) Die Wellenlänge beider Wellen ist: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343\,\text{m/s}}{343\,\text{Hz}} = 1\,\text{m}$

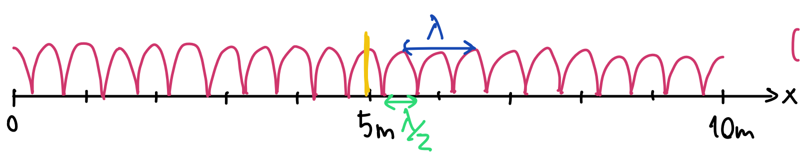
Wir haben stehende Wellen (da beide Quellen haben gleiches A, f, φ) mit 2 losen Enden, also in folgender Form:



Da aber $\lambda = 1\,\text{m}$, sieht die Welle so aus:



Wir wollen uns aber die Intensität anschauen: $I \propto A^2$



(sieht ungefähr so aus)

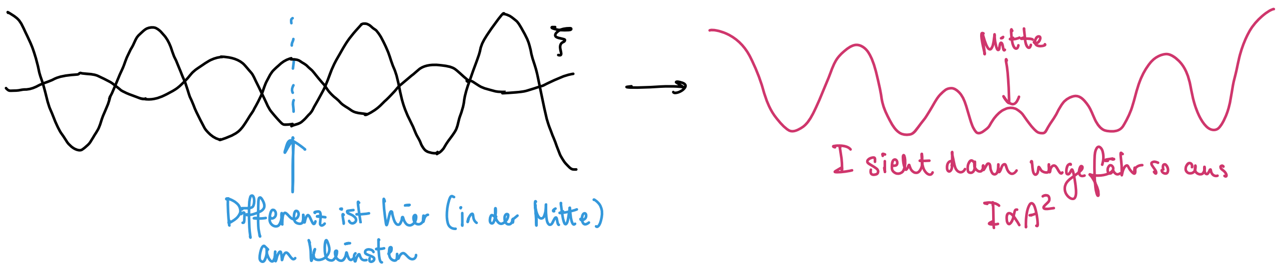
Wir sehen, dass sich in der Mitte der Verbindungslinie zwischen den beiden Lautsprecher ein Maximum befindet und der Abstand zwischen 2 Intensitäts-minima ist $\frac{\lambda}{2}$. Folglich ist die Anzahl Minima $= \frac{d}{\left(\frac{\lambda}{2}\right)} = \underline{\underline{20}}$

b) $A \propto \frac{1}{r^2}$. D.h. je weiter von der Quelle entfernt, desto kleiner die Amplitude. Die effektive Amplitude der stehenden Welle ist dort am kleinsten, wo die

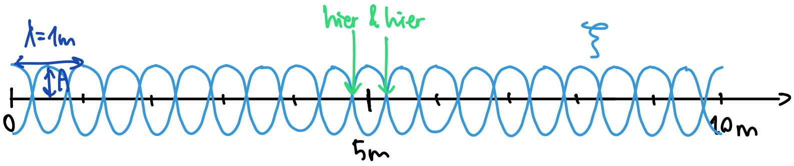
↳ $A_{eff} = |A_1 - A_2|$

PDF-XChange Editor Click to BUY NOW! www.pdf-xchange.com

Differenz der beiden Amplituden am kleinsten ist. Dies ist in der Mitte

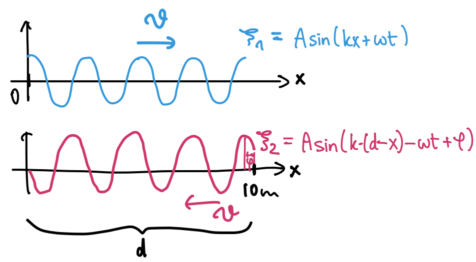


der Verbindungslinie der Fall. Da die Intensitätsminima aus a) symmetrisch um den Streckenmittelpunkt der beiden Quellen liegen, sind die beiden Minima bei $x = 4.75$ m und $x = 5.25$ m am ausgeprägtesten.



c) destruktive Interferenz:

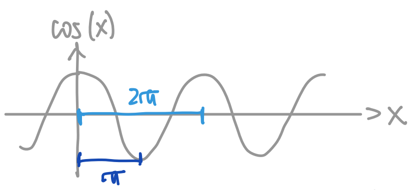
$$\xi_{tot} = \xi_1 + \xi_2 = A\sin(kx + \omega t) + A\sin(k\cdot(d-x) - \omega t + \varphi)$$



@ $x = 5.1$: $\xi_{tot} = A\sin(kx - \omega t) + A\sin(k\cdot(d-x) - \omega t + \varphi) \overset{!}{=} 0 \quad / \div A$

$$\Longleftrightarrow \sin(kx - \omega t) = -\sin(k\cdot(d-x) - \omega t + \varphi)$$

Erinnerung:



$\sin(x + 2\pi) = \cos(x)$

$\sin(x + \pi) = -\cos(x)$

sin is 2π- periodisch, $n \in \mathbb{Z}$

$\Rightarrow \sin(x) = -\sin(x + \pi) = -\sin(x + \pi + 2n\pi) = -\sin(x + (2n+1)\pi)$

$\Rightarrow \sin(x) = -\sin(x + \underbrace{(2n+1)}_{\text{ungerade Zahl}}\pi)$, $n \in \mathbb{Z}$

d.h. also: wenn wir $\sin(\alpha) = -\sin(\beta)$ haben, ist $\beta - \alpha = (2n+1)\pi$, $n \in \mathbb{Z}$

$\Rightarrow$ Verwende Erinnerung in Gleichung: $kx + \omega t$ an der Stelle von α, $k\cdot(d-x) - \omega t + \varphi$ an der Stelle von β

$$\Rightarrow \quad k\cdot(d-x)-\omega t+\varphi-kx+\omega t \overset{!}{=} (2n+1)\pi \quad , n\in\mathbb{Z}$$

$$\Leftrightarrow \quad kd-kx-\cancel{\omega t}+\varphi-kx+\cancel{\omega t} = (2n+1)\pi$$

$$\Leftrightarrow \quad -2kx+kd+\varphi = (2n+1)\pi$$

$$\Leftrightarrow \quad k\cdot(d-2x)+\varphi = (2n+1)\pi$$

$$k=\frac{2\pi f}{v}=\frac{2\pi\cdot 343\,Hz}{343\,m/s}=2\pi\,m^{-1}$$

$$d=10\,m \quad , x=5.1\,m$$

$$\Rightarrow \quad \varphi=(2n+1)\pi-k\cdot(d-2x)=(2n+1)\pi-2\pi\cdot(10-2\times 5.1)$$

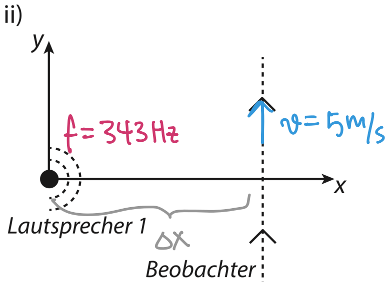
$$\Leftrightarrow \varphi = (2n+1-20+20{,}4)\pi = (2n+1.4)\pi$$

Da $\varphi \overset{!}{\in} [0,2\pi)$, muss $2n+1.4 \overset{!}{\in} [0,2)$ sein

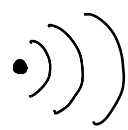
n schätzen: $n=0$: $2\cdot 0+1.4 = 1.4 \in [0,2)$ ✓

Folglich haben wir $\underline{\underline{\varphi = 1{,}4\pi}}$

d) ii)



$\underline{y=0}$:

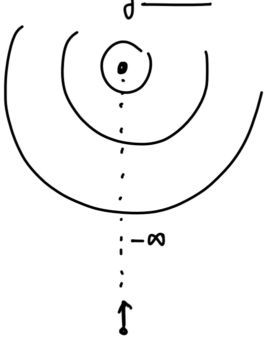


$v=5\,m/s$

Dopplereffekt wird berechnet mit der Geschwindigkeitskomponente in Richtung der Verbindungslinie zwischen Quelle und Beobachter.
Bei $\underline{y=0}$: $\underline{\text{keine}}$ solche Geschwindigkeitskomponente

$$\Rightarrow \quad f_B = f_Q = \underline{\underline{343\,Hz}}$$

$\underline{y\to-\infty}$:



Dann ist Δy so viel grösser als Δx , das wir annähernd sagen können, dass der Beobachter sich direkt in Richtung der Quelle bewegt.

Schallgeschwindigkeit

$$\Rightarrow \quad f_B = f_Q\cdot\frac{v_S+v_B}{v_Q} = 343\,Hz\cdot\frac{343\,m/s+5\,m/s}{343\,m/s} = \underline{\underline{348\,Hz}}$$

Quelle in Ruhe,
Beobachter bewegt sich in Richtung der Quelle

$\underline{y\to+\infty}$: Gleiche Überlegungen wie $y\to-\infty$. $\quad f_B = f_Q\cdot\frac{v_S-v_E}{v_S} = 343\,Hz\cdot\frac{343\,m/s-5\,m/s}{343\,m/s} = \underline{\underline{338\,Hz}}$

Quelle in Ruhe , Beobachter entfernt sich von Quelle