

1. Harmonische Schwingungen und Wellen [Σ 13.5]

Die in Abb. 1 gezeigte Anordnung aus einer Masse m und zwei identischen Federn mit der selben Federkonstante k wird in Schwingung versetzt, indem die Masse zwischen den Federn aus der Ruhelage $y = 0$ in eine Lage $y_{\text{start}} < 0$ entlang der y -Richtung ausgelenkt und von dort losgelassen wird. Die Masse der Federn soll vernachlässigt werden.

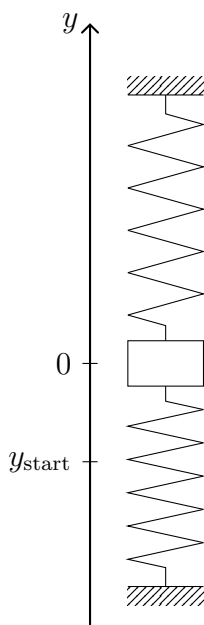


Abbildung 1 – Anordnung aus einer Masse und zwei Federn.

- Stellen Sie eine Differentialgleichung auf, die das dynamische Verhalten des Systems beschreibt. *Hinweis:* Benutzen Sie das vorgegebene Koordinatensystem, in dem die Ruhelage an der Koordinate $y = 0$ liegt, und vernachlässigen Sie Reibungskräfte. [2.5]
- Die Zeitmessung wird bei $t = 0$ in dem Moment gestartet, in dem die Masse nach dem Loslassen zum ersten Mal die Ruhelage passiert. Geben Sie unter dieser Annahme die korrekte Wahl der Konstanten $A > 0$, $\omega > 0$ und $\varphi \in [0; 2\pi)$ im Ansatz

$$y(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

an. *Hinweis:* Beachten Sie, dass Sie diejenige Lösung bestimmen sollen, bei der die Amplitude A positiv ist und die Phase φ im Bereich $[0; 2\pi)$ liegt. [3]

- Bestimmen Sie die Gesamtenergie des Oszillators zum Zeitpunkt $t > 0$ unter Vernachlässigung von möglichen Reibungsverlusten. [2]

Nun wird eine andere Anordnung betrachtet. Das in Abb. 2 gezeigte Seil mit Spannkraft F und linearer Dichte $\mu = 0.09 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ werde bei der Koordinate $x = 0$ ab dem Zeitpunkt $t = 0$ gemäss der Gleichung

$$y(0, t) = A \sin(2\pi f t), \quad \text{für } t \geq 0$$

mit $f = 2.5 \text{ Hz}$ und $A > 0$ periodisch ausgelenkt.

Es wird angenommen, dass das Seil lang genug ist, sodass innerhalb des betrachteten Zeitintervalls keine Reflexionen am anderen Seilende berücksichtigt werden müssen.

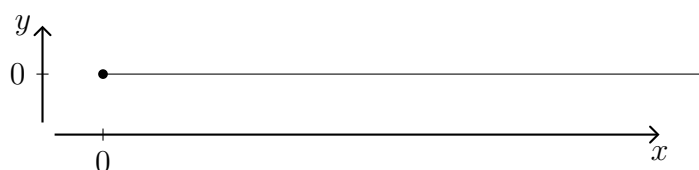


Abbildung 2 – Seil.

An der Stelle $x = 10 \text{ m}$ wird zum Zeitpunkt $t = 0.3 \text{ s}$ die erste Auslenkung beobachtet.

- (d) Mit welcher Kraft F muss das Seil demnach gespannt sein? [2]
- (e) Skizzieren Sie die Auslenkung $y(x, t)$ zum Zeitpunkt $t = 0.3 \text{ s}$ für $x \in [0; 10 \text{ m}]$. Achten Sie auf eine ausreichende Beschriftung der Achsen. [2]

Nun wird die in Abb. 3 gezeigte Kombination der beiden Anordnungen betrachtet. Die durch eine anfängliche Auslenkung in Schwingung versetzte Masse dient dabei als Anregung der Seilwelle. Eine Bewegung der Masse in x -Richtung auf Grund der Spannkraft wird dabei durch eine Führungsschiene (nicht abgebildet) verhindert.

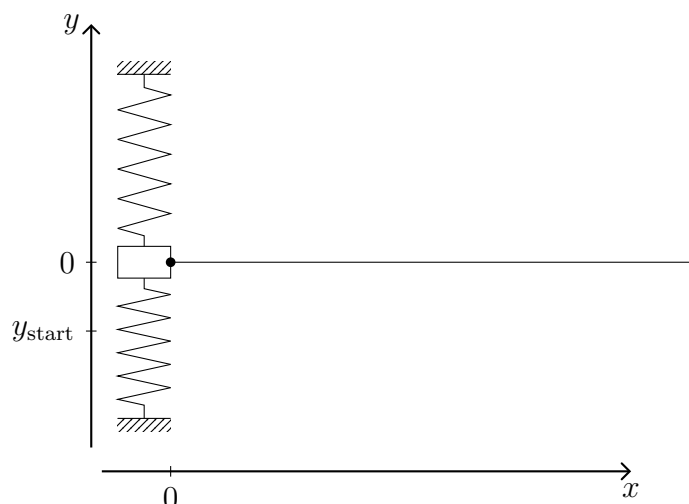


Abbildung 3 – Kombination aus Federoszillator und Seil.

- (f) Wie verändert sich in dieser Anordnung Ihre Lösung zu Aufgabe 1c), selbst wenn mögliche Reibungsverluste weiterhin vernachlässigt werden? Geben Sie eine qualitative Antwort (keine Rechnung) mit Begründung. [2]

2. Reflexionen zwischen zwei Glasplatten [$\sum 9.5$]

Ein Lichtstrahl fällt mit einem Winkel θ_1 zur Vertikalen zwischen zwei Glasplatten ein, siehe Abb. 4.

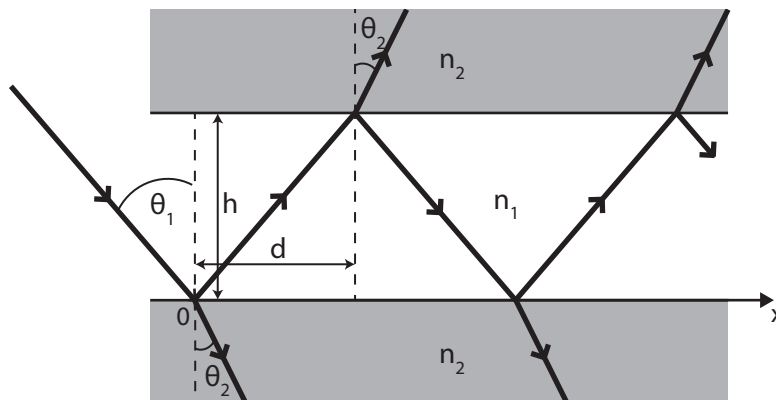


Abbildung 4 – Anordnung aus zwei Glasplatten mit einfallendem Lichtstrahl.

An den Grenzflächen Luft (Brechungsindex $n_1 = 1$) zu Glas (Brechungsindex $n_2 > n_1$) wird jeweils ein Anteil R der Lichtleistung reflektiert und ein Anteil $T = 1 - R$ transmittiert. Die Glasplatten haben den Abstand h und können als unendlich ausgedehnt angenommen werden. Weiterhin sei der Durchmesser des Lichtstrahls klein genug, sodass es zu keinen Interferenzeffekten kommt.

- Bestimmen Sie einen Ausdruck für den Winkel θ_2 des transmittierten Lichtstrahls zur Vertikalen. Berechnen Sie anschliessend θ_2 für den Spezialfall, dass $n_2 = 1.5$ und $\theta_1 = 45^\circ$ gilt. [2]
- Gibt es Einfallswinkel θ_1 , für die der Lichtstrahl beim Auftreffen von Luft auf Glas total reflektiert wird? Begründen Sie Ihre Antwort. [1.5]
- Bestimmen Sie einen Ausdruck für den horizontalen Abstand d zwischen zwei Reflexionen in Abhängigkeit von h und θ_1 . Geben Sie anschliessend d für den Spezialfall an, dass $h = 15$ cm und $\theta_1 = 45^\circ$ gilt. [1.5]
- Welcher Anteil der ursprünglichen Lichtleistung ist im Abstand $x_2 = 2d$ und allgemein im Abstand $x_n = nd$ mit $n = 1, 2, 3, \dots$ noch im Lichtstrahl zwischen den Glasplatten vorhanden? Geben Sie die Ergebnisse in dB in Abhängigkeit von R bezogen auf die ursprüngliche Leistung an.

Hinweis: Sie können die Fragen jeweils für einen Punkt kurz hinter dem angegebenen Abstand beantworten, also bei leicht grösserer x -Koordinate. [3]

- Nach welcher Distanz (in Abhängigkeit von d) ist die Leistung des Lichtstrahls zwischen den Glasplatten auf -60 dB (bezogen auf die ursprüngliche Leistung) abgefallen, wenn $R = 1/10$ ist? [1.5]

NAME:	VORNAME:	LEGI NR.:

3. Überlagerung von Schallwellen [$\sum 15$]

Wir betrachten die in Abb. 5 dargestellte Anordnung zweier Lautsprecher auf der x -Achse und eines Beobachters am Punkt B auf der y -Achse. Vereinfachend gehen wir davon aus, dass die beiden Lautsprecher Schall bei einer konstanten Frequenz von $f_0 = 680 \text{ Hz}$ gleichmässig in alle drei Raumrichtungen als Kugelwelle aussenden. Die Schallgeschwindigkeit sei $c = 340 \text{ m/s}$.

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 3 Punkten bewertet, jede falsch beantwortete Teilaufgabe mit 0 Punkten.

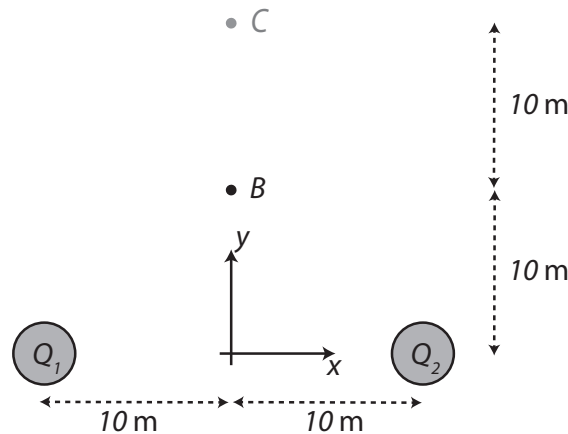
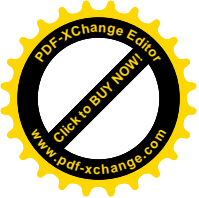


Abbildung 5 – Zwei Schallquellen Q_1 und Q_2 und zwei ausgezeichnete Beobachtungspunkte B und C .

- (a) Zunächst sei lediglich der linke Lautsprecher Q_1 eingeschaltet und sende eine Schallleistung von $P = 50 \text{ W}$ aus. Mit welcher Intensität I nimmt der Beobachter am Punkt B den Schall wahr?
- ☐ ungefähr $5 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$
- ☐ ungefähr $10 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$
- ☐ ungefähr $20 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$
- ☐ ungefähr $40 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$
- ☐ ungefähr $80 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$
- ☐ ungefähr $160 \frac{\text{mW}}{\text{m}^2}$
- (b) Nun wird zusätzlich der zweite Lautsprecher Q_2 eingeschaltet, allerdings bei einem Viertel der Schallleistung $P/4 = 12.5 \text{ W}$. Nehmen Sie an, die beiden Lautsprecher senden die Schallwellen jeweils mit gleicher Phase aus. Um welchen Faktor ändert sich die vom Beobachter wahrgenommene Intensität relativ zum ersten Fall a)?



NAME:	VORNAME:	LEGI NR.:

- ☐ Faktor 1 (Die Intensität bleibt gleich)
 - ☐ Faktor $3/2$
 - ☐ Faktor $\sqrt{3/2}$
 - ☐ Faktor $9/4$
 - ☐ Faktor 2
- (c) Die Schallleistung von Q_2 werde nun auch auf $P = 50 \text{ W}$ angehoben. Um welche Strecke müsste man die Schallquelle Q_2 in Richtung des Beobachters verschieben (auf der Verbindungslinie zwischen dem ursprünglichen Ort von Q_2 und dem Beobachter), damit die Schallintensität am Beobachtungspunkt B das erste Mal verschwindet?
- Hinweis:* Formulieren Sie zunächst eine Bedingung für destruktive Interferenz der beiden Schallwellen am Beobachtungspunkt und den dazugehörigen Gangunterschied der beiden Wellen.
- ☐ 25 cm
 - ☐ 50 cm
 - ☐ 1.0 m
 - ☐ 1.5 m
 - ☐ 8 m
- (d) Nun wird die Frequenz des zweiten Lautsprechers leicht auf einen grösseren Wert f_2 verändert. Q_1 sendet nach wie vor bei der ursprünglichen Frequenz aus. Beide Quellen befinden sich bei ihrer jeweiligen Ursprungsposition. Aufgrund des Phänomens der Schwebung nimmt der Beobachter nun periodische Lautstärkeschwankungen wahr. Die Zeitdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lautstärkemaxima sei 1 s. Bestimmen Sie die Frequenz f_2 .
- ☐ 680.5 Hz
 - ☐ 681 Hz
 - ☐ 682 Hz
 - ☐ 684 Hz
- (e) Beide Lautsprecher strahlen nun wieder bei gleicher Frequenz f_0 , gleicher Phase und gleicher Schallleistung an ihren ursprünglichen Orten ab. Der Beobachter bewege sich nun entlang der y -Achse mit konstanter Geschwindigkeit $v = 3.4 \text{ m/s}$ von den Lautsprechern weg. Mit welcher Frequenz nimmt der Beobachter den Schall wahr, wenn er den Punkt C in Abb. 5 passiert?
- ☐ ungefähr 0.6 Hz kleiner als f_0
 - ☐ ungefähr 6 Hz kleiner als f_0
 - ☐ ungefähr 60 Hz kleiner als f_0
 - ☐ ungefähr 0.6 Hz grösser als f_0
 - ☐ ungefähr 6 Hz grösser als f_0
 - ☐ ungefähr 60 Hz grösser als f_0

4. Thermodynamischer Kreisprozess [$\sum 19$]

Betrachten Sie den im pV -Diagramm in Abb. 6 dargestellten Kreisprozess eines idealen Gases. Die Temperatur im Zustand ② sei $T_2 = 510$ K. Die adiabatische Zustandsänderung von ③ nach ④ werde durch

$$p = p_0 \cdot \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-\frac{7}{5}}$$

mit $p_0 = 2.91$ kPa und $V_0 = 1$ m³ beschrieben.

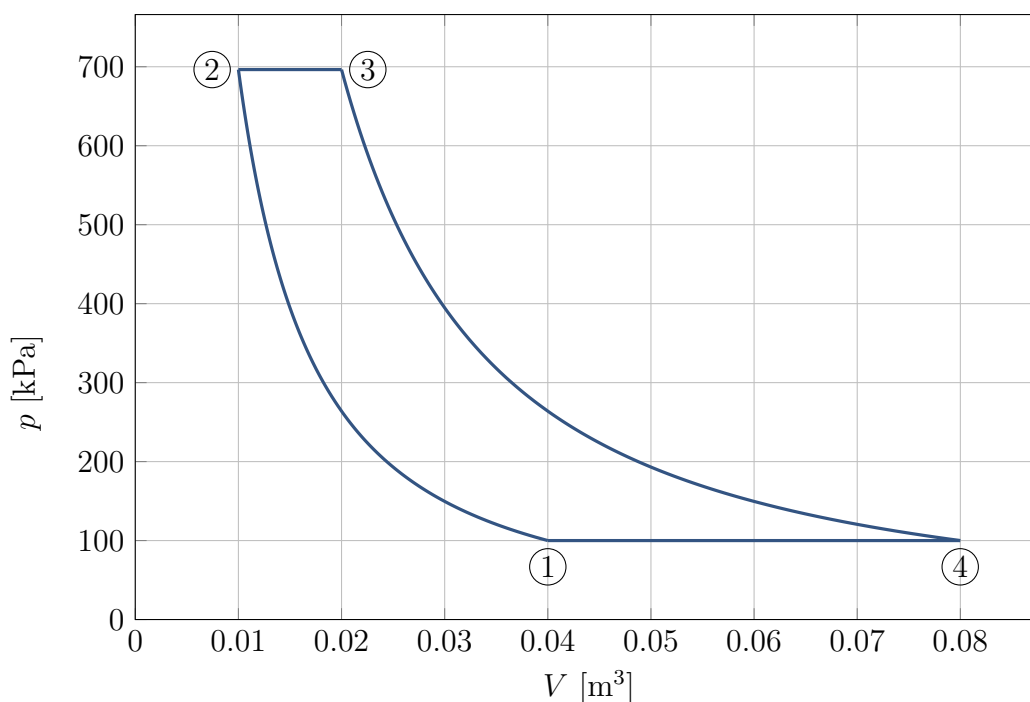


Abbildung 6 – pV -Diagramm eines thermodynamischen Kreisprozesses.

- Bestimmen Sie die Stoffmenge ν des Gases in mol. [2]
- Wie viele Freiheitsgrade haben die Gasmoleküle? Was können Sie daraus über die Anzahl von Atomen pro Gasmolekül folgern? [2]
- Berechnen Sie die Arbeit ΔW_{34}^{\nearrow} , die das System während der Zustandsänderung von ③ nach ④ an der Umgebung verrichtet. [4]
- Ist die Arbeit, die das System während eines kompletten Umlaufs ①→②→③→④ an der Umgebung verrichtet, positiv oder negativ? Geben Sie eine kurze Begründung Ihrer Antwort. [1.5]
- Bestimmen Sie die Temperatur T_3 im Zustand ③. [1]
- Berechnen Sie die Wärmeaufnahme ΔQ_{23}^{\swarrow} des Gases während der Zustandsänderung von ② nach ③. [3]

NAME:	VORNAME:	LEGI NR.:

- (g) Beschriften Sie im qualitativen ST -Diagramm des Kreisprozesses in Abb. 7 die Zustände ① bis ④. Schreiben Sie eine Begründung auf, aus der hervorgeht, warum die von Ihnen gewählte Zuordnung die einzig mögliche ist. [2.5]

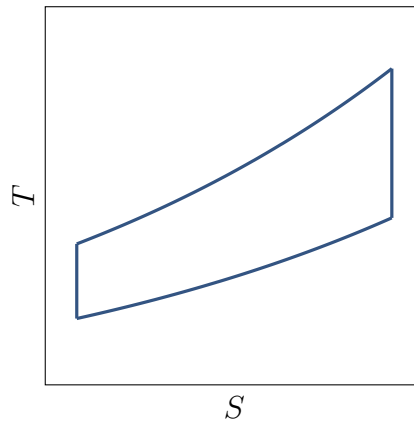


Abbildung 7 – Qualitatives ST -Diagramm.

- (h) Während der Zustandsänderung von ④ nach ① wird dem Gas die Wärme $\Delta Q_{41}^{\nearrow} = 1.4 \cdot 10^4 \text{ J}$ durch Kühlung mit ausreichend kaltem Wasser entzogen. Welches Volumen V_{Wasser} an frischem Kühlwasser wird pro Zyklus mindestens benötigt, damit sich das Kühlwasser während des Zyklus um maximal 5 K erwärmt? [3]

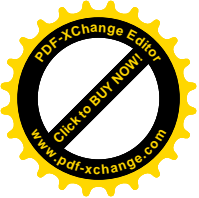


Tabelle physikalischer Konstanten

Grösse	Symbol	Wert	Einheit
Gravitationsbeschleunigung Erde	g	9.81	m s^{-2}
Avogadro-Konstante:	N_A	$6.022 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Boltzmann-Konstante:	k	$1.381 \cdot 10^{-23}$	J K^{-1}
Universelle Gaskonstante:	R	8.315	$\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$
spezifische Wärmekapazität von Wasser	c_{Wasser}	4180	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
Dichte von Wasser bei 4 °C	ρ_{Wasser}	1000	kg m^{-3}