

Prüfungsvorbereitung Physik: Wellen

Die Grundlagen aus den vorhergehenden Prüfungen werden vorausgesetzt (vor allem Symbole und Einheiten).

Theoriefragen: Diese Begriffe müssen Sie auswendig in ein bis zwei Sätzen erklären können.

- a) Welle
- b) Woraus besteht ein Medium?
- c) Was transportiert eine fortlaufende Welle, was nicht?
- d) Auslenkung
- e) Amplitude
- f) Frequenz
- g) Periode
- h) Kreisfrequenz
- i) Wellenlänge
- j) Ausbreitungsgeschwindigkeit
- k) Wellentypen
 - Nennen und beschreiben Sie die zwei Typen von Wellen, die es gibt
 - In welchen Medien (gasförmig/flüssig/fest) breiten sich welche Wellentypen aus? Mit je einem Beispiel
- l) Erdbebenwellen
 - Welcher Wellentyp ist eine P-Welle, welcher eine S-Welle?
 - Welche (P- oder S-Welle) breitet sich schneller aus?
- m) Wasserwellen: Welche Bewegung führen die einzelnen Teilchen einer Wasserwelle aus?
- n) Harmonische Welle
 - Unter welchen Voraussetzungen ist eine Welle harmonisch?
 - Durch welche mathematische Funktion wird eine harmonische Welle beschrieben?
 - Nennen Sie je ein Beispiel für eine harmonische und eine nicht harmonische Welle.
- o) Interferenz; konstruktive/destruktive Interferenz
- p) kohärent
- q) Weglänge
- r) Gangunterschied
- s) Wie wird eine Welle an einem festen/freien Ende reflektiert?
- t) Wie entsteht eine stehende Welle?
- u) Was transportiert eine stehende Welle, was nicht?
- v) Wie entstehen Eigenschwingungen?
- w) Schwingungsknoten/Schwingungsbauch
- x) Wie hängen die Wahrnehmung der Tonhöhe mit der Frequenz einer Schallschwingung zusammen?

Fähigkeiten:

- Formeln umformen, Zahlenwerte mit Einheiten einsetzen und ausrechnen
- Resultate auf die richtige Anzahl Ziffern runden
- Mit Diagrammen umgehen
- Winkel vom Gradmass ins Bogenmass umrechnen und umgekehrt

Erlaubte Hilfsmittel: einfacher Taschenrechner (ohne CAS), «Formeln, Tabellen, Begriffe», Formelblatt («Spick», A5 beidseitig beschrieben).

Physikalische Grössen: Für diese physikalischen Grössen müssen Sie Symbol und Einheit kennen.

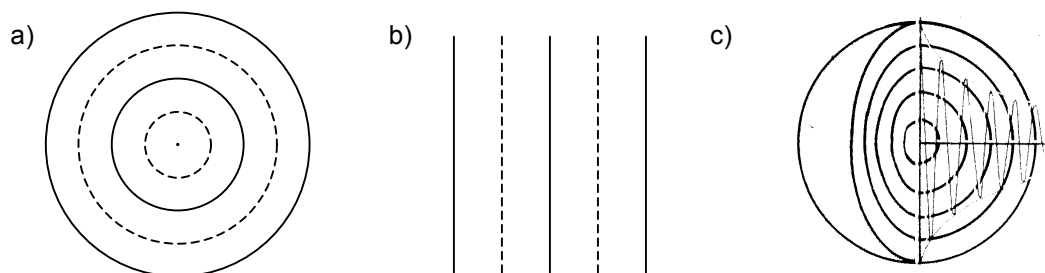
	Symbol	Einheit		Symbol	Einheit
Auslenkung			Amplitude		
Periode			Frequenz		
Kreisfrequenz			Anfangsphase		
Ausbreitungsgeschwindigkeit			Wellenlänge		
Weglänge			Gangunterschied		
Grundfrequenz			Kraft		
Masse			Dichte		
Querschnittsfläche			Energie		

Übungsaufgaben:

Alle Arbeitsblätter sowie Aufgabenblätter A2 bis A5

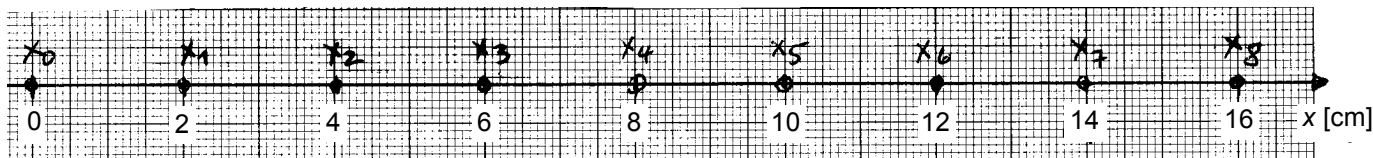
Weitere Aufgaben

- Vervollständigen Sie den folgenden Satz:
«Je grösser die Frequenz einer Schallschwingung, desto der Ton, den wir hören.»
- Benennen Sie die Formen dieser Wellen (*Kreiswelle/ Kugelwelle/ Ebene Welle*).
Zeichnen Sie in jeder Abbildung mindestens drei Wellenfronten und drei Wellenstrahlen ein.



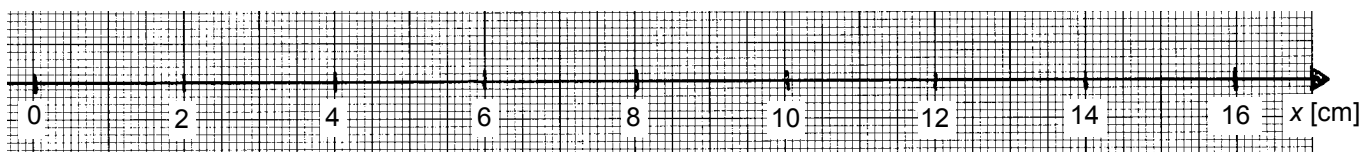
- Eine Stahlsaite ist 0.00065000 km lang, hat einen Durchmesser von 0.001120 m wurde mit einer Kraft von 84.4016700 N gespannt.
 - Wie viele signifikante Ziffern besitzen die benötigten Zahlenwerte? Wie viele Ziffern sollte das Resultat besitzen?
 - Rechnen Sie aus, mit welcher Geschwindigkeit sich eine Transversalwelle auf der Saite ausbreitet und runden Sie das Resultat auf die richtige Anzahl signifikanter Ziffern.
 - Notieren Sie das Resultat mit einer Zehnerpotenz in der wissenschaftlichen Schreibweise.

4. Albert spielt das e" auf seiner Geige ($f = 660 \text{ Hz}$). Wie gross ist die Wellenlänge dieser Schallwelle in Luft?
5. In einer Longitudinalwelle schwingen die Teilchen in Ausbreitungsrichtung. Ist das Medium in Ruhe, liegen die Teilchen in regelmässigen Abständen auf einer Linie:

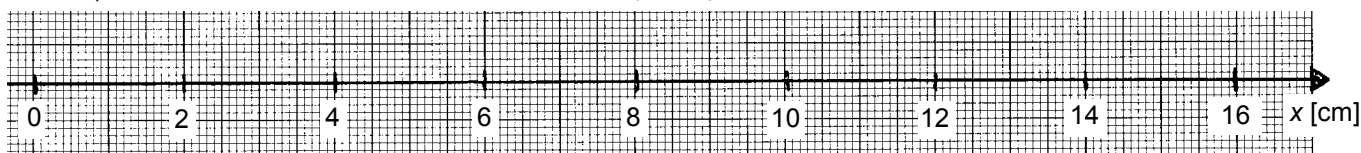


In diesem Medium breitet sich eine harmonische Welle ($f = 0.50 \text{ Hz}$, $c = 8.0 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$, $\hat{y} = 1.0 \text{ cm}$) aus.

- a) Berechnen Sie mit der Wellengleichung die Auslenkungen der Teilchen x_0 bis x_8 zur Zeit $t = 0$ und zeichnen Sie ihre Abstände von den Ruhelagen (in x-Richtung!) ein, positive Auslenkungen nach rechts, negative nach links.



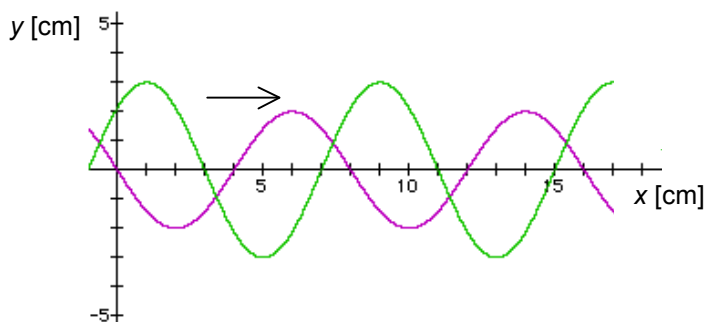
- b) Zeichnen Sie die Positionen der Teilchen x_0 bis x_8 zur Zeit $t = 0.50 \text{ s}$.



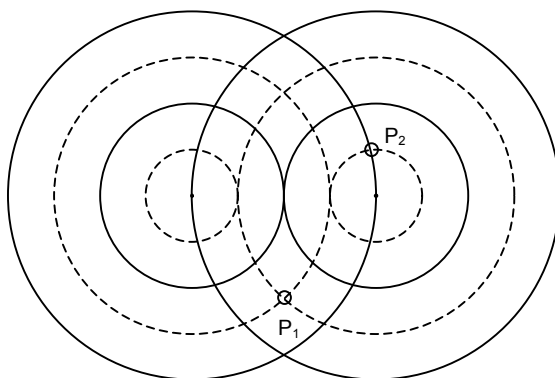
6. Eine harmonische Welle wird durch die folgende Gleichung beschrieben:

$$y(x, t) = 0.27 \text{ m} \cdot \sin \left[44 \text{ s}^{-1} \left(t - \frac{x}{8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right) \right]$$

- a) Wie gross sind die Frequenz, Amplitude, Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Wellenlänge?
 - b) Zu welcher Zeit beträgt die Auslenkung am Ort $x = 2.4 \text{ m}$ 15.0 cm ?
 - c) Geben Sie eine Stelle x an, wo die Auslenkung zur Zeit $t = 0.10 \text{ s}$ ein Drittel so gross wie die Amplitude ist.
7. Hier überlagern sich zwei Wellen gleicher Frequenz, die sich beide mit der gleichen Geschwindigkeit in die gleiche Richtung bewegen (nach rechts). In den Abbildungen sehen Sie eine Momentaufnahme der Einzelwellen zur Zeit $t = 0$.
 - a) Bestimmen Sie die Wellenlängen und die Amplituden der Einzelwellen
 - b) Zeichnen Sie die überlagerte Welle
 - c) Bestimmen Sie die Wellenlänge und die Amplitude der überlagerten Welle



8. Hier sehen Sie zwei kohärente Kreiswellen, die interferieren. Die Wellenberge sind als ausgezogene Linien dargestellt und die Wellentäler als gestrichelte Linien.



- a) Bestimmen Sie die Weglängen und die Gangunterschiede in den Punkten P_1 und P_2 (in Anzahl Wellenlängen):

$$P_1: s_1 = \quad s_2 = \quad \Delta s =$$

$$P_2: s_1 = \quad s_2 = \quad \Delta s =$$

- b) In welchen Punkten dieser Punkte findet destruktive, in welchen konstruktive Interferenz statt?
 c) Wie gross ist der Abstand zwischen den zwei Wellenzentren in Anzahl Wellenlängen?
 d) Finden Sie alle weiteren Punkte, in denen der Gangunterschied gleich gross ist wie in P_1 .
 e) Finden Sie alle Punkte, in denen $\Delta s = \lambda$ ist.

9. Die höchste Saite einer Gitarre ist die E-Saite (e' , $f_0 = 330.0$ Hz). Sie ist 650 mm lang, hat einen Durchmesser von 0.711 mm und besteht aus Nylon ($\rho_{\text{Nylon}} = 1.13 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$).

Wie gross ist die Kraft, mit der sie gespannt werden muss?

10. Eine Schnur der Länge 1.00 m und Masse 0.25 g wird zwischen zwei 80 cm voneinander entfernten Punkten ausgespannt.

Wie gross muss die Spannkraft sein, damit sich bei der Frequenz 100 Hz fünf Schwingungsbäuche bilden?

11. Die A-Saite einer Geige ist 57 cm lang und hat die Masse 0.40 g. Der Abstand zwischen Sattel und Steg beträgt 33 cm (dort liegt die Saite auf).

Mit welcher Kraft muss sie gespannt werden, damit sie den Grundton ($f_0 = 440$ Hz) gibt?

12. Um wie viel % verändert sich die Grundfrequenz einer Saite, wenn die Kraft, mit der sie gespannt wird, um 10 % verkleinert wird?

13. Ein Stahldraht von 2.00 mm Durchmesser wurde mit einer Kraft von 2'100 N gespannt. Mit welcher Geschwindigkeit breitet sich eine transversale Störung aus?

14. Eine einseitig geschlossene Pfeife ist mit Helium gefüllt. Die 2. Oberschwingung soll um 400 Hz höher klingen als die 1. Oberschwingung.

- a) Wie lang muss man das Rohr machen?
 b) Welche Frequenzen haben die beiden Schwingungen?

Lösungen:

1. höher
2. a) Kreiswelle, b) Ebene Welle, c) Kugelwelle
Die Wellenfronten sind die Wellenberge und -täler; die Wellenstrahlen verlaufen senkrecht zu den Wellenfronten in Ausbreitungsrichtung der Welle
3. a) ℓ : 5 Ziffern (nicht benötigt), d : 4 Ziffern, F : 9 Ziffern, ρ : 2 Ziffern (aus *Formeln, Tabellen, Begriffe*). Resultat: 2 Ziffern

$$b) c_{\text{Transversal}} = \sqrt{\frac{F}{\rho_{\text{Stahl}} \cdot A}} = \sqrt{\frac{F}{\rho_{\text{Stahl}} \cdot \pi r^2}} = \sqrt{\frac{84.4016700 \text{ N}}{7.9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.001120 \text{ m}}{2}\right)^2}} = 104.135549 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

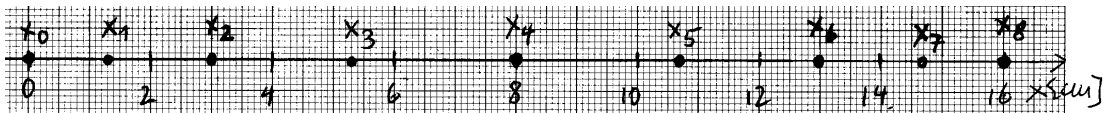
$$= \underline{\underline{100 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

$$c) 1.0 \cdot 10^2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$4. \lambda = \frac{c}{f} = \frac{344 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{660 \text{ Hz}} = \underline{\underline{0.52 \text{ m}}} = \underline{\underline{52 \text{ cm}}}$$

5. a) Einsetzen in die Wellengleichung ergibt (vollständige Rechnung nur für das Teilchen x_1):

$$y(x,t) = \hat{y} \cdot \sin\left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = 1.0 \text{ cm} \cdot \sin\left[2\pi \cdot 0.50 \text{ s}^{-1} \left(0 - \frac{2.0 \text{ cm}}{8.0 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}\right)\right] = \underline{\underline{-0.71 \text{ cm}}}$$



- b) Einsetzen in die Wellengleichung ergibt:

Teilchen x_0 :

$$y(x,t) = \hat{y} \cdot \sin\left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = 1.0 \text{ cm} \cdot \sin\left[2\pi \cdot 0.50 \text{ s}^{-1} \left(0.50 \text{ s} - \frac{0}{8.0 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}\right)\right] = \underline{\underline{1.0 \text{ cm}}}$$

Teilchen x_1 :

$$y(x,t) = \hat{y} \cdot \sin\left[\omega \cdot \left(t - \frac{x}{c}\right)\right] = 1.0 \text{ cm} \cdot \sin\left[2\pi \cdot 0.50 \text{ s}^{-1} \left(0.50 \text{ s} - \frac{2.0 \text{ cm}}{8.0 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}\right)\right] = \underline{\underline{0.71 \text{ cm}}}$$

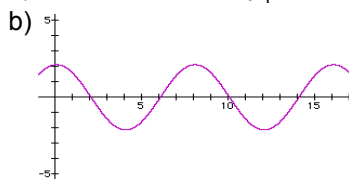


6. a) $f = 7.0 \text{ Hz}$, $\hat{y} = 27 \text{ cm}$, $c = 8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{7.0 \text{ Hz}} = 1.20 \text{ m}$

$$b) t = \frac{\arcsin\left(\frac{y(x,t)}{\hat{y}}\right)}{\omega} + \frac{x}{c} = \frac{\arcsin\left(\frac{15.0 \text{ cm}}{27 \text{ cm}}\right)}{44 \text{ s}^{-1}} + \frac{2.4 \text{ m}}{8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = \underline{\underline{0.31 \text{ s}}}$$

$$c) x = \left[t - \frac{\arcsin\left(\frac{y(x,t)}{\hat{y}}\right)}{\omega}\right] \cdot c = \left[0.10 \text{ s} - \frac{\arcsin\left(\frac{9.0 \text{ cm}}{27 \text{ cm}}\right)}{44 \text{ s}^{-1}}\right] \cdot 8.4 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \underline{\underline{0.78 \text{ m}}}$$

7. a) $\lambda_1 = \lambda_2 = 8.0 \text{ cm}$, $\hat{y}_1 = 3.0 \text{ cm}$, $\hat{y}_2 = 2.0 \text{ cm}$

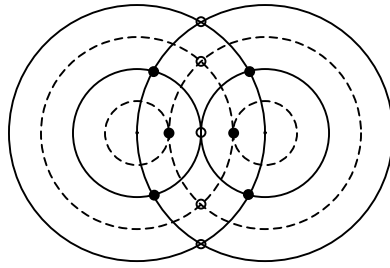


$$c) \lambda_{\text{überlagert}} = \lambda_1 = \lambda_2 = 8.0 \text{ cm}, \hat{y}_{\text{überlagert}} \approx 2.0 \text{ cm}$$

8. a) $P_1: s_1 = 1.5 \lambda, s_2 = 1.5 \lambda, \Delta s = 0$ $P_2: s_1 = 2 \lambda, s_2 = 0.5 \lambda, \Delta s = 1.5 \lambda$
 b) P_1 : konstruktiv, P_2 : destruktiv
 c) 2λ

d) \bigcirc

e) \bullet



$$9. \quad c_{\text{Transversal}} = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}} \quad f_0 = \frac{c}{2\ell} = \frac{\sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}}{2\ell} \quad (f_0 \cdot 2\ell)^2 = \frac{F}{\rho \cdot \pi r^2}$$

$$F = (f_0 \cdot 2\ell)^2 \cdot \rho \cdot \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = (330.0 \text{ Hz} \cdot 2 \cdot 0.650 \text{ m})^2 \cdot 1.13 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.711 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{2}\right)^2 = \underline{\underline{82.6 \text{ N}}}$$

10. Fünf Bäuche: Vierte Oberschwingung $f_4 = 100 \text{ Hz}$ $f_4 = \frac{5c}{2\ell} = 5 \cdot \frac{c}{2\ell} = 5 \cdot f_0$ $f_0 = 20 \text{ Hz}$

Bei 1.00 m Länge ist die Masse 0.25 g, bei 0.80 m Länge ist die Masse $\frac{4}{5}$ davon: 0.20 g

$$f_0 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{F}{m \cdot \ell}} \quad F = (2f_0)^2 \cdot m \cdot \ell = (2 \cdot 20 \text{ Hz})^2 \cdot 0.20 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 0.80 \text{ m} = \underline{\underline{0.256 \text{ N}}}$$

11. Bei 0.57 m Länge ist die Masse 0.40 g, bei 0.33 m Länge ist die Masse $\frac{33}{57}$ davon: 0.23 g

$$F = (2f_0)^2 \cdot m \cdot \ell = (2 \cdot 440 \text{ Hz})^2 \cdot 0.23 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 0.33 \text{ m} = \underline{\underline{59 \text{ N}}}$$

$$12. \quad f_{0(1)} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{F}{m \cdot \ell}} \quad f_{0(2)} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{0.9 \cdot F}{m \cdot \ell}} = \sqrt{0.9} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{F}{m \cdot \ell}} = \sqrt{0.9} \cdot f_{0(1)} = 0.95 \cdot f_{0(1)}$$

Das sind 95 % von der ursprünglichen Frequenz, d.h. sie wird um 5 % kleiner.

13. $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (1.00 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 = 3.14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

$$c_{\text{Transversal}} = \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}} = \sqrt{\frac{2'100 \text{ N}}{7.9 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3.14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}} = 291 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$14. \quad a) \quad \frac{5c}{4\ell} = \frac{3c}{4\ell} + 400 \text{ Hz} \Rightarrow \frac{c}{2\ell} = 400 \text{ Hz} \Rightarrow \ell = \frac{c}{800 \text{ Hz}} = \frac{1'005 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{800 \text{ Hz}} = \underline{\underline{1.26 \text{ m}}}$$

$$b) \quad f_1 = \frac{3c}{4\ell} = \frac{3 \cdot 1'005 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \cdot 1.26 \text{ m}} = \underline{\underline{600 \text{ Hz}}} \quad f_2 = f_1 + 400 \text{ Hz} = \underline{\underline{1'000 \text{ Hz}}}$$