LÖSUNGEN zu SCHWINGUNGEN u. WELLEN

1. (Mitschrift) $W \sim A^2 f^2$

2. (Mitschrift) a) $\vec{c} \perp \vec{v}$ b) $\vec{c} \parallel \vec{v}$

3. geg: $\lambda = 0{,}9m$, $T = 0{,}6s$ ges: c

$c = \lambda \cdot f = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \frac{0{,}9m}{0{,}6s} = \underline{\underline{1{,}5\ \frac{m}{s}}}$

4. geg: 6 - Wellenberge / s, $x = 12m$, $t = 5s$ ges: λ

$T = \frac{1}{6}s = \underline{\underline{0{,}16s}}$

$f = 6\ \frac{1}{s}$

$c = \frac{x}{t} = \frac{12m}{5s} = \underline{\underline{2{,}4\ \frac{m}{s}}}$

$c = \lambda f \Rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \frac{2{,}4\ m\ s}{6\ s} = \underline{\underline{0{,}4\ m}}$

5. geg: $n = 40$, $t = 60s$, $v = 6\frac{cm}{s}$

$f = \frac{n}{t} = \frac{40}{60s} = 0{,}66\ Hz \Rightarrow T = 1{,}5s$

a) $y(t) = A \cdot \sin \omega t \Rightarrow \dot{y}(t) = v(t) = A \cdot \omega \cos \omega t$

$v(t=0) = A \cdot 2\pi f \cdot \cos(\underbrace{2\pi f \cdot 0}_{0}) \Rightarrow \cos(0) = 1$

$v(t=0) = A \cdot 2\pi f \Rightarrow A = \frac{v}{2\pi f}$

$A = \frac{1{,}5s \cdot 6cm}{6{,}28\ s} = \underline{\underline{1{,}433\ cm}}$

$\underline{\underline{y = 1{,}433 \cdot \sin 2\pi f \cdot t = 1{,}43 \cdot \sin 4{,}2 \cdot t}}$

b) $l = 1m$, $c = 5\ \frac{m}{s} \Rightarrow t = \frac{x}{c} = \frac{1\ m\ s}{5m} = \underline{\underline{0{,}2s}}$

Teilchen 2 schwingt um 0,2 s später

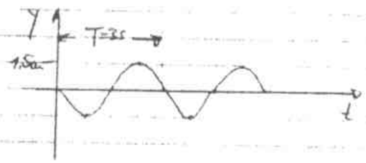
$y(t=0{,}2) = 1{,}433 \cdot \sin \underbrace{4{,}2 \cdot 0{,}2s}$

$y(t=0{,}2s) = 1{,}06cm$ Phase = 0,744

Unterschied zu $y(t=0)$ und $y(t=0{,}2) \hat{=} 0{,}744 \approx \frac{\pi}{4}$

6. geg: $f = \frac{1}{3}\ Hz \Rightarrow T = 3s$

$y(t=0) = 0$ $\hat{y} = 1{,}5cm$



Weg - Zeit - Diag. des Erregers

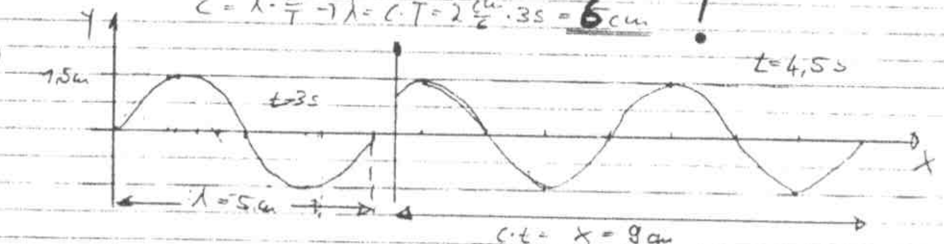
$c = 2\ \frac{cm}{s}$

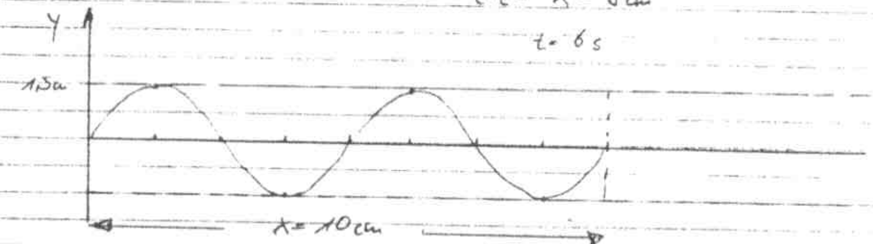
$t = 3s$, $t = 4{,}5s$, $t = 6s$

y - x - Diag. der Wellen $\hat{y} = 1{,}5cm$

$T = 3s$

$c = \lambda \cdot \frac{1}{T} \Rightarrow \lambda = c \cdot T = 2\ \frac{cm}{s} \cdot 3s = \underline{\underline{6cm}}$!





7. Überlagerung: Addition der Elongationen, graphisch

8. geg: $f_1 = 1{,}37\ Hz$ $f_2 = f_1$ $\Delta t = 0{,}000547s = 5{,}47 \cdot 10^{-4}s$

ges: Phasenunterschied, Gangunterschied

$f_1 = 1{,}37\ Hz \Rightarrow T = 7{,}2992 \cdot 10^{-4}s$

Welle 1 benötigt $T = 7{,}2992 \cdot 10^{-4}s$ für eine Periode, d.h. einen Phasenwinkel von $\underline{2\pi}$

Welle 2 ist um $5{,}47 \cdot 10^{-4}s$ später, d.h. Welle 2 hat um einen Teil des Phasenwinkels überschritten, wenn Welle 1 2π erreicht hat

Forts. 8:

$7{,}2992 \cdot 10^{-4}\,s \mathrel{\hat=} 2\pi$

$5{,}47 \cdot 10^{-4}\,s \mathrel{\hat=} \frac{2\pi \cdot 5{,}47}{7{,}299} = 4{,}7 \mathrel{\hat=} \frac{3}{2}\pi$

Phasenunterschied $\Delta\varphi = \frac{3}{2}\pi$

Gangunterschied: d

$T_1 = 7{,}299 \cdot 10^{-4}\,s \mathrel{\hat=} 1\lambda$

$T_1 - \Delta t \Rightarrow d$

$7{,}299 \cdot 10^{-4}s - 5{,}47 \cdot 10^{-4}s = \underline{1{,}62 \cdot 10^{-4}\,s}$

$7{,}299 \cdot 10^{-4}s \mathrel{\hat=} 1\lambda$

$1{,}62 \cdot 10^{-4}s \mathrel{\hat=} \frac{\lambda \cdot 1{,}62\,s}{7{,}299 \cdot 10^{-4}s} = \underline{0{,}22\,\lambda}$

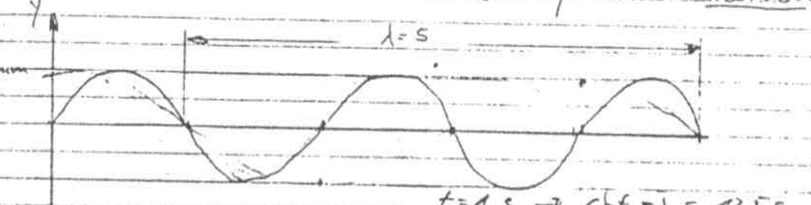
$\underline{d = \frac{\lambda}{4}}$

9. ges. $y(t,x) = 5{,}0\,mm \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{4 \cdot 10^{-1}s} - \frac{x}{5{,}0\,cm}\right)$, $\lambda = 5\,cm$, $T = 0{,}4\,s$

$y = A \cdot \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{c}\right)$

a) $f = \frac{1}{4 \cdot 10^{-1}s} = 2{,}5\,Hz \Rightarrow c = \lambda \cdot f = 5\,cm \cdot 2{,}5\,\frac{1}{s} = \underline{12{,}5\,\frac{cm}{s}}$

b) $t_1 = 1\,s$ $0 \leq x \leq \frac{3}{2}\lambda$ $x_0 = 0$ für $t = 0$ nach oben



$t = 1\,s \rightarrow c \cdot t - x = 12{,}5\,s$

c) $x_p = 2{,}0\,cm \rightarrow t_1 = 0{,}1\,s$

$y(t_1, x_p) = 5\,mm \cdot \sin 2\pi \left(\frac{1 \cdot 10^{-1}s}{4 \cdot 10^{-1}s} - \frac{2{,}0\,cm}{5\,cm}\right)$

$y(t_1, x_p) = 5{,}0\,mm \cdot \sin(\cancel{-0{,}3\pi}) = \underline{\underline{12{,}94\,mm}}$

Fortsetzung 9:

a) $t_1 = 1\,s$, $x_p = 2{,}0\,cm$

$y(t,x) = 5\,mm \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{4 \cdot 10^{-1}s} - \frac{x}{5\,cm}\right)$

Geschw. $\frac{dy}{dt} = \dot y = v(t) = 5\,m \cdot 2\pi \left(\frac{1}{4 \cdot 10^{-1}s} - \frac{\cancel{x}^{0}}{5\,cm}\right) \cdot \cos 2\pi \left(\frac{t}{4 \cdot 10^{-1}} - \frac{x}{5\,cm}\right)$

nach Einsetzen:

~~$y(t_1, x_p) = 10{,}1\,\frac{mm}{s} \cdot \cos(-0{,}3\pi) = 4{,}6\,\frac{mm}{s}$~~

$y(t, x_p) = 63{,}5\,\frac{mm}{s}$

$y(t_1, x_p) = \cancel{10{,}1}\ \frac{cm}{s}$

10. $E_1E_2 = 10\,cm$, $\lambda = 5\,cm$, $A = 5{,}0\,mm$

2 Kreiswellenzentren = Überlagerung

Wegen unterschiedlich langer Wege der Wellen erreichen sie Phasenverschoben einen Punkt P. Die ges. Phasenverschiebung ergibt sich aus dem konst. Betrag aufgrund der Phasenversch. der Erreger ($\Delta\varphi = \pi$) sowie durch den Wegunterschied

Maximum entsteht bei $\Delta\varphi = n \cdot 2\pi$ (gleichphasig)

Minimum (Auslöschung) $\Delta\varphi = (2n+1) \cdot \pi$

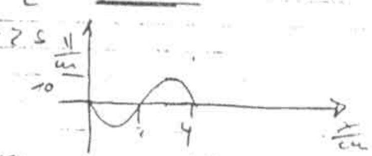
11. $l = 12\,m$, $c = 2\,\frac{m}{s}$ $\hat y = A = 10\,cm$, $f = 0{,}5\,Hz$

$x_1 = 150\,cm$

a) $c = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{c}{f} = \underline{4\,m}$ $f = 0{,}5\,Hz \mathrel{\hat=} \underline{T = 2\,s}$

b) $t_1 = \frac{x_1}{c} = \underline{0{,}75\,s}$

c) $t_2 = 2\,s$



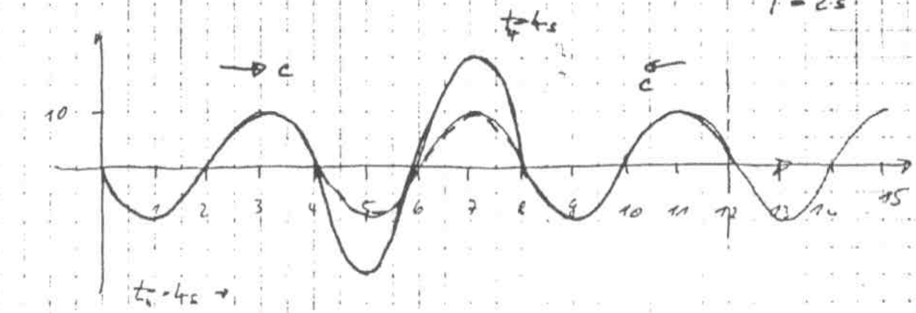
y für $x_2 = 100\,cm \rightarrow y_2 = -10\,cm$

$x_3 = 250\,cm$ $y_3 = A \cdot \sin \omega t_3 \Rightarrow t_3 = \frac{x_3}{c} = 1{,}25\,s$

$y_3 = 10\,cm \cdot 0{,}707 = 7{,}1\,cm$

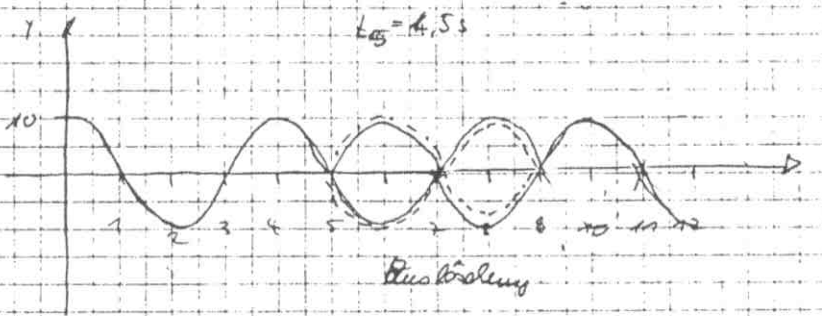
Aufgabe 12

geg: zwei gegenläufige Wellen mit $c = 2\,\frac{m}{s}$, $A = 10\,cm$, $f = 0{,}5\,Hz$, $T = 2\,s$

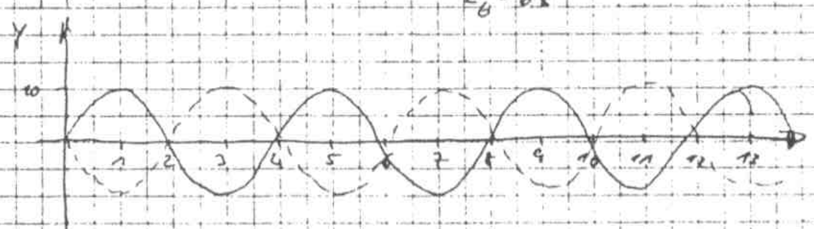


$0{,}5 \hat{=} \frac{\lambda}{4}$

$t_{4{,}5} = 4{,}5\,s$



$t_6 = 6\,s$



$t_6 = 6\,s \Rightarrow x = c \cdot t = 2\,\frac{m}{s} \cdot 6\,s = 12\,m$

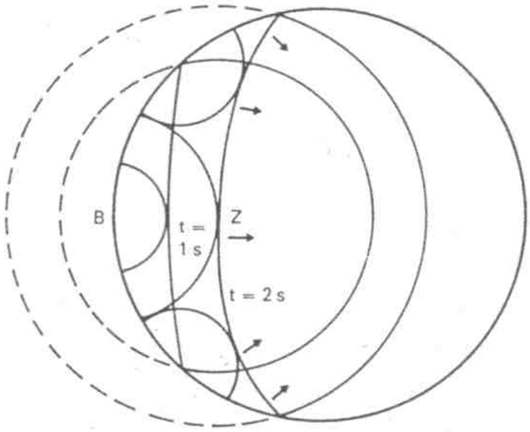
$\Rightarrow$ Wellen haben gesamten Wellenträger besetzt

$\Rightarrow$ stehende Welle, $y = 0$!

Losungen:

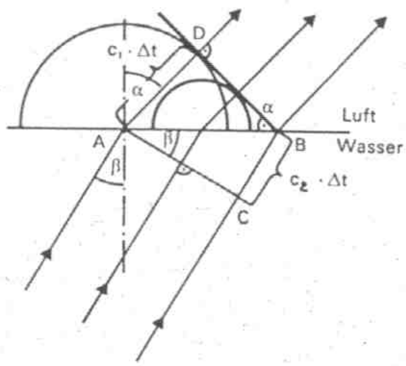
1) 13.

b)



2) 14.

a) Begründung der Richtungsänderung: Die Wellenfront $\overline{AC}$ erreicht in A die Grenzfläche Wasser-Luft. Während im Wasser der Punkt C der Front mit der Geschwindigkeit c_2 weiterwandert, bis er in B ebenfalls die Grenzfläche erreicht, breitet sich um A in Luft eine Elementarwelle mit der Geschwindigkeit $c_1 = \frac{4}{3} \cdot c_2$ aus, die nach der Zeit Δt den Radius $c_1 \cdot \Delta t$ angenommen hat. Es gilt: $c_1 \cdot \Delta t = \frac{4}{3} \cdot \overline{BC}$.



Die Tangente von B an diesen Kreis gibt als Einhüllende die Wellenfront nach der Brechung an.

b) Nach der Figur in a) 1. gilt:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\overline{AD}/\overline{AB}}{\overline{CB}/\overline{AB}} = \frac{c_1 \cdot \Delta t}{c_2 \cdot \Delta t} = \frac{4}{3} = n$$

Daraus läßt sich der Brechungswinkel berechnen:

$\sin \alpha = \frac{4}{3} \cdot \sin \beta = \frac{2}{3}$ bzw. $\boxed{\alpha = 41,8^\circ}$

c) Der Übertritt von Wasser nach Luft ist nur möglich bis zum Grenzwinkel der Totalreflexion.

Für diesen Fall gilt: $\sin \alpha = 1$ und damit

$\sin \beta_G = 0,75$ bzw. $\boxed{\beta_G = 48,6^\circ}$

3)
15.

a) Es gilt das lineare Kraftgesetz: $F = - D s$

ferner gilt: $F = m \cdot a$,

also ist: $\ddot{s} = - \frac{D}{m} \cdot s$,

$$\ddot{s} + \frac{D}{m} \cdot s = 0$$

Jede Sinusfunktion der Form $s = s_m \cdot \sin(\omega t + \delta)$ ist eine Lösung, wenn gilt: $\omega^2 = \frac{D}{m}$,

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{D}{m}, \qquad \boxed{T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}}$$

b) 1. Wenn der Körper um Δs tiefer eintaucht als der stabilen Schwimmlage entspricht, ist die rücktreibende Kraft gleich dem zusätzlichen Auftrieb.

$F_R = - \pi r^2 \varrho_W g \Delta s$ oder

$F_R = - D \cdot \Delta s$, also $F_r \sim \Delta s$, Lineares Kraftgesetz, also harmonische Schwingung

$D = \pi r^2 \varrho_W g$

2. $$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}} = 2\pi\sqrt{\frac{\pi r^2 h \varrho_H}{\pi r^2 \varrho_W g}} = 2\pi\sqrt{\frac{h \varrho_H}{g \varrho_W}} = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}2\ m \cdot 750\ \frac{kg}{m^3}}{10\ \frac{m}{s^2} \cdot 1000\ \frac{kg}{m^3}}}$$

$$\boxed{T = 0{,}77\ s}$$

3. In der Gleichgewichtslage gilt: $F_A = F_G$, also

$\pi r^2 h' \varrho_W g = \pi r^2 h \varrho_H g$,

Eintauchtiefe $h' = h \frac{\varrho_H}{\varrho_W}$

Eintauchtiefe $h' = 0{,}2\ m \frac{750\ \frac{kg}{m^3}}{1000\ \frac{kg}{m^3}} = 0{,}15\ m$

Auslenkung $s_m = (0{,}18 - 0{,}15)\ m = 0{,}03\ m$

$$v = s_m \frac{2\pi}{T} \cos\frac{2\pi}{T} t; \quad \cos\frac{2\pi}{T} t = 1$$

$$v_m = 0{,}03\ m \frac{2\pi}{0{,}77\ s} = \boxed{0{,}245\ \frac{m}{s}}$$

~~4)~~
16.

c) 1. 120 Durchgänge durch die Gleichgewichtslage entsprechen 60 vollen Schwingungen, $T = \frac{60\ s}{60} = 1\ s$, $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1\ s} = \boxed{1\ s^{-1}}$

2. $c = \lambda \cdot f = 0{,}5\ m \cdot 1\ s^{-1} = \boxed{0{,}5\ \frac{m}{s}}$

3. Bedingung für dieses Maximum 1. Ordnung:

$(l_3 - r + l_4) - (l_1 - r + l_2) = \lambda$

$l_3 = \sqrt{l_1^2 + g^2} = \sqrt{1{,}5^2\ m^2 + 1^2\ m^2} = 1{,}80\ m$

$l_4 = \sqrt{A^2 + (b+g)^2} = \sqrt{8^2\ m^2 + 2{,}14^2\ m^2} = 8{,}28\ m$

$l_2 = \sqrt{A^2 + b^2} = \sqrt{8^2\ m^2 + 1{,}14^2\ m^2} = 8{,}08\ m$

$\lambda = (l_3 - r + l_4) - (l_1 - r + l_2) = (1{,}80\ m - 0{,}2\ m + 8{,}28\ m)$

$- (1{,}50\ m - 0{,}2\ m + 8{,}08\ m)$

$\lambda = (9{,}88 - 9{,}38)\ m = \boxed{0{,}5\ m}$

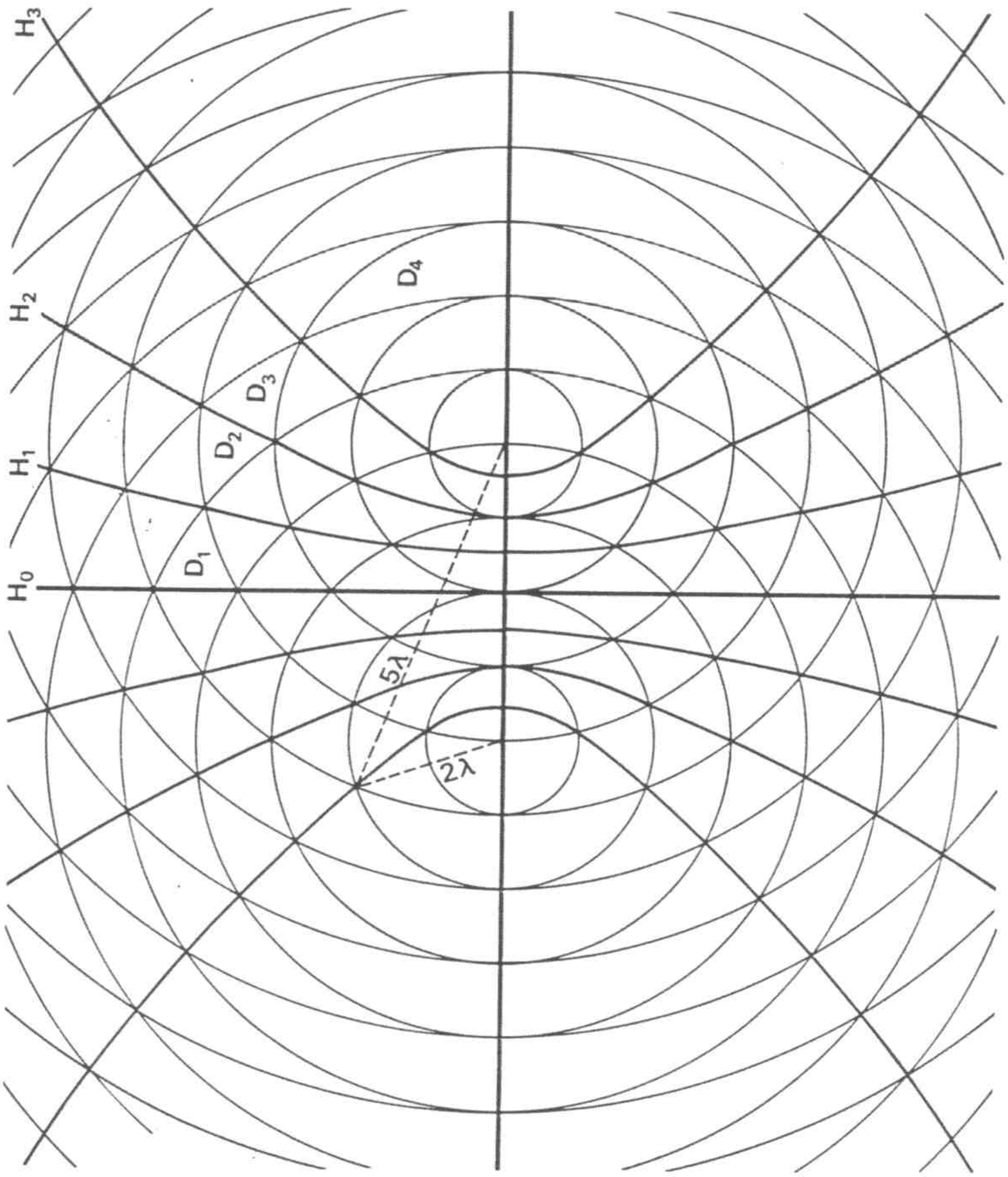
---

17) im Unterricht besprochen

1.8. a) $t = 0{,}072\ \text{s}$

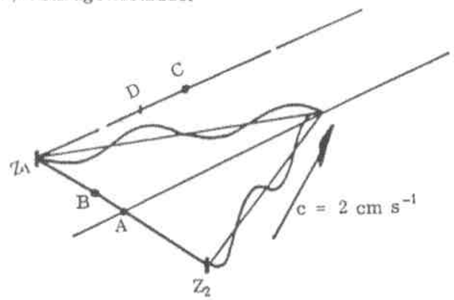
$$c = \frac{\lambda}{t} = \frac{1{,}5\ \text{cm}}{0{,}072\ \text{s}} = 20{,}8\ \text{cm s}^{-1}$$

b) s. Figur



Lösung 18.

a) Schrägbildskizze:

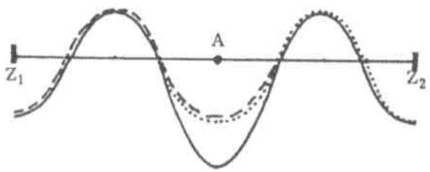


$f = 0{,}5$ Hz

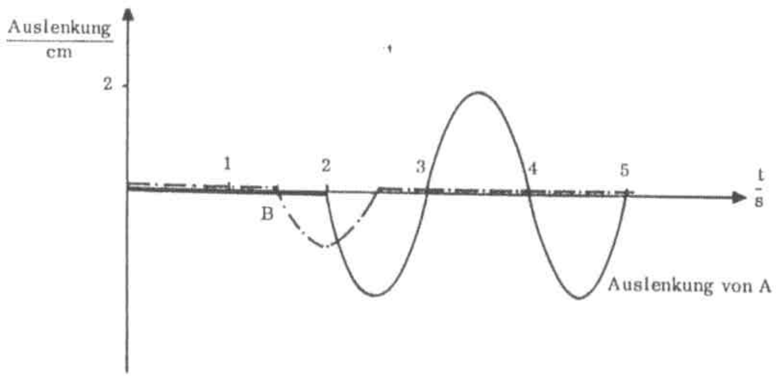
Aus $c = f \cdot \lambda$ folgt

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2 \text{ cm s}^{-1}}{0{,}5 \text{ s}^{-1}}$$

$$\lambda = 4 \text{ cm}$$

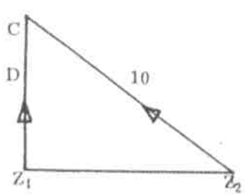


b) Die Auslenkung s von Teilchen A, B erhält man, wenn man Momentbilder wie in Aufgabe 6, von 1980 zeichnet.
So wird das Teilchen A in der Mitte nach $t = 2$ s von beiden Wellen erfaßt. Bis dahin in Ruhe, wird es dann doppelte Schwingweite haben. Es ergibt sich also folgendes Bild:

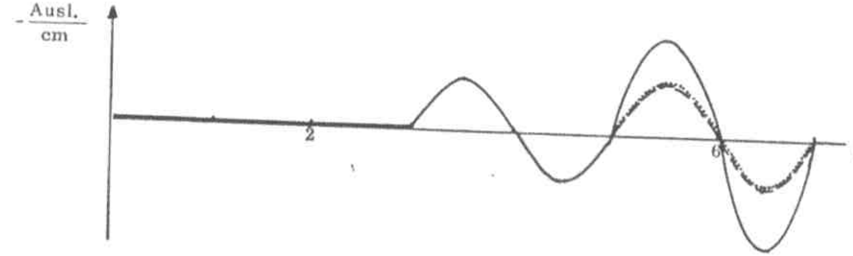


Zur Zeit $t = 1{,}5$ erreicht die von Z_1 kommende Welle den Punkt B. Er schwingt also in der darauffolgenden Zeit sinusförmig bis zum Zeitpunkt $t = 2{,}5$ s. Dann hat ihn auch die von Z_2 kommende Welle erreicht. Beide Schwingungen heben sich fortan an dieser Stelle auf: B bleibt also in Ruhe. (Die sich ausbildende stehende Welle hat bei Z_1, Z_2 Schwingungsbäuche, also auch im Abstand 1, 3, 5, 7 cm Bewegungsknoten). Das Bewegungsdiagramm von B ist ebenfalls eingezeichnet.

c)



Von Z_1 aus braucht die Schwingung 3 s, bis sie die Stelle C erreicht. Nach 5 s erreicht die von Z_2 ausgehende Schwingung nun auch den Punkt C. Da $f = 0{,}5$ Hz ist, schwingt das Teilchen C von $t = 3$ s bis $t = 5$ s gerade mit einer vollen Schwingung. Ab $t = 5$ s kommt die von Z_2 ausgehende Schwingung zu der, die von Z_1 ausgeht, überlagert sich gleichphasig, so daß ab diesem Moment eine doppelt so große Auslenkung zu beobachten ist:



d) Wenn an der Stelle D (ab t_2) dauernd Ruhe sein soll, müssen die zwei Schwingungen sich gegenphasig treffen. Abkürzend sei

$Z_1D = u$, $Z_2D = v$ gesetzt. Dann muß sein

$$v - u = k\lambda + \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$= \lambda\left(k + \tfrac{1}{2}\right) \quad \text{oder}$$

$$v = u + \lambda\left(k + \tfrac{1}{2}\right)$$

Nun ist aber $u^2 + 64 = v^2$

$$u^2 + 64 = u^2 + 2\lambda u\left(k + \tfrac{1}{2}\right) + \lambda^2\left(k + \tfrac{1}{2}\right)^2$$

$$u = \frac{64 - \lambda^2\left(k + \frac{1}{2}\right)^2}{2\lambda\left(k + \frac{1}{2}\right)}$$

oder wegen $\lambda = 4$ cm

$$u = \frac{64 - 16\left(k + \frac{1}{2}\right)^2}{8\left(k + \frac{1}{2}\right)}$$

$$= \frac{8 - 2\left(k + \frac{1}{2}\right)^2}{k + \frac{1}{2}}$$

Für verschiedene Werte von k erhält man die Tabelle

k	0	1	2
$u = Z_1D$	15	$\frac{7}{3}$	< 0

Der gesuchte Punkt D hat also den Abstand

$$\underline{\underline{Z_1D = \tfrac{7}{3} \text{ cm}}}$$

Um D zu erreichen, muß die Schwingung von Z_2 aus den Weg $\overline{Z_2D} = v$ zurücklegen:

$$v^2 = u^2 + 64$$

$$= \frac{49}{9} + 64 = \frac{625}{9} \ (\text{cm}^2)$$

$$v = \frac{25}{3} \ (\text{cm})$$

Da $c = 2$ cm s^{-1} ist, ist hierfür die Zeit $t_2 = \frac{25}{3 \cdot 2} \cdot$ s erforderlich.

$$\underline{\underline{t_2 = 4{,}1\text{s}}}$$

Aufg. 20

LÖSUNG

geg: $l = 0{,}6\,m$ $\quad f_1 = 440\,Hz$, beide Enden fest

ges: c

a)$_1$ $\quad c = f\lambda \quad , \quad \lambda = 2l$

$c = f_1 \cdot 2l = 440\,Hz \cdot 1{,}2\,m = \underline{\underline{528\,\frac{m}{s}}}$

a_2) $\quad f_1' = 500\,Hz, \quad c = 528\,\frac{m}{s}$

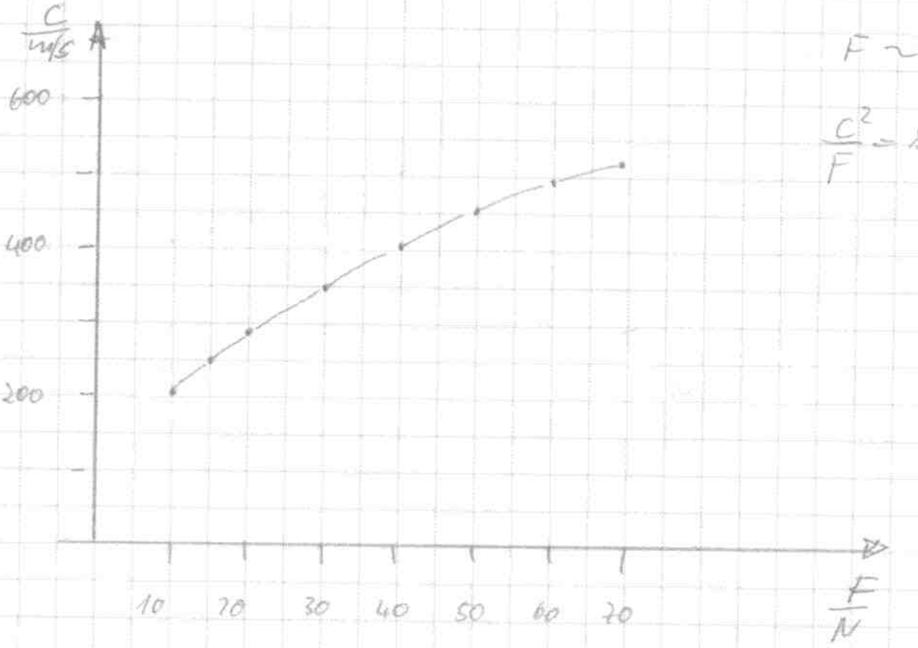
$\lambda_1 = 2l_1 = \frac{c}{f_1'} = 2l_1 \Rightarrow l_1 = \frac{c}{2f_1'} = \frac{528\,\frac{m}{s}\,s}{1000} = \underline{\underline{0{,}528\,m}}$

$\Delta l = l_0 - l_1 = 0{,}6\,m - 0{,}528\,m = 0{,}072\,m = \underline{\underline{7{,}2\,cm}}$

b) $\quad$ geg: $f_1 = 440\,Hz \quad \lambda = 2l$

$c = 440\,\frac{1}{s} \cdot 2l = 880 \cdot l$

F in N	10	15	20	30	40	50	60	68
l in m	0,23	0,282	0,326	0,398	0,46	0,515	0,564	0,60
c in $\frac{m}{s}$	202,4	248	286	350	404,8	453,2	496,3	528



$F \sim c^2$!

$\frac{c^2}{F} = konst \approx 4100\,\frac{m^2}{s^2 N}$

c) $\quad c = \lambda f = 2l \cdot f = 1{,}2\,m \cdot 500\,\frac{1}{s} = \underline{\underline{600\,\frac{m}{s}}}$

$\frac{c^2}{F} = 4100\,\frac{m^2}{s^2 N} \Rightarrow F = \frac{c^2\,s^2 N}{4100\,m^2} = \frac{360000\,m^2 s^2 N}{4100\,s^2 m^2} = \underline{\underline{87{,}80\,N}}$

Aufg. 21

Lösungen

a) Ausbreitungsgeschwindigkeit c $= \dfrac{\text{Weg der Welle in der Zeit T}}{\text{Zeit T}}$

$$= \frac{\lambda}{T} = \frac{12\,\text{cm}}{1\,\text{s}} = 12\,\frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Bemerkungen zu den Lösungen der folgenden Teilaufgaben:
Die Zeichnungen sind so angelegt, daß sich der letzte (feste) Massenpunkt ganz rechts befindet und sich der erste Massenpunkt bei Beginn der Schwingung zunächst nach oben bewegt hat.

b) Siehe Abb. 1

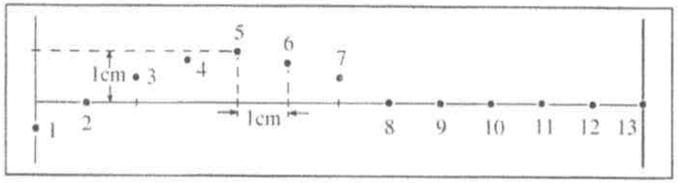


Abb. 1 Momentbild zum Zeitpunkt $t = \frac{7}{12}$ s

Erläuterung:
Das 8. Teilchen ist gerade noch in der Ruhelage (wie die Teilchen 9, 10, usw.). Teilchen 5 befindet sich 3 cm links von Teilchen 8. Da die Welle, die sich mit 12 cm pro Sekunde ausbreitet, für diese 3 cm $(\mathrel{\hat{=}} \frac{1}{4}\lambda)$ die Zeit $\frac{1}{4}$s $(\mathrel{\hat{=}} \frac{T}{4})$ braucht, hat Teilchen 5 schon eine Viertelschwingung vollendet, d. h. Teilchen 5 ist am oberen Umkehrpunkt ($\mathrel{\hat{=}}$ Wellengipfel) angelangt. Entsprechend hat Teilchen 2 schon eine halbe Schwingung vollendet und bewegt sich gerade (abwärts) durch die Ruhelage usw.

c) Siehe Abb. 2

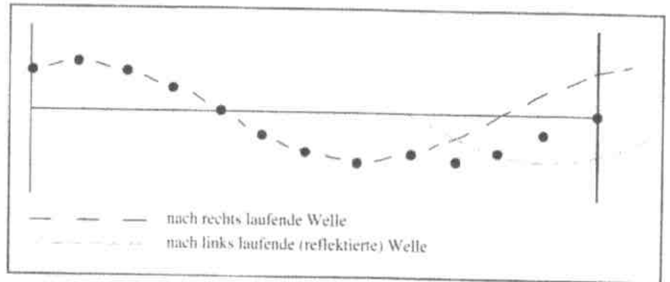


Abb. 2

Erläuterung:
Zur Zeit T = 1 s hat die Welle 12 cm zurückgelegt und erreicht das rechte Ende der Kette, das fest ist. Ab diesem Moment überlagert sich die nach rechts laufende Welle mit einer nach links laufenden Welle (Reflexion am festen Ende). Die Auslenkung der nach links laufenden Welle ist am rechten Endpunkt in jedem Moment genau gegengleich zur Auslenkung der nach rechts laufenden Welle. Das sichtbare (resultierende) Wellenbild ergibt sich durch Überlagerung (Interferenz) der beiden Wellen. Speziell am rechten Endpunkt löschen sich die beiden Wellen natürlich in jedem Moment völlig aus (dieser Punkt muß nach Voraussetzung fest bleiben). Im Überlagerungsbereich ergibt sich eine stehende Welle mit "Knoten" am rechten Ende.

Zur Zeit $t = 1\frac{1}{3}$s hat sich die nach links laufende Welle um $\frac{1}{3}\lambda$ also um 4 cm ausgebreitet (gepunktete Linie).

Die nach rechts laufende Welle ist als gestrichelte Linie dargestellt. Durch Überlagerung (Superposition) der beiden Linien erhält man die resultierenden Positionen der Massenpunkte. In Abb. 3 ist dies beispielhaft gezeigt.

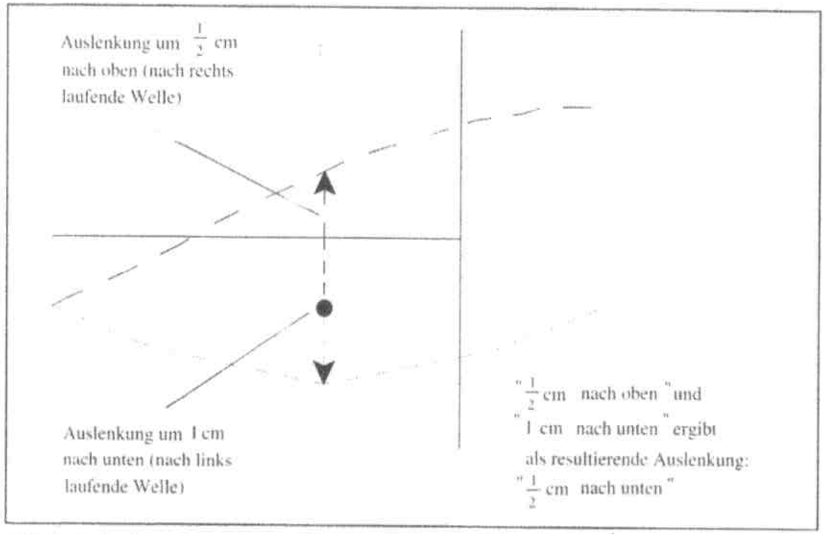


Abb. 3 Auslenkung des vorletzten Massenpunktes zum Zeitpunkt $t = 1\frac{1}{3}$ s

d) Siehe Abb. 4

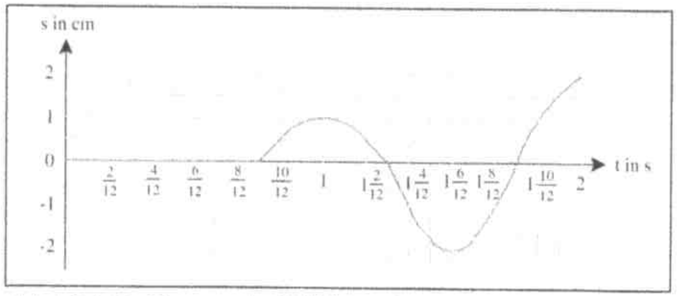


Abb. 4 Zeit-Ort-Diagramm des 10. Teilchens für $t \in [0\text{ s}; 2\text{ s}]$

Erläuterung:

Bis das 10. Teilchen in Bewegung gerät, muß die Welle 9 cm zurücklegen. D. h. ab $t = \frac{9}{12}$ s beginnt das 10. Teilchen mit der Amplitude 1 cm nach oben harmonisch zu schwingen. Nach einer weiteren halben Sekunde (also zur Zeit $t = 1\frac{3}{12}$ s) hat das 10. Teilchen genau eine halbe Schwingung vollendet. In diesem Moment hat sich die nach links laufende (reflektierte) Welle 3 cm

ausgebreitet und erreicht somit gerade das 10. Teilchen. Da sich am Ort des 10. Teilchens die beiden gegeneinander laufenden Wellen phasengleich überlagern, verdoppelt sich die Schwingungsamplitude des 10. Teilchens ab $t = 1\frac{3}{12}$ s. Somit bildet das 10. Teilchen einen Schwingungsbauch der (im Überlagerungsbereich der beiden Wellen erzeugten) stehenden Welle.

Zur Kontrolle kann festgestellt werden, daß bei einer stehenden Welle der Abstand eines Wellenbauches von einem benachbarten Wellenknoten gleich einer Viertelwellenlänge ist, in unserem Fall also 3 cm. Das ist genau der Abstand des 10. Teilchens vom 13. Teilchen (Knoten!).

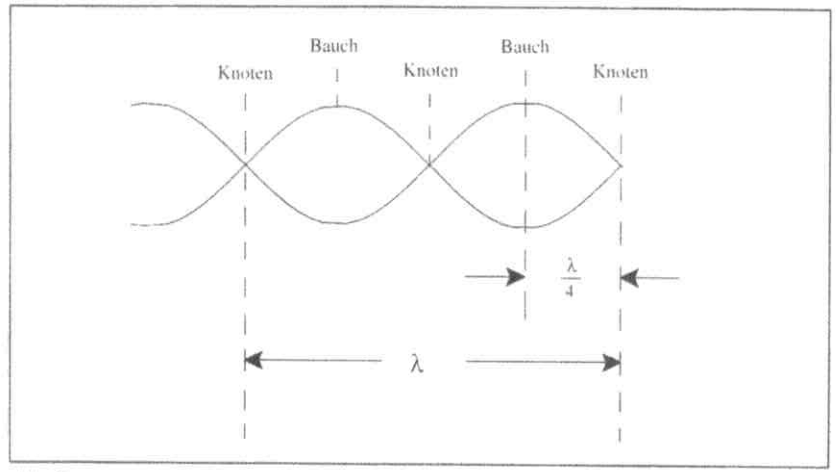


Abb. 5