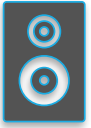


*Physik I für Medis 2021*



# Warm - up Clicker

Zwei Lautsprecher können je einen Ton mit fester Frequenz senden.  
Welche Aussagen stimmen?



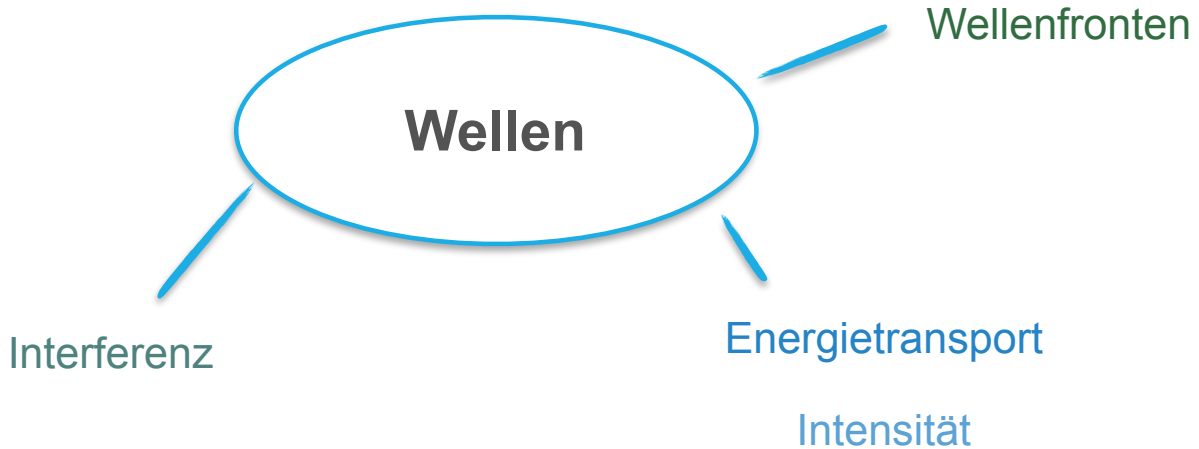
Wenn nur ein Lautsprecher sendet:

- A) Die Lautstärke, die eine Person hört, nimmt mit dem Abstand ab. Grund dafür sind Reibungsverluste.

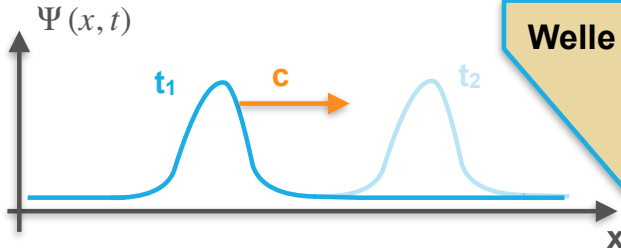
Wenn beide Lautsprecher senden:

- B) Interferenzminima mit (nahezu) kompletter Stille lassen sich nur beobachten, wenn beide die gleiche Frequenz senden.
- C) Interferenzminima mit (nahezu) kompletter Stille lassen sich nur beobachten, wenn beide Lautsprecher genau in Phase senden.

# Die Themen von heute



# Wellen



**Welle = Räumliche Ausbreitung einer Störung**

Darstellung: "Foto" zu Zeitpunkt  $t$

Wellenfunktion  $\Psi(x, t)$

## Harmonische Wellen

lassen sich durch *sin* oder *cos* beschreiben

$$\Psi(x, t) = A \cos(kx - \omega t - \phi_0)$$

**Kreisfrequenz**

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

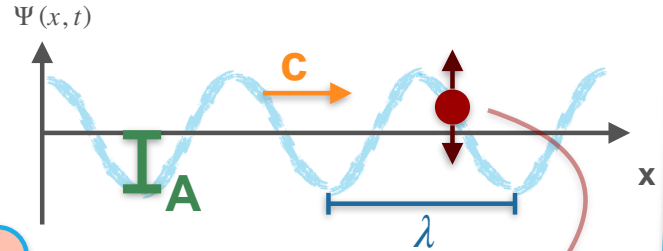
beschreibt  
Schwingung

$$c = \frac{\omega}{k}$$
$$c = \lambda f$$

**Wellenzahl**

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

beschreibt  
Ausbreitung



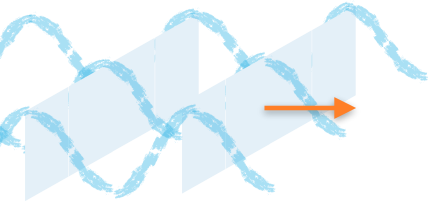
Einzelne Punkte auf Welle  
schwingen harmonisch auf und ab,  
mit Kreisfrequenz  $\omega$

# Mehrdimensionale Wellen

Alle Punkte auf einer Welle mit derselben Phase bilden eine Phasenfläche (auch: Wellenfront).

Beispiel: Punkte entlang eines Wellenkamms sind auf einer Wellenfront

## Ebene Wellen (2D)



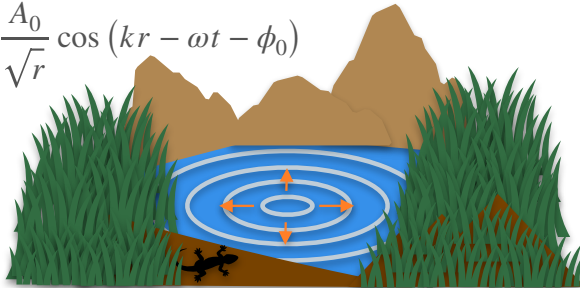
$$\Psi(x, t) = A \cos(kx - \omega t - \phi_0)$$

Bewegen sich in eine Richtung,  
Wellenfronten sind Ebenen

## Kreiswellen (2D)

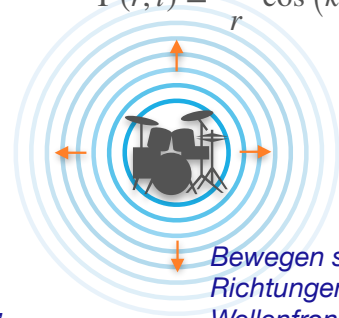
Bewegen sich radial nach aussen,  
Wellenfronten sind Kreise

$$\Psi(r, t) = \frac{A_0}{\sqrt{r}} \cos(kr - \omega t - \phi_0)$$



## Kugelwellen (3D)

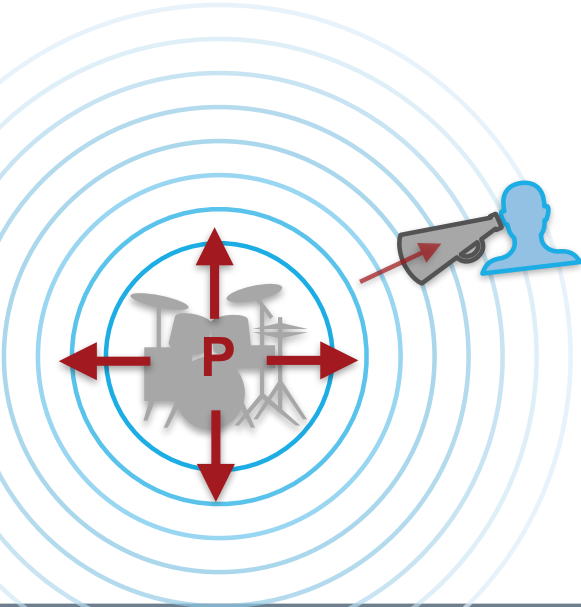
$$\Psi(r, t) = \frac{A_0}{r} \cos(kr - \omega t - \phi_0)$$



Bewegen sich in alle  
Richtungen nach aussen,  
Wellenfronten sind  
Hohlkugeln

# Energietransport in Wellen

Quelle regt mit Leistung  $P$  Welle an. Welle trägt Leistung davon.



## Energieerhaltung:

Energiefluss durch Kugelflächen = Leistung Quelle

⇒ **Energiefluss bei Zuhörer hängt ab von:**

*x Abstand zur Quelle    x Querschnittsfläche des Trichters*

## Intensität

$$I = \frac{\text{Energiestrom}}{\text{Fläche}}$$

Bei Kugelwelle:

$$I(d) = \frac{P}{4\pi d^2}$$

Intensität der Welle hängt zusammen mit **Amplitude<sup>2</sup>**:

allgemein  $\langle I \rangle \sim A^2$

Materiewellen:  $\langle I \rangle = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 A^2$

# Sonnenschein

Die Sonne strahlt elektromagnetische Strahlung mit einer Gesamtleistung von etwa  $P_S = 3.8 \cdot 10^{26}$  W ins Weltall ab.

Der Abstand Sonne-Erde beträgt im Mittel etwa 150 Millionen km.

Mit welcher Intensität trifft das Sonnenlicht auf die Erde?

*Tipp: Die Sonne strahlt in den ganzen Raumwinkel hin!*

Die Erde erhält also eine Intensität von  $I_E = \frac{P_S}{4\pi d^2}$   $I_E \approx 1340 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

Welche Strahlleistung bekommt ein Kanufahrer etwa auf den Kopf (Querschnittsfläche  $\sim 267 \text{ cm}^2$ ), wenn die Atmosphäre ein Viertel der Strahlungsleistung absorbiert?

*Die Leistung entspricht der Intensität mal der Querschnittsfläche!*

$$P_{\text{Kopf}} = \frac{3}{4} I_E A = 1005 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 260 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 26 \text{ W}$$

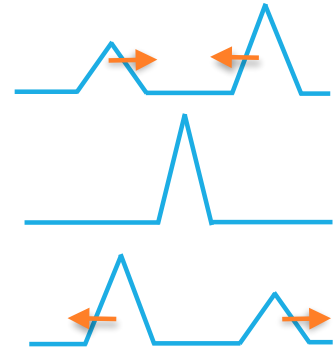


# Interferenz von Wellen

**Superpositionsprinzip:**

$$\Psi(\mathbf{x}, t) = \Psi_1(\mathbf{x}, t) + \Psi_2(\mathbf{x}, t)$$

Die Überlagerung von zwei Wellen ist ebenfalls eine Welle.  
In jedem Ort entspricht die Auslenkung dann der Summe der beiden Wellen.



**Folge: Interferenz**

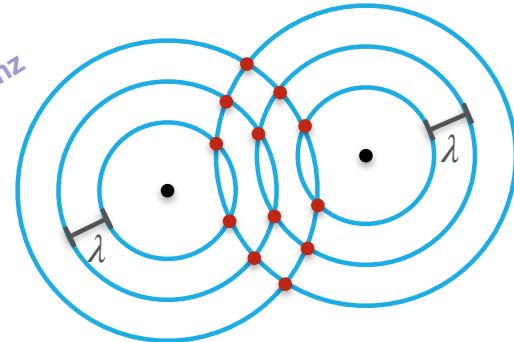
*Bei Überlagerung von harmonischen Wellen gibt es Orte mit maximaler und minimaler Amplitude (bzw. Intensität).*

Konstruktive Interferenz:  $\Delta s = n\lambda$

Destruktive Interferenz:  $\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$

$\Delta s$  = Gangunterschied der beiden Wellen

Bedingung: Wellen  
haben gleiche Frequenz





# Beugung am Doppelspalt

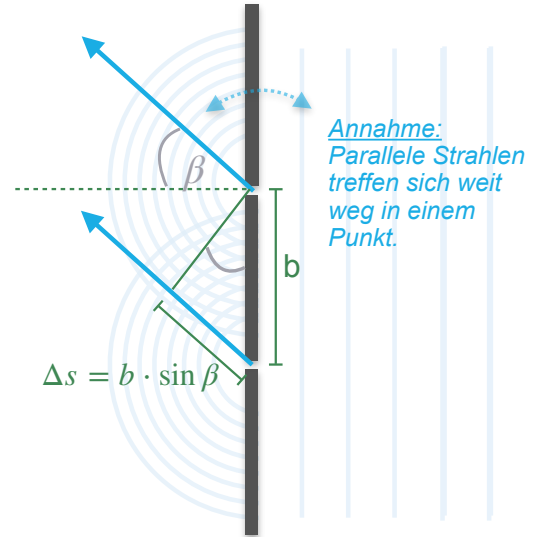
Wellen werden um Kanten gebeugt.  $\Rightarrow$  Interferenzen hinter den Spalten.

Idee: Strahlen aus beiden Spalten überlagern sich.

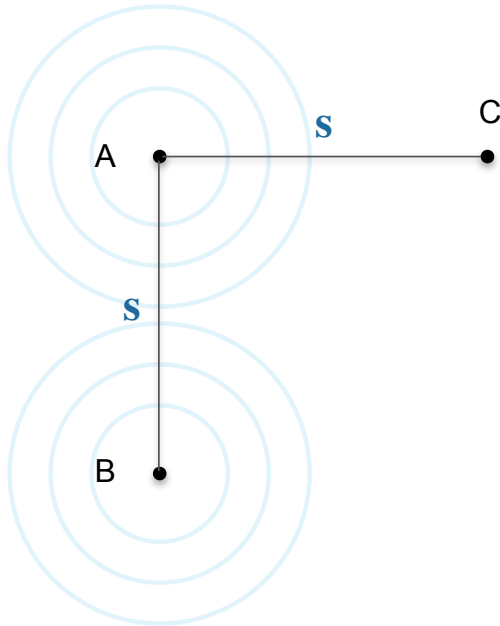
Bedingung für Maximum:

$$\Delta s = n\lambda$$

$$\Rightarrow \sin \beta = \frac{n\lambda}{b}$$



# Übung zu Interferenz



Bei A und B stehen jeweils Lautsprecher, die beide in Phase Basstöne mit  $\nu = 100$  Hz erzeugen.

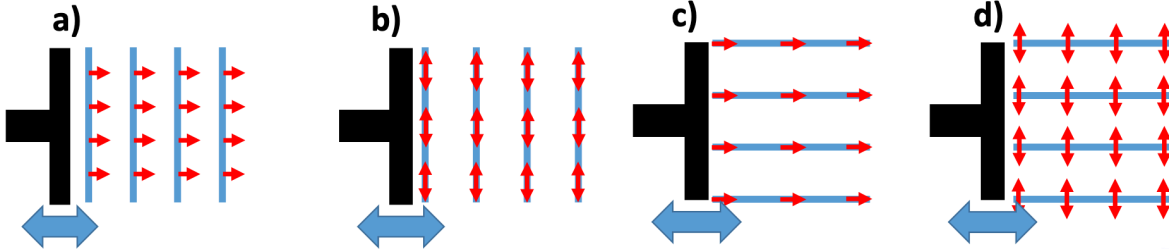
( Schallgeschwindigkeit  $c = 300 \frac{m}{s}$  )

Wie lange muss **s** mindestens sein, sodass bei C kein Ton hörbar ist?

- 1) Berechne Wellenlänge  $\lambda = \frac{c}{\nu} = 3 \text{ m}$
- 2) Bedingung für destruktive Interferenz  $\Delta s = \left( n + \frac{1}{2} \right) \lambda$
- 3)  $\Delta s$  aufstellen  $\Delta s = s_2 - s = \left( \sqrt{2} - 1 \right) s$
- 4) Kombinieren und ausrechnen  $s = \frac{(n + 1/2) \lambda}{\sqrt{2} - 1}$   
Minimaler Wert:  $s = \frac{\lambda/2}{\sqrt{2} - 1} = 3.6$

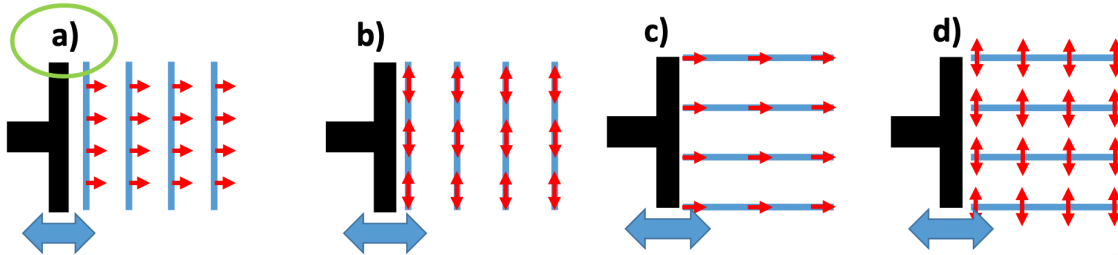
# Frage 3

In einem Wellenkanal wird künstlich eine Welle erzeugt, indem ein Schieber periodisch Wasser von links nach rechts drückt. Welches Schema beschreibt am besten die «Phasenfronten» der Welle und deren Bewegungsrichtung?



# Frage 3

In einem Wellenkanal wird künstlich eine Welle erzeugt, indem ein Schieber periodisch Wasser von links nach rechts drückt. Welches Schema beschreibt am besten die «Phasenfronten» der Welle und deren Bewegungsrichtung?

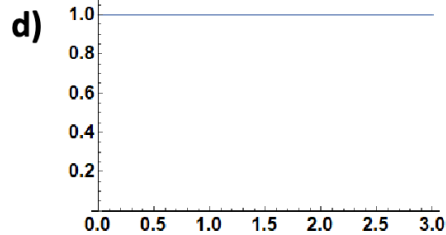
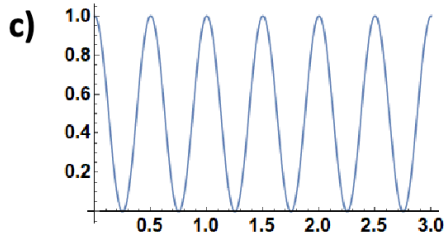
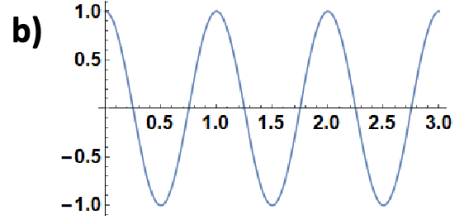
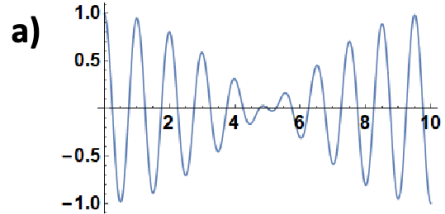
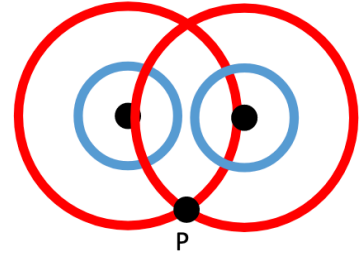


Phasenfronten bezeichnen die Punkte im Medium, welche die gleiche Phase im Schwingungszyklus haben. In diesem Fall handelt es sich um eine ebene Welle → a) oder b). Die Bewegungsrichtung der Phasenfronten ist immer senkrecht auf den Phasenfronten → a)



# Frage 9

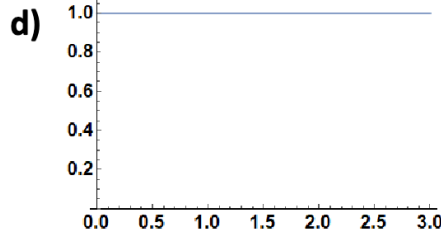
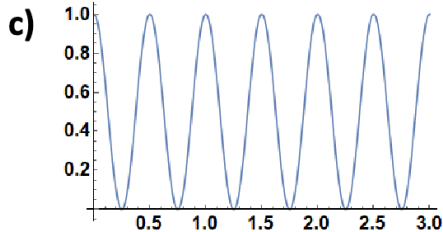
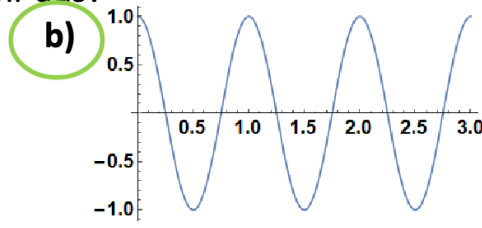
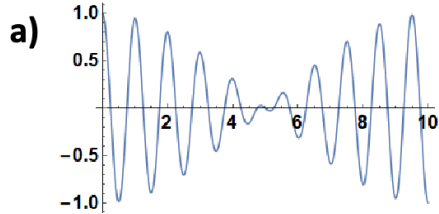
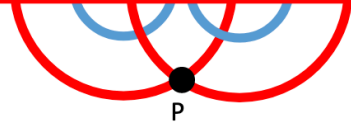
Zwei Wellen haben beide die gleiche  $\lambda$  und  $f$  und interferieren konstruktiv am Punkt P. Wie sieht die zeitliche Entwicklung der Auslenkung ungefähr aus?



# Frage 9

- b) falsch:  $\lambda$  und  $f$  sind gleich es gibt also keine Schwebung.
- c) falsch: Das könnte die Intensität sein, aber nicht die Amplitude, da es keine negativen Werte gibt.
- d) falsch: nur weil die Wellen konstruktiv interferieren, heisst es nicht, dass die Amplitude konstant = 1 bleibt.

Zwei Wellen haben beide die gleiche  $\lambda$  und  $f$  und interferieren konstruktiv am Punkt P. Wie sieht die zeitliche Entwicklung der Auslenkung ungefähr aus?

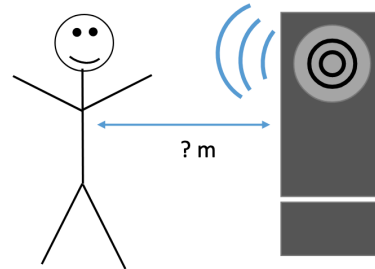
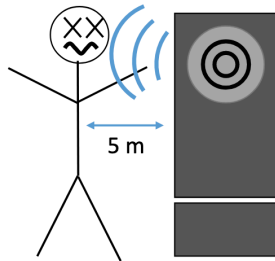


## Frage 7

AC/DC hört man am Besten laut. Man kann es aber auch übertreiben. Wenn es mir bei 5 m Abstand zu laut wird und ich die Lautstärke ungefähr halbieren möchte, in welchem Abstand muss ich dann stehen?

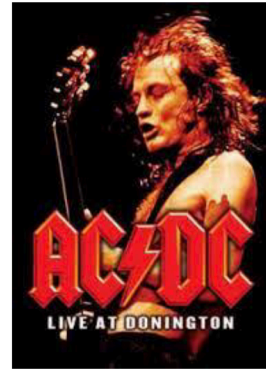


- a)  $\approx 7$  m
- b)  $\approx 10$  m
- c)  $\approx 17$  m
- d)  $\approx 25$  m

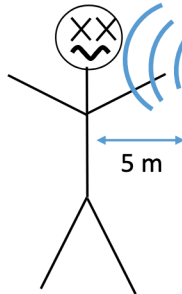


# Frage 7

AC/DC hört man am Besten laut. Man kann es aber auch übertreiben. Wenn es mir bei 5 m Abstand zu laut wird und ich die Lautstärke ungefähr halbieren möchte, in welchem Abstand muss ich dann stehen?



- a)  $\approx 7$  m
- b)  $\approx 10$  m
- c)  $\approx 17$  m
- d)  $\approx 25$  m



Die Schallintensität ist  $I \propto \frac{1}{r^2}$

$$\frac{I_{\text{laut}}}{I_{\text{leise}}} = 2 \rightarrow \frac{\frac{1}{r_{\text{laut}}^2}}{\frac{1}{r_{\text{leise}}^2}} = 2 \rightarrow r_{\text{leise}} = \sqrt{2}r_{\text{laut}}$$

→ a)





# Frage 1

Mujinga Kambundji holt die WM-Bronzemedaille! Im Stadion geht die «La Ola» um! Welches physikalische Phänomen ist dabei schön illustriert?

Eine Welle überträgt...

- a) weder Masse noch Energie.
- b) Energie, aber keine Masse.
- c) Masse, aber keine Energie.
- d) Masse und Energie.



# Frage 1

Mujinga Kambundji holt die WM-Bronzemedaille! Im Stadion geht die Laola um! Welches physikalische Phänomen ist dabei schön illustriert?

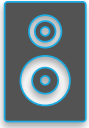
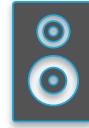
Eine Welle überträgt...

- a) weder Masse noch Energie.
- b) Energie, aber keine Masse.**
- c) Masse, aber keine Energie.
- d) Masse und Energie.

b) Ist richtig, da die Zuschauer an ihrem Platz bleiben (es wird also keine Masse übertragen), aber trotzdem pflanzt sich die «positive Energie» der Laola fort! Im Prinzip geht es hier um «Information» und nicht Energie, aber die Frage ist eher als Merkhilfe gedacht.

# Warm - up Clicker

Zwei Lautsprecher können je einen Ton mit fester Frequenz senden.  
Welche Aussagen stimmen?



Wenn nur ein Lautsprecher sendet:

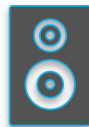
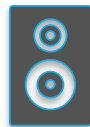
- A) Die Lautstärke, die eine Person hört, nimmt mit dem Abstand ab. Grund dafür sind Reibungsverluste.

Wenn beide Lautsprecher senden:


- B) Interferenzminima mit (nahezu) kompletter Stille lassen sich nur beobachten, wenn beide die gleiche Frequenz senden.
- C) Interferenzminima mit (nahezu) kompletter Stille lassen sich nur beobachten, wenn beide Lautsprecher genau in Phase senden.

# Warm - up Clicker

Zwei Lautsprecher können je einen Ton mit fester Frequenz senden.  
Welche Aussagen stimmen?



Wenn nur ein Lautsprecher sendet:

 A) Die Lautstärke, die eine Person hört, nimmt mit dem Abstand ab. Grund dafür sind Reibungsverluste.

Hauptgrund ist  
Energieerhaltung:  
Leistung muss sich auf  
Kugeloberflächen verteilen

Wenn beide Lautsprecher senden:

 Interferenzminima mit (nahezu) kompletter Stille lassen sich nur beobachten, wenn beide die gleiche Frequenz senden.

 C) Interferenzminima mit (nahezu) kompletter Stille lassen sich nur beobachten, wenn beide Lautsprecher genau in Phase senden.

Phasenverschiebung ist kein Problem und  
ändert nur die Position der Minima / Maxima