

Aufgaben 22 Wellen Schallwellen, Elektromagnetische Wellen, Energietransport

Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- eine neue Problemstellung bearbeiten können.
- den Träger einer Schallwelle kennen.
- die Erzeugung einer Schallwelle in einem Lautsprecher verstehen.
- wissen und verstehen, dass Schallwellen in Gasen und Flüssigkeiten Längswellen sind.
- den Zusammenhang zwischen der Frequenz einer sinusförmigen Schallwelle und der empfundenen Höhe des entsprechenden Tones kennen.
- die mathematische Beschreibung einer sinusförmigen, ebenen Schallwelle in einem Gas kennen.
- den Wert der Schallgeschwindigkeit in Luft kennen.
- wissen und verstehen, dass sich in festen Körpern sowohl longitudinale als auch transversale Schallwellen ausbreiten können.
- den Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz anwenden können.
- wissen, wie eine elektromagnetische Welle erzeugt werden kann.
- den Träger einer elektromagnetischen Welle kennen.
- die mathematische Beschreibung einer sinusförmigen, ebenen elektromagnetischen Welle kennen.
- die gegenseitige Lage des elektrischen und des magnetischen Feldstärkevektors in einer elektromagnetischen Welle kennen.
- die Richtungen des elektrischen und des magnetischen Feldstärkevektors bezüglich der Ausbreitungsrichtung einer elektromagnetischen Welle kennen.
- wissen, dass elektromagnetische Wellen Transversalwellen sind.
- die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle im Vakuum kennen.
- wissen und verstehen, wie die Energiestromdichte, die Intensität definiert ist.
- den Zusammenhang zwischen der Intensität und der Amplitude einer Schwingungsgrösse kennen und anwenden können.
- für eine von einem punktförmigen Sender abgestrahlte Welle den Zusammenhang zwischen der Intensität und dem Abstand vom Sender kennen und verstehen.

Aufgaben

22.1 Studieren Sie im Buch KPK 3 die folgenden Abschnitte:

- 4.6 Schallwellen (Seiten 42 bis 45)
- 4.7 Elektromagnetische Wellen (Seiten 45 bis 47)
- 4.8 Energietransport mit Wellen (Seiten 47 und 48)

22.2 Im Vakuum (d.h. ohne Materie in den Feldern) folgen aus den Maxwell-Gleichungen für die elektrische Feldstärke E und die magnetische Flussdichte B im eindimensionalen Fall die folgenden Wellengleichungen (ohne Herleitung, vgl. Unterricht):

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} \quad (*)$$

- a) Überprüfen Sie, dass die folgenden Funktionen, die eine sinusförmige elektromagnetische Welle beschreiben, die Wellengleichungen (*) erfüllen, falls $v = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$

$$E(x,t) = \hat{E} \sin(kx - \omega t)$$

$$B(x,t) = \hat{B} \sin(kx - \omega t)$$

- b) Berechnen Sie den Wert der Ausbreitungsgeschwindigkeit v einer elektromagnetischen Welle im Vakuum.

- 22.3 In einem Sender werde periodisch eine Welle angeregt und ausgesendet. Der zeitliche Verlauf der Anregung im Sender (d.h. am Ort $x = 0$) sei dabei sinusförmig:

$$y(0,t) = \hat{y} \sin(\omega t)$$

Beurteilen Sie mit schlüssigen Begründungen, ob und wie in den Fällen a) und b) die Amplitude \hat{y} und die Intensität I der Welle vom Abstand r vom Sender abhängt.

- a) Der Sender sei "flächenhaft" und sendet eine seitlich begrenzte ebene Welle aus.
b) Der Sender sei punktförmig und sendet eine Kugelwelle aus.

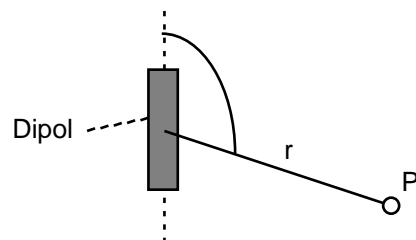
Hinweis:

Nehmen Sie an, dass die Welle auf ihrem Weg auf dem Wellenträger keine Energie verliert, d.h. dass keine Energie absorbiert wird.

- 22.4 Studieren Sie im Buch KPK 1 (Band "Elektrodynamik" Physik 1) den folgenden Abschnitt:
- 3.7 Elektromagnetische Wellen (Seiten 72 bis 75)

- 22.5 Eine Mobilfunkantenne kann als Hertz'scher Dipol aufgefasst werden, der eine elektromagnetische Welle abstrahlt.

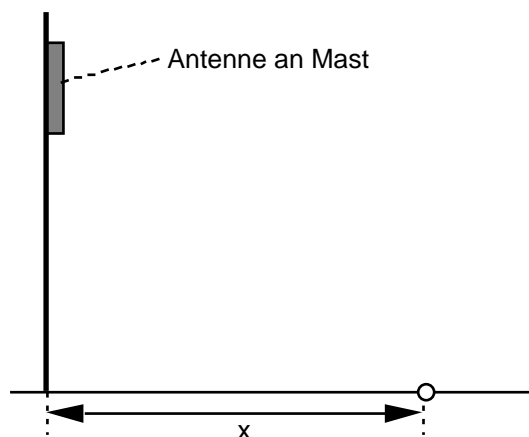
Die Intensität I der abgestrahlten elektromagnetischen Welle an einem bestimmten Ort P hängt nicht nur von der Sendeleistung an sich ab sondern auch vom Abstand r zum Dipol, vom Winkel θ zur Dipolachse sowie von der Kreisfrequenz ω der elektromagnetischen Welle.



Falls der Abstand r viel grösser ist als die Wellenlänge der elektromagnetischen Welle, gilt (ohne Herleitung):

$$I \sim \frac{4}{r^2} \sin^2(\theta)$$

Eine Mobilfunkantenne sei mit vertikaler Ausrichtung der Dipolachse an einem Mast in horizontalem Gelände montiert:



Bestimmen Sie die Entfernung x vom Fusse der Antenne, in welcher die Intensität (bei konstanter Sendeleistung) maximal ist.

Lösungen

22.1 ...
Lösungen zu den Aufgaben siehe kodierte Blätter

22.2 a) ...

b)
$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s} \quad 300'000 \text{ km/s}$$

22.3 I := Intensität der Welle
A := Flächeninhalt der Wellenfronten

$I \cdot A = \text{konst.}$ (Energieerhaltung)

$$I \sim \hat{y}^2$$

a) A = konst.

$$I = \text{konst. (d.h. unabhängig von } r)$$
$$\hat{y} = \text{konst. (d.h. unabhängig von } r)$$

b) $A \sim r^2$

$$I \sim \frac{1}{r^2}$$
$$\hat{y} \sim \frac{1}{r}$$

22.4 ...

22.5 I maximal für $x = h$ (h = Höhe der Antenne über Boden)