

Übung 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

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)
2. Im Vakuum (d.h. ohne Materie in den Feldern) folgen aus den Maxwell-Gleichungen für die elektrische Feldstärke $\vec{E}$ und die magnetische Flussdichte $\vec{B}$ 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.

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.

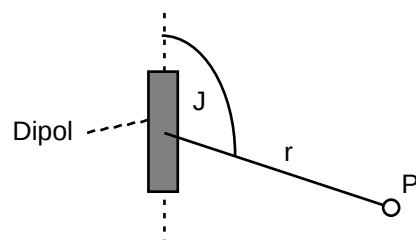
Hinweis:

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

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

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

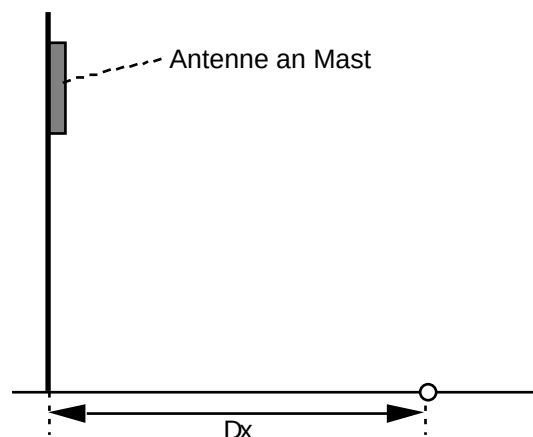
Die Intensität I der abgestrahlten elektromagnetischen Welle an einem bestimmten Ort P hängt nicht nur von der Sendeleistung an sich ab sondern auch vom Abstand r zum Dipol, vom Winkel J zur Dipolachse sowie von der Kreisfrequenz ω der elektromagnetischen Welle.



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

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

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



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

Lösungen

1. ...
Lösungen zu den Aufgaben siehe kopierte Blätter
2. a) ...
b) $v = \frac{1}{\sqrt{m_0 e_0}} = 2.998 \cdot 10^8 \text{ m/s} \approx 300'000 \text{ km/s}$
3. $I :=$ Intensität der Welle
 $A :=$ Flächeninhalt der Wellenfronten
 $I \cdot A = \text{konst. (Energieerhaltung)}$
 $I \sim \hat{y}^2$
 - a) $A = \text{konst.}$
 - fi $I = \text{konst. (d.h. unabhängig von } r)$
 $\hat{y} = \text{konst. (d.h. unabhängig von } r)$
 - b) $A \sim r^2$
 - fi $I \sim \frac{1}{r^2}$
 $\hat{y} \sim \frac{1}{r}$
4. ...
5. I maximal für $Dx = h$ ($h =$ Höhe der Antenne über Boden)