

Abb. 3: Intensitätsverlauf des Beugungsbildes des Einzelspaltens in Fraunhofer-Näherung

Bogens ab, d. h. für alle Winkel  $\varphi$  besitzt er die gleiche Länge (bei gleicher Spaltbreite und gleicher Intensität der einfallenden Welle).

Der Winkel zwischen dem ersten und dem letzten Zeiger des Kreisbogens – der Winkel zwischen den Zeigern der beiden Randstrahlen – beträgt  $\varphi$  und ist durch Gleichung (2) gegeben. Mit dem Kosinussatz folgt aus Abbildung 2

$$\hat{y}_r^2 = 2R^2(1 - \cos \varphi) = 4R^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}. \quad (5)$$

Falls der Kosinussatz nicht bekannt ist, kann das Dreieck mit den Seiten  $R$ ,  $R$ ,  $\hat{y}_r$  auch in zwei identische, rechtwinklige Dreiecke zerlegt und Gl. (5) mithilfe der Definition der Kosinusfunktion hergeleitet werden.

Auf der anderen Seite gilt für die Länge des Kreisbogens

$$b = R \varphi. \quad (6)$$

Dann wird (6) nach  $R$  aufgelöst und in (5) eingesetzt:

$$\hat{y}_r^2 = \left( b \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \right)^2. \quad (7)$$

Da das Amplitudenquadrat der Intensität proportional ist, folgt schließlich

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \frac{\varphi}{2}}{\frac{\varphi}{2}} \right)^2 = I_0 \left( \frac{\sin \left( \frac{\pi}{\lambda} d \sin \alpha \right)}{\frac{\pi}{\lambda} d \sin \alpha} \right)^2. \quad (8)$$

Abbildung 3 zeigt den Intensitätsver-

lauf des Beugungsbildes des Einzelspaltens in Fraunhofer-Näherung.

Minima (Intensitätsnullstellen) liegen bei

$$\frac{d}{\lambda} \sin \alpha = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (9)$$

bzw.

$$\sin \alpha_k = k \frac{\lambda}{d} \text{ mit } k = \pm 1, \pm 2, \dots, k_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}. \quad (10)$$

In diesen Fällen liegen in Abbildung 2 geschlossene Kreisbögen vor.

Ein ausgeprägtes Maximum (Hauptmaximum) liegt bei  $\alpha = \varphi = 0$ . In diesem Fall liegen alle Zeiger parallel und addieren sich zum maximal möglichen Wert der Amplitude der resultierenden Welle. Es gibt allerdings noch weitere Maxima (Nebenmaxima). Diese lassen sich nicht analytisch berechnen. Mithilfe grafischer oder numerischer Methoden findet man ( $k$ -Werte gerundet)

$$\sin \alpha_k = k \frac{\lambda}{d} \quad (11)$$

$$\text{mit } k = \pm 1, 430; \pm 2, 459; \pm 3, 471;$$

$$\dots \dots \dots \pm k_{\max} \leq \frac{d}{\lambda}.$$

Literatur

[1] Dorn-Bader: Physik 12/13 Gymnasium Sek II. Hannover: Schroedel (2000)

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Axel Donges, Naturwissenschaftlich-technische Akademie Prof. Dr. Grübler gGmbH Seidenstraße 12-35, 88316 Isny im Allgäu

# Altlasten der Physik (140): Elektromagnetische Transversalwellen

F. Herrmann

## Gegenstand

Zum Begriff Quer- und Längswelle bzw. Transversal- und Logitudinalwelle findet man ganz am Anfang der Wellenlehre etwa die folgende Definition:

„Bei einer Querwelle ist die Elongation der einzelnen Teile des Trägers quer zur Ausbreitungsrichtung. Bei einer Längswelle schwingen die Teilchen des Trägers längs der Ausbreitungsrichtung vor und zurück.“

Und später bei der Behandlung der elektromagnetischen Wellen:

„Licht kann polarisiert werden, ist also eine Querwelle mit senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingenden  $\vec{E}$ - und  $\vec{B}$ -Feldern.“

Die Verteilung von elektrischer und magnetischer Feldstärke im Raum für einen gegebenen Zeitpunkt wird gewöhnlich durch ein Bild wie das von Abb. 1 illustriert.

## Mängel

Eine Transversalwelle ist, nach der Definition, die die Schülerinnen und Schüler ler-

nen, eine Welle, bei der sich der Wellenträger quer zur Laufrichtung der Welle bewegt. Wenn man sich an diese Definition hielt, so wäre eine elektromagnetische Welle streng genommen keine Transversalwelle, denn in einer elektromagnetischen Welle bewegt sich nichts. Natürlich kann man sagen, es liege eine Schwingung oder Bewegung im übertragenen Sinn vor, ähnlich wie man vielleicht von einer Temperaturbewegung oder der Bewegung der Börsenkurse sprechen könnte.

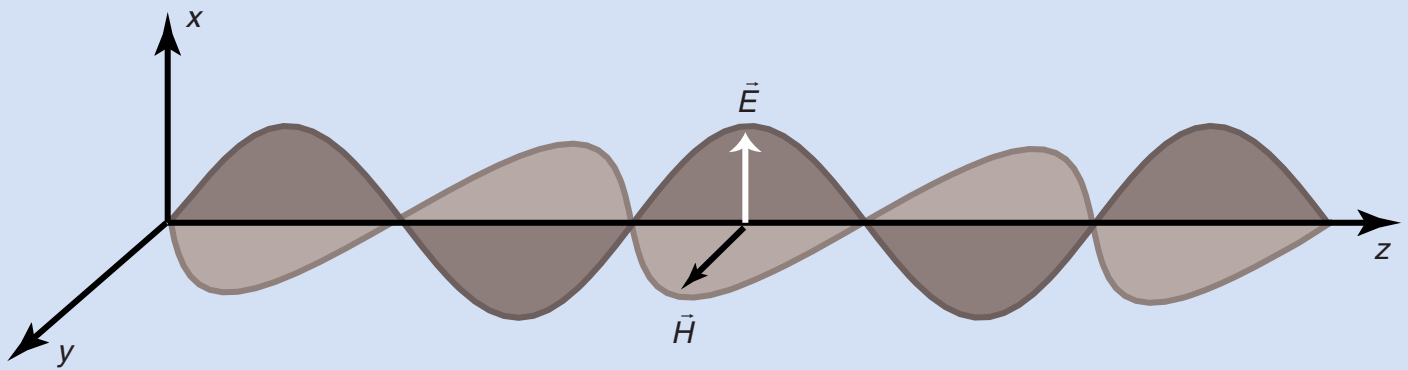


Abb. 1: „Momentaufnahme“ der elektrischen und magnetischen Feldstärke einer Sinuswelle

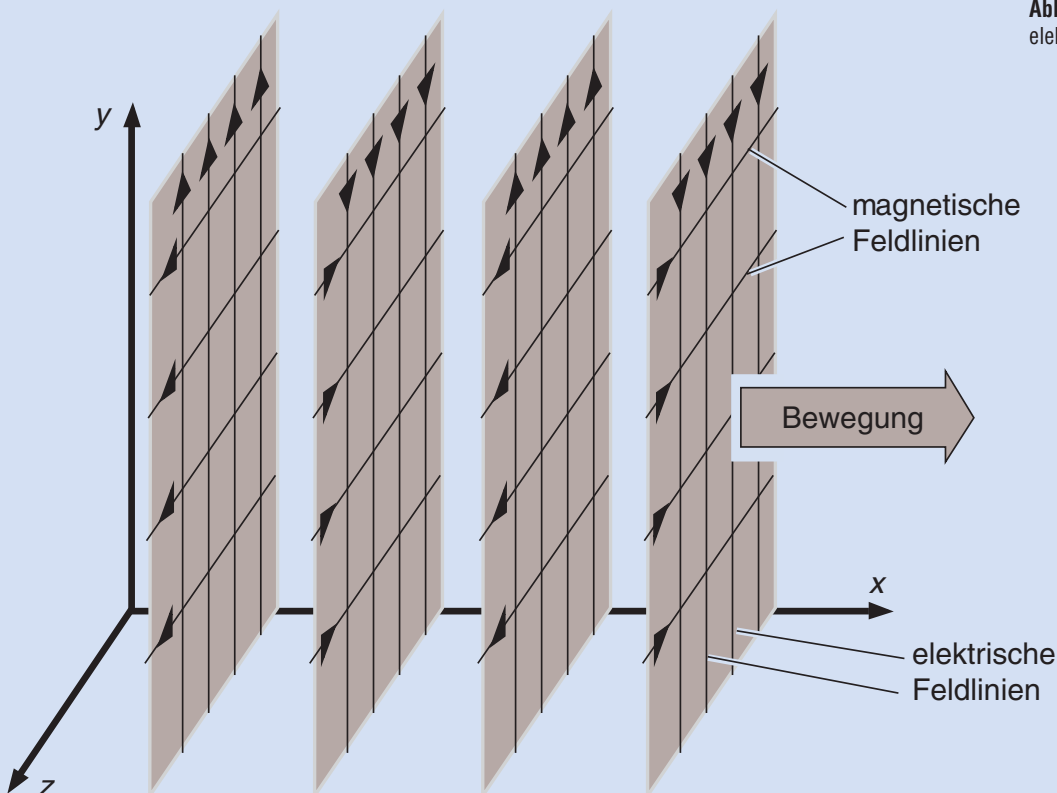


Abb. 2: Feldlinienbild einer ebenen elektromagnetischen Welle

Tatsächlich scheint aber die Bewegung, mindestens von den Lernenden, etwas zu Ernst genommen zu werden. Dazu trägt auch die Darstellung von Abb. 1 bei, die in keinem Buch fehlt: eine Momentaufnahme des Bewegung der Spitze des elektrischen und des magnetischen Feldstärkevektors.

Dass etwas nicht ganz verstanden wird, kann man auch leicht feststellen, wenn man an der Universität eine mündliche Prüfung im Fach Physik abnimmt. Fragt man nämlich nach dem Feldlinienbild einer Radiowelle, etwa innerhalb des Raumes, in dem die Prüfung stattfindet, so wird gewöhnlich mit einer Skizze wie der in unserer Abbildung 1 geantwortet. Wenn man nun darauf hinweist, dass das kein Feldlinienbild ist, stößt man gewöhnlich auf Ratlosigkeit. Offenbar wird das Bild als das

interpretiert, was die Sätze unserer Zitate sagen: als eine Bewegung. Was die Interpretation des Bildes schwierig macht, ist die Tatsache, dass man zunächst den Ortsraum aufspannt, in diesen aber zwei andere physikalische Größen einzeichnet. Wir kennen das Verfahren von der Mechanik her, wo man gern in die Abbildung irgendeiner Szene im normalen Ortsraum Kraftvektoren einzeichnet. Im vorliegenden Fall kommt die Schwierigkeit hinzu, dass sich die Feldstärkevektoren von Ort zu Ort ändern, dass man diesen Verlauf aber nur als Funktion einer einzigen, nämlich der z-Koordinate darstellt. Die Suggestion einer Schwingung im Sinn einer Bewegung ist also groß.

#### Herkunft

Eine etwas unbedachte Übernahme der Definition von longitudinalen und transvers-

salen Wellen aus der Mechanik in die Elektrodynamik. Dass man die Schwingmetapher so unbekümmert übernimmt, mag auch noch eine historische Ursache haben.

In früheren Zeiten lernten die Studenten: „Licht ist eine transversale Ätherwelle.“ Und das war durchaus im Sinn der mechanischen Definition des Begriffs transversal gemeint.

#### Entsorgung

Man erläutert die Feldstärkeverteilung nicht mit einem Bild wie in Abb. 1, sondern mit einem Feldlinienbild, Abb. 2. ■

#### Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Friedrich Herrmann, Institut für Theoretische Festkörperphysik, KIT, 76128 Karlsruhe, E-Mail: f.herrmann@kit.edu