

# 13. Übung zur Physik B2 für Nebenfächler SS 2018

**Ausgabe:** 05.07.2018  
**Abgabe:** bis 11.07.2018 14:00 Uhr  
**Briefkästen:** 247-249

Prof. Dr. D. Suter

---

## Aufgabe 1: Maxwell-Gleichungen

Um zeitabhängige elektrische und magnetische Felder zu beschreiben, wird die nicht-stationäre Ladungsdichte  $\rho(\vec{r}, t)$  und die Stromdichte  $\vec{j}(\vec{r}, t)$  eingeführt. Geht man von den statischen Gleichungen und dem Induktionsgesetz aus, so folgt für die Maxwell-Gleichungen im Vakuum:

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{E}(\vec{r}, t) &= \frac{1}{\epsilon_0} \rho(\vec{r}, t) \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B}(\vec{r}, t) &= 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E}(\vec{r}, t) &= -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B}(\vec{r}, t) \\ \vec{\nabla} \times \vec{B}(\vec{r}, t) &= \mu_0 \vec{j}(\vec{r}, t)\end{aligned}$$

Weiterhin muss die Ladungserhaltung gelten, welche durch die Kontinuitätsgleichung

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho(\vec{r}, t) + \vec{\nabla} \cdot \vec{j}(\vec{r}, t) = 0$$

gegeben ist.

- a) Zeigen Sie, dass das zeitabhängige ampèresche Gesetz in dieser Form die Ladungserhaltung nicht erfüllt.

Maxwell erkannte dies und führte den sogenannten Verschiebungsstrom  $\frac{\partial}{\partial t} \vec{E}(\vec{r}, t)$  ein. Damit lautet das verallgemeinerte ampèresche Gesetz:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B}(\vec{r}, t) = \mu_0 \vec{j}(\vec{r}, t) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \vec{E}(\vec{r}, t)$$

- b) Zeigen Sie, dass das verallgemeinerte ampèresche Gesetz die Ladungserhaltung erfüllt.

## Aufgabe 2: Schall

- a) Das ehemalige Überschall-Passagierflugzeug Concorde düse mit doppelter Schallgeschwindigkeit tief über uns hinweg, nämlich in einer Höhe von nur  $h = 2000$  m. Zur Zeit  $t = 0$  s befindet sie sich senkrecht über uns. Wann hören wir den Überschallknall? *Gehen Sie von einer Schallgeschwindigkeit von 343 m/s aus.*
- b) Sie horchen an einem luftgefüllten Eisenrohr, als jemand einmal an das andere Ende schlägt. Sie hören zwei Schläge im Abstand von 1 s. Wie lang ist das Rohr? Gehen Sie von Normalbedingungen aus.

- c) Ein Hörer sitzt zwischen den Boxen seiner Stereoanlage, wobei er 3 m Abstand von der einen Box hat und 4 m von der anderen. Wenn er alte Mono-Platten hört, löschen sich Schallwellen bestimmter Frequenzen an seinem Ort aus (bei Vernachlässigung von Reflexionen). Welche?
- d) Sie hören ein Motorrad mit einem Schallintensitätspegel von  $L_M = 80$  dB
- 1) Welchen Pegel nehmen Sie wahr, wenn Sie Ihre Entfernung verdoppeln?  
*Tipp: Nutzen Sie dafür die Pegeldefinition  $L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$ , wobei  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$  beträgt.*
  - 2) Welchen Pegel nehmen Sie wahr, wenn Sie zwei Motorräder gleichzeitig hören?

### Aufgabe 3: Wellengleichung 1

Gegeben ist eine eindimensionale Wellengleichung der Form:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(x, t) - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} g(x, t) = 0$$

- a) Zeigen Sie, dass der Ansatz  $g(x, t) = A_+ f_+(x + ct) + A_- f_-(x - ct)$  die Wellengleichung löst.  $A_{\pm}$  sind beliebige Konstanten und  $f_{\pm}$  zweimal differenzierbare Funktionen von  $u_{\pm} = x \pm ct$ . Sei  $x$  der Ort und  $t$  die Zeit.
- b) Welche physikalische Bedeutung hat dann  $c$ ? Wie breitet sich  $f_{\pm}$  räumlich und zeitlich aus?
- c) Wie ist allgemein die Phasen und die Gruppengeschwindigkeit eines Wellenpakets definiert? Interpretieren Sie diese physikalischen Größen.

### Aufgabe 4: Wellengleichung 2

Schallwellen können auch durch eine dreidimensionale Wellengleichung (1) ausgedrückt werden.

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} p(\vec{r}, t) - \Delta p(\vec{r}, t) = 0 \tag{1}$$

- a) Betrachten Sie nun eine ebene Schallwelle, die sich in  $x$ -Richtung ausbreitet. Vernachlässigen Sie zunächst den Luftdruck  $p_0$ . Bestimmen Sie  $p(\vec{x}, t)$ .  
*Tipp: Wie sieht die Gleichung für eine ebene Welle aus?*
- b) Addieren Sie nun zum Druck  $p(\vec{x}, t)$  den Luftdruck  $p_0$ , sodass sich für den gesamten Druck ergibt:  $p_{\text{ges}}(\vec{x}, t) = p(\vec{x}, t) + p_0$ . Muss  $p(\vec{x}, t)$  aus Aufgabenteil a) angepasst werden und warum (nicht)?