Longitudinale elektrische Wellen (»Skalarwellen«)

Heftige Diskussionen im Internet vor einigen Jahren über longitudinale elektrische Wellen (»Skalarwellen«) haben mich zum Nachdenken darüber angeregt, warum eigentlich von einem Kugelkondensator[1], an dem eine elektrische Wechselspannung anliegt, kein elektrisches Wechselfeld ausgeht. (Ein solches Feld wäre dann das Wellenfeld einer longitudinalen Kugelwelle.) Dabei interessierte mich vor allem die phänomenologische Seite des Problems, schlicht gesagt die Frage: Was geht da eigentlich vor sich?

Betrachten wir einen Kugelkondensator: In elektrisch geladenem Zustand erzeugt er um sich ein kugelsymmetrisches Feld, dessen Feldstärkevektor $\boldsymbol{E}$ (bei positiver Ladung) radial nach außen oder (bei negativer Ladung) nach innen gerichtet ist und dessen Betrag proportional $1/r^2$ ist.

Verbindet man die Kugel mit einer Wechselspannungsquelle ($U = U_0 \sin \omega t$), dann entsteht in der Umgebung – so könnte man auf den ersten Blick meinen – ein elektrisches Feld mit periodisch veränderlicher Feldstärke, deren Vektor (nach Abklingen des Einschwingvorgangs) so beschrieben werden könnte:

$$\boldsymbol{E} = \frac{A}{r^3} \sin \omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \boldsymbol{r}, \tag{1}$$

wobei c die Lichtgeschwindigkeit ist. Der Ausbreitungsvorgang des Feldes könnte also als eine longitudinale Welle betrachtet werden.

Wie man leicht zeigen kann, gilt für die Rotation dieses Vektors

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{E} = 0,$$

sodass nach der 2. Maxwellschen Gleichung

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t}$$

kein magnetisches Wechselfeld existiert. Aus der 1. Maxwellschen Gleichung

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{H} = \boldsymbol{j} + \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t}$$

dagegen ergibt sich mit $\boldsymbol{j} = 0$ und Gleichung (1)

$$\operatorname{rot} \boldsymbol{H} = \varepsilon_0 \omega \frac{A}{r^3} \cos \omega \left(t - \frac{r}{c} \right) \boldsymbol{r}.$$

Demnach existiert ein orts- und zeitabhängiges magnetisches Wirbelfeld. Die Gleichung (1) führt also zusammen mit den Maxwellschen Gleichungen zu einem Widerspruch.

Wieso aber ist die Gleichung (1) falsch? Dies zeigt ein zweiter, genauerer Blick auf den physikalischen Ablauf. Betrachten wir zunächst einen beliebigen Lade- und Entladevorgang. Beim Laden

[1] Ein Kugelkondensator ist eine ideale Abstraktion: eine von anderen Körpern unendlich weit entfernte, elektrisch leitende Kugel.

des Kondensators wächst die Feldstärke proportional zur Ladung; der jeweils aktuelle Zustand des Feldes breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Die während des Ladevorgangs aufzuwendende Energie wird im elektrischen Feld gespeichert. Beim Entladen verschwindet das Feld, und seine Energie fließt zurück in die Kugel (und von dort weiter).

Liegt an dem Kondensator eine Wechselspannung $U = U_0 \sin \omega t$, dann wird das Feld während der ersten Viertelperiode aufgebaut und während der zweiten Viertelperiode wieder abgebaut. Während des Feldaufbaus legt die (vermutete) Welle genau eine Viertelwellenlänge zurück, dann beginnt bereits der Abbau des Feldes und der Rückfluss der Energie. Das elektrische Feld und seine Energie gelangen also nie weiter als eine Viertelwellenlänge über die Kugeloberfläche hinaus. Die angenommene Welle existiert daher nicht.

Siegfried Petry

Home Rückmeldungsformular/Gästebuch