



WS 2005/2006

„Elektromagnetische Wellen“

Seminararbeit zu „Planung und Auswertung von Physikunterricht“

Dozent: Carsten Budke

Veranstaltungsnummer: 4.380

Verfasser:

Name: Florian Riemer

Matrikel-Nr.: 916492

Studiengang: LA Gym

E-Mail: flriemer@gmx.de

1. Geschichte.....	3
2. Mathematische Umsetzung.....	5
2.1. Die Maxwellschen Gleichungen.....	5
2.1.1. 1. Maxwellsche Gleichung.....	5
2.1.2. 2. Maxwellsche Gleichung.....	6
2.1.3. 3. Maxwellsche Gleichung.....	6
2.1.4. 4. Maxwellsche Gleichung.....	7
2.2. Elektromagnetische Wellengleichung	7
3. Hertzscher Dipol / Fernfeld – Nahfeld.....	9
3.1. Der Schwingkreis.....	9
3.2. Der offene Schwingkreis.....	10
4. Elektromagnetische Wellen im Physikunterricht.....	12
4.1. Früher	12
4.2. Heute	12
4.3. Versuche	13
5. Abschluss	16
Literaturverzeichnis	17

1. Geschichte

Der bedeutendste Name in der Geschichte der elektromagnetischen Welle ist wohl Heinrich Hertz.

Die ersten bekannten Ansätze, die auf eine elektromagnetische Schwingung hindeuten, sind im Jahre 1846 bei Wilhelm Weber zu finden, der in seinem „Grundgesetz der elektrischen Wirkung“ einen Zusammenhang zwischen den experimentellen Konstanten, die in seiner Theorie verwendet wurden, und der Lichtgeschwindigkeit feststellte. Aus diesem Zusammenhang folgte Gustav Robert Kirchhoff 1857, dass sich elektrische Wellen in Drähten mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Doch bereits zuvor veröffentlichte Michael Faraday die Theorie, dass alle elektromagnetischen Wirkungen auf elektromagnetische Kraftfelder zurückzuführen sind. Dazu trug er 1845 noch die Idee bei, dass auch Lichtwellen lediglich Schwingungen eben solcher Kraftfelder sind. Dieser Ansatz wurde aber allgemein nur als Anschauungshilfe angesehen, die als nicht mathematisch umsetzbar galt. Aber William Thomson, der aus der Thermodynamik besser als Lord Kelvin bekannt ist, leitete 1850 eine Formel für die inzwischen nachgewiesenen elektrischen Schwingungen ab. Eine von ihm dabei aufgestellte Differentialgleichung beschrieb die Ausbreitung von Signalimpulsen auf langen Kabeln, die die derzeitigen Probleme bei der submarinen Telegraphie beschrieben. Dennoch wurden Faradays Feldtheorien noch nicht anerkannt. Erst 1855 gelang es James Clerk Maxwell die Ideen von Faraday mathematisch umzusetzen. Durch diese Maxwellschen Gleichungen kam er dann zu der Aussage, dass:

„...Licht aus den transversalen Schwingungen desselben Mediums bestehe, die die Ursache der elektrischen und magnetischen Erscheinungen sind.“¹

Doch auch diese Umsetzung wurde nur wenig anerkannt. Sie galt als mathematisch zu undurchschaubar, auch wenn in verschiedenen Experimenten Vorhersagen durch die Maxwellschen Gleichungen bestätigt wurden. Es ist sogar von mindestens fünf Forschern bekannt, dass sie bei Experimenten mit Hochspannungsquellen elektromagnetische Wellen erzeugt haben, aber da ihnen die Maxwellschen Gleichungen nicht bewusst waren, konnten sie diese nicht entsprechend deuten.

¹ Teichmann 1995 S. 104

1878 kam aber Heinrich Hertz zu Hermann von Helmholtz nach Berlin, der sich bereits seit acht Jahren mit Experimenten beschäftigte, die Maxwell bestätigen oder widerlegen sollten. 1879 stellte Helmholtz diese Preisaufgabe, Maxwells Theorie über das elektromagnetische Licht experimentell zu prüfen. Während Berend Feddersen in Leipzig mit geschlossenen Schwingkreisen experimentierte um dies Preisaufgabe zu lösen, war Hertz bewusst, dass dazu sehr schnelle elektrische Schwingungen nötig sind, die mit diesen Schwingkreisen nicht herzustellen sind. So befasste sich Hertz nicht direkt mit dieser Preisaufgabe, auch wenn er stets an allem, was mit elektromagnetischen Wellen zu tun hatte, interessiert war.

Durch einen Zufall gelang ihm dann im Herbst 1886 die entscheidende Entdeckung. Er arbeitete zu Vorlesungszwecken mit einem Paar Riess'scher Spiralen. Das sind zwei Spulen, eine aus einem dicken Draht, eine aus einem dünnen Draht mit gleichem Spulendurchmesser. Zu der Zeit wurde bei Vorlesungen über die Spule mit dem dünnen Draht eine Leydener Flasche entladen, während ein Student die Enden der zweiten Spule, die die erste nicht berührt, in seinen Händen hält. Der Student wird einen spürbaren Schlag bekommen. Hertz experimentierte nun mit solchen Spulen und beobachtete einen kleinen Funken zwischen den Enden der zweiten Spule. Auch wenn dies schon zuvor von vielen anderen beobachtet wurde, war es erst Hertz, der diese Beobachtung für bedeutsam hielt. Ihm waren die Experimente von Feddersen bekannt und er wusste, dass eine solche Entladung nur auftreten konnte, wenn eine Kapazität vorliegt. Nur vier Wochen später hatte Hertz die erste Spule aufgebogen und so den ersten „Hertz'schen Dipol“ erzeugt. Die zweite Spule bog Hertz zu einem Rechteck mit Funkenstrecke, die als Empfänger diente. Heinrich Hertz erkannte, dass auf diese Weise Schwingungen erzeugt werden können, die wesentlich schneller waren, als die Schwingkreise von Feddersen.

Durch Veränderungen in der Länge des Senders und des Empfängers konnte Hertz Resonanzerscheinungen entdecken, die denen mechanischer Wellen entsprachen. Diese Frequenz konnte aus der Induktivität und Kapazität, wie zuvor theoretisch vorausgesagt wurde, ermittelt werden. Mit der Lichtgeschwindigkeit war es nun Heinrich Hertz das erste Mal möglich die Wellenlänge der von Maxwell vorhergesagten Wellen zu bestimmen.

In weiteren Experimenten gelang es Hertz den Einfluss von Dielektrika in diesem Versuch nachzuweisen, den Maxwell ebenfalls vorhergesagt hatte und der nach Webers Theorie noch als unmöglich galt.

Im Folgenden beschäftigte sich Hertz mit der Frage der Reflexion von elektromagnetischen Wellen. Dazu ließ er einen Hörsaal von allen störenden Materialien entfernen. Der Wand, die er zu Reflexion benutzen wollte, ließ er durch ein Zinkblech die Eigenschaften einer leitenden Oberfläche zu kommen. Daher war an dieser Wand ein Knotenpunkt des Elektrischen Feldes zu finden. Hingegen hat das Magnetfeld einen Bauch. Bei der entstandenen stehenden Welle konnten nun die Knoten und Bäuche des elektrischen Feldes so wie die, des um $\lambda/4$ verschobene magnetischen Feldes, gezeigt werden.

Abschließend zeigte Heinrich Hertz auch noch den Zusammenhang dieser neuen elektromagnetischen Wellen und des Lichtes. Dazu ließ Hertz ein Asphaltprisma bauen um die Brechung der neuen Wellen an diesem nachweisen zu können. Die Ergebnisse dieses Versuches führten dann zu der Folgerung Hertz': "Mir wenigstens erschienen die beschriebenen Versuche in hohem Grade geeignet, Zweifel an der Identität von Licht, strahlender Wärme und elektrodynamischer Wellenbewegung zu beseitigen."²

1889 wurde er von einem Elektroingenieur Huber gefragt, ob diese Kraftlinien auch in die Ferne übertragen werden können. Als Anwendungsbeispiel nannte er das Telefon. Hertz hielt die Schwingungen aber für zu langsam. Die ersten Versuche zur drahtlosen Telegraphie von Marconi in Italien und Popov in Russland 1895 erlebte Hertz aber nicht mehr, er starb 1894 an den Folgen einer Quecksilbervergiftung, die er sich im Winter 1886 bis Winter 1887 bei Versuchen zugezogen hatte.

2. Mathematische Umsetzung

2.1. Die Maxwell'schen Gleichungen

2.1.1. 1. Maxwell'sche Gleichung

Die erste Maxwell'sche Gleichung beschreibt den Zusammenhang zwischen elektrischen Ladungen und elektrischen Feldern. Dabei sind die Ladungen die Quellen der elektrischen Felder. Für eine Punktladung Q gilt im Abstand \vec{r} :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{Q\vec{e}_r}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Der elektrische Kraftfluss wird nun im Sinne der Strömungslehre beschrieben durch:

$$\Phi_E = \int_A (\vec{E} * \vec{n}) dA' = \int_A E * \cos(\alpha) dA'$$

² Teichmann 1995 S. 108

Für den Fall einer geschlossenen Kugeloberfläche um eine Punktladung ergibt sich dann:

$$\Phi_E = \oint_{\text{Kugelschale}} (\vec{E} * \vec{n}) dA' = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{r}^2 \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \oint_{\text{Raumwinkel}} d\Omega = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

Daraus ergibt sich nun die 1. Maxwellsche Gleichung als:

$$Q = \oint_A (\epsilon_0 \epsilon \vec{E} * d\vec{A}')$$

Oder nach Anwendung des Gaußschen Satzes:

$$\rho = \frac{dQ}{dV} = \text{div}(\epsilon_0 \epsilon E) = \text{div}(D)$$

2.1.2. 2. Maxwellsche Gleichung

Die zweite Maxwellsche Gleichung stellt den gleichen Zusammenhang wie die erste Maxwellsche Gleichung nur für den Zusammenhang zwischen Magnetfeld und magnetischen Fluss dar. Zusammenfassend ist zu sagen dass die magnetische Flussdichte quellenfrei ist. Es gilt also:

$$\oint_A \mu \mu_0 \vec{H} * d\vec{A}' = 0$$

Beziehungweise in der differentiellen Schreibweise:

$$\text{div}(B) = \text{div}(\mu \mu_0 H) = 0$$

2.1.3. 3. Maxwellsche Gleichung

Die dritte Maxwellsche Gleichung beschreibt, dass sich Ströme mit geschlossenen magnetischen Feldlinien umgeben. Dabei werden sowohl der natürliche Ladungsstrom, der schon im Ampèreschen Durchflutungsgesetz:

$$\oint H ds = \int_A \vec{j} dA'$$

beschrieben wurde, und der von Maxwell geforderte Verschiebungsstrom berücksichtigt. Dabei ist der Verschiebungsstrom nicht wie der natürliche Ladungsstrom ein Transport von Ladungen, sondern er beschreibt die Veränderung des elektrischen Flusses, die nach Maxwell die gleiche Wirkung wie der Ladungsstrom hat. Anschaulich lässt sich dieser Verschiebungsstrom durch ein Beispiel erläutern. Wird ein Strom durchflossener Draht auf eine kurze Strecke unterbrochen, so wird das den Draht umgebende Magnetfeld auch über den Spalt

fortgesetzt. Verantwortlich dafür ist die zeitliche Ableitung der dielektrischen Verschiebung \vec{D} in dem Spalt. Diese setzt sich laut Maxwell aus einem Vakuumanteil $\epsilon_0 \dot{\vec{E}}$ und einem Polarisationsanteil $\dot{\vec{P}}$ zusammen.

Es ergibt sich also:

$$\int \left[(\vec{j} + \dot{\vec{D}}) * d\vec{A}' \right] = \oint (\vec{H} ds)$$

beziehungsweise in der differentiellen Schreibweise nach Anwendung des Stokesschen Satzes:

$$\text{rot}(\vec{H}) = \vec{j} + \dot{\vec{D}}$$

2.1.4. 4. Maxwellsche Gleichung

Die vierte Maxwellsche Gleichung beschreibt nun, in Analogie zur dritten Gleichung, die Entstehung eines elektrischen Ringfeldes aus der zeitlichen Ableitung des eingeschlossenen magnetischen Feldes.

Die Gleichung folgt aus dem Induktionsgesetz:

$$U_i = -\dot{\Phi}$$

Es gilt nämlich:

$$\oint \left[(\vec{v} \times \vec{B}) * d\vec{s} \right] = \oint (\vec{E}_i * d\vec{s}) = -\dot{\Phi}$$

Und weiter:

$$U_i = \oint \vec{E} d\vec{s} = \int_A (\dot{\vec{B}} * d\vec{A}')$$

Beziehungsweise in der differentiellen Schreibweise:

$$\text{rot}(\vec{E}) = -\dot{\vec{B}}$$

In dieser Gleichung ist nun kein Summand mehr zu berücksichtigen, der einen natürlichen Strom beschreibt, da es keine magnetischen Ladungsträger gibt, die fließen können.

2.2. Elektromagnetische Wellengleichung

Unter der Voraussetzung, dass keine freien Ladungen oder Ströme vorhanden sind, wird durch die dritte und vierte Maxwellsche Gleichung der Zusammenhang

zwischen elektrischen und magnetischen Feldern vollständig beschrieben. Aus diesem Ansatz schloß Maxwell dann auf die Existenz von elektromagnetischen Wellen.

Um den Ansatz ohne außerordentlich große Formeln der Vektoranalysis nachvollziehen zu können, wird hier nun eine Herleitung im Vakuum für eine ebene Welle beschrieben, die sich in z-Richtung ausbreitet. Dabei gilt nun $\vec{j} + \dot{\vec{D}} = \dot{\vec{E}}$. Aus der dritten Maxwellschen Gleichung folgt:

$$\left(\dot{E}_x, \dot{E}_y, \dot{E}_z \right) = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0} \left(\left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} \right), \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} \right), \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \right) \right) = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0} \left(-\frac{\partial H_y}{\partial z}, \frac{\partial H_x}{\partial z}, 0 \right)$$

Aus der vierten Gleichung folgt:

$$\left(\dot{H}_x, \dot{H}_y, \dot{H}_z \right) = \frac{1}{\mu\mu_0} \left(\frac{\partial E_y}{\partial z}, -\frac{\partial E_x}{\partial z}, 0 \right)$$

Wird das E-Feld noch ein weiteres mal nach der Zeit differenziert, so lässt sich das H-Feld aus der Gleichung eliminieren. Es ergibt sich beispielsweise für die y-Komponente:

$$\ddot{E}_y = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} \right) = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial H_x}{\partial t} \right) = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0} \left(\frac{\partial^2 E_y}{\partial z^2} \right)$$

Es ist zu erkennen, dass die zweite Ableitung nach dem Ort proportional zur Feldamplitude ist. Dieser Zusammenhang ist aber nun gerade charakteristisch für Wellen. Dabei beschreibt der Proportionalitätsfaktor das Quadrat der Phasengeschwindigkeit.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\varepsilon_0 \mu\mu_0}}$$

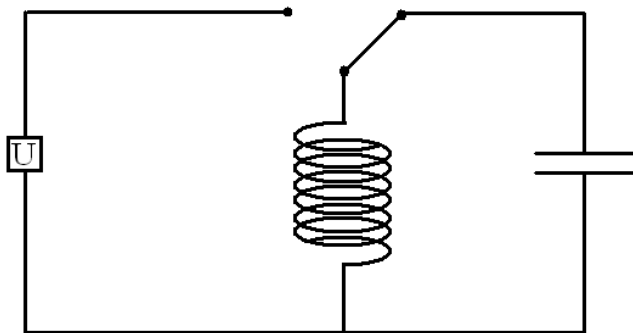
Schon zu Maxwells Zeiten waren die Konstanten in dieser Gleichung bekannt. So schloss Maxwell dann, nachdem er die Werte für Vakuum eingesetzt hatte, dass es sich bei Licht um eine elektromagnetische Welle handeln musste, da die berechnete Phasengeschwindigkeit mit der bekannten Lichtgeschwindigkeit übereinstimmte.

Aus den Maxwellschen Gleichungen ist somit zu erkennen, dass nie ein magnetisches oder elektrisches Feld alleine auftreten kann. Die wellenförmige Fortpflanzung beruht somit auf der wechselseitigen Induktion der beiden Felder. Die zeitliche Änderung des magnetischen Kraftflusses verursacht ein elektrisches Wirbelfeld und die Änderung des elektrischen Kraftflusses ein magnetisches Wirbelfeld.

3. Hertzscher Dipol / Fernfeld – Nahfeld

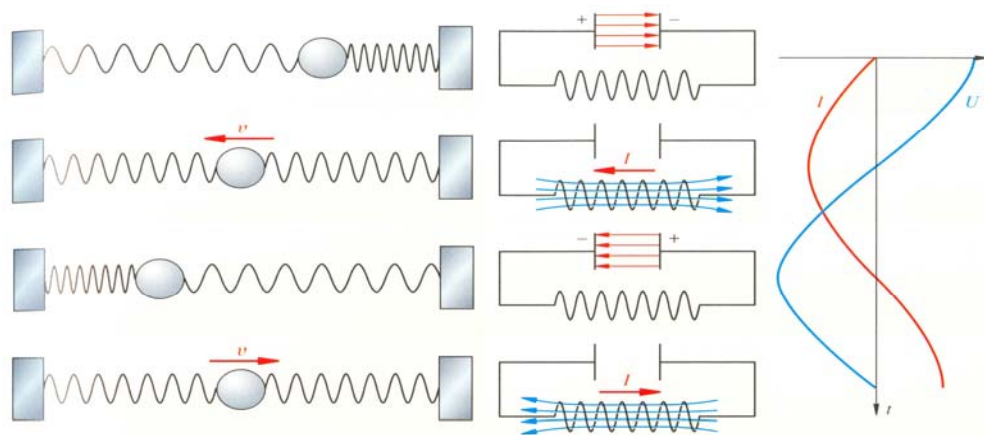
3.1. Der Schwingkreis

Der geschlossene Schwingkreis ist eine sehr einfache Schaltung, die eine Art der elektromagnetischen Schwingung zeigt. Er besteht aus einer Spule und einem Kondensator. Außerdem muss eine Möglichkeit für eine Aufladung gegeben sein. Wenn aber der Kondensator geladen ist und alle Verlustmöglichkeiten vernachlässigt werden, ergibt sich eine Schwingung, die mit der homogenen Schwingung einer Feder zu vergleichen ist.



Zunächst ist der Kondensator aufgeladen. Das entspricht der gespannten Feder. Mit der Zeit entlädt sich der Kondensator, die Feder entspannt sich, Strom fließt und in der Spule wird ein Magnetfeld aufgebaut. Der Körper zwischen den Federn erhält eine Bewegungsenergie. Dieses B-Feld lässt den Strom auch nach einem vollständigen Entladen des Kondensators weiter fließen, die Energie lässt den Körpern sich weiter bewegen, bis der Kondensator wieder entgegengesetzt aufgeladen ist und der Körper wieder vollständig ausgelenkt ist.

3



³ Dorn-Bader 2000 S. 109

Mit dem Ansatz $U_{ind} = U_C$ lässt sich die Schwingungsdauer berechnen. Es gilt nämlich:

$$-L\dot{I}(t) = \frac{Q(t)}{C} \quad \text{und} \quad I(t) = \dot{Q}(t)$$

Somit ergibt sich die Differentialgleichung:

$$L\ddot{Q}(t) = -\frac{1}{C}Q(t)$$

Als Lösung ergibt sich:

$$Q(t) = \hat{Q} \sin\left(\frac{t}{\sqrt{LC}} + \varphi_0\right)$$

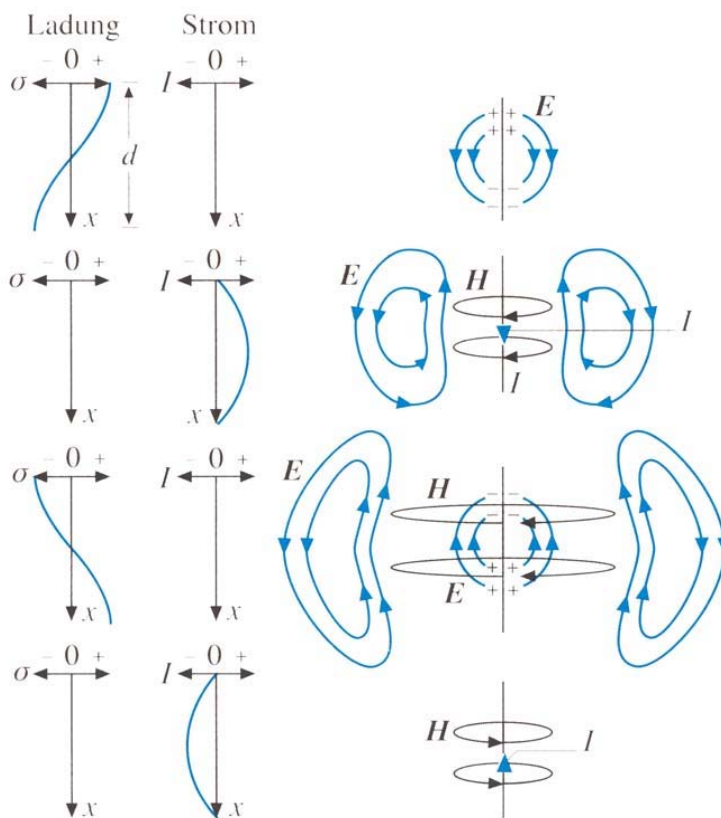
Und somit:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Mit vergleichbaren Aufbauten experimentierte auch Berend Feddersen. Da aber die Kapazität und die Induktivität der verwendeten Bauteile zu groß war, gelang erst Heinrich Hertz der entscheidende Durchbruch mit einem offenen Schwingkreis.

3.2. Der offene Schwingkreis

Wie oben beschrieben entdeckte Heinrich Hertz durch einen Zufall die Möglichkeit, eine Spule durch einen einfachen Draht und einen Kondensator durch einen nicht geschlossenen Draht zu simulieren. Auf diese Weise gelang es ihm, eine Schwingungsdauer zu erreichen, die weiter unterhalb derer von geschlossenen Schwingkreisen lagen, etwa ein Hundertstel der Zeiten von Feddersen, etwa eine Hundertmillionstel Sekunde. Die eigentliche Funktionsweise ist identisch mit dem geschlossenen Schwingkreis. Von Bedeutung sind aber nun die sich aufbauenden Felder. Dabei sind die Nahfelder in einem Abstand mit $r \ll \lambda$ von den Fernfeldern zu unterscheiden. Im Nahfeld werden nacheinander jeweils mit einem Phasenunterschied von $\frac{\pi}{2}$ ein magnetisches und ein elektrisches Feld erzeugt. Wenn aber zum Beispiel die Spannung am Kondensator abgebaut ist, kann das E-Feld nicht verschwinden, sondern wird „abgeschnürt“ zu einem Ringfeld. Ebenso wird ein magnetisches Ringfeld erzeugt. Beide entfernen sich vom Dipol mit Lichtgeschwindigkeit.



4

Das jeweilige Nahfeld lässt sich durch die entsprechenden Gleichungen berechnen.

Sowohl das E- als auch das B-Feld fallen aber mit $\frac{1}{r^3}$ ab. So gilt etwa für das E-Feld

eines Dipols:

$$E(r, \vartheta) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^3} (2 \cos(\vartheta \vec{e}_r) - \sin(\vartheta \vec{e}_\vartheta))$$

In größerer Entfernung vom Dipol, wenn also das Nahfeld praktisch abgeklungen ist, prägen die abgeschnürten Felder das EM-Bild. Dabei sind nun die dritte und vierte Maxwell'sche Gleichung von Bedeutung. Das elektrische Feld induziert ein zu ihm senkrechtes, magnetisches Feld, das magnetische Feld induziert ein zu ihm senkrechtes, elektrisches Feld. Somit sind E- und B- Feld senkrecht zueinander und in Phase, eine elektromagnetische Welle, die sich mit Lichtgeschwindigkeit vom Dipol entfernt.

⁴ Otten 1998, S. 632

4. Elektromagnetische Wellen im Physikunterricht

4.1. Früher

„Zur Erzeugung von Elektromagnetischen Wellen.

Herz entdeckte, daß der Funke des Induktors den ganzen umgebenden Ätherraum in Schwingungen versetzt. (Ähnlich wie eine Stimmgabel die umgebende Luft.)

Erklärung. a) Der Funke ist ein kleiner, aber starker Wechselstrom, dessen Kraftlinien (entsprechend seiner Wellenzahl) bald auswärts drängen, bald in den Leiter zurückgehen (Ziehharmonikabewegung). Diese magnetischen Oszillationen finden in jedem Teilchen der Umgebung statt. b) Diese Oszillation des Magnetfeldes in irgendeinem Punkt hat in jedem Teilchen eine Induktion zur Folge (Scheidung von \pm El.), die ebenfalls oszillierend verläuft. c) Dieses Oszillieren des Magnetfeldes und des elektrischen Feldes nennt man elektromagnetische Störung (Schwingung).“⁵

Dies ist die komplette Erklärung zu elektromagnetischen Wellen aus einem Physik-Lehrbuch etwa 30 Jahre nach dem Nachweis durch Hertz. Zwar sind die Erklärungen, die die Maxwellschen Gleichungen liefern, in Worten kurz angeführt, es wird dennoch auf eine mathematische Beschreibung vollständig verzichtet. Diese Bemühung, das Verständnis der Schüler für die jeweiligen physikalischen Phänomene zu verbessern, statt auf abstrakte Rechnungen zu verweisen, setzte sich auch in den folgenden Jahrzehnten noch fort. So ist zwar die Erklärung und die Hinführung 30 Jahre später in „Dorn Physik“ wesentlich ausführlicher und auch vergleichbar strukturiert zu heutigen Lehrbüchern, doch das gesamte, mehrseitige Kapitel kommt annähernd ohne Formeln aus. Dennoch wirkt die Beschreibung auch über die Aussagen der Maxwellschen Gleichungen mit Erklärung des Verschiebungsstroms sehr vollständig. Es wird schrittweise eine Hinführung zur Vorstellung von elektromagnetischen Wellen erarbeitet und dieses abschließend durch verschiedene Anwendungen aus dem Alltag gefestigt.

4.2. Heute

Das Kapitel „Elektromagnetische Wellen“ hat in den meisten Lehrbüchern einen ähnlichen Aufbau. Zunächst wird der einfache elektrische Schwingkreis und der ungedämpfte Schwingkreis eingeführt. Es folgt eine Beschreibung des Hertzschens Dipols. Im Folgenden unterscheiden sich die verschiedenen Standardlehrbücher allerdings. So geht „Impulse Physik 2“ intensiv mit anschaulichen Zeichnungen auf

⁵ Kleiber 1919, 421f

das Abschnüren der jeweiligen Felder ein. Der aktuelle „Dorn-Bader Physik 12/13“ beschreibt die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen, indem sie auf bekannte Phänomene wie einen Plattenkondensator zurückgeführt werden. Dabei wird auch eine mathematische Beschreibung des Zusammenhangs zwischen B- und E-Feld angegeben, die allerdings nicht über die Maxwell'schen Gleichungen erfolgt. Auf die Schwierigkeiten der Unterscheidung von Nah- und Fernfeld wird nicht, wie in den älteren Ausgaben, eingegangen. Der „Metzler Physik“ verzichtet zunächst ebenfalls auf eine mathematische Beschreibung, und auch die anschauliche Beschreibung der abgeschnürten Felder erfolgt sehr kurz. Statt dessen werden verschiedene Versuche beschrieben die mit Hilfe eines Oszillators oder einer Lecherleitung, die die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen direkt veranschaulichen können, durchgeführt werden können. Im Folgenden ähneln sich diese drei Bücher aber wieder sehr. Es wird auf die Informationsübertragung durch elektromagnetische Wellen eingegangen und auf die Funktionsweise eines Mikrowellenherdes. Sowohl der „Metzler“ als auch der „Dorn-Bader“ beschreiben sehr ausführlich weiterführende Experimente mit Mikrowellen zum Beispiel zum Nachweis von Polarisation. Lediglich der „Metzler“ hat zum Abschluss des Kapitels eine sehr genaue und mathematisch anspruchsvolle Beschreibung der elektromagnetischen Wellen durch die Maxwell'schen Gleichungen.

Eine Alternative für den Bereich „Elektromagnetische Wellen“ bietet auch das entsprechende Lehrbuch „Ehrenwirth Physik“. Zwar ist die Struktur mit den oben Beschriebenen vergleichbar, doch die Erklärungen erfolgen sowohl kleinschrittiger als auch mathematisch stärker aufgearbeitet.

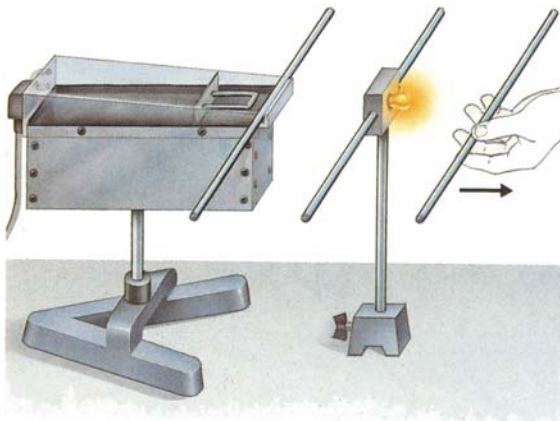
4.3. Versuche

Einen sehr einfachen Versuchsaufbau zeigt der „Dorn-Bader“, der, sofern die entsprechenden Materialien vorhanden sind, auch als Schülerversuch möglich ist. Ein einfacher 400Mhz-Oszillator wird durch eine 9V-Blockbatterie betrieben. Ein Empfänger bestehend aus einem gebogenen Draht mit einem kleinen Plattenkondensator am Ende und einer Glühlampe wird in die Nähe des Oszillators gebracht und die Lampe beginnt zu leuchten.



6

Ein vergleichbarer Versuch, aber als Lehrerversuch ausgelegt, ist im „Metzler“ beschrieben. Hier wird ein Metallstab durch einen 434Mhz-Oszillator zu einem Hertzschen Dipol angeregt. Ein Stab, der durch eine Glühbirne unterbrochen wird, dient als Empfänger.

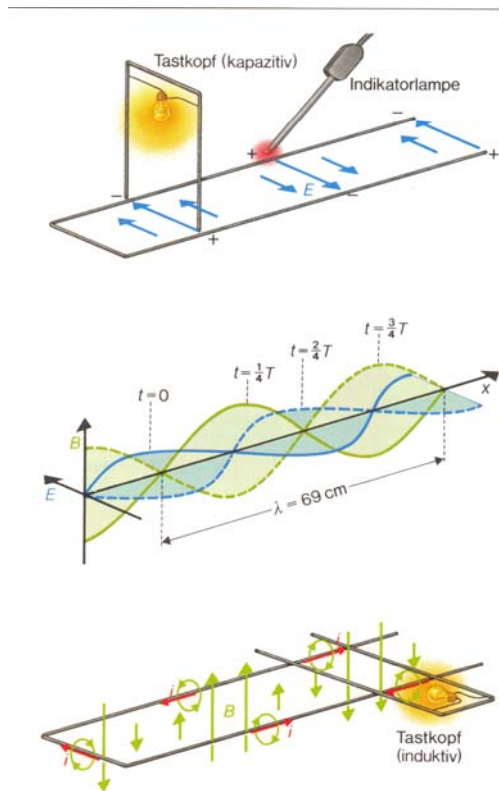


7

Beide Versuche zeigen das Aussenden von Energie durch elektromagnetische Wellen. Die Welleneigenschaften werden durch Versuche mit einer Lecher-Leitung im „Metzler“ weiter veranschaulicht. Eine Lecher-Leitung sind zwei parallel geführte, isoliert angebrachte Drähte, die eine elektromagnetische Welle weiterleiten. Diese wird über die Ausgangsschleife eines Oszillators gelegt. Durch das Auflegen eines Tastkopfes an verschiedenen Stellen und in verschiedenen Lagen, lassen sich sowohl das E-Feld als auch das B-Feld nachweisen.

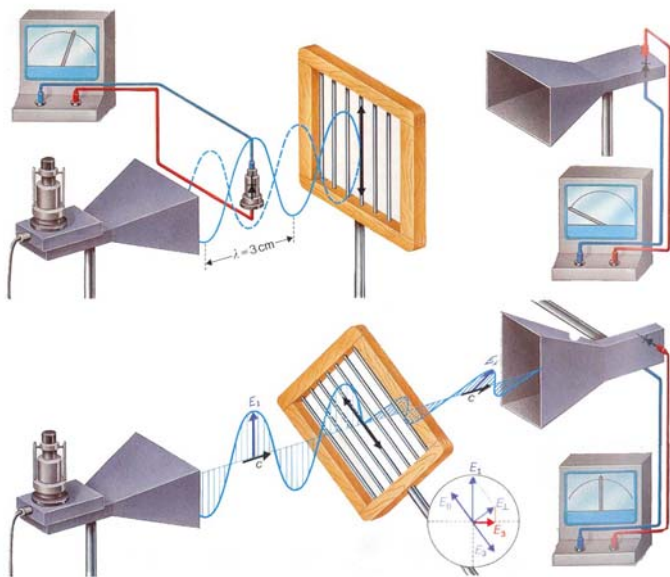
⁶ Dorn-Bader 2000, S.161

⁷ Metzler 1994, S. 277



8

Als weiterführender Versuch ist im „Dorn-Bader“ und im „Metzler“ die Polarisation von Mikrowellen durch ein entsprechendes Gitter beschrieben.



9

Ein weiterer Versuch, der auch als Schülerversuch denkbar ist, ist das Bauen eines einfachen Radios. So kann den Schülern auf einfache Weise der Nutzen dieser Wellen gezeigt werden.

⁸ Metzler 1994, S. 279

⁹ Metzler 1994, S. 282

5. Abschluss

Die große Bedeutung der elektromagnetischen Welle und ihre Entdeckung für das Weltbild der Menschen, zeigt folgender Text, der etwa 35 Jahre nach dem Nachweis durch Heinrich Hertz, noch stets einen zutiefst erschütterten Physiker vermuten lässt: „Die Gesetze, nach denen diese als elektromagnetische und elektrodynamische bezeichnete Kräfte wirken, wichen in wesentlichen Punkten ab von den seit Newton bekannten Gesetzen fernwirkender Kräfte, und namentlich war die Richtung dieser Kräfte eine total andere, als man sie bis dahin in anderen Fällen kennengelernt hat. Nicht anziehende und abstoßende Kräfte, wie sie alle Massen, alle ruhenden elektrischen Ladungen oder alle Magnetpole zeigen, sondern drehende Kräfte treten hier auf, und diese Tatsache gab den ersten Anstoß, daß man an der Stofftheorie der Elektrizität zu zweifeln anfang. Obwohl Fernkräfte an sich etwas Mystisches und durchaus Unverständliches enthalten, so hatte man sich doch, seitdem Newton sie in die Wissenschaft eingeführt hatte und seitdem diese Newtonschen Kräfte ihre wunderbare Leistungsfähigkeit für die Berechnung der astronomischen Vorgänge bis in ihre feinsten Einzelheiten bewiesen hatten, so hatte man sich doch an sie gewöhnt, und man nahm eine Erscheinung als vollständig erklärt an, wenn sie sich auf Anziehungs- und Abstoßungskräfte, wie die allgemeine Attraktion, zurückführen ließ. Die elektrostatischen und magnetischen Kräfte waren alle von dieser Art. Aber die elektromagnetischen und elektrodynamischen Kräfte waren eben von ganz anderer Natur, und daher entstand, namentlich bei englischen Physikern, die Vorstellung, daß sich die elektrischen und magnetischen Vorgänge nicht durch solche in die Ferne wirkenden Kräfte zwischen Fluidumsteilchen, sondern durch Bewegungen des Äthers, erklären ließen.“¹⁰

¹⁰ Graetz 1925, S. 17f

Literaturverzeichnis

1. Kleiber, Johann und Karsten, Prof. Dr. B.: Lehrbuch der Physik für Technische Lehranstalten. R. Oldenbourg München und Berlin 1919
2. Graetz, Leo: Alte Vorstellungen und neue Tatsachen der Physik. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1925
3. Müller, Anton: Physik Leistungskurs 2. Semester. Ehrenwirth Verlag GmbH München 1990
4. Bader, Dr. Franz: Physik 12/13. Schroedel Hannover 2000
5. Grehn, Joachim: Metzler Physik. Schroedel Hannover 1998
6. Bayer, Reinhard: Impulse Physik 2. Klett Stuttgart 2002
7. Dorn: Physik Oberstufe Ausgabe A. Schroedel Hannover 1957
8. Dorn: Physik Oberstufe Ausgabe C. Schroedel Hannover 1961
9. Dorn-Bader: Physik 12/12.Schroedel Hannover 2000
10. Otten, Ernst W.: Repetitorium Experimentalphysik. Springer Heidelberg 1998
11. Teichmann, Jürgen: Experimente die Geschichte machten. Bayerischer Schulbuchverlag München 1995
12. <http://www.ubka.uni-karlsruhe.de/cgi-bin/psview?document=wasbleibt/50053163&search=%2fwasbleibt%2f50053163&format=1&page=37> (20.11.2005)
13. <http://whagen.de/publications/FotofunkenRadiowellen/FotofunkenRadiowellen.htm> (20.11.2005)
14. <http://www.darc.de/cqdl/rubrik/wissen/FERNFELD.PDF> (20.11.2005)
15. <http://elektronik-bastelbude.de/bastelecke/bastel23.htm> (20.11.2005)