

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Herausgeber:** Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere  
**Band:** 45 (1972)  
**Heft:** 11

**Artikel:** Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung [Fortsetzung]  
**Autor:** Hamerak, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-562505>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

#### Einzelwettkampf Betrieb SE-415

1. Pi Kausz Stefan Fk Kp 26	964 Punkte
2. Pi Meier Walter Fk Kp 26	932 Punkte
3. Pi Scherrer Karl Fk Kp 27 (5 Wettkämpfer)	926 Punkte

#### Einzelwettkampf Stg 100 / TC 61

1. Pi Schönenberger Heinrich Fk Kp 25	935 Punkte
2. Pi Schär Urs Fk Kp 26	917 Punkte
3. Pi Springer Gerhard Fk Kp 27 (3 Wettkämpfer)	878 Punkte

#### Einzelwettkampf für Angehörige der Fk Abt 46

1. Pi Meier Hansruedi Fk Kp 20	337 Punkte
2. Pi Stadelmann Viktor Fk Kp 20	320 Punkte
3. Pi Bachmann Otto Fk Kp 20 (6 Wettkämpfer)	192 Punkte

#### Einzelwettkampf UKR

1. Pi Kämpfer Martin Uem Kp 72	880 Punkte
2. Gtm Frey Albert Uem Kp 71	689 Punkte
3. Pi Forter Jean-Romain Uem Kp 71 (5 Wettkämpfer)	664 Punkte

#### Einzelwettkampf MWD

1. Gfr Eggimann Peter Uem Kp 73	945 Punkte
2. Motf Gfr Schaad Erwin TT Betr Gr 8	935 Punkte
3. Motm Lieberherr Heinz TT Betr Gr 15 (79 Wettkämpfer)	935 Punkte

#### Soldatischer Einzelwettkampf

1. Gfr Gurtner Robert TT Betr Gr 7	1000 Punkte
2. Wm Baumgartner Albert Fk Kp 30	977 Punkte
3. Gfr Hofer Heinz Fk Kp 3 (88 Wettkämpfer)	973 Punkte

## Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung

Von Dipl.-Ing. Kurt Hamerak

In Bild 11 haben wir versucht, den Vorgang der Induktion anschaulich darzustellen. Die Verlagerung der Elektronen im Leiter ist gleichbedeutend mit dem Aufbau eines elektrischen Feldes. Dessen Feldstärke ist natürlich um so höher, je grösser die magnetische Kraftwirkung ist, welche die Ladungsverschiebung in dem Leiter verursacht. Bei näherer Betrachtung erkennen wir, dass auf die Elektronen in dem Leiterstab gleichzeitig zwei einander entgegengerichtete Kräfte einwirken, und zwar einerseits die magnetische Kraft

$$F_m = Q \cdot v \cdot B \quad (10)$$

und ferner die elektrische Kraft

$$F_{el} = Q \cdot E. \quad (11)$$

Bewegen wir nun den Leiterstab mit unverminderter Geschwindigkeit und halten wir das magnetische Feld ebenfalls konstant, so halten die beiden Kräfte einander gerade die Waage. Für den Gleichgewichtszustand gilt somit die Bedingung

$$F_m = F_{el} \quad (12)$$

das heisst aber auch:

$$Q \cdot v \cdot B = Q \cdot E,$$

oder einfach

$$E = v \cdot B. \quad (13)$$

Diese elektrische Feldstärke wird als induzierte elektrische Feldstärke bezeichnet. Die zugehörige induzierte elektrische Spannung ergibt sich, wenn wir die Gl. (13) auf beiden Seiten mit der Leiterlänge  $l$  multiplizieren zu

$$U = l \cdot v \cdot B. \quad (14)$$

Jetzt wollen wir die Versuchsanordnung ein wenig abändern und uns vorstellen, das magnetische Feld sei lediglich auf eine rechteckige Fläche der Breite  $s$  und der Höhe  $l$  beschränkt, die es senkrecht durchdringen möge. Senkrecht zur Richtung des magnetischen Feldes denken wir uns eine rechteckige Leiteranordnung, eine sogenannte Schleife, die sich mit der unveränderlichen Geschwindigkeit  $v$  bewegt. Bei dieser Bewegung zeigt uns ein in die Schleife eingeschalteter Spannungsmesser die Entstehung einer Induktionsspannung an. Hat sich die Schleife um das kleine Weg-

stückchen  $\Delta_s$  nach links bewegt, so hat sich dabei die von dem magnetischen Feld durchsetzte Schleifenfläche um das kleine Flächenelement  $\Delta_A = l \cdot \Delta_s$  vergrössert. Bezeichnen wir den kleinen Zeitabschnitt, währenddessen sich die Leiterschleife um das kleine Wegstückchen  $\Delta_s$  verschiebt, mit  $\Delta_t$ , so können wir schreiben:

$$v = \frac{\Delta_s}{\Delta_t}. \quad (15)$$

Damit nimmt aber nunmehr Gl. (14) die Form

$$U_{ind} = B \cdot l \cdot \frac{\Delta_s}{\Delta_t} \quad (16)$$

an. Darin ist aber  $l \cdot \Delta_s = \Delta_A$  nämlich gleich dem kleinen Flächenzuwachs. Bezeichnet man nun noch das Produkt aus der magnetischen Felddichte  $B$  und der Fläche  $A$  mit magnetischer Fluss  $\Phi$ , so gilt in entsprechender Weise  $B \cdot \Delta_A = \Delta\Phi$ . Darin ist  $\Delta\Phi$  die Änderung des magnetischen Flusses oder, anderes ausgedrückt, die Änderung der Zahl der magnetischen Feldlinien, welche die Schleife durchsetzen.

Berücksichtigen wir jetzt noch, dass die beim Induktionsvorgang erzeugte Spannung einen Strom in der Schleife hervorruft, der so gerichtet ist, dass das durch ihn erregte magnetische Feld dem ursprünglichen magnetischen Feld entgegengerichtet ist (Lenz'sches Gesetz von Ursache und Wirkung), so gelangen wir zu folgendem Ausdruck für die in der Schleife induzierte elektrische Spannung

$$U_{ind} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (17)$$

Das bedeutet aber, dass es nicht unbedingt einer Leiterbewegung in einem magnetischen Feld bedarf, um eine elektrische Spannung zu induzieren, sondern es genügt offenbar auch, wenn sich lediglich der eine Schleife durchsetzende magnetische Fluss zeitlich verändert, also entweder zu- oder abnimmt. Von dieser Möglichkeit wird zum Beispiel beim Transformator Gebrauch gemacht. Hier ändert sich nämlich nur die magnetische Felddichte  $B$  zeitlich, wohingegen die Leiter selbst ruhen.

Man könnte nun geneigt sein, anzunehmen, die Induktion durch Leiterbewegung sei etwas grundsätzlich anderes als die Induktion durch zeitliche magnetische Feldänderung. Das ist aber nicht der Fall; es handelt sich hier vielmehr nur um 2 unterschiedliche Erscheinungsformen ein und desselben Naturgeschehens. Es würde aber den Rahmen dieser Abhandlung sprengen, wollten wir auf diese Zusammenhänge an dieser Stelle näher eingehen.

Wir wollen vielmehr an dieser Stelle unsere bisherigen Erkenntnisse noch einmal kurz zusammenfassen:

1. Bewegte elektrische Ladungen (Ströme) erzeugen magnetische Felder.
2. Zeitlich veränderliche magnetische Felder erzeugen in geschlossenen Leiterschleifen elektrische Ströme, das heisst sie bewegen die darin befindlichen elektrischen Ladungen.
3. Zeitlich unveränderliche elektrische und magnetische Felder beeinflussen sich gegenseitig in keiner Weise.

Während Ørsted und Faraday jeweils nur die Einzelscheinungen der Umwandlung eines elektrischen Feldes in ein magnetisches beziehungsweise eines magnetisches Feldes in ein elektrisches untersucht hatten und sich mit ihren experimentellen Befunden durchaus zufriedengaben, bedurfte es offenbar eines noch grösseren menschlichen Geistes, um die diesen beiden Vorgängen zugrunde liegenden tieferen physikalischen Zusammenhänge richtig zu deuten und daraus weitere Schlüsse zu ziehen. Der Mann, dem für alle Zeiten das grosse Verdienst gebührt, die Zusammenhänge zwischen veränderlichen elektrischen und magnetischen Feldern ergründet und vor allem in einer für die spätere technische Anwendung brauchbaren Form beschrieben zu haben, war der berühmte englische Naturforscher J. Cl. Maxwell (1831–1879). Ihm gelang es damit, eines der von der Natur bisher streng gehüteten Geheimnisse zu lüften.

## Die Maxwellsche Theorie //

Die Denkweise aller grossen Theoretiker ist wohl hauptsächlich dadurch gekennzeichnet, dass es ihnen im Gegensatz zu ihren weniger begabten Mitmenschen gelingt, ein naturwissenschaftliches Problem vollständig zu abstrahieren, das heisst sich von den Fesseln eines bestimmten Versuchsergebnisses weitgehend zu lösen. Faraday hatte herausgefunden, dass in einer geschlossenen Leiterschleife, die von einem zeitlich veränderlichen magnetischen Feld durchflutet wird, ein elektrischer Strom fliesst. Er hatte sich mit diesem Versuchsergebnis begnügt.

Maxwell jedoch ging noch einen Schritt weiter und deutete das Ergebnis so, dass nur dann im Leiter ein Strom fließen kann, wenn in ihm Ladungen bewegt werden. Dazu ist aber unbedingt ein elektrisches Feld erforderlich. Seine abstrakte Denkweise ermöglichte es ihm, zu behaupten, dass dieses elektrische Feld auch ohne die Leiterschleife und die darin enthaltenen Elektronen vorhanden sei. Er betrachtete somit die Leiterschleife lediglich als experimentelles Hilfsmittel, um das durch den Induktionsvorgang hervorgerufene elektrische Feld in Form einer elektrischen Spannung nachzuweisen.

Maxwell stellte sich vor, die Feldlinien eines zeitlich veränderlichen magnetischen Feldes im leeren Raum seien von kreisförmigen, konzentrischen, elektrischen Feldlinien umgeben. Das war für die damalige Zeit insofern etwas völlig Neues und Unbegreifliches, als man vorher stets angenommen hatte, ein elektrisches Feld könne ohne Ladungen, auf denen die Feldlinien enden, gar nicht existieren.

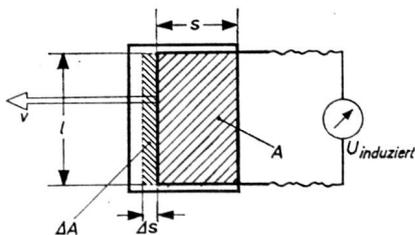


Fig. 12 Bewegt man eine Leiterschleife so durch ein magnetisches Feld, dass sich bei ihrer Bewegung die Zahl der ihre Fläche durchsetzenden magnetischen Feldlinien zeitlich verändert, so wird in der Schleife eine elektrische Spannung induziert.

Das aber war noch nicht alles. Nun wandte sich dieser grosse Denker auch noch dem Problem des Verschiebungsstromes zu und gelangte schliesslich auch hier auf Grund seines ungewöhnlichen Abstraktionsvermögens zu ganz neuen Vorstellungen des Naturgeschehens. Er wies darauf hin, dass bei der Ladung und Entladung eines mit einem materiellen Dielektrikum erfüllten Kondensators der in den Zuleitungen fließende Elektronenstrom, der an den Kondensatorplatten endet, sich in Form eines sogenannten Verschiebungsstromes im Dielektrikum fortsetzt. Diesen Verschiebungsstrom, der durch die elastischen Verlagerungen der festen Elektronen innerhalb des Dielektrikums zustande kommt, betrachtete nun Maxwell ebenso als Ursache für ein magnetisches Feld wie den Elektronenstrom in den Verbindungsleitungen. Bereits damit ging er aber weit über den experimentellen Befund seines Kollegen Ørsted hinaus.

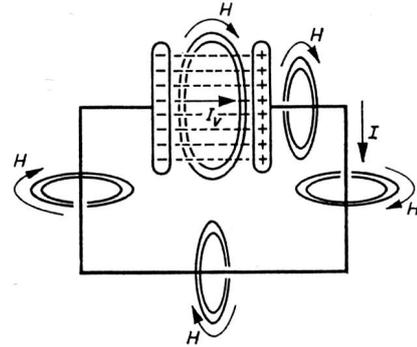


Fig. 13 Der berühmte englische Naturforscher J. Cl. Maxwell wies darauf hin, dass sich bei der zeitlichen Änderung der elektrischen Spannung eines Kondensators in seinem Dielektrikum gewisse Vorgänge abspielen, die als eine Art elektrischer Strom aufgefasst werden können. Diesen besonderen Strom, der in einem elektrischen Nichtleiter fliesst und der wie ein gewöhnlicher Elektronenstrom in einem Leiter in seiner Umgebung ein magnetisches Feld hervorruft, nannte Maxwell «Verschiebungsstrom»  $I_v$ .

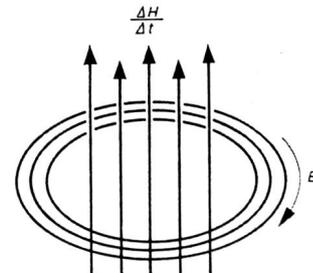


Fig. 14 Ein zeitlich veränderliches magnetisches Feld ist von kreisförmigen elektrischen Feldlinien E umgeben. Nimmt die magnetische Felddichte B beziehungsweise die magnetische Erregung H zeitlich zu, so ist die elektrische Feldstärke dieser links-schraubig zugeordnet.

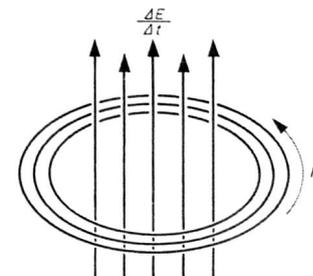


Fig. 15 Ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld ist von kreisförmigen magnetischen Feldlinien H umgeben. Nimmt die elektrische Feldstärke zeitlich zu, so ist die magnetische Feldstärke der Richtung der elektrischen Feldlinien rechts-schraubig zugeordnet.

Zuletzt verstieg sich Maxwell aber zu einer noch weitaus kühneren Behauptung, indem er nämlich seine Vorstellung des Verschiebungsstromes sogar auf den leeren Raum ausdehnte und folgende allgemeine Hypothese aufstellte:

Jede zeitliche Veränderung eines elektrischen Feldes ist mit einem elektrischen Verschiebungsstrom verknüpft, der seinerseits von einem zeitlich veränderlichen magnetischen Feld umgeben ist.

Diese von Maxwell im Jahre 1873 veröffentlichte Feld-Hypothese muss in der damaligen Fachwelt gewiss ein nicht weniger grosses Aufsehen erregt haben als die nur ein Vierteljahrhundert später erfolgte Verkündung der speziellen Relativitätstheorie von A. Einstein (1879–1955). In der Tat haben die Lebenswerke dieser beiden Männer, die sich, nebenbei gesagt, nicht nur in keiner Weise widersprechen, sondern ganz im Gegenteil grossartig ergänzen, unseren Einblick in das Walten der Naturgesetze ganz erheblich erweitert und später den Technikern die Möglichkeit gegeben, unser Leben entscheidend zu verändern.

Maxwells Hypothese wird in allen ihren Einzelheiten tagtäglich aufs neue bestätigt und gehört damit heute zum festen Bestand unseres Wissens; und man spricht daher heute besser von der Maxwellschen Theorie.

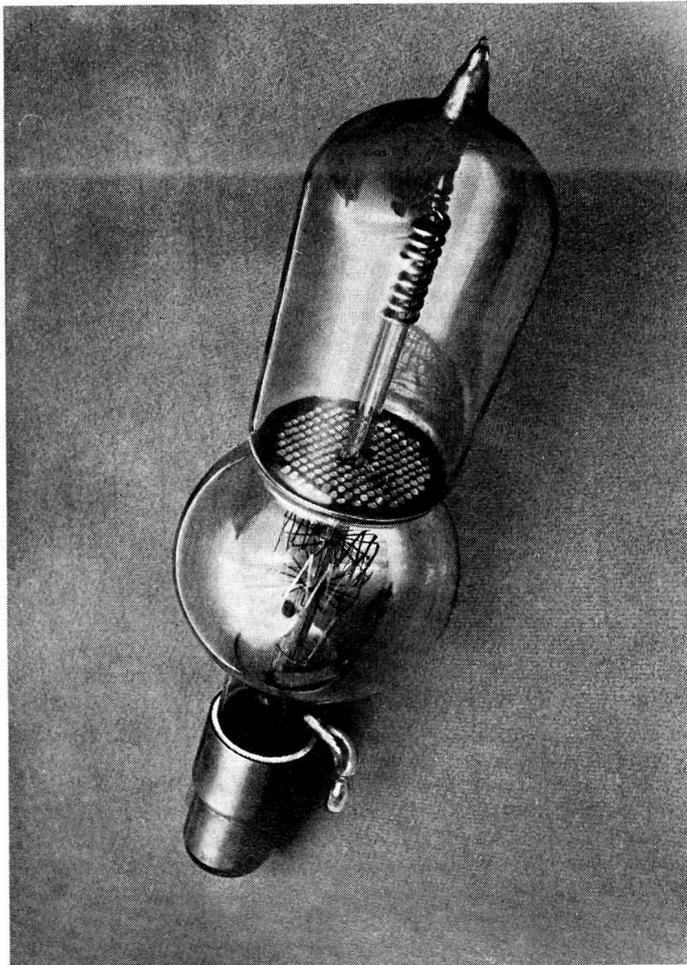


Fig. 16 Am 19. November 1906 liess sich der Österreicher Robert v. Lieben ein sog. Kathodenstrahlrelais patentieren. Unter diesem Namen verbarg sich eine der grössten Erfindungen dieses Jahrhunderts: die Elektronenröhre. Bis zur Erfindung des Transistors kurz nach dem Zweiten Weltkrieg beherrschte die Elektronenröhre unangefochten das Feld als praktisch trägheitslose Verstärkeranordnung für hochfrequente elektrische Wechselströme in der drahtlosen Nachrichtentechnik. Gleichzeitig diente sie als Schwingungserzeuger in Nachrichtensendern.

Wenn wir uns die von den Feldlinien eingenommene Fläche auf einen Punkt zusammenschumpfend vorstellen, dann gelten die Gesetze über die Zusammenhänge zwischen zeitlich veränderlichen elektrischen und magnetischen Feldern auch für ganz beliebige Raumpunkte und Zeiten. Wenn, wie es fast immer der Fall ist, die zeitliche Änderung des elektrischen Feldes nicht konstant ist, dann ist auch die entsprechende magnetische Feldstärke nicht zeitlich konstant, und das magnetische Feld erzeugt wiederum seinerseits ein elektrisches Feld. Dieses Wechselspiel wiederholt sich ständig aufs neue. Ein solches Feld, in dem zeitlich veränderliche elektrische Felder mit magnetischen Feldern ursächlich verknüpft sind, bezeichnen wir als elektromagnetisches Feld.

Die von Maxwell in mathematischer Form postulierten Aussagen über die Struktur des elektromagnetischen Feldes beziehen sich nun aber nicht nur auf einzelne Punkte, in denen sich zufällig elektrische Ladungen oder magnetische Pole befinden, sondern sie gelten ohne Ausnahme für den ganzen stoffgefüllten und sogar den leeren Raum. So wie seinerzeit I. Newton (1643–1727) seiner Nachwelt die Grundgesetze angab, mit denen sie in der klassischen Mechanik den Weg eines bewegten Masselebens berechnen konnte, so lieferte uns Maxwell die mathematischen Rechenverfahren, mit denen wir ermitteln können, in welcher Weise sich elektromagnetische Felder räumlich und zeitlich verändern.

Die mathematische Auswertung der Maxwellschen Feldgleichungen, die wir hier wegen ihrer Kompliziertheit nicht durchführen wollen, führt zu einem recht überraschenden Ergebnis. Wir wollen dies an einem idealisierten Gedankenversuch erläutern. Dazu stellen wir uns eine kleine elektrisch geladene Metallkugel vor, die wir in rasche Schwingungen versetzen. Diese hin und her schwingende Ladung stellt ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld dar, das von einem ebenfalls zeitlich veränderlichen magnetischen Feld umgeben ist. Dieses verursacht seinerseits wieder ein zeitlich veränderliches elektrisches Feld usw. So wird laufend das elektrische Feld abgebaut und das magnetische Feld aufgebaut und umgekehrt. Angeregt durch die schwingende elektrische Ladung, beginnt also das elektromagnetische Feld selbst Schwingungen auszuführen. Mit diesen elektromagnetischen Schwingungen ist nun aber noch ein anderer bemerkenswerter Umstand verbunden. Ein in grosser Entfernung von der schwingenden Ladung stehender Beobachter würde den Beginn der Ladungsschwingungen nicht sofort wahrnehmen, sondern erst nach einer gewissen Zeit. Das aber würde doch bedeuten, dass zu einem bestimmten Zeitpunkt der Zustand des elektromagnetischen Feldes nicht an allen Stellen des Raumes gleich ist. Offenbar benötigt also die räumliche Ausbreitung eines elektromagnetischen Feldzustandes eine gewisse endliche Zeit. Um das besser zu verstehen, wollen wir unseren Gedankenversuch diesmal an einem windgeschützten Weiher fortführen und dort die Kugel schwingend in das Wasser eintauchen lassen. Wir können sodann beobachten, dass diese periodische Störung der ursprünglich vollkommen glatten Wasseroberfläche sich vor unseren Augen als ebene Welle fortplant und nach einiger Zeit bis an das Ufer, das heisst bis an unseren Beobachtungsstandort, vordringt. Wir lernen daraus, dass sich ein bestimmter räumlicher Zustand in der Natur offenbar nur mit endlicher Geschwindigkeit auszubreiten vermag. Begriffe wie sofort und gleichzeitig sind daher im strengen physikalischen Sinne gar nicht gerechtfertigt. Der Vergleich der unsichtbaren elektromagnetischen Wellen mit den Wasserwellen scheint uns zunächst vielleicht etwas an den Haaren herbeigezogen zu sein. Bei näherem Hinsehen entdecken wir aber doch einige wesentliche gemeinsame Merkmale. Zum einen bemerken wir, dass sich bei unserem Versuch keineswegs das Wasser selbst vom Ort der Erregung zum Ufer hin bewegt, sondern nur der Zustand der Störung. Die Wasserteilchen schwingen nämlich nur auf und ab, ohne sich waagrecht zu bewegen. Der Vorgang der Wellenausbreitung ist mithin mit keinem Stofftransport verbunden. Auch im Falle der elektromagnetischen Wellen erfolgt natürlich kein Stofftransport; wie wäre das auch im Vakuum, im vollständig leeren Raum, möglich? Auch hier breitet sich eben nur der Zustand im Raum aus. Ferner steht in beiden Fällen die Schwingungsrichtung senkrecht auf der Fort-

pflanzungsrichtung der Wellen. Man bezeichnet Wellen mit dieser Eigenschaft als Transversalwellen oder Querwellen. Schliesslich haben die beiden Vorgänge aber noch eine 3. Gemeinsamkeit, und zwar zeigt sich diese dann besonders deutlich, wenn die kleine Kugel, der Wellenerreger, plötzlich seine Schwingungen einstellt. In diesem Falle kommt der einmal angestossene Wellenvorgang nicht etwa auch zur Ruhe, sondern die Wellen breiten sich weiter im Raume aus ohne Rücksicht auf das Schicksal, welches ihre eigentliche Ursache ereilt hat.

Nun sind wir eigentlich nur noch neugierig, wie gross wohl die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen im Raum ist. Die Maxwellsche Theorie ist so umfassend, dass sie natürlich auch auf diese Frage eine befriedigende Antwort zu geben vermag. Die zugehörigen Berechnungen sind aber keineswegs mehr mit der elementaren Mathematik des praktischen Technikers durchführbar. Dennoch wollen wir versuchen, an Hand unserer bisherigen Kenntnisse zumindest die wesentlichen Gedankengänge des Rechenganges darzulegen.

Wir wissen, dass jede zeitliche Veränderung der elektrischen Feldstärke eine entsprechende Änderung der magnetischen Feldstärke zur Folge hat. Wenn sich nun eine solche elektrische Feldstärkeänderung vom Betrage  $\Delta E$  mit der Geschwindigkeit  $v$  senkrecht zur Feldrichtung im Raum ausbreitet, so lehrt die Theorie, dass unmittelbar vor der Änderungsstelle der elektrischen Feldstärke eine Änderung der magnetischen Feldstärke um den Betrag  $\Delta H$  eintritt, wobei zwischen  $\Delta E$  und  $\Delta H$  die Beziehung

$$\Delta E = \Delta_o \cdot v \cdot \Delta H \quad (18)$$

besteht. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus Gl. (13), wenn man  $B$  durch  $\mu_o H$  beziehungsweise  $\Delta B$  durch  $\mu_o \Delta H$  und  $E$  durch  $\Delta E$  ersetzt.

In entsprechender Weise ruft eine zeitliche Veränderung der magnetischen Feldstärke eine Änderung der elektrischen Feldstärke hervor. Wenn sich nun eine solche magnetische Feldstärkeänderung vom Betrage  $\Delta H$  mit der Geschwindigkeit  $v$  senkrecht zur Richtung der Feldlinien im Raum ausbreitet, so wird unmittelbar vor der Änderungsstelle die elektrische Feldstärke um einen Betrag  $\Delta E$  verändert, der mit  $\Delta H$  und  $v$  durch die Beziehung

$$\Delta H = \epsilon_o \cdot v \cdot \Delta E \quad (19)$$

verknüpft ist. Die Richtigkeit dieser Beziehung können wir zumindest durch Überprüfung der Dimensionen feststellen.

Aus den beiden Gleichungen (18) und (19) lässt sich die Geschwindigkeit  $v$  errechnen, wenn wir berücksichtigen, dass die Feldstörung sich vollkommen gleichmässig fortpflanzt, dass also die Änderung  $\Delta H$  in Gl. (18) die gleiche sein muss wie die Änderung  $\Delta E$  in Gl. (19), welche die Änderung der elektrischen Feldstärke  $\Delta E$  bewirkt hat. Wir können somit  $\Delta H$  aus Gl. (19) in Gl. (18) einsetzen und erhalten

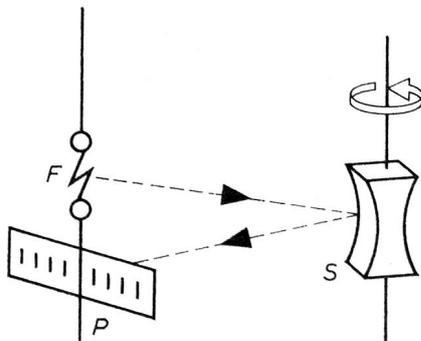


Fig. 17 Mit Hilfe eines rotierenden Spiegels untersuchte Feddersen die Entladungsfunken eines Kondensators (einer Leidener Flasche) und fand dabei heraus, dass die elektrischen Ladungen rasch hin und her schwingen. Der rotierende Spiegel war der primitive Vorläufer unseres heutigen Kathodenstrahl-Oszillographen.

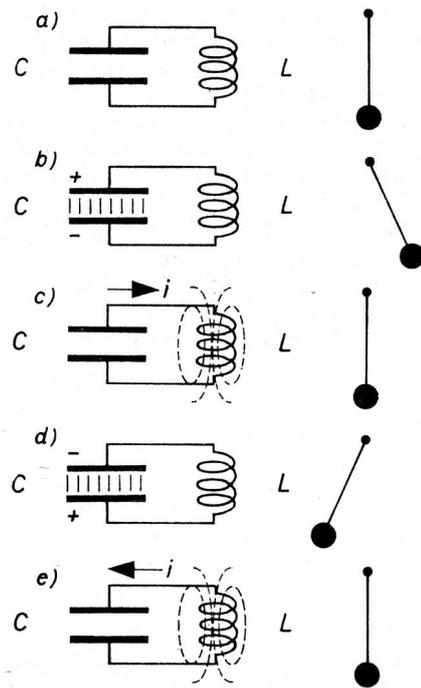


Fig. 18 Vergleich zwischen elektrischen Schwingungen in einem Schwingkreis (bestehend aus Kapazität und Induktivität) und der mechanischen Schwingung eines Pendels: a der Schwingkreis ist strom- und spannungslos; b die gesamte Energie ist in Form potentieller Energie im elektrischen Feld gespeichert; c die gesamte Energie ist in Form von kinetischer Energie im magnetischen Feld gespeichert; d die gesamte Energie ist wieder im elektrischen Feld gespeichert; e die gesamte Energie ist wieder im magnetischen Feld gespeichert. Die elektrische Energie schwingt also mit gleichbleibender Frequenz periodisch zwischen den beiden Energiespeichern Kondensator und Spule hin und her.

$$\Delta E = \epsilon_o \mu_o \cdot v^2 \Delta E. \quad (20)$$

Daraus folgt

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_o \epsilon_o}} = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{s}}.$$

Uns fällt sofort auf, dass die für die elektromagnetischen Wellen ermittelte Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  mit der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum übereinstimmt. Das lässt darauf schliessen, dass auch das Licht ein elektromagnetischer Wellenvorgang sein muss, was in der Tat der Fall ist.

Maxwell zeigte auf theoretischem Wege, dass die elektromagnetischen Felder überhaupt nur dann lückenlos ineinander übergehen können, wenn das elektrische Feld jeweils auf dem magnetischen Feld senkrecht steht und beide sich im Vakuum mit der oben errechneten Geschwindigkeit ausbreiten. Nur dann ist nämlich der Energieinhalt des elektrischen Feldes gleich dem des magnetischen Feldes.

Es gehört zweifellos zu den Grosstaten der physikalischen Forschung, dass die Existenz der elektromagnetischen Wellen und die sie beherrschenden Gesetze ausschliesslich auf Grund rein theoretischer Überlegungen bereits zu einem Zeitpunkt vorausgesagt worden sind, als man von ihrer experimentellen Verwirklichung noch ca. 25 Jahre entfernt war. Hier offenbarte sich eben wieder einmal deutlich die Kraft des menschlichen Geistes, der mit den Hilfsmitteln der Mathematik und unter Auswertung vorliegender Erfahrungen im Bereiche der Natur vorzustossen vermag, die einer experimentellen Erschliessung noch unzugänglich sind.

(Fortsetzung folgt)