



**MEHR
ERFAHREN**

Elektromagnetisches Feld
Relativitätstheorie

Physik-KOMPAKT 2



Oberstufe

STARK

Inhalt

Vorwort

	Elektrostatistisches Feld	1
	1 Elektrische Ladung	1
	2 Elektrische Feldstärke	4
	3 Elektrisches Potenzial, elektrische Spannung	6
	4 Spezielle elektrostatistische Felder	10
	5 Kondensatoren	15
	6 Das elektrische Feld als Energiespeicher	17
	7 Ladungsquantelung	20
	Elektrizitätsleitung	25
	8 Strom und Stromstärke	25
	9 Elektrizitätsleitung in Metallen	27
	10 Elektrizitätsleitung in Gasen	28
	11 Elektrizitätsleitung im Vakuum	30
	12 Gleichstromkreise	34
	13 Messung der elektrischen Grundgrößen	38
	Magnetisches Feld	43
	14 Elementare Magnetphänomene	43
	15 Magnetische Flussdichte	45
	16 Spezielle Magnetfelder	48
	17 Die Lorentzkraft	52
	18 Ferromagnetismus	55
	19 Vergleich zwischen elektro- und magnetostatischem Feld	56

Ladungsträger im elektromagnetischen Feld	59
20 Ladungsträger im homogenen elektrischen Feld	59
21 Ladungsträger im homogenen Magnetfeld	62
22 Messung spezifischer Teilchenladungen	65
23 Halleffekt	67
24 Teilchenbeschleuniger	68
Elektromagnetische Induktion	73
25 Der magnetische Fluss	73
 26 Das Induktionsgesetz	74
27 Selbstinduktion	80
28 Ein- und Ausschaltvorgänge an Spulen und Kondensatoren	82
29 Das Magnetfeld als Energiespeicher	84
Elemente der Elektrotechnik	87
30 Wechselspannungen und Wechselströme	87
31 Generator	89
32 Elektromotor	94
33 Drehstrom	97
34 Transformator	98
Elektromagnetische Schwingungen	101
35 Freie, ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen ..	101
36 Erzeugung und Nachweis ungedämpfter el.-magn. Schwingungen	106
37 Erzwungene el.-magn. Schwingungen	111
Ebene mechanische Wellen	115
 38 Entstehung und Ausbreitung ebener Wellen	115
39 Reflexion, Beugung, Brechung und Interferenz von ebenen Wellen	117

Elektromagnetische Wellen	123
40 Elektrische Dipol-schwingungen	123
 41 Dipolstrahlung	127
42 Elemente der Rundfunktechnik	132
43 Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen	136
Wellenoptik	137
44 Kohärenz und Interferenz	137
45 Zweistrahlinterferenzen	139
46 Beugung und Interferenz an Spalt und Gitter	143
47 Polarisation des Lichts	151
48 Das elektromagnetische Spektrum	153
Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie	155
49 Zeitlich-räumliches Bezugssystem	155
50 Zeiten und Längen in gegeneinander bewegten Bezugssystemen	156
51 Relativistische Masse und relativistischer Impuls	159
52 Relativistische Energie	162
Stichwortverzeichnis	167

Autor: Horst Lautenschlager

Hinweis: Die entsprechend gekennzeichneten Kapitel enthalten ein **Lernvideo**. An den jeweiligen Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, der mit einem Smartphone oder Tablet gescannt werden kann.



Im Hinblick auf eine eventuelle Begrenzung des Datenvolumens wird empfohlen, beim Anschauen der Videos eine WLAN-Verbindung zu nutzen. Falls keine Möglichkeit besteht, den QR-Code zu scannen, sind die Lernvideos auch auffindbar unter:

https://www.pearson.de/qrcode/lernvideos_943013V

Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

der Band Physik 2 aus der Reihe Physik-Kompakt bietet Ihnen eine kompakte und gleichzeitig präzise Darstellung des gymnasialen Unterrichtsstoffs zu den Themenbereichen Elektromagnetisches Feld und Spezielle Relativitätstheorie. Er eignet sich damit für den täglichen Schulgebrauch ebenso gut wie für die Vorbereitung auf Tests, Schulaufgaben, Klausuren und Abitur.

- Alle lehrplanrelevanten Themen werden **verständlich erklärt**.
- Der Inhalt ist übersichtlich aufbereitet und systematisch in **überschaubare Abschnitte** gegliedert
- **Kernaussagen** und wichtige **physikalische Begriffe** sind **blau** hervorgehoben. Mithilfe vieler **Grafiken** und **Diagramme** wird der im Text behandelte Stoff zusätzlich veranschaulicht.
- **Zahlreiche Querverweise** helfen Ihnen dabei, Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Stoffgebieten zu erkennen.
- Das **umfangreiche Stichwortverzeichnis** erleichtert Ihnen die gezielte Suche nach bestimmten Begriffen und Inhalten.

Zu ausgewählten Themen gibt es **Lernvideos**, in denen wichtige Zusammenhänge und Experimente dargestellt werden. An den entsprechenden Stellen im Buch befindet sich ein QR-Code, der mit einem Smartphone oder Tablet gescannt werden kann. Eine Zusammenstellung aller Videos und Animationen ist über den nebenstehenden QR-Code abrufbar.



Viel Freude bei der Lektüre wünscht Ihnen

Horst Lautenschlager

Elektrostatisches Feld

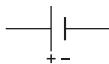
1 Elektrische Ladung

Im 18. Jahrhundert stellte man sich unter elektrischer Ladung eine nichtmaterielle Substanz vor, die in verschiedenen Mengen auf Körpern vorliegen kann. Empirisch fand man:

- a) Es gibt nur **zwei Arten** von **elektrischer Ladung**, positive und negative.
- b) Gleichnamige elektrische Ladungen stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen sich an.
- c) Jede in der Natur vorkommende elektrische Ladungsmenge tritt stets nur als ganzzahliges Vielfaches einer kleinsten, **Elementarladung** genannten Ladung e vom Betrag $1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ auf ($\rightarrow 7|1$).
- d) Elektrische Ladungen können durch Berührung von einem Körper auf einen anderen übertragen werden.
- e) Elektrische Ladungen können in elektrischen Leitern fließen.
- f) Gleiche Mengen positiver und negativer elektrischer Ladung auf einem Leiter neutralisieren sich.
- g) Bei Leitern sitzen ruhende, elektrische Ladungen nur auf der äußeren Oberfläche, und zwar umso dichter, je stärker diese gekrümmt sind.
- h) Geladene Leiter werden entladen, wenn man sie leitend mit der Erde verbindet.
- i) Die Summe der elektrischen Ladungsmengen eines abgeschlossenen Systems ändert sich nicht. Elektrische Ladungen werden nicht erschaffen oder vernichtet, sondern getrennt oder neutralisiert.

Mit der Entdeckung des Elektrons und der Entwicklung leistungsfähigerer Atommodelle setzte sich die Erkenntnis durch, dass der **kleinste Träger** einer **negativen Elementarladung** das **Elektron** ist und dass Körper negativ (positiv) elektrisch geladen sind, wenn sie einen Überschuss (Mangel) an Elektronen aufweisen.

- 3 In **Ladungsquellen** werden die beiden Ladungsarten getrennt. Die Stelle einer Ladungsquelle mit einem Überschuss an negativer (positiver) Ladung heißt Minuspol (Pluspol) und wird in Schaltbildern durch einen dicken kurzen (langen dünnen) Strich symbolisiert.



- 4 Das **Formelzeichen** für die elektrische Ladung ist Q , ihre **Einheit** ist das **Coulomb (C)**. Ein Körper trägt die positive bzw. negative Ladungsmenge $Q = 1 \text{ C}$, wenn er einen Mangel bzw. einen Überschuss von $6,242 \cdot 10^{18}$ Elektronen aufweist ($\rightarrow 8|5$).

5 **Ladungsmessung**

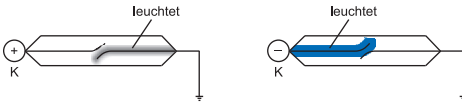
- a) Lässt man eine kleine Ladungsmenge durch ein hochempfindliches Drehspulgerät ($\rightarrow 13|5$) zur Erde abfließen, schlägt sein Zeiger aus und kehrt rasch wieder in die Nullstellung zurück. Ist die Durchflusszeit klein gegenüber der Schwingungsdauer des Geräts, so ist der Maximalausschlag α des Zeigers proportional zur durchgeflossenen Ladungsmenge Q :

$$Q = c \cdot \alpha$$

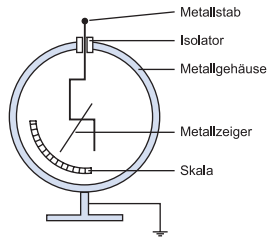
Man spricht von einem **ballistischen** Ausschlag. Die durch Gerätegrößen bestimmte Proportionalitätskonstante c wird experimentell gemessen, indem man den Stoßausschlag α einer bekannten Ladungsmenge bestimmt.

- b) Im Unterricht werden häufig **Ladungsmessverstärker** verwendet. Hier fließt die zu messende Ladung auf einen im Instrument befindlichen Messkondensator ($\rightarrow 5|1$) bekannter Kapazität ($\rightarrow 5|2$) auf. Dessen Spannung wird verstärkt und auf einer für Ladung geeichten Skala eines Zeigerinstruments als konstanter Ausschlag angezeigt.
- c) **Große Ladungsmengen** lassen sich **elektrolytisch messen**, indem man sie zwischen zwei unterschiedlich geladenen Elektroden durch einen geeigneten Elektrolyten fließen lässt, die Masse der an der Kathode elektrolytisch abgeschiedenen Stoffmenge misst und hieraus mithilfe der Faraday'schen Gesetz der Elektrolyse die transportierte Ladung berechnet.

Die **Ladungsart** erhält man bei ballistischen Ladungsmessern und bei Ladungsmessverstärkern aus der Richtung des Zeigerausfalls. Bei einem hinreichend stark geladenen Körper K kann sie unter geringerem experimentellen Aufwand auch durch Berühren mit einer einseitig geerdeten Glimmlampe ($\rightarrow 10|5$) bestimmt werden (vergleiche Skizze).



Bei geringeren Ansprüchen an die Messgenauigkeit können nicht zu kleine Ladungsbeträge auch mit einem **Elektroskop** bestimmt werden. An einem Metallstab ist entsprechend der Skizze ein Metallzeiger oberhalb seines Schwerpunkts drehbar befestigt. Fließen Ladungen auf Stab und Zeiger, so schlägt der Zeiger aus, da sich gleichartig geladene Körper ($\rightarrow 1|1$) abstoßen. Die Größe des Ausschlags ist ein Maß für die aufgelassene Ladungsmenge.



In den Jahren 1784/85 fand Charles Augustin de **Coulomb** das nach ihm benannte **Gesetz** über die elektrische Kraft zwischen zwei Punktladungen Q_1, Q_2 . Diese üben aufeinander in Richtung ihrer Verbindungslinie eine elektrische Kraft vom Betrag

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

aus, wobei r den Ladungsabstand bezeichnet. Die Naturkonstante ϵ_0 heißt **elektrische Feldkonstante** und hat den numerischen Wert

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{V} \cdot \text{m}}$$



Elektromagnetische Schwingungen

35 Freie, ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen

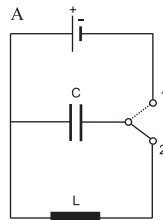
Ein Kondensator und eine Spule, die zu einem geschlossenen Leiterkreis verbunden sind, bilden einen elektromagnetischen **Schwingkreis**, in dem die **elektromagnetische Energie periodisch wechselt** im elektrischen Feld des Kondensators und im magnetischen Feld der Spule gespeichert wird.

1

Physik des Schwingkreises

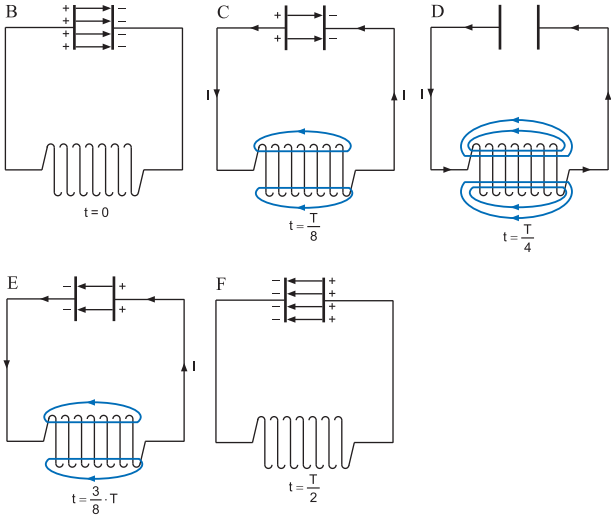
Wird in der in Bild A gezeigten Schaltung der Schalter von Stellung 1 in Stellung 2 gebracht, entlädt sich der Kondensator über die Spule.

- Dabei steigt der Strom aber nur allmählich an, weil das von ihm in der Spule verursachte, anwachsende Magnetfeld nach der Regel von Lenz ($\rightarrow 26|3$) eine zur Kondensatorspannung entgegen gerichtete Induktionsspannung hervorruft.
- Mit weiter abnehmender Ladung auf den Kondensatorbelegen und schwindender im Kondensator gespeicherter elektrischer Energie nehmen die Stärke des Stroms durch die Spule und die in der Spule gespeicherte magnetische Energie zu (siehe Bilder B und C).
- Bei vollständig entlademem Kondensator hat der Strom durch die Spule seinen Maximalwert erreicht. Die bisher nicht in Stromwärme umgewandelte Schwingkreisenergie ist im Magnetfeld der Spule gespeichert (Bild D).
- Da vom entladenen Kondensator keine Ladungsträger mehr abgegeben werden können, nimmt der Strom wieder ab.
- Die vom schwindenden Magnetfeld in der Spule verursachte Induktionsspannung treibt den Spulenstrom nach Lenz ($\rightarrow 26|3$) in der ursprünglichen Richtung weiter, sodass sich der Kondensator in umgekehrter Polung aufzuladen beginnt (Bild E).



2

- f) Sind Spulenmagnetfeld und -strom vollständig verschwunden, besitzt der Kondensator wieder den ursprünglichen Ladungszustand, nur in umgekehrter Polung. Die anfängliche Schwingkreisenergie ist bis auf den in Stromwärme umgewandelte Anteil wieder im elektrischen Feld des Kondensators gespeichert (Bild F).
- g) Dieser Vorgang wiederholt sich in umgekehrter Richtung.



3

Kann man die ohmschen Widerstände der Spule und der Leitungen in einem Schwingkreis vernachlässigen, ändern sich durch die beschriebenen Vorgänge die Beträge der **Ladung** auf den Kondensatorbelegen, der Stärke des **Spulenstroms**, der **Spannungen an Spule und Kondensator**, der **elektrischen Feldstärke** des Kondensatorfeldes und der **magnetischen Flussdichte** des Spulenfeldes periodisch sinusförmig mit der Zeit. Jede dieser Größen **schwingt harmonisch**.

4

Ein **verlustfreier Schwingkreis** mit Induktivität L und Kapazität C lässt sich mathematisch durch die **Differenzialgleichung**

$$\ddot{Q} + \frac{1}{L \cdot C} \cdot Q = 0$$

beschreiben. Q bezeichnet dabei den zeitlich veränderlichen Betrag der Ladung auf einem Kondensatorbeleg.

Begründung: Wegen der Parallelschaltung sind die Spannungen U_L und U_C an Spule und Kondensator zu jedem Zeitpunkt gleich: $U_L = U_C$. Mit ($\rightarrow 27|2$) und ($\rightarrow 5|2$) folgt:

$$-L \cdot \dot{I} = \frac{Q}{C}$$

Unter Beachtung von ($\rightarrow 8|6$) $\dot{Q} = I$ bzw. $\ddot{Q} = \dot{I}$ ergibt sich hieraus die Differenzialgleichung durch Auflösen nach \ddot{Q} .

Jede Funktion der Form

$$Q(t) = Q_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad \text{mit} \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$$

ist für alle Werte von Q_0 und φ eine **Lösung dieser Differenzialgleichung**.

Begründung: Einsetzen von $\ddot{Q}(t) = -Q_0 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ in die Differenzialgleichung führt auf:

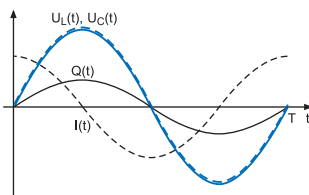
$$\left(-\omega^2 + \frac{1}{L \cdot C}\right) \cdot Q_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = 0$$

Da $Q_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$ eine zeitabhängige, von der Nullfunktion verschiedene Funktion ist, ist diese Gleichung nur dann für alle Zeiten t erfüllt, wenn $-\omega^2 + \frac{1}{L \cdot C} = 0$, wenn also $\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$.

In einem verlustfreien elektromagnetischen Schwingkreis, in dem die Zeitabhängigkeit des Ladungsbetrags auf einem Kondensatorbeleg durch

$$Q(t) = Q_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

beschrieben wird, gilt für die Zeitabhängigkeit



6

a) der Stromstärke:

$$I(t) = \dot{Q}(t) = I_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi) \text{ mit } I_0 = \frac{Q_0}{\sqrt{L \cdot C}}$$

b) der Spannung zwischen den Kondensatorbelegen:

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_{0,C} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \text{ mit } U_{0,C} = \frac{Q_0}{C}$$

c) der Spannung an der Spule:

$$U_L(t) = -L \cdot \dot{I}(t) = U_{0,L} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \text{ mit } U_{0,L} = \frac{Q_0}{C}$$

7 Die Thomson'sche Gleichung

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

ermöglicht die Berechnung der Schwingungsdauer T eines verlustfreien elektromagnetischen Schwingkreises aus den Werten der Induktivität L und der Kapazität C .

Begründung: Die Beziehung folgt aus $\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$ ($\rightarrow 35|5$) unter Beachtung von $\omega = \frac{2\pi}{T}$ durch Auflösen nach T .

8 In einem verlustfreien elektromagnetischen Schwingkreis, in dem die Zeitabhängigkeit des Ladungsbetrags auf einem Kondensatorbeleg durch

$$Q(t) = Q_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

beschrieben wird, gilt für die Zeitabhängigkeit der

a) zwischen den Kondensatorbelegen **gespeicherten elektrischen Energie:**

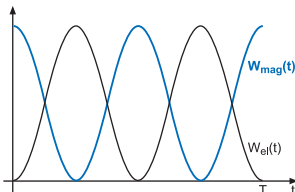
$$W_{el}(t) = \frac{Q^2(t)}{2C} = \frac{Q_0^2(t)}{2C} \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi)$$

b) in der Spule **gespeicherten magnetischen Energie:**

$$W_{mag}(t) = \frac{1}{2} L \cdot I^2(t) = \frac{1}{2} L \cdot I_0^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi)$$

Die Summe beider Energien hat im Einklang mit dem Energieerhaltungssatz zu jedem Zeitpunkt den konstanten Wert:

$$W_{\text{el}} + W_{\text{mag}} = \frac{Q_0^2}{2C} = \frac{1}{2}L \cdot I_0^2$$



Durch **Vergleich** der Differenzialgleichungen eines

verlustfreien Schwingkreises mit Induktivität L und Kapazität C

$$L \cdot \ddot{Q} + \frac{1}{C} \cdot Q = 0$$

und **reibungsfreien Federpendels** der Masse m und der Federhärte D

$$m \cdot \ddot{x} + D \cdot x = 0$$

ergeben sich folgende Analogien zwischen einer harmonischen

elektromagnetischen Schwingung:

und **mechanischen Schwingung:**

Induktivität L

$\hat{=}$ Masse m

Kehrwert $\frac{1}{C}$ der Kapazität
(= elektrische Spannung pro Ladungseinheit)

$\hat{=}$ Federhärte D
(= Federkraft pro Längeneinheit)

Stromstärke: $I = \dot{Q}$

$\hat{=}$ Geschwindigkeit: $v = \dot{x}$

zeitliche Änderung der Stromstärke: $\dot{I} = \ddot{Q}$

$\hat{=}$ Beschleunigung:
 $a = \dot{v} = \ddot{x}$

Spannungsabfall an der Spule: $U_L = -L \cdot \dot{I}$

$\hat{=}$ Newton'sche Kraft:
 $F = m \cdot a$

Spannung am Kondensator:

$\hat{=}$ Hooke'sche Kraft:

$$U_C = \frac{Q}{C}$$

$$F = D \cdot x$$

magnetische Energie:

$\hat{=}$ kinetische Energie:

$$E_{\text{mag}} = \frac{1}{2}L \cdot I^2$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}m \cdot v^2$$

elektrische Energie:

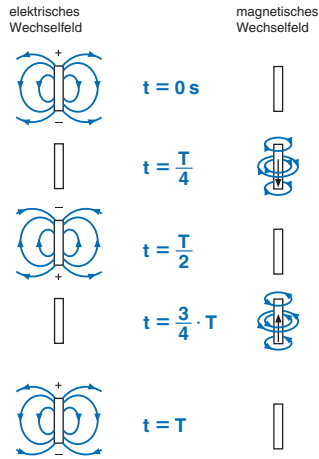
$\hat{=}$ Spannenergie:

$$E_{\text{el}} = \frac{1}{2C} \cdot Q^2$$

$$E_{\text{spann}} = \frac{D}{2} \cdot x^2$$

41 Dipolstrahlung

Die stehenden Strom- und Spannungswellen eines in der **Grundschiwingung angeregten Hertz'schen Dipols** erzeugen in seiner Umgebung **magnetische und elektrische Wechselfelder**. Wegen der hohen Frequenz können diese sich beim Umpolen nicht mehr vollständig in den Dipol zurückziehen, ein Teil schnürt sich ab und wandert als geschlossene Feldlinien in den Raum.



1

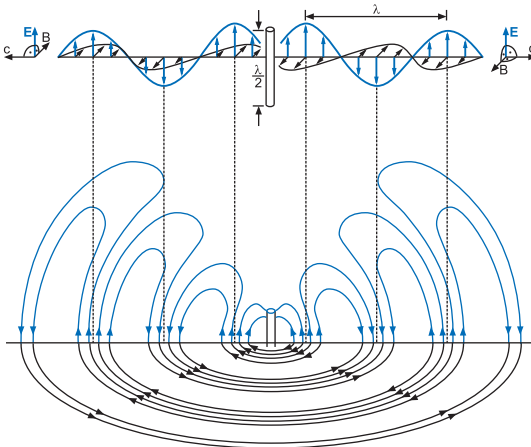
Bereits 1864 erklärte Maxwell den **Ausbreitungsmechanismus elektromagnetischer Wechselfelder**.

Unabhängig von irgendwelchen materiellen Trägern wird jedes zeitlich veränderliche magnetische Feld von einem zeitlich veränderlichen elektrischen Wirbelfeld umschlossen und umgekehrt. Elektrische und magnetische Wechselfelder können sich so, losgelöst von materiellen Trägern, gegenseitig generieren und, wie in der Abbildung angedeutet, in den Raum ausbreiten.



2

- 3 Das von einem in der Grundschiwingung angeregten Hertz'schen Dipol **abgestrahlte elektrische und magnetische Wechselfeld**
- hat die Eigenschaft einer **Transversalwelle**,
 - deren Wellenlänge gleich der doppelten Dipollänge ist,
 - deren Frequenz mit der Frequenz der Dipolschwingung übereinstimmt,
 - die sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet,
 - die linear polarisiert ist,
 - und ist rotationssymmetrisch um den Dipol angeordnet.
- 4 Die **Vektoren der elektrischen Feldstärke \vec{E} und der magnetischen Flussdichte \vec{B}** dieses Feldes
- stehen aufeinander und auf der Ausbreitungsrichtung der Transversalwelle senkrecht,
 - schwingen in der Fernzone gleichphasig
 - und schwingen in der Nahzone mit einer Phasenverschiebung von einer Viertelschwingung.



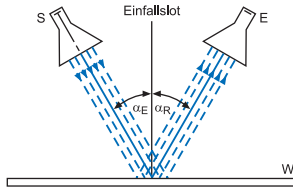
Mit **Dipolstrahlung** lassen sich typische **Transversalwellenphänomene** wie Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz und Polarisation demonstrieren.

Zur Vermeidung von Störstrahlung verwendet man dazu einen 1,5 cm langen Sendedipol S, der von einem Klystron in der Grundschwingung angeregt wird und so in einem Abstrahltrichter angebracht ist, dass die Dipolstrahlung den Sender als Parallelbündel verlässt.

Die Strahlung wird mit einem auf Resonanz ($\rightarrow 37 | 4$) zu S abgestimmten Empfangsdipol E nachgewiesen. Er befindet sich in einem Empfangstrichter, der die ankommende Strahlung auf ihn konzentriert.

Nachweis der Reflexion

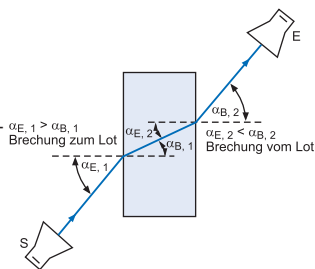
- Dipolstrahlung wird an einer Metallwand so reflektiert, dass
- einfallende, reflektierte Strahlung und Einfallslot in einer Ebene liegen und
 - Einfalls- und Reflexionswinkel gleich sind: $\alpha_E = \alpha_R$



Nachweis der Brechung

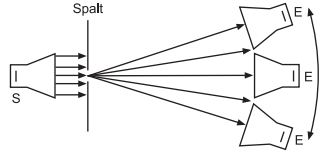
- Dipolstrahlung wird beim Auftreffen auf einen Kunstharzquader so gebrochen, dass
- einfallende, gebrochene Strahlung und Einfallslot in einer Ebene liegen und
 - die Sinuswerte von Einfallswinkel und Brechwinkel sich wie die Lichtgeschwindigkeiten c_1 in Luft und c_2 in Kunstharz verhalten:

$$\frac{\sin \alpha_E}{\sin \alpha_B} = \frac{c_1}{c_2}$$



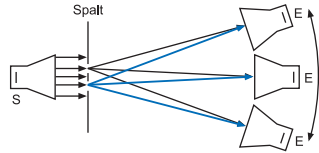
8 Nachweis der Beugung

Trifft Dipolstrahlung senkrecht auf einen Spalt, dessen Breite größenordnungsmäßig mit der Wellenlänge übereinstimmt ($\rightarrow 46|3$), so lässt sie sich dahinter mit dem Empfangsdipol E auch an Stellen nachweisen, an die sie bei geradliniger Ausbreitung nicht gelangen könnte.



9 Nachweis der Interferenz

Dipolstrahlung trifft senkrecht auf einen geeignet dimensionierten ($\rightarrow 46|3$) Doppelspalt. Führt man dahinter den Empfangsdipol E entlang eines Halbkreises, registriert man abwechselnd Maxima bzw. -minima, je nachdem, ob der Gangunterschied der von den beiden Spalten kommenden Wellen ein ganzzahliges Vielfaches der ganzen Wellenlänge bzw. ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge ist.

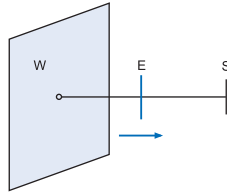


10 Nachweis der Polarisation

Hält man in einem Raumpunkt P den Empfangsdipol E parallel zum Sendedipol S, stellt man maximalen Empfang fest. Nimmt E eine Stellung senkrecht zu S ein, verschwindet der Empfang. Da die frei beweglichen Elektronen im Empfangsdipol nur von der zu ihm parallelen Komponente des \vec{E} -Vektors zu Schwingungen angeregt werden können, schwingt der \vec{E} -Vektor in der vom Dipol abgestrahlten elektromagnetischen Welle demnach nur in der vom Dipol und dem Raumpunkt festgelegten Ebene. Analog kann man mit einer Induktionsschleife nachweisen, dass der \vec{B} -Vektor in jedem Raumpunkt stets in einer Ebene schwingt, die senkrecht zur Schwingungsebene des \vec{E} -Vektors verläuft.

11 Zur **Messung der Wellenlänge** lässt man die Strahlung des Senders S senkrecht auf eine hinreichend große Metallwand W treffen. Die von S auf W zulaufende und die an W reflektierte elektromagnetische Welle überlagern sich dann zu einer stehenden Welle.

Mit einem zu S parallelen, auf Resonanz abgestimmten Empfangsdipol E stellt man auf dem Weg von W nach S in periodischen Abständen an den Wellenbäuchen Empfangsmaxima und an den Wellenknoten Empfangsminima fest. Direkt an W liegt ein Minimum vor. Die Wellenlänge ist doppelt so groß wie der Abstand zwischen zwei benachbarten Knoten.



Die Funktion eines **Mikrowellenherdes** fußt darauf, dass die elektrische Ladung in Wassermolekülen ungleich verteilt ist: Im Bereich des Sauerstoffatoms befindet sich mehr negative Ladung, im Bereich der Wasserstoffatome mehr positive Ladung. Wassermoleküle bilden daher **elektrische Dipole**. In flüssigem Wasser werden sie durch elektromagnetische Wechselfelder zu **Rotationen** ange-regt, es kommt zur Erwärmung. Im Mikrowellenherd werden dabei alle wasserhaltigen Materialien erwärmt: natürlich Lebensmittel (erwünscht), aber auch Geschirr aus wasserhaltigem Material (unerwünscht), etwa aus unglasierter, poröser Keramik (Steingut). Weil die Tiefe, in der die Mikrowellen ins Gargut eindringen, begrenzt ist, wird das Gargut zunächst nur oberflächlich erwärmt; die vollständige Erwärmung erfolgt dann indirekt über Wärmeleitung. Die Frequenz eines Mikrowellenherds ist mit 2,45 GHz so gewählt, dass die Anforderungen an Leistung, Wirtschaftlichkeit und Sicherheit bei Herstellung und Betrieb des Geräts erfüllt sind. Erzeugt wird das Mikrowellenfeld mit einem **Magnetron**, einem Hochfrequenzgenerator mit festen (d. h. durch die jeweilige Konstruktion festgelegten) Werten für Leistung und Frequenz. Die Leistungsregulierung des Geräts erfolgt durch Intervallbetrieb, d. h., die am Gerät einstellbaren Leistungsstufen geben jeweils nur Zeitmittelwerte an. Da die Wellenlänge der Mikrowellen von 12,2 cm in der Größenordnung der Dimensionen des Garraumes liegt, bilden sich dort **stehende Wellen** aus. Sie führen zu einer ungleichmäßigen räumlichen Verteilung der Strahlungsintensität, es entstehen sog. **Hotspots**. Um trotzdem eine möglichst gleichmäßige Erwärmung der Speisen zu gewährleisten, befindet sich im Garraum eines Mikrowellenherdes ein Drehteller.



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

STARK