

GYMNASIUM

ABITUR

KOMPAKTE PHYSIK

MEHR
ERFAHREN



Horst Lautenschlager

Physik 2

Elektrizität, Magnetismus und Wellenoptik

STARK

Inhalt

Vorwort

Elektrostatisches Feld	1
1 Elektrische Ladung	1
2 Elektrische Feldstärke	4
3 Elektrisches Potenzial und elektrische Spannung	6
4 Elektrische Verschiebungsdichte	9
5 Spezielle elektrostatische Felder	11
6 Kondensatoren	18
7 Das elektrische Feld als Energiespeicher	21
8 Materie im elektrischen Feld	23
9 Spezielle Plattenkondensatorschaltungen	25
10 Ladungsquantelung	30
Elektrizitätsleitung	35
11 Strom und Stromstärke	35
12 Elektrizitätsleitung in Metallen	37
13 Elektrizitätsleitung in Flüssigkeiten	40
14 Elektrizitätsleitung in Gasen	41
15 Elektrizitätsleitung im Vakuum	44
16 Gleichstromkreise	49
17 Messung der elektrischen Grundgrößen	52
Magnetisches Feld	57
18 Elementare Magnetphänomene	57
19 Magnetische Flussdichte	59
20 Spezielle Magnetfelder	62
21 Magnetische Feldstärke	66
22 Die Lorentzkraft	67

Fortsetzung siehe nächste Seite

23	Materie im Magnetfeld	70
24	Vergleich zwischen elektro- und magnetostatischem Feld	73
	Ladungsträger im elektromagnetischen Feld	77
25	Ladungsträger im homogenen elektrischen Feld	77
26	Ladungsträger im homogenen Magnetfeld	80
27	Messung spezifischer Teilchenladungen	82
28	Halleffekt	85
29	Teilchenbeschleuniger	87
	Elektromagnetische Induktion	89
30	Der magnetische Fluss	89
31	Das Induktionsgesetz	90
32	Selbstinduktion	94
33	Ein- und Ausschaltvorgänge an Spulen und Kondensatoren	96
34	Das Magnetfeld als Energiespeicher	98
	Wechselströme	101
35	Messung von technischen Wechselspannungen und Wechselströmen	101
36	Kondensator, Spule und ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis	103
37	Strom- und Spannungszeiger	107
38	Einfache Wechselstromkreise	109
39	Wirk-, Blind- und Scheingrößen	114
	Elemente der Elektrotechnik	117
40	Generator	117
41	Elektromotor	122
42	Drehstrom	125
43	Transformator	126

Elektromagnetische Schwingungen	129
44 Freie, ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen	129
45 Gedämpfte elektromagnetische Schwingungen	134
46 Erzeugung und Nachweis ungedämpfter elektro- magnetischer Schwingungen	136
47 Erzwungene elektromagnetische Schwingungen	139
48 Kopplung von Schwingkreisen	142
Elektromagnetische Wellen	147
49 Elektrische Dipolschwingungen	147
50 Dipolstrahlung	151
51 Elemente der Rundfunktechnik	156
52 Ausbreitungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Wellen	160
Wellenoptik	163
53 Kohärenz und Interferenz	163
54 Zweistrahlinterventionen	165
55 Beugung und Interferenz an Spalt und Gitter	169
56 Polarisation des Lichts	177
57 Das elektromagnetische Spektrum	180
Stichwortverzeichnis	183

Autor: Horst Lautenschlager

Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

dieser Band aus der Reihe Kompakt-Wissen bietet Ihnen eine kompakte und gleichzeitig präzise Darstellung des Unterrichtsstoffs zu Elektrizität, Magnetismus und zur Wellenoptik. Er eignet sich damit hervorragend für den täglichen Schulgebrauch und zur gründlichen Vorbereitung auf das Abitur.

- Alle lehrplanrelevanten Themen werden **verständlich erklärt**.
- Der Inhalt ist übersichtlich aufbereitet und systematisch in überschaubare Abschnitte gegliedert, sodass Sie sich **effektiv und zeitsparend** auf den Unterricht und auf Klausuren **vorbereiten** können.
- **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.

Viel Freude bei der Lektüre wünscht Ihnen



Horst Lautenschlager

Magnetisches Feld

18 Elementare Magnetphänomene

Ein Körper, der Eisen, Kobalt, Nickel und einige bestimmte Legierungen aus diesen Metallen anzieht, heißt (Permanent-) **Magnet**. Stoffe, die von einem Magneten angezogen werden, nennt man **ferromagnetisch**.

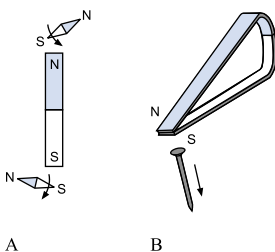
Es gibt aber auch Magnete aus nicht ferromagnetischen Stoffen, wie beispielsweise die Heusler'sche Legierung aus Kupfer, Mangan und Aluminium.

Die Anziehungskraft eines Magneten wirkt durch nichtferromagnetische Stoffe hindurch, kann aber auch durch ferromagnetische Stoffe abgeschirmt werden.

Die Anziehungskraft auf ferromagnetische Stoffe ist nicht an allen Stellen eines Magneten gleich groß. Jeder Magnet weist stets genau zwei Bereiche stärkster Anziehungskraft, die so genannten **Pole**, auf. Einzelne, isolierte Magnetpole gibt es nicht.

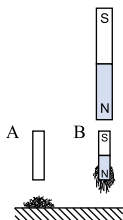
Die Erfahrung zeigt, dass die beiden Pole eines Magneten verschieden sind. Man bezeichnet sie als **Nord- bzw. Südpol**.

Gleichnamige magnetische Pole stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an (Bild A) und neutralisieren sich gegenseitig (Bild B).

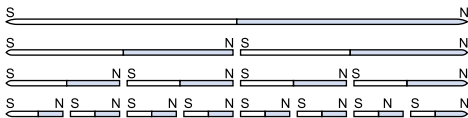


- 5 Bei einem **Stabmagneten** liegen die Pole in der Nähe seiner Enden. Ist er frei beweglich, so richtet er sich stets etwa in geografischer Nord-Süd-Richtung aus. Sein Nord-(Süd-)Pol weist dabei in die geografische Nord-(Süd-)Richtung, weil die Erde selbst ein Magnet ist, deren magnetischer Nord- (Süd-) Pol sich in der Nähe des geografischen Süd- (Nord-) Pols befindet.

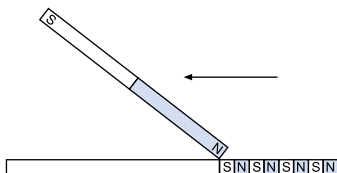
- 6 Unter **magnetischer Influenz** versteht man die Tatsache, dass ursprünglich unmagnetische ferromagnetische Stoffe (Bild A) in der Nähe eines Magneten selbst zu Magneten werden (Bild B). Dabei entsteht in der Nähe eines Nordpols ein influenzierter Südpol und umgekehrt.



- 7 Beim Zerteilen eines Magneten entstehen immer wieder vollständige Magnete.



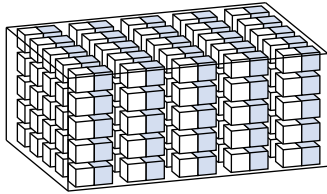
- 8 Eine ursprünglich nicht magnetische Probe eines Ferromagneten wird durch Bestreichen mit einem Magneten selbst magnetisch.



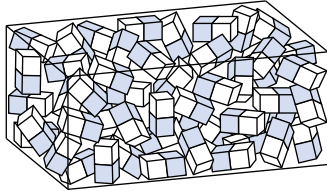
- 9 Alle einfachen magnetischen Erscheinungen lassen sich mit dem einfachen **Modell der Elementarmagnete** deuten: Jedes Ferromagnetikum besteht hiernach bei nicht zu hohen Temperaturen aus Elementarmagneten.

Diese können durch magnetische Kräfte ausgerichtet werden (Bild A). Dann ist der Körper magnetisiert. In einem nichtmagnetischen Ferromagnetikum sind die Elementarmagnete völlig ungeordnet (Bild B).

Der Magnetismus eines ferromagnetischen Körpers entsteht also nicht erst beim Magnetisieren, sondern ist als Magnetisierung der Elementarmagnete bereits im Körper vorhanden.



A



B

19 Magnetische Flussdichte

1820 entdeckte Christian Oerstedt, dass nicht nur von Permanentmagneten, sondern auch von stromdurchflossenen Leitern magnetische Kräfte ausgehen. Eine genauere Erforschung des Magnetismus setzte ein und lieferte eine Vielfalt von experimentellen Befunden, für deren Auswertung und Verarbeitung in einer Theorie sich das Modell eines **magnetischen Felds** als zweckdienlich erwies.

Darunter versteht man den Raumbereich in der Umgebung von Permanentmagneten oder von stromdurchflossenen Leitern, in dem auf ferromagnetische Körper, stromdurchflossene Leiter oder bewegte Ladungen magnetische Kräfte wirken.

Magnetische Felder lassen sich durch **magnetische Feldlinien** veranschaulichen (→ 20|2; 3; 5–8). Das sind fiktive Kurven in einem Magnetfeld, welche in jedem ihrer Punkte tangential zum dortigen magnetischen Kraftvektor verlaufen.

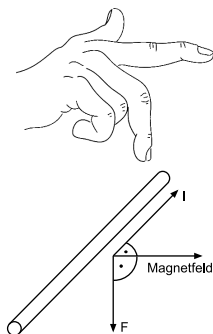
Magnetische Feldlinien

- a) sind immer in sich geschlossen;
- b) haben weder Anfangs- noch Endpunkte;
- c) kreuzen oder berühren sich nicht;
- d) sind so orientiert, dass sie in Richtung der Kraft auf einen fiktiven magnetischen Einzel-Nordpol deuten;
- e) verlaufen in einem Bereich umso dichter, je stärker dort das Magnetfeld ist. Üblicherweise ist ihre Dichte in einem zur Feldrichtung senkrechten Flächenelement proportional zum Betrag der magnetischen Flussdichte ($\rightarrow 19|6$) in diesem Flächenelement.
- f) verlaufen außerhalb eines Permanentmagneten vom Nord- zum Südpol, im Inneren vom Süd- zum Nordpol.

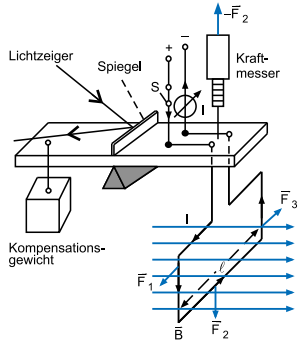
3 Magnetische Feldlinien lassen sich **experimentell darstellen**, indem man den Magneten unter eine mit kleinen, zunächst unmagnetischen, ferromagnetischen Spänen bestreute Glasplatte legt. Diese werden durch magnetische Influenz zu kleinen „Stabmagneten“ und richten sich längs der Feldlinien aus, wenn man leicht gegen die Glasplatte klopft.

4 Die Erfahrung zeigt, dass ein **gerader Leiter**, der **in einem homogenen Magnetfeld** ($\rightarrow 20|1$) von einem Strom senkrecht zur Feldrichtung durchflossen wird, eine magnetische Kraft erfährt, die senkrecht zur Feldrichtung und senkrecht zur Stromrichtung steht.

Die Richtung findet man mit der so genannten Ersten **Drei-Finger-Regel der rechten Hand**: Spreizt man Daumen, Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand so ab, dass sie paarweise aufeinander senkrecht stehen und deutet der Daumen in die technische Stromrichtung, der Zeigefinger in Richtung des Magnetfelds, so deutet der Mittelfinger in Richtung der magnetischen Kraft. Ist die Richtung des Stroms durch den Leiter parallel zur Richtung des Magnetfelds, so wirkt keine magnetische Kraft auf ihn.



Der Betrag dieser Kraft lässt sich mit einer **Stromwaage** messen. Das ist ein Waagebalken, an dem austariert ein rechteckiger Leiterrahmen hängt, der teilweise in das homogene Magnetfeld eintaucht (siehe Abbildung). Selbst kleinste Auslenkungen aus dieser Ruhelage können mit einer Lichtzeigervorrichtung nachgewiesen werden. Fließt durch den Rahmen ein stationärer Strom in der angegebenen Richtung, so wirken im Magnetfeld auf die Rahmenteile die Kräfte \vec{F}_1 , \vec{F}_2 und \vec{F}_3 (\rightarrow 19|4). Da der Rahmen formstabil ist, heben sich \vec{F}_1 und \vec{F}_3 in ihrer Wirkung gegenseitig auf, \vec{F}_2 zieht den Rahmen ins Magnetfeld hinein. Stellt man mit einem Kraftmesser den Waagebalken in die Ausgangslage zurück (Kontrolle mittels Lichtzeiger), so kann man am Kraftmesser F_2 ablesen.



Die Erfahrung zeigt, dass der Betrag dieser Kraft F proportional zur Stromstärke I und zur Leiterlänge ℓ ist. Aus $F \sim I$ und $F \sim \ell$ folgt $F \sim I \cdot \ell$, also:

$$\frac{F}{I \cdot \ell} =: k = \text{konstant}$$

Die Proportionalitätskonstante k hängt nicht mehr von I oder ℓ , sondern nur noch von der Stärke des magnetischen Feldes am Ort des Leiters ab und wird als **magnetische Flussdichte** oder als **magnetische Induktion** bezeichnet.

Unter der magnetischen Flussdichte \vec{B} versteht man einen Vektor vom Betrag $B = \frac{F}{I \cdot \ell}$, dessen Richtung mit der Richtung der magnetischen Feldlinien übereinstimmt.

Gemäß ihrer Definition besitzt die **magnetische Flussdichte** die **Einheit** $\frac{N}{A \cdot m}$. Unter Verwendung der Beziehung $N = \frac{V \cdot C}{m}$ (\rightarrow 2|5) erhält man:

$$\frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}} = \frac{\text{V} \cdot \text{C}}{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{m}} = \frac{\text{V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m} \cdot \text{m}} = \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

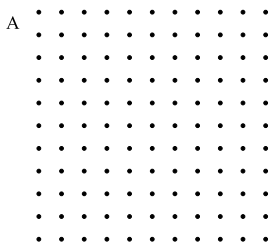
Die zusammengesetzte Benennung $\frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$ heißt auch **Tesla (Einheitenzeichen T)**. Ausgedrückt durch die SI-Basiseinheiten besitzt die magnetische Flussdichte die Einheit $\frac{\text{kg}}{\text{A} \cdot \text{s}^2}$.

- 8 Da man jeden hinreichend kleinen Bereich eines inhomogenen Magnetfelds genähert als homogenes Feld auffassen kann, lässt sich die Definition der magnetischen Flussdichte für homogene Magnetfelder theoretisch auf inhomogene sinngemäß übertragen. In inhomogenen Magnetfeldern lässt sich \vec{B} allerdings nicht mehr mit einer Stromwaage, sondern z. B. mit einer Hallsonde (\rightarrow 28|3) messen.

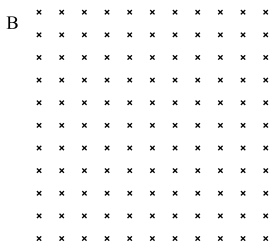
20 Spezielle Magnetfelder

Homogenes Magnetfeld

- 1 Ein **Magnetfeld** heißt **homogen**, wenn der Vektor \vec{B} der magnetischen Flussdichte in allen Feldpunkten die gleiche Richtung und den gleichen Betrag besitzt. Die Feldlinien eines homogenen Felds verlaufen parallel und äquidistant. Homogene Magnetfelder, deren Feldlinien senkrecht zur Zeichenebene verlaufen, werden entsprechend den Bildern A und B dargestellt.



Feldlinien verlaufen senkrecht zur Zeichenebene, **aus der Zeichenebene heraus**.



Feldlinien verlaufen senkrecht zur Zeichenebene, **in die Zeichenebene hinein**.



© **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