



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der Experimentalphysik

Lommel, Eugen von

Leipzig, 1908

137. Feldstärke. Coulombs Gesetz

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](#)

durch das den Raum zwischen den Polen erfüllende Medium hindurch von Punkt zu Punkt durch innere Spannungen übertragen würden, (Nahwirkungen), ähnlich wie etwa mechanische Kräfte in festen Körpern durch elastische Spannungen übermittelt werden. Diese Vorstellung beruht offenbar auf der Voraussetzung eines magnetisierbaren oder magnetisch polarisierbaren Zwischenmediums. Nun hat Faraday in der Tat, wie später dargelegt wird, den Nachweis geführt, daß alle Stoffe vom Magnet beeinflußt werden, also magnetisierbar sind. Gleichwohl darf man als den Vermittler der magnetischen Wirkungen nicht ohne weiteres die Materie selber ansehen. Denn ein einfacher Versuch lehrt, daß zwei Magnete auch im leeren Raume ihre Wirkungen ohne merkliche Veränderung aufeinander ausüben. Will man also diese Wirkungen als durch ein Zwischenmedium vermittelt ansehen, so muß man sich vorstellen, daß ein von der gewöhnlichen, wägbaren Materie verschiedenes, magnetisierbares Medium auch im leeren Raume vorhanden sei. Da man die Annahme eines den leeren Raum erfüllenden Mediums schon für die Übertragung der ja auch den leeren Raum durchdringenden Lichtschwingungen hat machen müssen, so liegt die Möglichkeit vor, dem Lichtäther auch die Vermittelung der magnetischen Kräfte zuzuschreiben. Nach dieser Auffassung ist also der Äther der Träger der Spannungen des magnetischen Feldes, und die Materie, die das Feld eventuell ausfüllt, ist nur insofern von Einfluß auf die Erscheinungen, als sie durch ihre magnetische Polarisierbarkeit die im leeren Raum stattfindenden Wirkungen abändert.

137. Feldstärke. Coulombs Gesetz. Zur vollständigen Charakterisierung eines Magnetfeldes ist es erforderlich, nicht bloß die Richtung, sondern auch die Größe der Kraft, die an jeder Stelle des Feldes auf einen Prüfpol ausgeübt wird, anzugeben. Man kann zu diesem Zweck die mechanische Kraft, die an dem Prüfpol angreift, mittels einer meßbaren Gegenkraft, etwa der Komponente eines Gewichts oder einer elastischen Kraft, kompensieren. So hat Coulomb (1785) die Kraft, die ein Pol im Felde eines anderen Poles erfährt, mit der Drehwage (S. 94) gemessen. Man kann sich aber auch hierbei, wie oben, der kleinen Magnetnadel bedienen, die sich in die Richtung der Kraft des Feldes einstellt. Wird eine solche Nadel aus dieser Richtung herausgedreht, so wirkt ein Drehungsmoment auf sie, das sie in die Richtung der Kraft zurückzudrehen sucht, und das der Kraft des Feldes, die auf die beiden gleichen Pole der Nadel nach entgegengesetzter Richtung wirkt, direkt proportional ist. Unter dem Einfluß dieses Drehungsmomentes führt die Nadel, wenn man sie frei läßt, Schwingungen um die Kraftrichtung aus nach denselben Gesetzen wie ein Pendel (24). Wie bei diesem verhalten sich die Schwingungsdauern umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus den wirksamen Kräften. Mißt man also die Schwingungsdauer derselben Nadel an verschiedenen Stellen des Feldes so verhalten sich die Kräfte daselbst umgekehrt wie die Quadrate der

Schwingungsdauern. Auch auf diesem Wege hat Coulomb untersucht, wie sich die Kraft in der Umgebung eines Poles mit dem Abstand vom Pole ändert. Er hat auf diese Weise das nach ihm benannte Gesetz gefunden, daß die Kraft, die ein Pol auf einen zweiten ausübt, dem Quadrat der Entfernung der beiden Pole umgekehrt proportional ist.

Die Kraft hängt aber nicht bloß von dem Feld, sondern auch von dem zur Prüfung des Feldes benutzten Pole ab. Bringt man verschiedene Magnetnadeln an dieselbe Stelle desselben magnetischen Feldes, so sind die Kräfte, die sie erfahren, verschieden, je nachdem die Nadeln schwach oder stark magnetisiert sind. Man sagt, ein Pol ist doppelt so stark wie ein anderer, wenn er an derselben Stelle desselben Feldes einen doppelt so großen Bewegungsantrieb erhält wie jener. Durch Messung der Kraft, die verschiedene Pole in demselben Felde erfahren, kann man also auch die „Polstärken“ miteinander vergleichen. Allgemein ist dann die Kraft, die ein magnetischer Pol in einem magnetischen Felde erfährt, proportional dem Produkt der Polstärke und der Feldstärke, und wenn das Feld von einem zweiten Pole herrührt, so ist es der Stärke dieses zweiten Poles direkt und dem Quadrat des Abstandes von dem Pole umgekehrt proportional, oder

$$F = C \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

wenn F die in Dynen (12) gemessene mechanische Kraft, r den in Zentimetern gemessenen Abstand der beiden Pole von den Stärken m_1 und m_2 bedeuten; C ist dabei eine Konstante, deren Wert offenbar von der Wahl der Einheit abhängt, in der man die Polstärken ausdrückt. Man ist übereingekommen, diese Einheit so zu wählen, daß die Konstante $C = 1$ wird; mit anderen Worten: als Einheit der Polstärke wird diejenige festgesetzt, welche auf einen gleich starken Pol in der Entfernung 1 (1 cm) die Kraft 1 (1 Dyne) ausübt (12).

Das Coulombsche Gesetz ist dann durch die Formel ausgedrückt:

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

wobei die Polstärke als positiv oder negativ gerechnet wird, je nachdem der Pol ein Nord- oder Südpol ist. Statt Polstärke sagt man auch „Magnetismusmenge“.

Auf Grund dieser Festsetzung für die Polstärke versteht man unter der Stärke eines magnetischen Feldes diejenige Kraft, welche das Feld auf den Einheitspol ausüben würde, und die Einheit der Feldstärke hat dasjenige Feld, das auf einen Einheitspol mit der Kraft von einer Dyne wirkt. Allgemein wirkt also auf einen Pol von der Stärke m die Kraft:

$$F = m \cdot H,$$

wenn H die Feldstärke ist. Andererseits hat das Feld eines Pols von der Stärke m im Abstand r die Feldstärke $\frac{m}{r^2}$. Das durch diese Bestimmungen festgesetzte System von Maßeinheiten magnetischer Größen bezeichnet man als das absolute magnetische Maßsystem (Gauß, 1832).

138. Niveauflächen, Kraftfluß und Kraftlinienzahl. Flächen, welche die das Magnetfeld durchziehenden Kraftlinien überall senkrecht durchschneiden, heißen Niveauflächen. Längs ihrer Oberfläche herrscht keine magnetische Kraft und kann daher ein Magnetpol ohne Arbeitsaufwand verschoben werden. Dagegen muß Arbeit geleistet werden, um einen Magnetpol der magnetischen Kraft entgegen von einer Niveaufläche auf eine andere zu schaffen.

Als einfaches Beispiel betrachten wir dasjenige Feld, für welches das Coulombsche Gesetz gültig ist, das Feld eines einzelnen Poles oder richtiger, da es ja keine einzelnen Pole gibt, das Feld in der Umgebung des einen Endes eines sehr langen Magnets. In diesem Felde sind die Kraftlinien gerade Linien, die vom Pole aus nach allen Richtungen ausgehen, und die Niveauflächen sind Kugelflächen, die den Pol zum Mittelpunkt haben.

Denkt man sich auf derjenigen Kugel, deren Radius = 1 cm ist, ein kleines Flächenelement von der Größe q und vom Mittelpunkt Radien nach allen Punkten der Umgrenzung dieses Elements gezogen, so bilden diese Radien einen Kegel, der aus der Niveaufläche vom Radius r ein Stück f von der Größe $q \cdot r^2$ herausschneidet. Nun ist im Abstand r die Feldstärke $H = m/r^2$, wenn m die Polstärke ist. Bildet man das Produkt $H \cdot f$, so ist dieses = $m \cdot q$; es ist unabhängig von dem Abstand r . Man nennt dieses Produkt den Kraftfluß, und man nennt jede, wie der beschriebene Kegel, aus Kraftlinien gebildete Röhre eine Kraftröhre. Das für den Kegel gefundene Gesetz gilt nun ganz allgemein für den Verlauf der Kraft in einem irgendwie gestalteten Magnetfelde. Der Kraftfluß, d. h. das Produkt von Feldstärke und Querschnitt der Röhre, ist längs einer Kraftröhre konstant. An Stellen kleinerer Feldstärke ist also der Querschnitt der Kraftröhren größer, an Stellen größerer Feldstärke ist der Querschnitt kleiner. Die Kraftlinien veranschaulichen uns demnach nicht bloß den Verlauf der Kraft nach ihrer Richtung, sondern auch nach ihrer Größe. Nach den Orten größerer Feldstärke verlaufen sie konvergent, nach denen kleinerer Feldstärke divergent; verlaufen sie parallel zueinander, so hat das Feld in allen Punkten die gleiche Stärke, es ist ein gleichartiges oder homogenes Magnetfeld.

Man kann den Querschnitt einer Kraftröhre so wählen, daß der Kraftfluß = 1 ist, also $f = 1/H$. Eine solche Röhre nennt man eine Einheitsröhre. Denkt man sich eine Niveaufläche in lauter Elemente von solcher Größe zerlegt, daß jedes Element den Querschnitt einer Einheitsröhre bildet, so ist die Zahl der Elemente in $1 \text{ cm}^2 = 1/f$ oder = H . Man kann also die Feldstärke an jeder Stelle eines Magnetfeldes durch die Zahl der Einheitsröhren darstellen, welche 1 cm^2 der Niveaufläche daselbst durchsetzen. Für den Begriff „Einheitsröhre“ aber ist es üblich geworden das Wort „Kraftlinie“ in einem spezifischen Sinne zu gebrauchen, indem man sich gewissermaßen jede Röhre durch eine Linie, etwa ihre Achse, ersetzt denkt. In diesem Sinne wird die Feldstärke ausgedrückt durch die Zahl der Kraftlinien pro Flächeneinheit, oder durch die Dichte der Kraftlinien. Ebenso kann man die Polstärke ausdrücken durch die Zahl der Einheitsröhren oder der Kraftlinien, die von dem Pole ausgehen. Da die Oberfläche der Kugel vom Radius $r = 4\pi r^2$ ist, so ist der gesamte Kraftfluß, der vom Pol mit der Polstärke m ausgeht, = $4\pi r^2 m/r^2 = 4\pi m$ Kraftlinien.

139. Magnetisches Moment. In einem homogenen Feld werden die Pole eines Magnetstabes von entgegengesetzt parallelen gleichen Kräften angegriffen, die ein Kräftepaar bilden, das nur eine drehende, nicht aber eine fortschreitende Bewegung des Magnetstabes bewirken