

Faradays elektro-tonische Zustände

Helmut Nieke

Zusammenfassung

Es wird experimentell gezeigt, daß sich die Feldlinien von stromdurchflossenen Spulen oder Dauermagneten nicht nur zwischen diesen im Abstoßungs- oder Anziehungsfall ändern, sondern auch an den äußeren Enden werden die Feldlinien verlagert, bei Anziehung nach innen und bei Abstoßung nach außen. Die Verschiebung an den äußeren Enden ist bei kurzen Spulen leicht nachzuweisen, die Verlagerungen sind abhängig vom Abstand der Magnete, bei langen Spulen oder Magneten ist dieser Effekt nur angedeutet. Mit dieser Verlagerung der Feldlinien als Kraftlinien könnte die Wirkung der Kraft begründet werden, allerdings weiß man nicht was das ist, 'ein Feld'.

Faraday's Electro-tonic States

Abstract

Experimentally is shown that the field-lines of current-carrying coils or permanent-magnets are not only changed between them in case of attraction or repulsion, but also field-lines are shifted at the external ends; in case of attraction to inside and in repulsion to outside. This shift to external edges is to prove with short coils in dependent on the interval of both magnets, with long coils or magnets this effect is only indicated. With this shift of field-lines as lines of force is possible to establish an effect of force; of course it is unknown what it is, 'the field'.

1. Faradays und Maxwells Formulierungen des elektro-tonischen Zustandes

Faraday [1] schrieb: „So lange ein Draht der volta-elektrischen oder magnetischen Induktion unterworfen ist, scheint er sich in einem besonderen Zustand zu befinden, denn er widersteht der Bildung eines elektrischen Stromes in ihm, was er in seinem gewöhnlichen Zustand nicht vermag; und wenn er jener Wirkung nicht mehr ausgesetzt wird, hat er die Kraft, einen Strom hervorzubringen, eine Kraft welche der Draht unter den gewöhnlichen Umständen nicht besitzt. Dieser elektrische Zustand der Materie ist bisher noch nicht beobachtet worden, allein er tritt wahrscheinlich auf einige, wenn nicht die meisten, der von elektrischen Strömen hervorgebrachten Erscheinungen einen sehr wichtigen Einfluß aus. Aus sogleich (71) ersichtlichen Gründen habe ich, nach Beratung mit mehreren gelehrten Freunden, gewagt, ihn als elektro-tonischen Zustand zu bezeichnen.“ Dieses Zitat wurde von Maxwell [2] wörtlich übernommen.

Faraday hat später den elektro-tonischen Zustand als unnötig nicht weiter benutzt, aber Maxwell [2] schrieb: „Es war daher mein Bestreben, die mathematischen Ideen in einer greifbaren Form darzustellen, als System von Linien oder Flächen nicht durch blosse Symbole, welche letztere weder zum Ausdruck der Faraday'schen Ideen sehr geeignet sind, noch sich der Natur der zu erklärenden Phänomene leicht anpassen.“ Maxwell [3] schrieb über Faradays elektro-tonischen Zustand: „Wenn sich ein Leiter in der Nachbarschaft eines elektrischen Stromes oder Magnetes in der Nähe des Leiters sich entweder bewegt oder seine Intensität verändert, so wirkt eine elektromotorische Kraft auf den Leiter, welche eine elektrische Spannung oder einen Strom erzeugt, je nachdem der Leiter offen oder geschlossen ist. Ein derartiger Strom wird nur durch Veränderung

der elektrischen und magnetischen Erscheinungen in der Nähe des Leiters erzeugt und wird niemals beobachtet, solange diese vollständig konstant sind. ... Betrachtungen dieser Art veranlaßten Professor Faraday bei der Entdeckung der Induktionsströme zur Annahme eines Zustandes, in welchen alle Körper durch das Vorhandensein von Magneten oder elektrischen Strömen versetzt werden. ... Diesen Zustand gab er den Namen des elektro-tonischen Zustandes, ...“

Maxwell [4] schrieb: „Wenn wir in der Nähe eines Magnetes Eisenfeilspäne auf ein Papier streuen, so wird jeder Feilspan durch Induction magnetisiert und die entgegengesetzten Pole je zweier sich folgender Feilspäne vereinigen sich, so dass diese Kurven bilden, welche in jedem Punkt die Richtung der Kraftlinien anzeigen. Das schöne Bild des Verlaufs der magnetischen Kraft, welches dieses Experiment bietet, erweckt in uns unwillkürlich die Vorstellung, dass die Kraftlinien etwas Reales seien und mehr anzeigen als nur die Resultierende zweier Kräfte, deren unmittelbare Ursache an einem ganz anderen Ort ihren Sitz hat, und welche im Felde gar nicht existieren, bis ein Magnet an diese Stelle des Feldes gebracht wird. Wir sind unbefriedigt von einer Erklärung, welche auf die Annahme einer gegen die magnetischen Pole gerichteten Anziehung oder Abstoßung gegründet ist, selbst wenn wir uns überzeugt haben, dass die Erscheinungen in vollständiger Übereinstimmung mit dieser Annahme sind, und wir können nicht umhin zu denken, dass an jeder Stelle, wo wir diese Kraftlinien finden, ein gewisser physikalischer Zustand oder eine Wirkung von genügender Energie existieren muss, um die daselbst stattfindenden Erscheinungen hervor zubringen.“

Es ist verständlich, daß für Maxwell die Deutung konstanter elektrischer und magnetischer Erscheinungen zusätzlich notwendig waren, da die Maxwellschen Gleichungen nur Erscheinungen bei veränderlichen Feldern berücksichtigten.

Faraday sprach von Kraftlinien, Maxwell auch von Induktionslinien, heute ist der Ausdruck Feldlinien gebräuchlich. Maxwell [5] machte noch besonders auf die Wirbelstruktur der elektrischen und magnetischen Erscheinungen aufmerksam. Er schrieb: „Ich habe eine grosse Schwierigkeit in der Vorstellung der Existenz von Wirbeln in einem Medium gefunden, welche sich unmittelbar Nebeneinander um parallele Achsen in derselben Richtung drehen.“ (Gemäß den Maxwellschen Gleichungen ist in jedem Punkt des veränderlichen Feldes der Rotor des Feldes ungleich null!) „... Die einzige Annahme, welche mir über die Schwierigkeit der Vorstellung einer Bewegung von dieser Art hinweghalf, ist die, dass die Wirbel durch eine Lage von Teilchen getrennt sind, welche sich alle in der entgegengesetzten Richtung wie die Wirbel um ihre Achse drehen, ...“ Da man heute für die Praxis die Kontinuumstheorie aufgegeben hat, so entfällt die Schwierigkeit dieser Friktionsteilchen. Maxwell [5] schrieb weiter: „Die Centrifugalkräfte dieser Wirbel bringen Druckkräfte hervor, welche so im Felde verteilt sind, dass ihr schliesslicher Effekt in einer Kraft besteht, welche in Grösse und Richtung mit der beobachteten identisch ist.“

Maxwell gab später die mechanische Deutung seiner Theorie auf. Die Molekularwirbel als Quelle des Magnetfeldes und die elektro-tonischen Zustände jedoch nicht. Den Stand der Wirbeltheorie vor Faraday und Maxwell beschrieb Hoppe [6].

Einstein [7] stellte fest, daß vorher dem Feld die Eigenschaft der Trägheit nicht zukam, sie blieb in Dunkel gehüllt. „...Die Erlösung aus dieser Sachlage kam durch Faradays und Maxwells Theorie des elektrischen Feldes bedeutet wohl die tiefgehendste Umwälzung, welche das System der Physik seit Newton erfahren hat. Wieder ist es ein Schritt in Richtung konstruktiver Spekulation, welcher die Distanz zwischen der Grundlage der Theorie und dem Sinnlich-Erlebbareren vergrößerte. Die Existenz des Feldes manifestiert sich nämlich nur dann, wenn elektrisch geladene Körper in dasselbe hineingebracht werden. Die Maxwellschen Differentialgleichungen verknüpfen die räumlichen und zeitlichen Differentialquotienten des elektrischen und magnetischen Feldes.“ Einstein [8] schrieb in einer Botschaft zum 100. Geburtstages von Lorentz: „Sitz des elektromagnetischen

Feldes ist der leere Raum. Es gibt in diesem nur einen elektrischen und einen magnetischen Feldvektor. Dieses Feld wird erzeugt durch atomistische elektrische Ladungen, auf welche das Feld ponderomotorisch zurückwirkt." Wie dies geschieht, ist auch heute noch in Dunkel gehüllt.

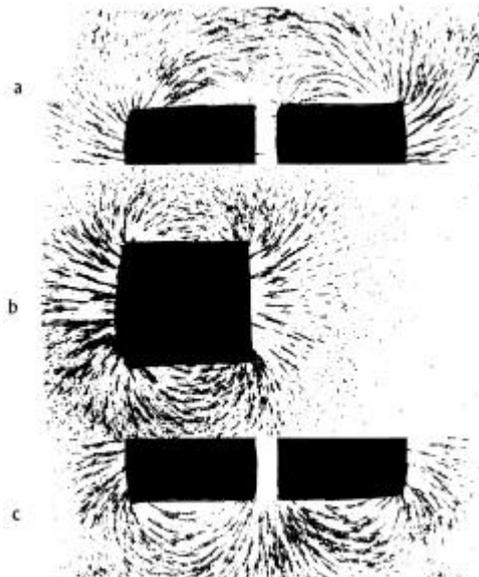


Abb. 1 Feldlinienbilder von Spulen im Abstand von 12,5 mm.

- a: Feldlinienbild im Fall der Anziehung (oberer Teil),
 b: Feldlinienbild einer Spule,
 c: Feldlinienbild im Fall der Abstoßung (unterer Teil)

Es wurden hier nur Experimente mit Kraftlinien im statischen Magnetfeld ausgeführt, von denen ein Beitrag zu Faradays elektro-tonischen Zustand zu erwarten waren. Quantitative Aussagen wurden noch nicht angestrebt. Hier wäre auch der Ausdruck magneto-tonischer Zustand möglich. Der Begriff

des elektro-tonischen Zustandes nach Faraday ist aber viel weiter reichend.

2. Experimente mit stromdurchflossenen Spulen

Es wurde ein Plastrohr \varnothing 25 mm und 25 mm lang zweilagig mit Kupferlackdraht \varnothing 0,5 mm bewickelt. In Abb. 1 a stand mit entgegengerichteter Polarität im Abstand von 12,5 mm eine zweite Spule, sie zeigen also den Fall der Anziehung. Abb. 1 b zeigt das Feldlinienbild einer Spule. Die Feldlinien als Wirbelfeld werden hier offensichtlich. Bei der Abb. 1 c sind die gleichen Pole einander zugewandt, also es ist den Fall der Abstoßung. Betrieben wurde alles mit Gleichstrom 1 A. Es sind dies die bekannten Feldlinienbilder mit Wirbelstruktur wie sie jedes Lehrbuch zeigt, bei Umpolung einer Spule ändert sich das Feldlinienbild im Gebiet zwischen den Spulen. Aber diese Bilder deuten an, daß die Feldlinien in a und c auch an den äußeren Enden der Spulen geringfügig verlagert sind. Da allgemein ein möglichst homogenes Feld demonstriert werden sollte, wurden im Verhältnis zum Durchmesser lange Spulen verwendet, wo dieser Effekt fast unmerklich wird. Da dieser Effekt bei geringer Länge deutlicher werden sollte, wurden im nächsten Abschnitt kürzere Spulen verwendet.

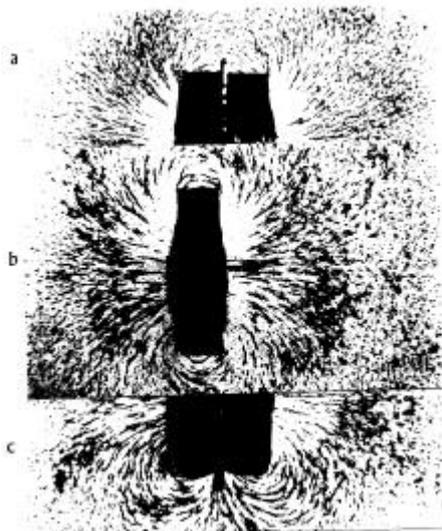


Abb. 2. Feldlinienbilder von Ringströmen mit einem Abstand von 2 mm.

- a: Feldlinienbild im Fall der Anziehung (oberer Teil),
 b: Feldlinienbild eines Ringbündels,
 c: Feldlinienbild im Fall der Abstoßung (unterer Teil).

Die Variation der

Stromstärke (hier 1 und 4 A) änderte die Richtung der Feilspäne nicht merklich, nur wurden sie ausgeprägter, da sich die Feilspäne stärker zusammenklumpen.

3. Experimente mit stromdurchflossenen Ringbündeln

Hier wurden Drahtbündel benutzt, wo 50 Windungen von Kupferlackdraht \varnothing 0,6 mm mit einem mittleren Durchmesser von 27,5 mm gewickelt waren. Abb. 2 a zeigt das Feldlinienbild bei 1 mm Abstand zweier Bündel im Fall der Anziehung. Abb. 2 b gibt das Feldlinienbild eines Drahtbündels bei einem Strom von 1 A wieder. Die Abb. 2 c zeigt die gleiche Anordnung bei Abstoßung. Jetzt ist offensichtlich, daß nicht nur zwischen den beiden Ringbündeln die Feldlinien verändert sind, sondern auch an den beiden äußeren Enden. Im Fall der Anziehung sind die Feldlinien beider Bündel nicht nur vereint, sondern auch nach innen verschoben. Im Fall der Abstoßung sind die Feldlinien nicht nur getrennt, sondern auch nach außen verschoben. Auch gegenüber dem Einzelbündel in Abb. 2 b sind die Feldlinien verschoben.

Die Abb. 3 zeigt einige Feldlinien der drei Fälle übereinander gezeichnet bei einem Abstand der beiden Ringbündel von 5 mm.

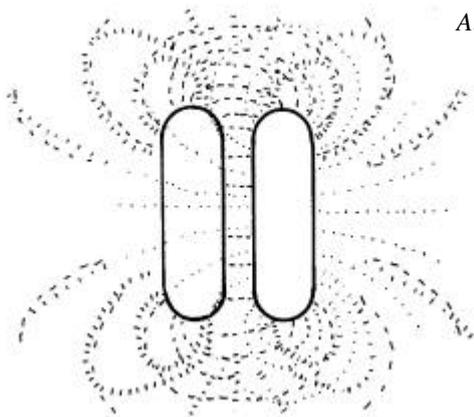


Abb. 3. Ausgewählte Feldlinien von Ringbündeln im Abstand von 5 mm.

--- Fall der Anziehung,
 ... nur eines Ringbündels,
 | | | Fall der Abstoßung.

4. Experimente mit Dauermagneten

Die benutzten Dauermagneten hatten einen Durchmesser von 15 mm mit einer 5 mm Bohrung und

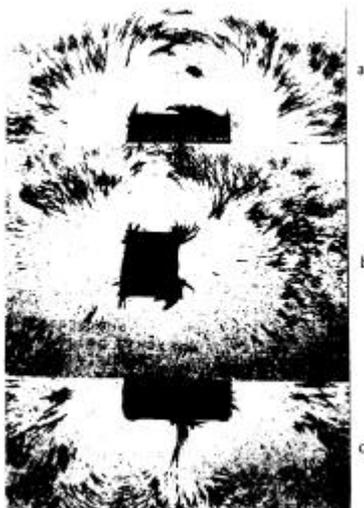


Abb. 4. Feldlinienbilder von Dauermagneten mit dem Abstand von 2 mm.

a: Fall der Anziehung (oberer Teil),
 b: Feldlinienbild eines Magneten,
 c: Fall der Abstoßung (unterer Teil).

einer Länge von 12 mm. Abb. 4 a zeigt die Verhältnisse bei 2 mm Abstand zweier Magnete und das Feldlinienbild im Fall der Anziehung. Abb. 4 b demonstriert das Feldlinienbild eines Einzelmagneten. In Abb. 4 c sind die Magnete mit gleichen Polen gegeneinander angeordnet. Auch hier ist der gesuchte Effekt zu sehen: die Feldlinien ändern ihre Richtung nicht nur zwischen den Magneten, sondern auch an den äußeren Enden, die gesamten Feldlinien sind also bei Anziehung nach innen, bei Abstoßung nach außen verschoben.

5. Diskussion

Diese Experimente zeigen, daß die gesamten Feldlinien sich bei einer Umpolung verlagern und nicht nur zwischen den beiden Spulen oder Magneten, sondern auch an den äußeren Enden. Dabei ist zu bedenken, daß die Feldlinien sich aus der Summation der Kreisströme bzw. der Elementarmagnete ergeben, daher ist dieser Effekt geringer bei langen Spulen oder Magneten. Wie schon oben bemerkt, hängt die Richtung der Feldlinien nicht merklich von der Stromstärke oder der Magnetisierung ab, wohl aber vom Abstand der Magnete auch an den äußeren Enden. Oder wenn man von der Idealisierung ausgeht, daß die Feldlinien von einem Pol ausgehen und zum anderen laufen, so läuft im Fall der Abstoßung das Feld hinter den äußeren Polen zurück. Im Fall der Anziehung läuft das Feld zu einem Gebiet vor den inneren Polen.

Aus dieser Erscheinung der Verlagerung der Feldlinien, oder der von ihnen gebildeten Schläuche, etwa ihres Schwerpunktes (oder entsprechend der Abstände modifizierten Schwerpunkte) als Kraftlinien entsprechend der Abstände zweier Spulen oder Magnete, könnte man eine Kraftwirkung begründen, wenn noch die Feldstärke berücksichtigt wird. Maxwell [5] vermutete Druckwirkung durch die Zentrifugalkraft der Wirbel des Äthers.

Daß sich im Fall normalleitender Spulen die magnetischen Momente der Elektronen ausrichten, ist bei den Stoßprozessen, denen sie unterworfen sind, nicht anzunehmen, es bilden sich also nur magnetische Blätter. Anders bei zwei supraleitenden Spulen, hier ist eine Ausrichtung der magnetischen Momente der kreisenden Elektronen denkbar, es bildet sich nach Nieke [9] je ein magnetisches Moment-Blatt.

Hoppe [6] berichtete, daß Gilbert den Magnetismus als eingegebene Wirbelkraft betrachtete und nur die Anziehung als Streben nach Vereinigung annahm, die Abstoßung diskutierte er als Drehung. Damit hatte die Gravitation keine Sonderstellung. Sicher hat dies Faraday aufgegeben, um die Analogie zur elektrischen Ladung zu wahren.

Die Beschreibung der obigen Experimente als Verlagerung der Kraftlinien gibt die Möglichkeit einer Beschreibung, eine wirkliche Begründung scheidet daran, daß wir nicht wissen, was ‚ein Feld‘ ist. Die obigen Experimente geben dazu keinen zusätzlich Aufschluß. Nach Faraday [1] ist das Feld ein Zustand der Spannung, nach Maxwell [4] ein schönes Bild, nach Einstein [7] eine konstruktive Spekulation; wenn paarweise abgelöst: nach Hertz elektromagnetische Strahlung, die nach Nieke [10] in selbstwechselwirkende Photonen zerfällt,

Literatur

- [1] M. Faraday, Philosophical Transactions **173** (1832) 91, Art. 60;
Pogg. Ann. Phys. u. Chem. XXV (1832) 91, Zitat S. 110;
Experimental-Untersuchungen über Elektrizität. Ostwald's Klassiker Nr. 31, Engelmann,
Leipzig 1896, Art. 60 S. 19.
- [2] J. C. Maxwell, Transact. Cambr. Phil. Soc. **10** (1355/6) 27;
Scientific Papers, Vol 1, quotation p. 187;
Über Faradays Kraftlinien. Ostwald's Klassiker Nr.69, Engelmann, Leipzig 1912. Zitat
S. 44.
- [3] wie [2] Scientific Papers p. 137-8; - Nr. 69, S. 46.
- [4] J. C. Maxwell, Phil. Mag, Ser. 4, **21**, (1861) 161;
Scientific Papers, Vol. 1. quotation p. 451-452;
Über physikalische Kraftlinien. Ostwald's Klassiker Nr. 102, Engelmann, Leipzig 1898,
Zitat S. 4.
- [5] Wie [4] Scientific Papers quotation p. 468 and 489; Nr. 102, S. 25 und 54
- [6] M. L. Hoppe, Die Abhängigkeit der Wirbeltheorie des Descartes von W. Hilberts Lehre vom Magnetismus. Diss. Halle 1914.
- [7] A. Einstein, The Journal of the Franklin Institute **221** Nr. 3 (1936);
Aus meinen späten Jahren. D. Verl.-Anst. Stuttgart 1979, S. 82-84;
Out of my Later Years. Phil. Lit. New York 1950.
- [8] Wie [7] Botschaft Gedenkfeier 100. Geburtstag H. A. Lorentz (1953);
Aus meinen späten Jahren S. 228.
- [9] H. Nieke, Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 17.