



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Die Ingenieur-Mathematik in elementarer Behandlung**

Das Potential und seine Anwendung auf die Theorien der Gravitation, des Magnetismus, der Elektrizität, der Wärme und der Hydrodynamik

**Holzmüller, Gustav**

**Leipzig, 1898**

246) Para- und Diamagnetismus

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-77934](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-77934)

des lemniskatischen Zweipunktproblems, welches auf dieselben Orthogonalscharen führt, wie letzteres.

246) Para- und Diamagnetismus. Das von Faraday entdeckte Verhalten para- und diamagnetischer Körper zwischen zwei Polen wird in den Lehrbüchern dargestellt und hier als bekannt vorausgesetzt. Da ein und derselbe Körper bald para-, bald diamagnetisches Verhalten zeigt, je nach dem Mittel, in dem er sich befindet, so leuchtet ein, daß ähnlich, wie bei der Elektrizität, das Mittel wesentlich am Vorgange beteiligt ist. Der Vorgang ist analog dem beim Aufsteigen oder Niedersinken desselben Körpers in Flüssigkeiten verschiedenen spezifischen Gewichtes. (Magnetischer Auftrieb.)

a) Paramagnetismus. Als Beispiel diene weiches Eisen. Bringt man solches in die Nähe eines kräftigen Nordpols, so zeigen die Kraftlinienversuche, daß es die Kraftlinien an sich heran und zum Teil in sich hineinzieht, als ob es ein Südpol wäre. Es passieren demnach mehr Kraftlinien durch das Eisen, als durch das gleiche Volumen Luft bzw. den gleichen luftleeren Raum. Der Kraftfluß wird begünstigt. Man kann sich den Vorgang mechanisch versinnbildlichen. Der Punkt  $S$  zieht die Kraftlinien  $NA$  und  $NA_1$  gewissermaßen an, er wird ebenso stark von ihnen angezogen. Die Anziehungen geben eine nach  $N$  gerichtete Resultante. Ebenso ist es mit je zwei anderen symmetrisch liegenden Kraftlinien. Eine ponderomotorische Anziehung findet nun wirklich statt, natürlich nicht durch geometrische Gebilde, sondern durch die Einwirkung der polarisierten Molekülreihen veranlaßt. Das Eisen wird nach den Stellen hingezogen, wo die ursprünglich geradlinigen Kraftlinien dichter beisammen liegen.

Denkt man sich die Pole punktförmig, so erhält man für die Kraftlinien Gestalten, wie sie in Fig. 76 und 77 veranschaulicht sind. In der Wirklichkeit nehmen sie etwa die in Fig. 178 skizzierte Form an. Normal gegen sie liegend sind die Niveauflächen des Potentials zu denken.

Eine hydrodynamische Analogie würde folgende sein. Man denke sich Wasser von  $N$  aus nach allen Richtungen strömend. An Stelle

Fig. 177.

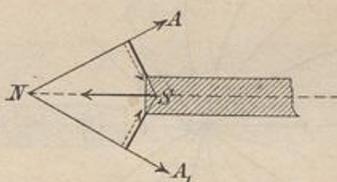
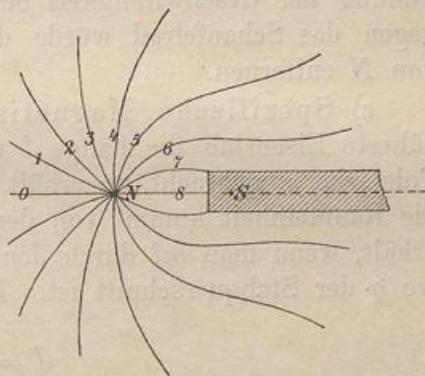


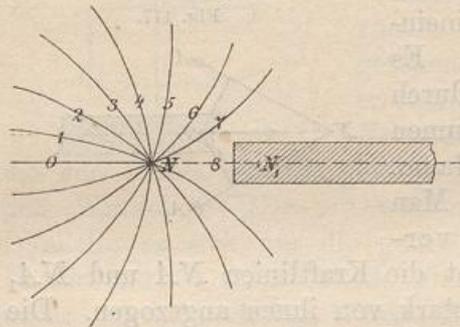
Fig. 178.



des Eisens denke man sich einen Kanal, in dem die Strömung z. B. durch ein Schaufelrad mechanisch unterstützt wird. Dadurch wird mehr Wasser in den Kanal eingesaugt, als ohne diese Unterstützung, die Stromlinien also werden so abgelenkt, daß sie sich nach *S* hin zusammendrängen, wodurch zugleich die Geschwindigkeit verstärkt wird. Ist nun das Rad an den Kanalwänden befestigt, so will die Reaktion diese Wände in entgegengesetzter Richtung vorwärts treiben, wie es beim Dampfschiffe geschieht.

b) Diamagnetismus. Man nehme als Beispiel Wismut. Dieses stößt in der Luft, ebenso im luftleeren Raume, die Kraftlinien von sich ab und wird ebenso von den Kraftlinien abgestoßen. Deutet man die Pfeile der Fig. 177 in entsprechender Weise um, so läßt sich der Vorgang mechanisch veranschaulichen. Das Wismut läßt also

Fig. 179.



weniger Kraftlinien passieren, als die Luft oder der leere Raum. Denkt man sich die Pole als Punkte, so würden Figuren wie 72 und 75 maßgebend werden. In der Wirklichkeit nehmen die Kraftlinien Gestalten an, wie sie in Fig 179 skizziert sind. Die hydrodynamische Veranschaulichung geschieht durch ein Schaufelrad, welches der Strömung entgegenwirkt, so daß mehr Wasser außerhalb des Kanals strömen wird. Die Stromröhren werden also durch die Wirkung des Wismuts bei diesem erweitert, was einer Verlangsamung der Geschwindigkeit beim Wasser entspricht. Die Reaktion gegen das Schaufelrad würde die beweglich gedachten Kanalwände von *N* entfernen.

c) Spezifische Magnetisierungsintensität. Hat der genäherte Eisenstab die Länge *l* und wird er durch Induktion auf die Polstärke *m* gebracht, so erhält er das magnetische Moment *ml*. Auf die Raumeinheit kommt von dem Momentwerte ein Betrag, den man erhält, wenn man *ml* durch den körperlichen Inhalt  $K = ql$  dividiert, wo *q* der Stabquerschnitt ist. Diesen Betrag

$$1) \quad J = \frac{ml}{ql} = \frac{m}{q}$$

bezeichnet man als die spezifische Magnetisierungsintensität.

d) Aufnahmefähigkeit oder Suszeptibilität. Die Magnetisierungsintensität *J* ist, wie der Versuch lehrt, proportional der Feld-

stärke. Zugleich ist sie abhängig vom Material des Stabes. Man kann demnach auch setzen

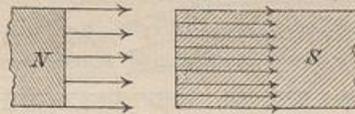
$$2) \quad J = \kappa F.$$

Hier bedeutet  $F$  die Feldstärke und  $\kappa$  eine jedem Material eigentümliche Konstante. Diese Konstante ist die der Aufnahmefähigkeit oder Suszeptibilität des Materials.

e) Durchlaßfähigkeit oder Permeabilität. Der induzierte Stab läßt mehr bzw. weniger Kraftlinien durch, als der luftleere Raum. Dividiert man die erste Anzahl durch die zweite, so giebt der Bruch an, wieviel mal so groß die Durchlaßfähigkeit des Materials ist, als die des leeren Raumes. Diese Zahl  $\mu$  ist die Konstante der Durchlaßfähigkeit oder Permeabilität des Materials.

f) Zusammenhang zwischen  $\kappa$  und  $\mu$ . Um den Zusammenhang zwischen Suszeptibilität und Permeabilität aufzuklären denke man sich das ursprüngliche Feld homogen und von der Feldstärke  $F$ , so daß durch den Querschnitt  $q$  die Kraftlinien in der Anzahl  $qF$  passieren, durch die Flächeneinheit selbst in der Anzahl  $F$ . Auch das Feld im induzierten Material,

Fig. 180.



z. B. im Eisen, betrachte man als homogen. Nach 1) ist die Polstärke  $m = qJ$ , die Zahl der Kraftlinien, die vom Pole ausgehen, ist also (nach Nr. 57)  $4\pi m = 4\pi Jq$ . Diese sind im homogenen Felde sämtlich als parallel anzunehmen. Mit diesen vom induzierten Magnetismus allein herrührenden Kraftlinien vereinigen sich (durch Superposition) die  $qF$  Kraftlinien des ursprünglichen Feldes, im ganzen handelt es sich um die Anzahl  $qF + 4\pi Jq$ , so daß durch die Flächeneinheit

$$N = 4\pi J + F$$

Kraftlinien gehen. Dafür kann man nach 2) schreiben

$$N = 4\pi\kappa F + F.$$

Die Konstante der Permeabilität wird also

$$\mu = \frac{N}{F} = \frac{4\pi\kappa F + F}{F} = 4\pi\kappa + 1.$$

Der Zusammenhang zwischen der Suszeptibilitäts- und der Permeabilitätskonstante wird also gegeben durch die Gleichung

$$3) \quad \mu = 4\pi\kappa + 1 \quad \text{oder} \quad 3^*) \quad \kappa = \frac{\mu - 1}{4\pi}.$$

Angenommen z. B. für Eisen von gewisser Weichheit sei  $\kappa = 200$ , so würde sich ergeben

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 200 + 1 = 2512.$$

In der That kann für weiches Eisen  $\mu$  Werthe zwischen 2000 und 3000 annehmen. Bei

Fig. 181.

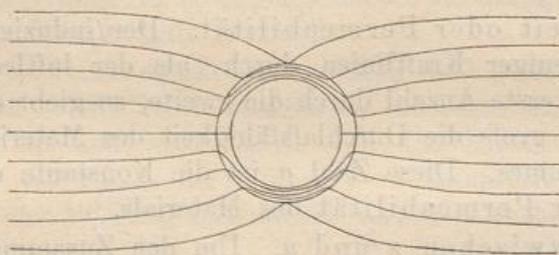


Fig. 182.

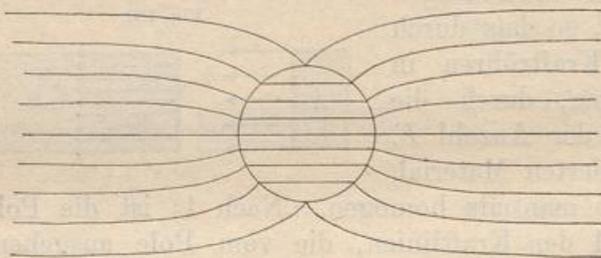
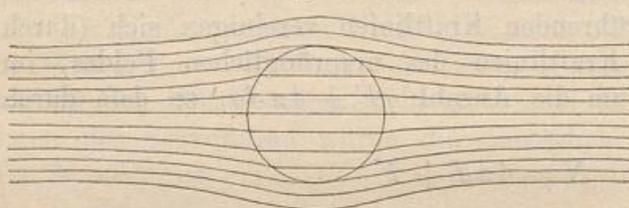


Fig. 183.



dieser außerordentlichen Durchlafsähigkeit erklärt sich die Schirmwirkung des Eisens ganz von selbst. Man versteht, wie nach Fig. 181 bei einem Hohlzylinder von weichem Eisen von den äußeren Kraftlinien kaum eine durch den inneren Hohlraum geht.

Bei massiven Cylindern würden sich für Para- und Diamagnetismus Figuren wie Nr. 182 und 183 ergeben, die sich selbst erläutern. Zu beiden vergleiche man Fig. 136.

Für paramagnetische Körper ist  $\mu > 1$  also  $\kappa$  positiv, für diamagnetische ist  $\mu < 1$

also  $\kappa$  negativ, für den leeren Raum ist  $\mu = 1$ , also  $\kappa = 0$ .

Über die praktischen Anwendungen der Schirmwirkung vergleiche man die Lehrbücher.