

23 Messung der magnetischen Ladung – oder der magnetischen Feldstärke

Thema

Die Elektrodynamik enthält Analogien, die sie übersichtlich machen und die das Lernen erleichtern.

Die beliebteste ist die der Tabelle 1, linke Seite. Es entsprechen sich elektrische Feldstärke und magnetische Flussdichte, elektrisches Potenzial und magnetisches Vektorpotenzial, und es entsprechen sich die Quellen des elektrischen und des magnetischen Feldes, nämlich die elektrische Ladung und die elektrische Stromstärke. Außerdem entsprechen sich Beziehungen in denen diese Größen vorkommen, etwa das Coulombsche und das Biot-Savart-Gesetz. Der Analogie liegt die Tatsache zu Grunde, dass die sich entsprechenden Größen die Komponenten von Vierervektoren bilden.

Physikalische Größen	Physikalische Größen
$\vec{E} \Leftrightarrow \vec{B}$	$\vec{E} \Leftrightarrow \vec{H}$
$\varphi \Leftrightarrow \vec{A}$	$\vec{D} \Leftrightarrow \vec{B}$
$\rho \Leftrightarrow \vec{j}$	$\vec{j} \Leftrightarrow 0$
	$\rho \Leftrightarrow 0$
	$Q_e \Leftrightarrow Q_m$
Kräfte	Kräfte
$\vec{F} = Q \cdot \vec{E} \Leftrightarrow \vec{F} = I \cdot (\vec{s} \times \vec{B})$	$\vec{F} = Q_e \cdot \vec{E} \Leftrightarrow \vec{F} = Q_m \cdot \vec{H}$
$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \Leftrightarrow F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 \cdot I_2}{r}$	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_{e1} \cdot Q_{e2}}{r^2} \Leftrightarrow F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{Q_{m1} \cdot Q_{m2}}{r^2}$
Energiedichte	Energiedichte
$\rho_E = \frac{\epsilon_0}{2} \vec{E} ^2 \Leftrightarrow \rho_E = \frac{1}{2\mu_0} \vec{B} ^2$	$\rho_E = \frac{\epsilon_0}{2} \vec{E} ^2 \Leftrightarrow \rho_E = \frac{\mu_0}{2} \vec{H} ^2$
Energiestromdichte	Energiestromdichte
$\vec{j}_E = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$	$\vec{j}_E = \vec{E} \times \vec{H}$

Tabelle 1. Zwei verschiedene Analogien innerhalb der Elektrodynamik

Diese Analogie ist in der Lehre dominant. Dabei kommt eine andere Analogie etwas unter die Räder. Bei ihr entspricht der elektrischen Feldstärke nicht die magnetische Flussdichte, sondern die magnetische Feldstärke, Tabelle 1, rechte Seite. Diese zweite Analogie ist vorteilhaft bei der Behandlung der Magnetostatik. Dann lässt sich nämlich jedes Problem der Magnetostatik abbilden auf ein mathematisch identisches Problem der Elektrostatik. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Studenten lernen, dass die magnetische Feldstärke im Innern von weichmagnetischen Materialien gleich null ist, so wie die elektrische Feldstärke in elektrisch leitenden Materialien verschwindet.

Abbildung 1a zeigt das elektrische Feld einer einfachen Ladungsverteilung: entgegengesetzt gleiche Ladungen sitzen auf zwei parallelen Platten. Das magnetische Analogon ist der Stabmagnet. Abbildung 1b zeigt die entsprechenden **H**-Feldlinien. Ihr Verlauf ist der gleiche wie der der **E**-Feldlinien in Abb. 1a.

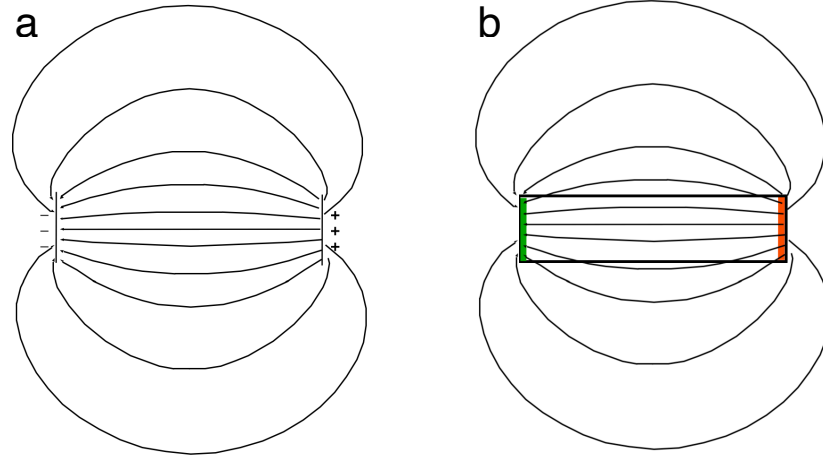


Abb. 1. (a) Zwei gleichmäßig elektrisch geladene Platten und die zugehörigen **E**-Feldlinien. (b) Stabmagnet mit **H**-Feldlinien

Der Verlauf der **B**-Feldlinien ist anders, Abb. 2. Er suggeriert, man habe es in der Magnetostatik mit ganz anderen Erscheinungen zu tun als in der Elektrostatik.

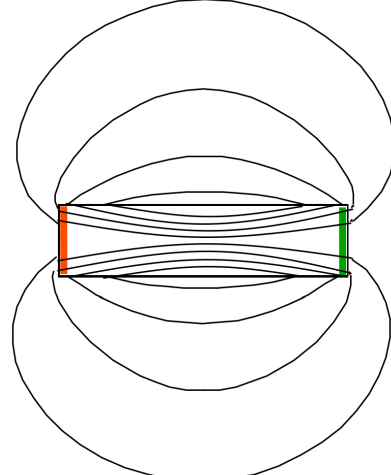


Abb. 2. **B**-Feldlinien des Stabmagneten.

Wenn man mit der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Ladung operiert, stellt sich die Frage, wie man beide Größen misst.

Wir orientieren uns daran, wie man mit den entsprechenden elektrischen Größen umgeht.

Gleichung (1) sagt uns, wie man die elektrische Feldstärke bestimmen kann, wenn man den Wert der Probeladung kennt, indem man die Kraft misst. Oder sie sagt uns wie man den Wert der Ladung des Probekörpers bestimmen kann, wenn man die elektrische Feldstärke kennt.

$$\vec{F} = Q_e \cdot \vec{E} \tag{1}$$

Das Verfahren ist leicht zu verstehen, das entsprechende Experiment ist allerdings schwer zu realisieren, weil die Kräfte sehr klein sind.

Entsprechend kann man entweder die magnetische Ladung eines „Probepols“, oder, wenn man die Polladung kennt, die magnetische Feldstärke mit Hilfe von Gleichung (2) messen.

$$\vec{F} = Q_m \cdot \vec{H} \tag{2}$$

Im Gegensatz zu seinem elektrischen Analogon ist der Effekt deutlich, und man braucht nur Material, das in jeder Schulsammlung zu finden ist.

Das Gerät

Ein normaler Federkraftmesser aus der Sammlung, Stativ-Material, eine Spule, ein Stabmagnet und ein Netzgerät.

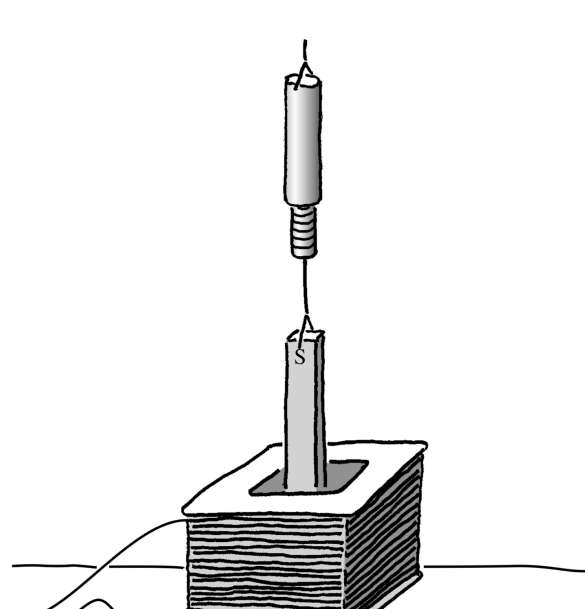


Abb. 3. Einer der Pole (hier der Nordpol, d.h. der positive Magnetpol) befindet sich im Innern der Spule, wo die magnetische Feldstärke gemessen werden soll. Der zweite Pol ist weit von der Spule entfernt, sodass man seinen Einfluss auf den Ausschlag des Federkraftmessers vernachlässigen kann.

Der Versuch

Messung der magnetischen Ladung:

Man kennt die Feldstärke, die man etwa mit der Hall-Sonde gemessen hat. Mit Hilfe von Gleichung (2) erhält man Q_m .

Messung der magnetischen Feldstärke:

Man hat in der Sammlung einen Stabmagneten, dessen Polladungen man vorher mit der gerade beschriebenen Methode bestimmt hatte. Über die Kraftmessung und mit Hilfe von Gleichung (2) bestimmt man dann die gesuchte Feldstärke im Innern der Spule.

(Ich habe die magnetische Ladung der Pole auf einem Magneten unserer Sammlung notiert. Man sollte diesen Magneten schonen, denn es passiert bekanntlich gelegentlich, dass den Magneten der Schulsammlung Gewalt angetan wird.)

Was man daraus lernen kann

Man bekommt ein unverkrampftes Verhältnis zur Magnetostatik.