

Elektromagneten

Gegenstand:

Die Funktionsweise von Elektromagneten wird etwa so erklärt: Schiebt man in eine Spule einen Weicheisenkern hinein, so wird das Weicheisen magnetisiert, es verwandelt sich selbst in einen Magneten. Das Feld dieses Magneten kommt zu dem der Spule hinzu, sodass insgesamt ein stärkeres Feld resultiert als ohne Eisenkern.

Mängel:

Die Erklärung legt die Erwartung nahe, dass die Magnetisierung des Eisens um so größer ist, je größer die Permeabilitätszahl μ ist. Man würde also erwarten, dass der Elektromagnet ein um so stärkeres Feld hat, je größer μ ist. Dies ist nun aber nicht der Fall. Damit eine Spule zum Elektromagneten wird, reicht es, dass μ groß gegen 1 ist. Es macht praktisch keinen Unterschied, ob μ gleich 1000, 10 000 oder gar 100 000 ist.

Herkunft:

Der Elektromagnet ist leicht und direkt zu erklären mit Hilfe der ersten maxwellschen Gleichung, die eine Aussage über die magnetische Feldstärke H macht. Nun hat es sich eingebürgert, magnetische Felder durchgehend mit der Vektorgröße B zu beschreiben. Diese Beschränkung auf B wird oft begründet mit Argumenten, die in der Physik nichts zu suchen haben: B sei das eigentliche oder fundamentale Feld, H dagegen eine abgeleitete oder Hilfsgröße. Hier wird ein Fehler gemacht, den wir unseren Schülern sonst nicht nachsehen: Man verwechselt physikalische Größe und physikalisches System. Der Satz "An der Feder hängt eine Masse" ist nicht richtig, denn eine physikalische Größe kann gar nicht an einer Feder hängen. Ebenso kann weder B noch H das Feld sein, denn B und H sind physikalische Größen, das magnetische Feld dagegen ist ein physikalisches System.

Die Beschreibung der Wirkung des Eisenkerns ist nun mit Hilfe der Größe H viel einfacher als mit B . Zum einen lässt sich mit H sehr leicht definieren, was man unter einem weichmagnetischen Stoff versteht: Im Innern eines solchen Stoffes ist $H = 0$ A/m, egal wie das Feld außen ist /1/. (Diese Eigenschaft geht verloren, wenn das Material in die Sättigung gerät. Es ist dann nicht mehr weichmagnetisch.) Zum anderen kann man mit H eine Größe formulieren, die beim Hineinschieben des Eisenkerns ihren Wert nicht ändert, eine Invariante also: das Wegintegral über einen Weg, der die stromführenden Drähte gerade einmal umschlingt. Wenn nun auf einem Teil des Integrationsweges, nämlich im Innern des Eisenkerns, die Feldstärke H zu null gemacht wird, so muss der Beitrag zum Integral auf dem restlichen Weg, also im Außenbereich der Spule, entsprechend zunehmen.

Wenn man die Erklärung ohne die magnetische Feldstärke, d. h. nur mit der Flussdichte versucht, hat man es zum einen schwerer, die Eigenschaften des weichmagnetischen Materials zu beschreiben, und zum anderen fehlt einem die Invariante beim Vorgang des Hineinschiebens des Eisenkerns.

Entsorgung:

Zur Erklärung von Phänomenen, die mit der Magnetisierung von Materie zu tun haben, benutzt man die magnetische Feldstärke H . Nimmt man H als Maß dafür, was man unter viel oder wenig Feld verstehen will, so kann man die Tatsache, dass im Innern von weichmagnetischen Stoffen $H = 0$ ist, so formulieren: Weichmagnetische Stoffe lassen kein magnetisches Feld in sich eindringen, – genauso wie elektrische Leiter das elektrische Feld nicht in sich hineinlassen. So kann man nun auch den Elektromagneten leicht verstehen: Schiebt man einen Weicheisenkern in eine Spule, während man die elektrische Stromstärke konstant hält, so drängt der Eisenkern das magnetische Feld aus dem Innern der Spule heraus.

/1/ Herrmann, F.: Atlanten der Physik (4), *Die Hysteresiskurve*