

# 149 Magnetischer Monopol und magnetische Ladung

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Tatsache, dass keine magnetische Monopolteilchen existieren, bedeutet nicht, dass es die physikalische Größe „magnetische Ladung“ nicht gibt. Physikalische Größen führt man ein, wenn es zweckmäßig ist. Die Größe magnetische Ladung braucht man etwa dazu, die magnetische Neutralität eines Magneten quantitativ zu formulieren.

## Gegenstand

Es gibt keine Teilchen, die magnetische Ladung tragen. Man sagt auch, es gebe keine magnetischen Monopole. Daraus folgt, so wird manchmal argumentiert, dass es auch die Größe „magnetische Ladung“ oder „magnetische Polstärke“ nicht gibt.

## Mängel

Zunächst zwei Begriffsklärungen:

*Die magnetische Ladungsdichte:*

Sie ist definiert über

$$\mu_0 \operatorname{div} H = \rho_m \quad (1)$$

Sie beschreibt also die Quellen des  $H$ -Feldes. Wegen

$$\mu_0 \operatorname{div} H = -\operatorname{div} M \quad (2)$$

beschreibt sie ebenso die Senken der Magnetisierung. Das Raumintegral darüber nennt man „magnetische Polstärke“, magnetische Ladung oder, wie bei Maxwell, Menge an Magnetismus.

*Der magnetische Monopol:*

Der Gebrauch des Wortes ist nicht einheitlich.

Wenn man sagt, es gebe keine magnetischen Monopole, so meint man mit der Bezeichnung ein Teilchen, also ein real existierendes Objekt, das magnetische Ladung trägt (oder dessen Polstärke von null verschieden ist). Solche „Monopole“ wurden bisher nicht nachgewiesen.

Das Wort wird aber auch gebraucht, als Name für die Quelle eines magnetischen „Coulomb-Feldes“, also eines  $H$ -Feldes, dessen Feldstärke mit  $1/r^2$  abklingt. Ein solches Feld gibt es in beliebig guter Näherung. Es ist das Feld in der Umgebung eines Pols eines dünnen, langen Magneten.

Wegen dieser Zweideutigkeit des Wortes, wollen wir im Folgenden magnetisch geladene Teilchen nicht einfach „Monopole“ nennen, sondern „Monopolteilchen“.

Die Aussage, es gebe keine magnetische Ladung wird begründet mit der Feststellung, dass es keine Monopolteilchen gibt. Nun kann man aber nur dann erklären, was ein solches Teilchen ist, wenn man vorher die Größe magnetische Ladung eingeführt hat, etwa über Gleichung (1).

Ob es eine physikalische Größe gibt oder nicht, kann man nie aus einer Beobachtung der Natur folgern, denn Größen werden vom Menschen konstruiert [1]. Man führt eine physikalische Größe ein, wenn es zweckmäßig ist; wenn man sie zur Beschreibung der Natur gebrauchen kann. Und es ist zweckmäßig, eine Größe „magnetische Ladung“ einzuführen. Man braucht sie unter anderem:

- zur Beschreibung der Tatsache, dass es keine magnetischen Monopolteilchen gibt;
- zur Beschreibung der Tatsache, dass die Pole eines zweipoligen Magneten betragsmäßig die gleiche Ladung tragen;
- zur Formulierung des Coulombschen Gesetzes für Magnetpole [2].

Natürlich könnte man auf die Einführung der Größe verzichten. Dann würde man etwa formulieren: Es gibt keine Teilchen, für die das Volumenintegral der Divergenz der magnetische Feldstärke über einen Raumbereich, der das Teilchen enthält, von null verschieden ist. Aber auf die entsprechende Art könnte man auch die Größe elektrische Ladung abschaffen, was wohl niemandem in den Sinn kommen würde.

## Herkunft

Was wir hier magnetische Ladung nennen, ist eine altehrwürdige Größe, die allerdings unter verschiedenen Namen auftritt. Zur Zeit von Coulomb stellte man sich vor, der Magnetismus sei durch zwei magnetische Fluida verursacht (analog zu den elektrostatischen Erscheinungen, die durch elektrische Fluida zustande kämen).

Sowohl für die elektrischen, wie für die magnetischen Fluida entdeckte Coulomb das quadratische Abstandsgesetz [3].

Bei Maxwell taucht die magnetische Ladung (in der deutschen Übersetzung) unter dem Namen „Stärke eines Pols“ auf [4]:

*Zwei magnetische Pole stoßen einander in Richtung ihrer Verbindungslinie und mit einer Kraft ab, welche dem Produkt ihrer Stärken direct, dem Quadrate ihres Abstandes von einander umgekehrt proportional ist.*

Zwei Seiten weiter benutzt er die Bezeichnung „Menge an Magnetismus“:

*Die Menge Magnetismus, die ein Pol eines Magnets beherbergt, ist stets der Größe nach gleich und dem Zeichen nach entgegengesetzt der Menge Magnetismus, die der andere Pol derselben in sich birgt.*

*In jedem Magneten ist die Gesamtmenge an Magnetismus algebraisch genommen gleich Null.“*

In einem Lehrbuch aus dem Jahr 1912 wird das Coulombsche Gesetz für den Magnetismus behandelt, und die magnetische Ladung heißt hier „magnetische Menge“ [5]. Auch Max Born benutzt diese Bezeichnung [6].

Obwohl das Coulomb-Gesetz für magnetische Pole leichter nachzumessen ist als das für elektrisch geladene Körper, ist es heute aus den Lehrbüchern vollständig verschwunden. Das geschah in demselben Maß, wie die magnetische Feldstärke  $H$  in den Hintergrund gedrängt wurde. Wenn man nicht mehr nach der Feldstärke fragt, so kann man auch mit der Gleichung

$$\mu_0 \operatorname{div} H = \rho_m$$

nichts mehr anfangen.

Ein etwas moderneres Buch, das konsequent mit der magnetischen Ladung operiert und die Größe auch so nennt, ist der *Macke* [7]:

*Ein bedeutender Unterschied zwischen den elektrostatischen und den magnetostatischen Erscheinungen besteht darin, daß magnetische Ladungen in der Natur nie einzeln auftreten, sondern stets paarweise. Es existieren keine einzelnen Magnetpole, sondern nur magnetische Dipole. Dieser Tatbestand ändert die Theorie aber in keiner Weise.*

## Entsorgung

Im Schulunterricht führt man die magnetische Ladung gleich am Anfang der Magnetostatik ein als eigenständige physikalische Größe, ähnlich wie man es mit der elektrischen Ladung in der Elektrostatik tut. Man hat hier aber die Besonderheit, dass die gesamte magnetische Ladung eines Magneten stets null ist. An der Universität führt man zunächst Gleichung (2) ein und definiert dann die magnetische Ladung über:

$$\rho_m = \mu_0 \operatorname{div} H .$$

[1] G. Falk und W. Ruppel: Mechanik, Relativität, Gravitation, Springer-Verlag, Berlin 1973, S. 2

[2] A. Sommerfeld: Elektrodynamik, 4. Auflage, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1964, S. 38-39

[3] C. A. Coulomb: Second Mémoire sur l'Électricité et le Magnétisme, Où l'on détermine, suivant quelles loix le Fluide magnétique, ainsi que le Fluide électrique, agissent, soit par répulsion, soit par attraction. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, 1785, S. 593

[4] J. C. Maxwell, Lehrbuch der Electricität und des Magnetismus, Zweiter Band, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1883, S. 5-7

[5] E. Riecke, Lehrbuch der Physik, Zweiter Band, Leipzig 1912, Verlag von Veit & Comp., S. 15f

[6] M. Born, Die Relativitätstheorie Einsteins, Heidelberger Taschenbücher, Springer-Verlag, Berlin 1969, S. 133

[7] W. Macke, Elektromagnetische Felder, Leipzig 1960, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig, S. 78