

Elektromagnetismus (1)

Dieser Teil des Beitrags konzentriert sich vor allem auf den physikalischen Effekt, dass auf einen Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld eine Kraft wirkt. Darüber hinaus soll gezeigt werden, was es mit Vektoren auf sich hat.

Bevor man auf die Kraft, die auf einen Strom durchflossenen Leiter wirkt, näher eingeht, sollte man sich kurz den Begriff der physikalischen Größe Kraft vergegenwärtigen. **Bild 1** zeigt einen Körper mit der Masse m , der ohne Reibung bewegt werden kann. Das ist beispielsweise bei einer Bewegung im luftleeren Raum der Fall. Der Körper schwebt dann, und eine Reibung wirkt nicht. Erst bei höherer Geschwindigkeit macht sich die Luftreibung bemerkbar. Derartige Magnetlagerungen werden z. B. bei extrem schnell drehenden Elektromotoren mit bis zu $100\,000\text{ min}^{-1}$ oder bei der Magnetschwebbahn (Transrapid) angewandt. Die Magnetschnellbahn Transrapid wäre ohne die geniale Erfindung des Dipl.-Ing. Hermann Kemper (1892 – 1977) nicht denkbar gewesen. Ihm gelang es bereits 1933 eine funktionsfähige, regelbare Schaltung für das Schweben nach dem Prin-

Dipl.-Ing. (FH) Christiane Decker,

zip der elektromagnetischen Anziehung (EMS – elektromagnetisches Schweben) zu bauen. Seiner Zeit weit voraus, beabsichtigte der Visionär Rohrbahnen als Hochgeschwindigkeitstransportsystem der Zukunft zu nutzen. Sein Konzept sah das berührungsfreie Tragen und Führen eines spurgeführten Fahrzeuges mittels eines unter dem Fahrweg verlegten Linearmotors in einer Vakuumröhre vor. Mit diesem System wollte er Reisegeschwindigkeiten von über 1000 km/h erreichen.

Eine reibungslose Lagerung lässt sich also in guter Näherung technisch realisieren. Für die Beschleunigung des Körpers in **Bild 1** benötigt man eine Kraft F . Die Beschleunigung a ist die zeitliche Änderung der Geschwindigkeit v :

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$



Bild 1: Beschleunigung eines reibungslos gelagerten Körpers

Ändert sich in einer bestimmten Zeitdifferenz die Geschwindigkeit nicht, beträgt die Beschleunigung null. Keine Beschleunigung bedeutet also konstante Geschwindigkeit bzw. konstante Drehzahl einer Maschine. Die Einheit der Beschleunigung ist m/s^2 .

Die Kraft ist definiert als Produkt aus Masse m und Beschleunigung a :

$$F = m \cdot a$$

Die Einheit der Kraft ist $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$. Zu Ehren des Physikers Isaac Newton bezeichnet man die Kraft, die benötigt wird um die Masse von 1 kg mit 1 m/s^2 zu beschleunigen, mit 1 Newton, das mit 1 N abgekürzt

Kraft auf Strom durchflossene Leiter im Magnetfeld

Bild 2 zeigt einen stromdurchflossenen Kupferleiter der sich in dem Magnetfeld eines Hufeisenmagneten befindet. Der Strom durch den Leiter wird mit einem Amperemeter gemessen. Er ergibt sich über das ohmsche Gesetz zu $I = U/R$, ist also von der Höhe der Versorgungsspannung abhängig. Es lässt sich beobachten, dass auf den Leiter eine Kraft F wirkt, und zwar in diesem Fall nach rechts. Dreht man den

Magneten um, so lässt sich eine Kraft nach links registrieren. Offensichtlich hängt die Kraftrichtung von der Richtung der Feldlinien am Leiter ab. Polt man nun die Spannungsquelle um, so dass der Strom in umgekehrter Richtung fließt, kehrt sich die Richtung der Kraft abermals um.

Zusammengefasst bedeutet das:

Auf einen Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld wirkt eine Kraft, deren Richtung sowohl von der Richtung der Magnetfeldlinien am Ort des Leiters als auch von der Stromrichtung abhängt.

Die Kraft auf den Leiter lässt sich erklären durch die Kraft, die auf bewegte Ladungsträger im Magnetfeld entsteht (Lorentzkraft). Mit der **Rechte-Hand-Regel** lässt sich die Krafrichtung auf einen Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld bestimmen. Sie lautet: Man nehme die rechte Hand und spreize Daumen, Zeige- und Mittelfinger so, dass zwischen diesen drei Fingern jeweils ein rechter Winkel entsteht. Dann richte man den Daumen in Richtung des Stromes und den Zeigefinger in Richtung des Feldes. Der Mittelfinger gibt dann die Richtung der Kraft an (**Bild 3a**).

Alternativ lässt sich die Richtung der Kraft über die Feldlinien beschreiben. Umfasst man den Leiter mit der Rechten Hand so, dass der Daumen in Richtung des Stromes zeigt, geben die Finger die Feldlinienrichtung an (**Bild 3b**).

Die Feldlinien des stromdurchflossenen Leiters überlagern sich

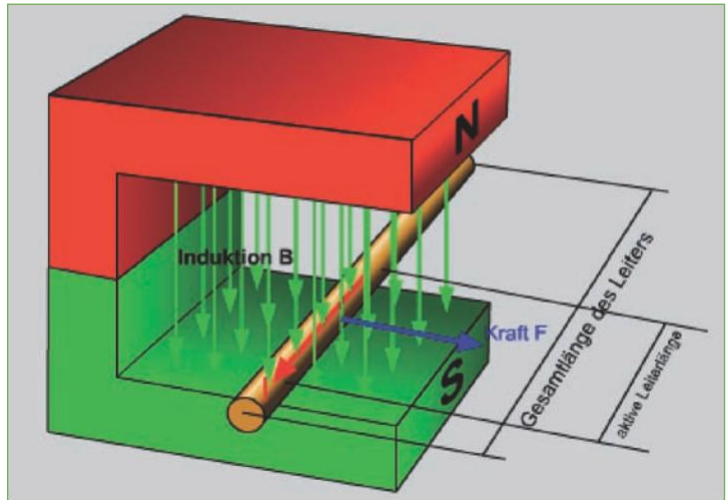


Bild 2: Strom durchflossener Leiter im Magnetfeld

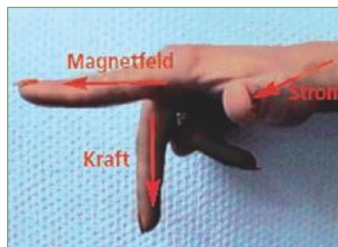


Bild 3a: Rechte-Hand-Regel, Variante 1

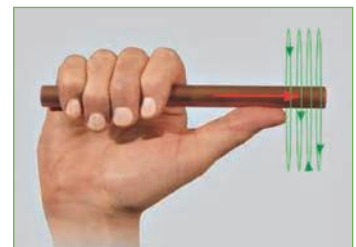


Bild 3b: Rechte-Hand-Regel, Variante 2

mit den Feldlinien des Hufeisenmagneten. Links des Leiters kommt es zu einer Feldverstärkung, da die Feldlinien die gleiche

che Richtung haben. Auf der rechten Seite hingegen wird das Magnetfeld geschwächt. Der bestromte Leiter bewegt sich

Was sind Vektoren?

Der Pfeil über dem Symbol F (F steht für force (engl.) = Kraft) soll andeuten, dass die Kraft nicht nur einen bestimmten Betrag und eine Einheit, sondern auch eine Richtung hat. Man bezeichnet physikalische, durch Betrag und Richtung gekennzeichnete Größen als Vektoren. Beispiele für Vektoren sind die Geschwindigkeit v (v = velocity (engl.) = Geschwindigkeit) eines Körpers, seine Beschleunigung

a (a = acceleration (engl.) = Beschleunigung), die elektrische Feldstärke E sowie die Stromdichte S .

Dagegen ist ein Skalar eine mathematische Größe, die allein durch die Angabe eines Zahlenwertes und einer Einheit charakterisiert ist. Skalare sind z.B. die Masse eines Körpers, seine Temperatur, seine Energie.

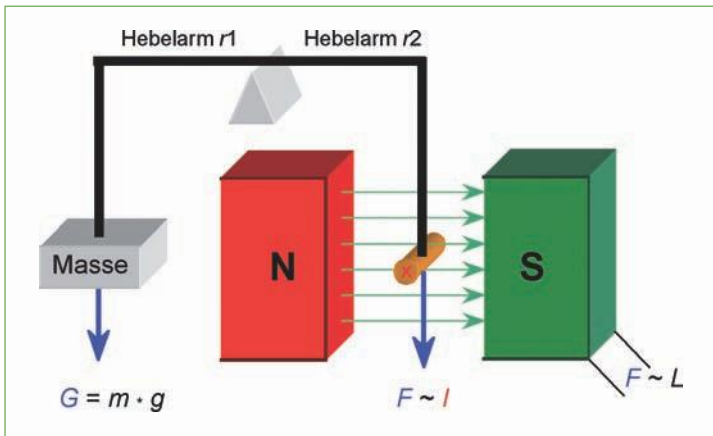


Bild 4: Prinzip der Stromwaage zur Bestimmung der Kraft auf einen Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld

grundsätzlich in die Richtung der Feldschwächung.

Der quantitative Zusammenhang zwischen Strom und Kraft lässt sich mit der so genannten

Stromwaage bestimmen (**Bild 4**), die einen waagrecht verlaufenden Leiter in einem homogenen Magnetfeld enthält. Das Kreuz in diesem kreisförmigen Leiter soll

verdeutlichen, dass der Strom in die Zeichenebene hineinfließt.

Ein Punkt würde die umgekehrte Richtung andeuten. Da durch den Strom und das Magnetfeld eine Kraft F entsteht, die den Hebel r_2 senkrecht nach unten ziehen möchte, lässt sich durch Variieren der Masse bzw. durch Veränderung des Stromes ein Gleichgewicht herstellen, so dass sich die beiden Hebelarme r_1 und r_2 in der befinden. Das Hebelgesetz besagt:

$$G \cdot r_1 = F \cdot r_2$$

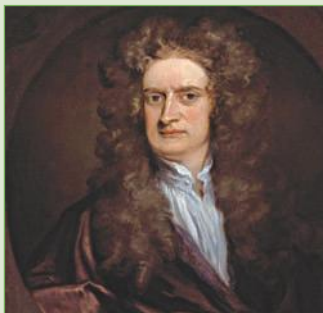
Für gleich lange Hebelarme ($r_1 = r_2$) gilt dann:

$$F = G$$

Die Gewichtskraft G ist die Kraft, mit der ein Körper an seiner Aufhängung zieht oder auf eine Unterlage drückt. Gemessen wird die Gewichtskraft in der Einheit Newton (N), also auch der Einheit der Kraft. In der Physik wird die Gewichtskraft meist als *Gewicht* bezeichnet. Die Gewichtskraft berechnet sich aus dem Produkt der Masse m des Objekts mit der am Ort herrschenden, zum Erdmittelpunkt gerichteten Schwerebeschleunigung g .

Somit lässt sich die Kraft F auf den Strom durchflossenen Leiter im Magnetfeld messen. Eine Messung mit verschiedenen Strömen und Leiterlängen ergibt, dass sich die Kraft F proportional zum Strom I ($F \sim I$) und zur Leiterlänge L ($F \sim L$) verhält. Voraussetzung ist, dass sich die gesamte Leiterlänge im Magnetfeld befindet. In diesem Zusammenhang spricht man auch von der so genannten aktiven Leiterlänge.

Isaac Newton (* 4. Januar 1643 in Lincolnshire; † 31. März 1727 in Kensington) war ein englischer Physiker, Mathematiker, Astronom, Alchemist, Philosoph und Verwaltungsbeamter. Er beschrieb mit seinem Gravitationsgesetz die universelle Gravitation, dass die Schwerkraft mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt und legte damit den Grundstein für die klassische Mechanik. Newton ist ebenso einer der Begründer der Infinitesimalrechnung, die er fast gleichzeitig mit (aber unabhängig von) Gottfried Wilhelm Leibniz entwickelte. Bekannt ist er auch für seine Leistungen auf dem Gebiet der Optik und die von ihm verfochtene Teilchentheorie des Lichtes und die Erklärung des Spektrums. Aufgrund seiner Leistungen, vor allem auf den Gebieten der Physik und Mathematik, gilt Sir Isaac Newton als einer der größten Wissenschaftler aller Zei-



ten. Newton galt als recht zerstreut und bescheiden, reagierte jedoch häufig mit großer Schärfe auf Kritik. Die Principia Mathematica werden als eines der wichtigsten wissenschaftlichen Werke eingestuft. In diesem Werk vereinte er die Forschungen Galileo Galileis zur Beschleunigung, Johannes Keplers zu den Planetenbewegungen und Descartes' zum Trägheitsproblem, zu einer dynamischen Theorie der Gravitation.