

4.3 Kräfte auf Strom durchflossene Leiter

Nach Gleichung (4.5) gilt für die LORENTZ-Kraft $\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$. Der elektrische Strom in Metallen ist nichts anderes, als viele sich entlang des Leiters bewegend Elektronen (Strom im Metall =: Elektronendrift). Ist n die Elektronendichte (Anzahl der Elektronen pro Volumen des Leiters), A die Querschnittsfläche des Leiters und \vec{v}_D die Driftgeschwindigkeit der Elektronen, so lässt sich der elektrische Strom \vec{I} im Leiter nach der Beziehung (3.9) darstellen durch

$$\vec{I} = -n e A \vec{v}_D \quad (4.27)$$

Dabei ist die Kraft \vec{F}_e auf ein Elektron nach (4.5)

$$\vec{F}_e = -e \vec{v}_D \times \vec{B} = \frac{1}{nA} \vec{I} \times \vec{B} \quad (4.28)$$

Betrachten wir ein Leiterstück der Länge l , so enthält dieses $N = n A l$ Elektronen. Daher wirkt auf das Leiterstück der Länge l das N -fache der Kraft \vec{F} . Damit ist die Kraft \vec{F} auf den Leiter der Länge l

$$\boxed{\vec{F} = l \vec{I} \times \vec{B}} \quad (4.29)$$

oder die Kraft pro Längeneinheit

$$\frac{\vec{F}}{l} = \vec{I} \times \vec{B} \quad (4.30)$$

Versuch 4.3

Wir lassen durch zwei parallel angeordnete Leiter die Ströme I_1 bzw. I_2 fließen. Wir beobachten, dass die Leiter aneinander gezogen werden, wenn I_1 und I_2 gleiches Vorzeichen haben, d.h., wenn beide Ströme in die gleiche Richtung fließen. Lassen wir die Ströme entgegengesetzt fließen (I_1 und I_2 haben unterschiedliche Vorzeichen), so werden die Leiterdrähte auseinander gedrückt.

Experimentell findet man die Gesetzmäßigkeit:

$$\frac{F}{l} \sim \pm \frac{I_1 I_2}{r} \quad (4.31)$$

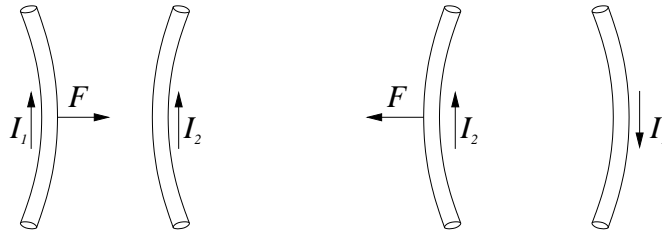


Abbildung 4.8: Zwei Strom durchflossene parallele Leiter üben Kräfte aufeinander aus. Sie werden je nach Stromrichtung aneinander gezogen bzw. auseinander gedrückt.

Hierbei ist $\frac{F}{l}$ die Kraft pro Längeneinheit, I_1 der Strom durch Leiter 1, I_2 der Strom durch Leiter 2 und r der Abstand der beiden Leiter voneinander. Aus historischen Gründen wird in dem experimentell gefundenen Gesetz (4.31) als Proportionalitätsfaktor $\frac{\mu_0}{2\pi}$ festgelegt (Dies ist eine Definition), mit

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \quad (4.32)$$

Die Naturkonstante

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \quad (4.33)$$

heißt **magnetische Feldkonstante** oder **Permeabilität des Vakuums**

Der Ausdruck für die Kraft des einen auf den anderen Leiter ist dann:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{r} \quad (4.34)$$

Damit ergibt sich die eindeutige Definition der SI-Einheit Ampère :

Zwei unendlich lange, parallele Drähte, die einen Abstand von 1m zueinander haben, üben aufeinander die Kraft pro Einheitslänge (1 m) von $2 \cdot 10^{-7} \text{ Nm}^{-1}$ aus, wenn sie von einem Strom von **1 A = 1 Ampère** durchflossen werden (vgl. 1.18, Seite 18).

(4.35)

In unserem Versuch hieße das konkret:

$$I_1 = I_2 = 1 \text{ A}, r = 1 \text{ m} \quad (4.36)$$

$$\frac{F}{l} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N}}{2\pi} \frac{\text{N}}{\text{m}} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{\text{N}}{\text{m}} \quad (4.37)$$

4.3.1 Feldkonstanten und Maßsysteme

Später werden wir sehen, dass

$$\varepsilon_0 \cdot \mu_0 = \frac{1}{c^2} \quad (4.38)$$

gilt. Damit hängen die drei Naturkonstanten ε_0 , μ_0 und c voneinander ab. In dem seit dem 5. Juli 1970 gesetzlich vorgesehene SI-Maßsystem ist die Definition (4.33) das Fundament, auf dem alle Größen und deren Einheiten der Elektrodynamik aufbauen. Mit dieser willkürlichen Festlegung der Grundgröße I (Strom) und deren SI-Basiseinheit Ampère sind alle anderen elektrodynamischen Einheiten (z.B. Volt, Ohm, Farad...) eindeutig festgelegt.

Der Willkür sind hier aber keine Grenzen gesetzt. So sind auch andere Maßsysteme wie z.B. das GAUSSsche Maßsystem (cgs-System) möglich. Das GAUSSsche Maßsystem fußt auf der Definition

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 1. \quad (4.39)$$

Die Grundgröße ist hier die Ladung Q . Dieses Maßsystem findet z.T. heute noch in der theoretischen Physik Verwendung. Wir wollen aber in der Experimentalphysik das SI-System gebrauchen. In der folgenden Tabelle werden die beiden Maßsysteme gegenübergestellt:

	SI-Maßsystem	GAUSSsches Maßsystem
ε_0	$= \frac{1}{\mu_0 c^2} = \frac{10^7}{4\pi c^2}$	$\frac{1}{4\pi \varepsilon_0} = 1$
μ_0	$= 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V s}}{\text{A m}}$	$= \frac{1}{\varepsilon_0 c^2} = \frac{4\pi}{c^2}$
Grundgröße	Strom I	Ladung Q

4.4 Magnetisches Feld eines Strom durchflossenen Leiters

Bisher haben wir die Kräfte zwischen den beiden Leitern aus Versuch 4.3 einfach so hingegenommen und über sie die Basiseinheit Ampère definiert, ohne dass wir uns über die