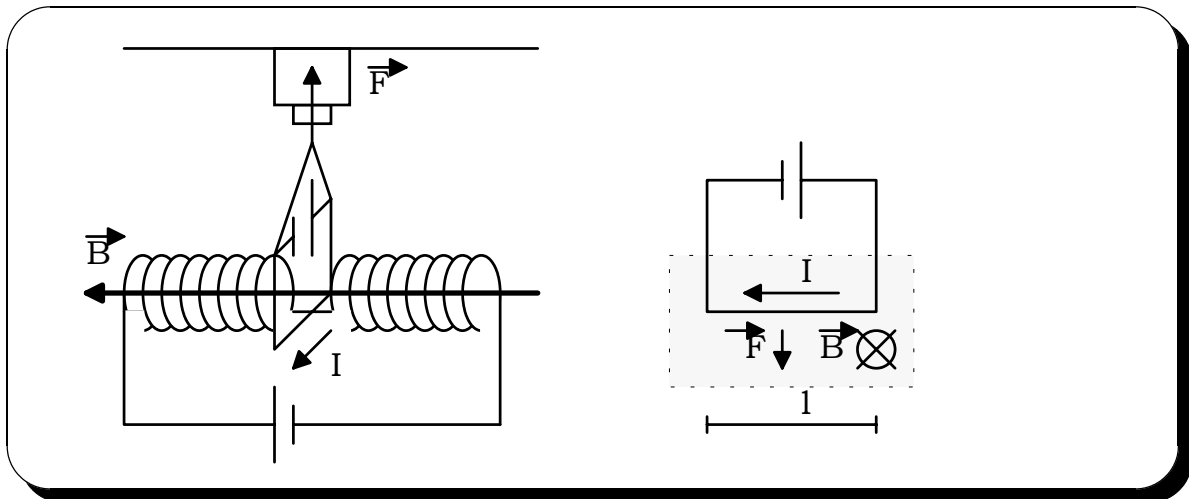


## 1.2.2 magnetische Flussdichte; Lorentzkraft

Die im letzten Unterabschnitt qualitativ ermittelte Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld wird jetzt genauer untersucht:  
 V.: Im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Zylinderspule befindet sich teilweise ein Metallrahmen, auf den mehrere Drahtwindungen gewickelt sind (vgl. Skizze). Bei geeigneten Stromrichtungen erfährt der Rahmen eine Kraft nach unten, die mit Hilfe einer sog. Stromwaage gemessen werden kann. Bei konstantem Spulenstrom (= konstantem Spulenfeld) wird die Abhängigkeit der Kraft  $F$  von der Stromstärke  $I$  und der Leiterlänge  $l$  untersucht.



Ergebnisse:

1.  $F \sim I$  bei konstanter Leiterlänge  $l$
2.  $F \sim l$  bei konstanter Stromstärke  $I$ .

Daraus folgt sofort

$F \sim I \cdot l$  bzw.

$F = B \cdot I \cdot l$  oder  $B = \frac{F}{I \cdot l}$ .

Die Konstante  $B$  ist durch das Magnetfeld bestimmt und ein Maß für dessen Stärke. Sie heißt magnetische Flussdichte und ist so definiert:

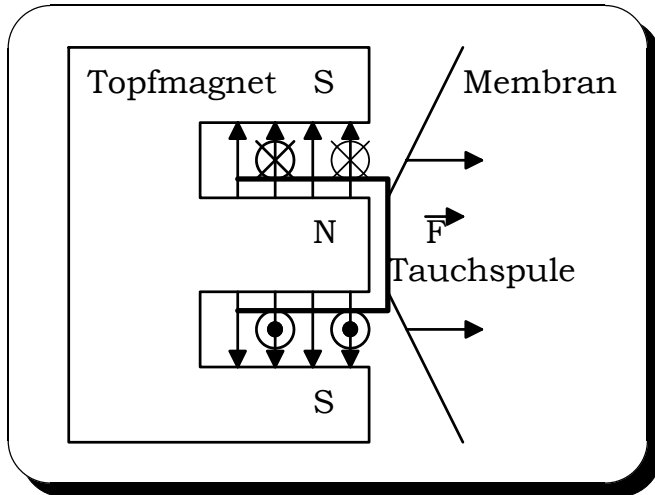
Definition: Ein Leiter der Länge  $l$ , der senkrecht zu magnetischen Feldlinien steht und vom Strom  $I$  durchflossen wird, erfährt die Kraft  $F$ . Dann nennt man den Quotienten  $B = \frac{F}{I \cdot l}$  den Betrag der magnetischen Flussdichte des Feldes. Die Flussdichte  $B$  selbst ist ein Vektor in Richtung der magnetischen Feldlinien. Die Einheit von  $B$  ist  $1 \frac{N}{Am} = 1 \frac{Vs}{m^2} = 1T$  (Tesla).

Typische Größenordnungen für Flussdichten:

Magnetfeld	Flussdichte in T
Erdoberfläche	$2 \cdot 10^{-5}$
im Erdinneren	$10^{-2}$
Permanentmagneten	bis zu 1,4
Elektromagnet	bis zu 20

Anwendungen der Kraft auf stromdurchflossene Leiter findet man zum Beispiel im wichtigsten Strommessgerät, dem Drehspulmesser, oder im Lautsprecher.

Die nachfolgende Skizze zeigt den Schnitt durch einen dynamischen Lautsprecher:

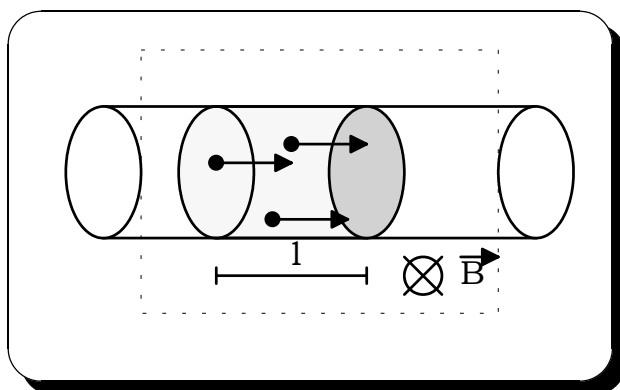


Ströme, deren Stärke im Rhythmus von Sprach- und Musikschwingungen schwankt, durchfließen die Tauchspule. Je nach Stromrichtung wird diese Schwingspule in den Topfmagneten hineingezogen oder aus ihm herausgedrückt. Diese Schwingungen überträgt die Spule auf die große Fläche des schallabstrahlenden Konus der Lautsprechermembran.

### Die Lorentzkraft $F_L$

Auf einen ruhenden Leiter wirkt in einem Magnetfeld keine Kraft, wenn in ihm kein Strom fließt. Fließt dagegen Strom im Leiter, so werden Ladungsträger in ihm bewegt. Es liegt daher nahe, dass die Kraftwirkung auf einen stromdurchflossenen Leiter letztendlich eine Kraftwirkung auf bewegte Ladungen ist.

Die Kraft auf bewegte Ladungen (Lorentzkraft, nach H. Lorentz, niederländischer Physiker, NP 1902) lässt sich aus der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter unter Zuhilfenahme der folgenden Skizze berechnen:



---

Ersetzt man die Stromstärke  $I$  sukzessive durch die Ladung von  $N$  Ladungsträgern, die jeweils die Elementarladung  $e$  tragen, und führt man die Geschwindigkeit  $v$  als Quotienten aus Länge  $l$  und Zeit  $t$  ein, so gelten die äquivalenten Umformungen:

$$F^* = I \cdot l \cdot B = \frac{Q}{t} \cdot l \cdot B = \frac{N \cdot e}{t} \cdot l \cdot B = N \cdot e \cdot \frac{l}{t} \cdot B = N \cdot e \cdot v \cdot B.$$

Für die Kraft auf einen Ladungsträger der Ladung  $e$  und der Geschwindigkeit  $v$  gilt dann:

$$F = \frac{F^*}{N} = e \cdot v \cdot B \text{ bzw. } F = Q \cdot v \cdot B,$$

wenn der Ladungsträger die Ladung  $Q$  hat.

Bei Versuchen, bei denen die Kraft  $F$  berechnet wird, wenn der Geschwindigkeitsvektor der Ladungsträger einen Winkel  $\phi$  mit den Magnetfeldlinien bildet, ergibt sich

$$F = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\phi).$$

Die Richtung der Lorentzkraft liefert die folgende Dreifingerregel (U-V-W-Regel): Der Daumen der rechten Hand zeige in die technische Stromrichtung (**U**rsache), der senkrecht dazu gespreizte Zeigefinger in Richtung der magnetischen Feldlinien (**V**ermittlung). Dann zeigt der zu beiden Fingern rechtwinklig stehende Mittelfinger in die Richtung der Lorentzkraft (**W**irkung).

Zusammenfassung: Bewegt sich eine Ladung  $Q$  mit der Geschwindigkeit  $v_s$  senkrecht zu einem Magnetfeld mit der Flussdichte  $B$ , so erfährt sie die Lorentzkraft  $F_L = Q \cdot v_s \cdot B$ . Allgemein gilt bei einem Winkel  $\phi$  zwischen Geschwindigkeitsrichtung  $v$  und Flussdichte  $B$  für die Lorentzkraft:

$F_L = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\phi) \Leftrightarrow \vec{F}_L = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ . Die Richtung der Lorentzkraft kann mit der U-V-W-Regel bestimmt werden. Die Lorentzkraft ist Null, wenn der Ladungsträger ruht oder sich parallel zu den magnetischen Feldlinien bewegt.