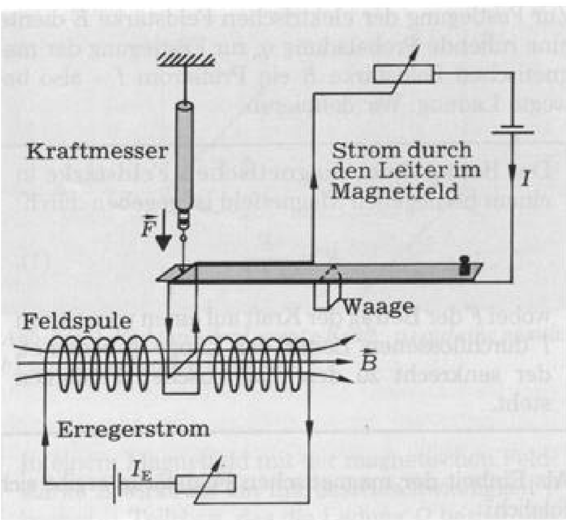
## *Die magnetische Feldstärke*

Durch Einführung geeigneter Messgrößen können wir magnetische Felder quantitativ beschreiben.
In Analogiebetrachtung zur elektrischen Feldstärke müsste die magnetische Feldstärke als Quotient der Lorenzkraft auf einen Probemagneten definiert werden. Problematisch stellt sich die Bestimmung „Größe" des Probemagneten dar.
Wir wissen aber, das Magnetfelder durch bewegte elektrische Ladungen erzeugt werden können. Daher ist zwischen dem zu messenden Magnetfeld und dem Magnetfeld einer bewegten elektrischen Ladung eine Wechselwirkung zu erwarten.

Es erscheint demnach sinnvoll, **die magnetische Feldstärke $\vec{B}$ mittels der Kraftwirkung auf bewegte Ladungen in diesem Magnetfeld zu definieren.**

Versuchsaufbau:




Die effektiv wirksame Länge der Spule im Magnetfeld bezeichnen wir mit $s$. Dann gilt durch experimentelle Bestätigung:

$$F \propto I \ ,$$

d.h. vergrößert sich die Stromstärke, so wird auch die Kraft, mit der die Leiterschleife in das Magnetfeld gezogen wird, größer und es gilt:

$$F \propto s \ ,$$

d.h. wird die Spulenlänge größer, so vergrößert sich die Kraft. Die Spulenlänge ist **nicht** die Länge des Drahtes.

Somit gilt: $$F \propto I \cdot s \, .$$

Dann gilt: $\frac{F}{I \cdot s} = konstant = B$ Vor.: homogenes Magnetfeld.

$\vec{B}$ **bezeichnet man als magnetische Feldstärke.**

Nach **DIN-Norm** wird $\vec{B}$ als magnetische Flussdichte festgelegt.
Die Einheit der magnetischen Feldstärke ergibt sich folglich:

$$1\frac{N}{A \cdot m} = 1T \text{ (Tesla).}$$

**Die o.g. Gleichung geht von dem Spezialfall aus, das die Kraftwirkung senkrecht zu den magnetischen Feldlinien erfolgt.**

Die **Lorenzkraft** berechnet sich demzufolge:

$$F_L = B \cdot I \cdot s.$$

Für den allgemeinen Fall gilt dann für die Lorenzkraft das Vektorprodukt:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{s} \times \vec{B}) = I \cdot |\vec{s}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin(\sphericalangle(\vec{s};\vec{B})).$$

Eine weitere Möglichkeit für die Berechnung der Lorenzkraft ergibt sich aus der Tatsache, dass das magnetische Feld in Wechselwirkung zu den bewegten Ladungen in einem elektrischen Leiter tritt.

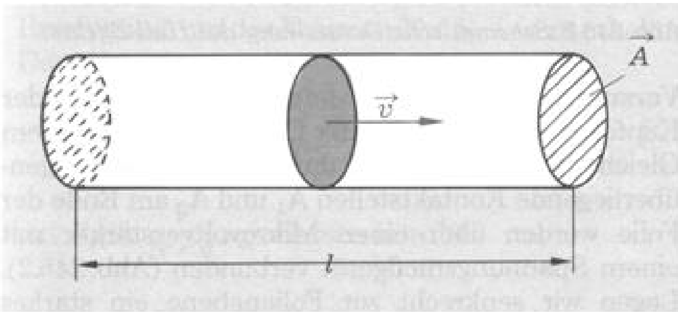


Abb. 245.1 Zur Herleitung der Lorentz-Kraft

In einem Magnetfeld wird auf einen stromführenden Leiter die Kraft $\vec{F} = I \cdot |\vec{s}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin(\sphericalangle(\vec{s};\vec{B}))$ ausgeübt.

Dabei stellt sich die Frage, ob auf jedes einzelne Elektron eine Kraft wirkt, wie groß der Betrag dieser Kraft ist und welche Rolle hierbei der elektrische Leiter spielt.

Ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der $N$ Elektronen in einem Leiter $v = \frac{s}{t}$, so fließt in t Sekunden durch den Leiterquerschnitt die Ladungsmenge $Q = N \cdot e$. Daher ist die

Stromstärke: $I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t}$ .

$$\Rightarrow F = B \cdot I \cdot s = B \cdot \frac{N \cdot e}{t} \cdot s = B \cdot N \cdot e \cdot v.$$

Auf ein einzelnes Elektron, das sich mit der Geschwindigkeit v senkrecht zum Magnetfeld bewegt, wirkt demnach die Kraft:

$$F = e \cdot B \cdot v.$$

Für die gesamten Elektronen gilt: $F = Q \cdot B \cdot v.$

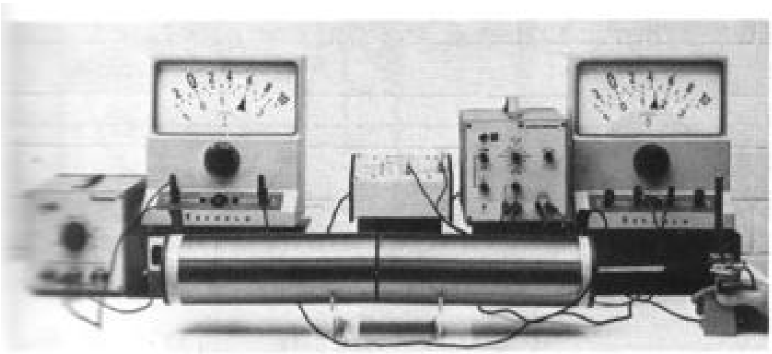
In dieser Gleichung wird noch einmal deutlich, das diese Kraft im Magnetfeld nur dann auftritt, wenn sich die Ladungen bewegen.

Für den Fall, das die vektoriellen Größen nicht senkrecht aufeinander stehen, gilt für die **Lorenzkraft**:

$$\boxed{\vec{F} = Q \cdot \left(\vec{v} \times \vec{B}\right)} \quad .$$

***Die magnetische Feldstärke einer langen Spule***

Experiment:



Beim Messen der magnetischen Feldstärke als Funktion der Erregerstromstärke (Stromstärke, die das Magnetfeld erzeugt) erhält man den Zusammenhang:

$$B \propto I_{err} \,.$$

Beim Messen der magnetischen Feldstärke im Innern der Spule als Funktion der geometrischen Länge ( $I_{err} = const$ ) nähert sich die magnetische Feldstärke bei zunehmender Spulenlänge einem Grenzwert.
Experimente zeigen, das die magnetische Feldstärke für „lange Spulen“, d.h., die Länge ist mindestens 6 mal größer als der Durchmesser der Spule, unabhängig von der Länge der Spule ist.
Betrachtet man jedoch noch zusätzlich die entsprechenden Windungszahlen, ergibt sich experimentell:

$$B \propto \frac{n}{l} \,.$$

Beim Zusammenfassen der entsprechenden Messergebnisse erhält man für eine lange Spule:

$$B \propto I_{err} \cdot \frac{n}{l}$$ mit n... Anzahl der Windungen.

Daraus folgt: $$\frac{B \cdot l}{I_{err} \cdot n} = const = m_0$$ $m_0$ ...magnetische Feldkonstante.

$$m_0 = 1{,}256637061 \cdot 10^{-6} \, \frac{Tm}{A}$$

Die Größe $I_{err} \cdot \frac{n}{l}$ charakterisiert das magnetische Verhalten einer eisenlosen Spule, eines Elektromagneten ohne Weicheisenkern.
Es ist daher zweckmäßig, dieser Größe eine eigene Bezeichnung zu geben:

$$H = I_{err} \cdot \frac{n}{l} \,.$$

Nach DIN-Norm wird die Größe $H$ als „magnetische Feldstärke“ oder „magnetische Erregung“ und $B$ als „magnetische Flussdichte“ oder „magnetische Induktion“ bezeichnet.
Dies hat historische Gründe. Da wir im Rahmen unseres Feldkonzeptes mit einer Feldgröße auskommen, haben wir – wie in der neueren wissenschaftlichen Literatur allgemein üblich – $B$ als „magnetische Feldstärke“ bezeichnet.
Für eine materiefreie Spule gilt:

$$B \propto H \Rightarrow B = m_0 \cdot H \ .$$

Das ist historisch ein Teil der sogenannten „Maxwellgleichungen“ des Axiomensystems der Elektrizitätslehre.

**Aufgaben:** Kuhn S.248

1. Eine langgestreckte Spule der Länge $l = 50cm$ besitzt $12000$ Windungen und wird von einem Strom $I = 40mA$ durchflossen. Berechnen Sie die Windungsdichte und die Feldstärke des homogenen Magnetfeldes im Innern der Spule!
2. Welche Windungsdichte muss eine Spule haben, damit bei dem Strom $1{,}5A$ die magnetische Feldstärke im Innern der Spule $3{,}3 \cdot 10^{-3}T$ beträgt? Bestimmen Sie die „magnetische Erregung“!
3. Die Feldstärke des homogenen Magnetfeldes im innern einer stromdurchflossenen spule von $l = 50cm$ und $3000$ Windungen soll den Wert $10^{-4}T$ erhalten. Welche Stromstärke ist erforderlich