

IX. Magnetisches Feld und Induktion

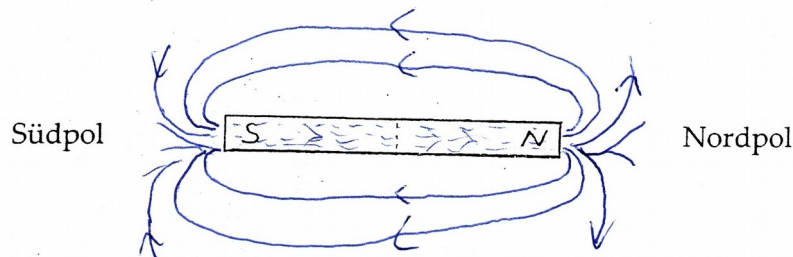
1. Übersicht über die magnetischen Grundtatsachen

- Ein Magnet übt nur auf ferromagnetische Stoffe Kräfte aus.
- Jeder Magnet hat 2 Pole (Dipol). Eine drehbar gelagerte Magnetnadel richtet sich in geographischer Nord-Süd-Richtung aus. Die 2 Magnetpole heißen Nord- (rot) und Süd- (grün) Pol.
- Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.
- Jeder stromdurchflossene Leiter ist von einem Magnetfeld umgeben (Versuch von Oersted).

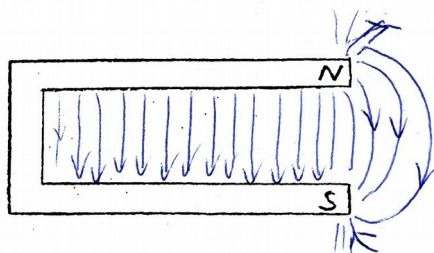
Untersuchung von Magnetfeldern (Feldlinienbilder)

Der Raum, in dem auf ferromagnetische Stoffe Kräfte wirken, heißt Magnetfeld. Die magnetischen Feldlinien stellen keine körperlichen Linien dar. Sie geben nur in jedem Punkt die Richtung des herrschenden Feldes an. Das Magnetfeld ist vom Nordpol zum Südpol gerichtet.

a) Feld eines Stabmagneten

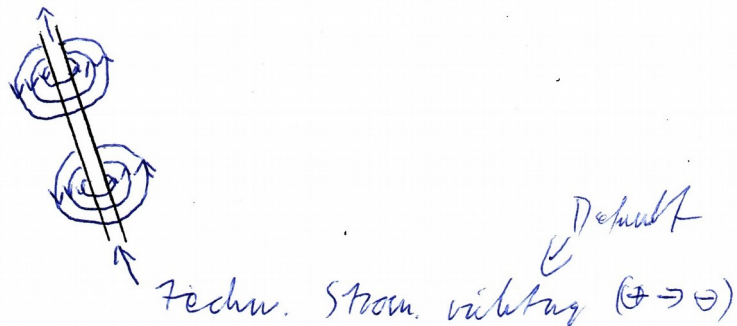


b) Feld eines Hufeisenmagneten



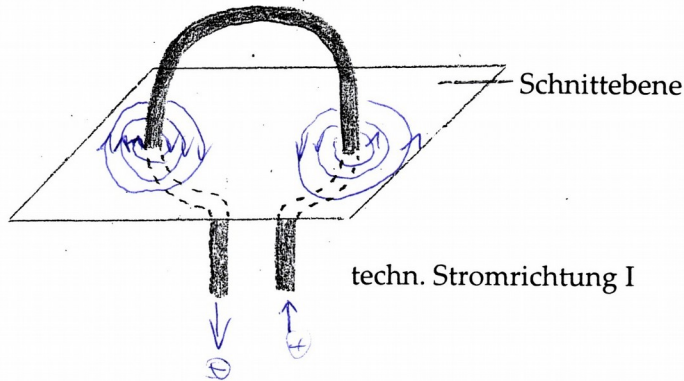
Das Feld zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagneten ist ein homogenes Feld.

c) Feld eines geraden stromdurchflossenen Leiters



Zusammenhang zwischen Stromrichtung im Leiter (technische Stromrichtung von + nach -) und der Orientierung der Feldlinien des Magnetfeldes durch die „Rechte-Hand-Regel“ : Zeigt der abgespreizte Daumen der rechten Hand in technische Stromrichtung, so zeigen die gekrümmten Finger in Feldrichtung.

d) Feld einer stromdurchflossenen Leiterschleife

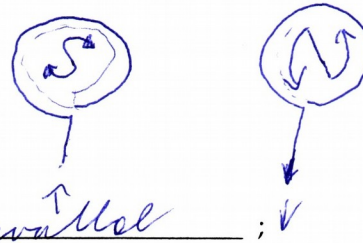


e) Feld einer stromdurchflossenen Spule



⊗ Strom fließt in die Zeichenebene (ZE)

⊙ Strom fließt aus der ZE



Im Innern der Spule verlaufen die Feldlinien parallel ;
hier ist das Feld homogen .

Merke: Beim elektrischen Feld enden die Feldlinien an den Ladungen ,
beim magnetischen Feld können die Feldlinien ringförmig geschlossen
sein, sind also ohne Anfangs- und Endpunkt

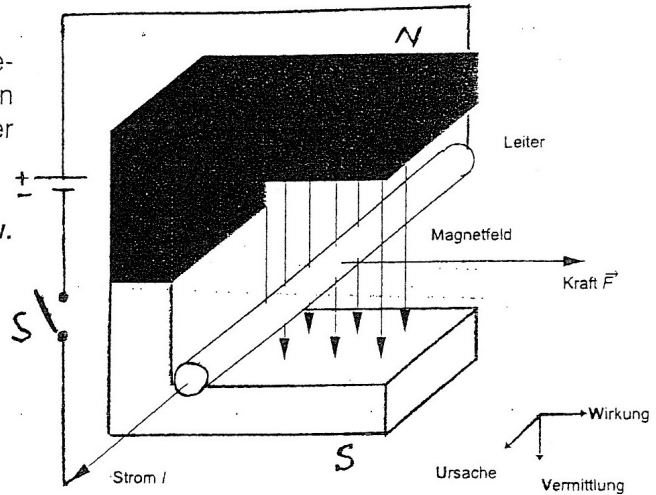
2. Kraft auf gerade stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld

1. Versuch: Leiterschaukel im Magnetfeld

Wird ein von einem Strom der Stärke I durchflossener Leiter senkrecht zu den Feldlinien in ein Magnetfeld gebracht, so wirkt auf ihn die Kraft \vec{F} .

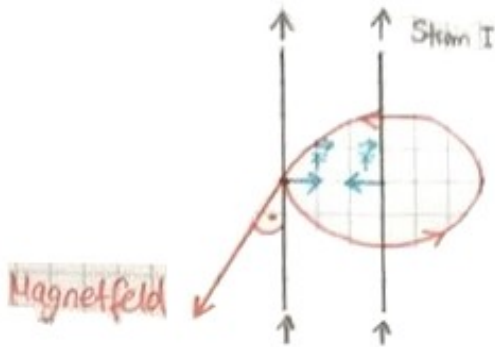
Im Leiter der nebenstehenden Abbildungen bewegen sich Ladungsträger senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes. Auf diesen Leiter wirkt eine Kraft.

Die Richtung der Kraft wird durch die **UVW-** bzw. **Rechtehandregel** vorgegeben:

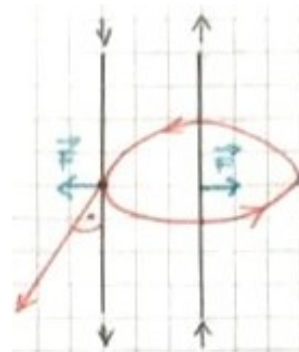


Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter

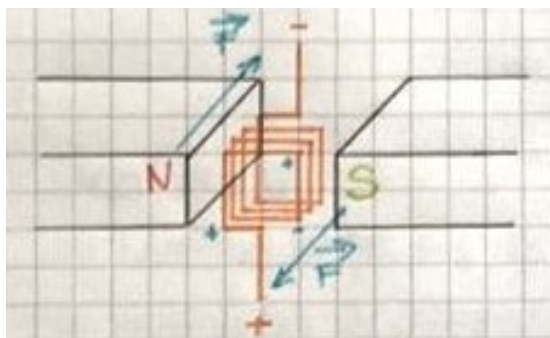
Dabei zeigt der Daumen in Richtung der Ursache (hier Ladungsträgertransport in technischer Stromrichtung), der Zeigefinger in Richtung der Vermittlung (hier Magnetfeld) und der Mittelfinger zeigt dann in Richtung der Wirkung (hier Kraft).



Anziehung bei gleichsinnig vom Strom durchflossener Leiter



Abstoßung bei ungleichsinnig vom Strom durchflossener Leiter



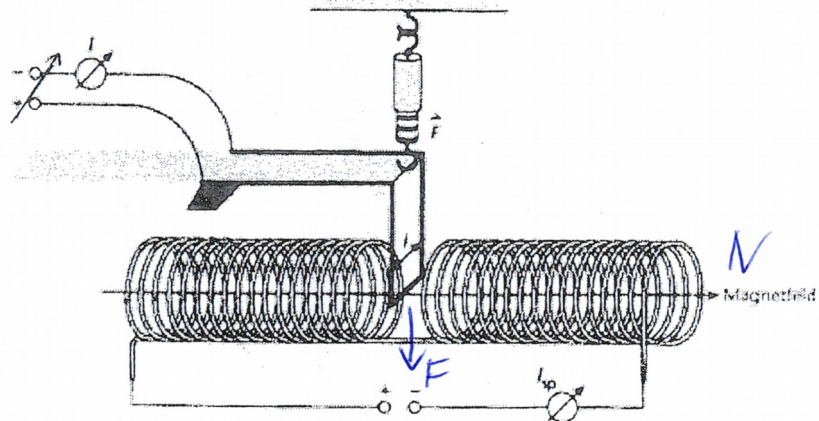
Die **Spule im Magnetfeld** erfährt ein Drehmoment um die vertikale Achse; dieses wächst bei gleicher Spulenstellung mit der Stromstärke.

3. Die magnetische Flussdichte

Elektrische Felder wirken auf Ladungen, Magnetfelder wirken auf Stromstärke

1. Versuch mit der Stromwage

Versuchsaufbau:



http://me-lrt.de/img/phyV_02.png

Durchführung:

Es wird die **Kraft** auf die Stromdurchflossene Leiterschleife in Abhängigkeit der **Stromstärke** I und der **Länge** L der Leiterschleife gemessen.

I. F(I) wobei L = K.

Messtabelle:

I in A		0,15	0,25	0,35	0,5
F in mN		1,0	1,7	2,4	3,3
$\frac{F}{I}$ in $\frac{mN}{A}$		6,7	6,8	6,9	6,6

Ergebnis (i.R.d.M.): $\frac{F}{I} = \text{Konst.}$ bzw. $F \sim I$

II. F(L) bei I = K.

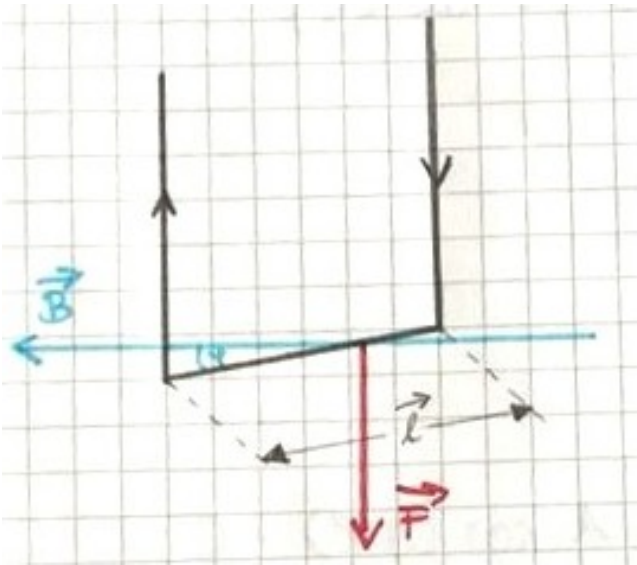
Genauere Messungen ergeben $F \sim L$

Zusammenfassung: $F \sim I \cdot L$ bzw: $F = B \cdot I \cdot l$

Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld mit B=magnetische Flussdichte

$$B = \frac{F}{I \cdot l} \quad [B] = \frac{1 \frac{Nm}{A \cdot m}}{1 \frac{VA}{Am^2}} = 1 \frac{Nm}{A} \cdot m^2 = 1 \frac{VA}{Am^2} = 1 \frac{Vs}{m^2} = 1 \text{ Tesla} = \underline{1 T}$$

2. Versuch:



Es wird die Kraft auf den Leiter untersucht, wenn er mit den Feldlinienbilder ein von 90° verschiedene Winkel φ einschließt.

Messtabelle (teor.): $I, L = \text{Konst.}$

φ	90°	60°	30°	0°
F in mN	3,0	2,6	1,5	0
$\sin(\varphi)$	1,0	0,87	0,5	0
$\frac{F}{\sin(\varphi)}$ in mN	3,0	3,0	3,0	n.d.

Ergebnis: $F \sim \sin(\varphi) \Rightarrow F = B * I * l * \sin(\varphi)$ bzw. $\vec{F} = I * (\vec{l} \otimes \vec{B})$ Vektorprodukt

\vec{l} zeigt in technische Stromrichtung
 \vec{B} zeigt in Richtung der magnet. Feldlinien

4. Magnetischer Fluss im homogenen Feld

\vec{A} : Flächennormalenvektor

Definition:

wird ein Leiterschleife vom Flächeninhalt A von einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte B so durchsetzt, dass der Vec. \vec{A} mit dem \vec{B} den Winkel φ bildet so heist das Produkt $B * A * \cos(\varphi)$ magnetischer Fluss Φ

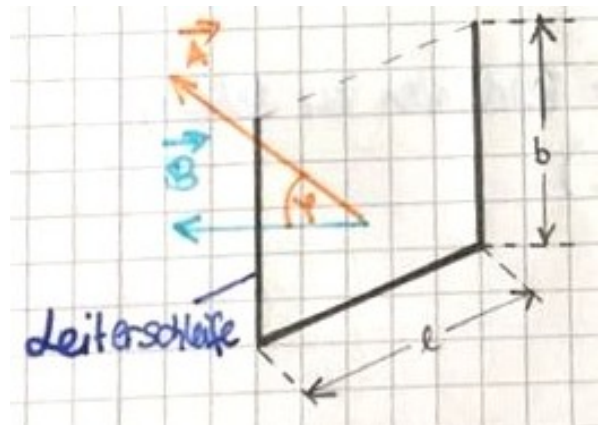
Es gilt:

$$\Phi = B * A * \cos(\varphi)$$

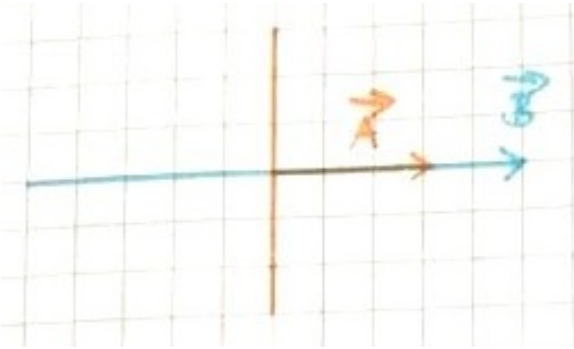
$$\Phi = B * A * \cos(\varphi)$$

$$\Phi = \vec{B} \circ \vec{A} \quad \text{Skalarprodukt}$$

$$[\Phi] = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} * \text{m}^2 = \underline{1 \text{Vs}} = \underline{1 \text{Weber}} = \underline{1 \text{Wb}}$$

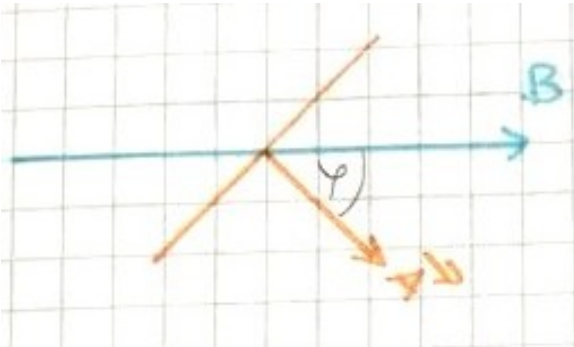


Draufsicht:

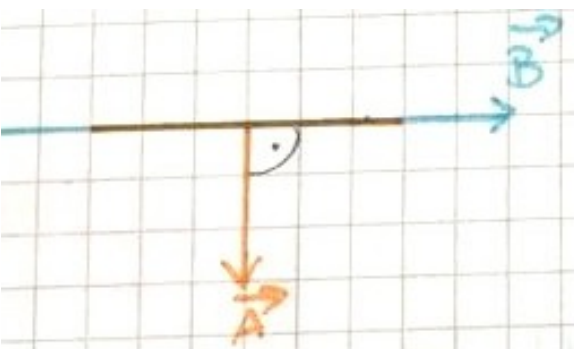


$$\begin{aligned}\Phi &= B * A * \cos(0^\circ) \\ &= B * A = \text{maximal}\end{aligned}$$

die gesamte Fläche der Leiterschleife wird vom Magnetfeld durchsetzt



$$\Phi = B * A * \cos(\varphi)$$

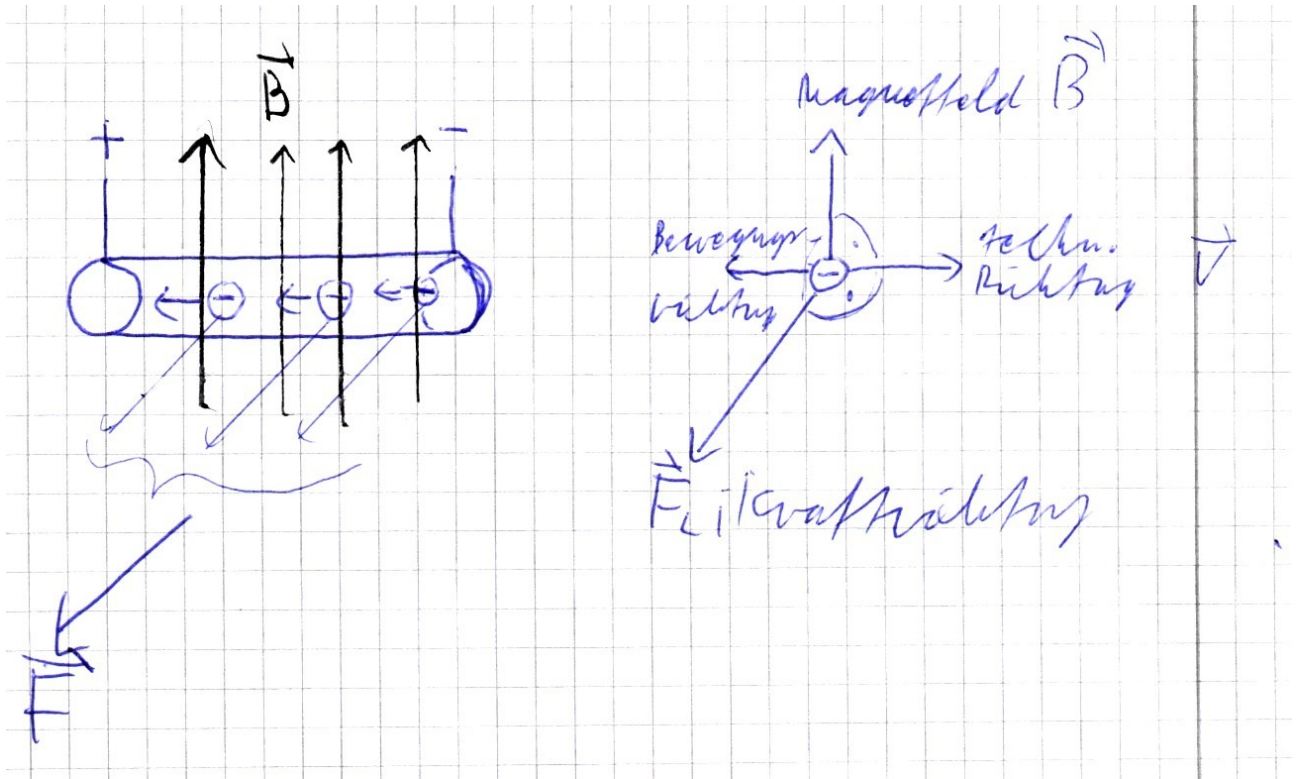


$$\Phi = B * A * \cos(90^\circ) = 0$$

(Φ ist als ein Maß für die zahl der Feldlinien zu sehen, die durch die Fläche hindurchtreten.)

5. Die Lorentzkraft

Als Lorentzkraft bezeichnet man die Kraft auf einen bewegten Ladungsträger (z.B. Elektron) im Magnetfeld.



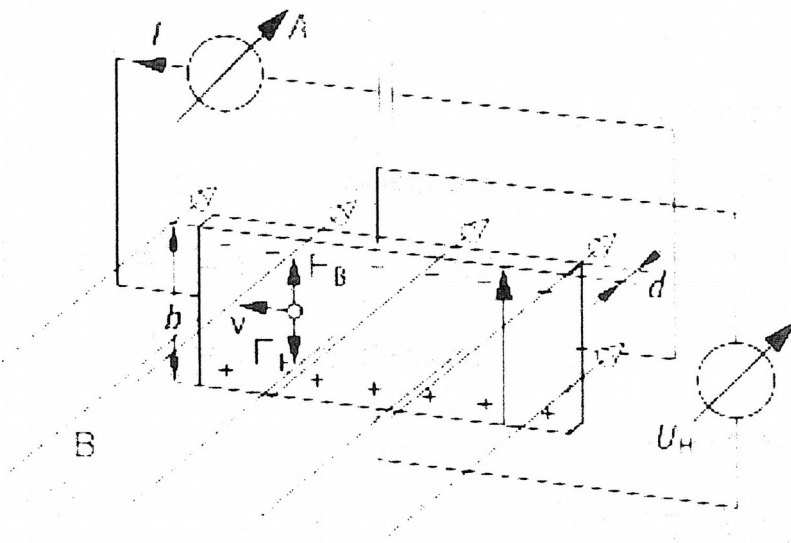
Herleitung von F_L : auf dem Leiter wirkt die Gesamtkraft $F = B \cdot I \cdot l$

mit $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n \cdot q}{\Delta t}$ Für ein Teilchen ist $n = 1$ und $F = \frac{B \cdot q}{\Delta t} \cdot l$ und mit $\frac{l}{\Delta t} = v$

gilt: $F_L = q \cdot v \cdot B$ bzw. $\vec{F}_L = q \cdot (\vec{v} \otimes \vec{B})$ und $F_L = q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\varphi)$

6. Der Hall Effekt

1. Versuch



- Gleichstrom fließt quer durch ein Metallplättchen
- Feldlinien eines Magneten durchsetzen senkrecht das Metall
- Elektronen werden durch Lorentzkraft abgelenkt
 ⇒ Ladungstrennung im Metall
 ⇒ Auftreten der Hallspannung zwischen der unteren und oberen Seite
- Aufbau eines elektrischen Feldes => F_C wirkt entgegen F_L
- Elektronen werden abgelenkt bis $F_C = F_L$

2. Herleitung

$F_L = F_{el}$
 $q \cdot v \cdot B = q \cdot E$ mit $E = \frac{U_H}{b}$, da homogenes Feld
 $\Rightarrow q \cdot v \cdot B = q \cdot \frac{U_H}{b}$
 Umgestellt nach U_H :
 $U_H = b \cdot v \cdot B$

v aufgelöst: $v = \frac{l}{t}$
 für t : $I = \frac{N \cdot q}{t} \Leftrightarrow t = \frac{N \cdot q}{I}$
 eingesetzt in v : $v = \frac{l \cdot I}{N \cdot q}$

v eingesetzt in U_H :
 $\Rightarrow U_H = b \cdot \frac{l \cdot I}{N \cdot q} \cdot B$

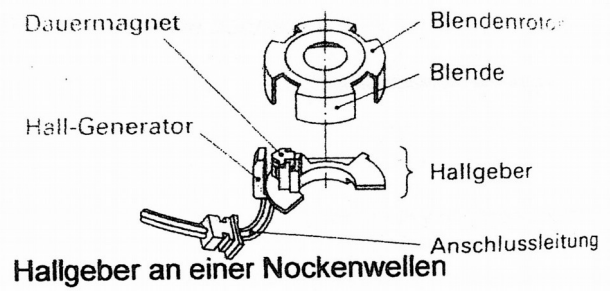
Wobei q = Elementarladung:

\Rightarrow $U_H = \frac{l \cdot b}{N \cdot e} \cdot B \cdot I$

3. Praktische Anwendung

Anwendung zur Messung von:

- Winkel
- Position
- Geschwindigkeit
- Drehzahl



4. Das Elektron muss ein elektrisches Längsfeld durchlaufen

$$W_{el} = E \cdot I \cdot \Delta t$$

$$e \cdot U_B = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

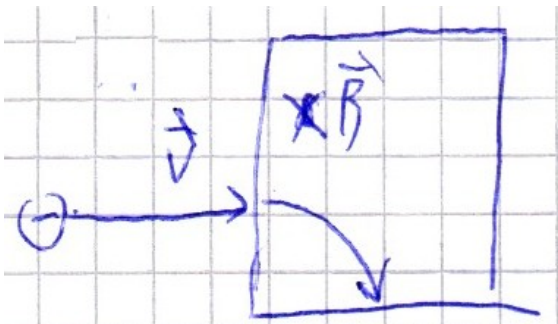
$$U_B = \frac{m \cdot v^2}{2e}$$

$$U_B = \frac{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (938 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$$

$$U_B = \underline{\underline{250 \text{ V}}}$$

5. $F_L = e \cdot v \cdot B$

6. $F_L = F_z$

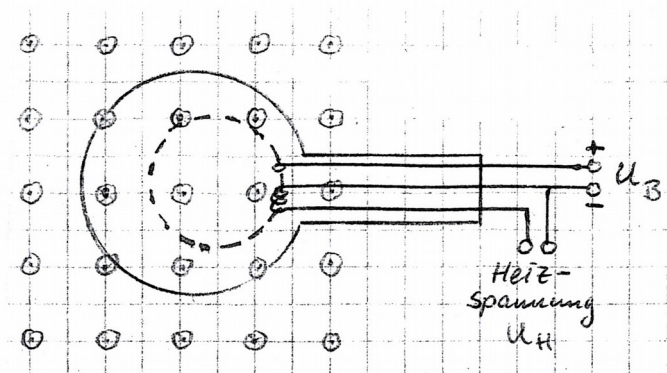


7. Bewegung geladener Teilchen im homogenen Magnetfeld

Das homogene Magnetfeld wird durch ein Helmholtz-Spulenpaar erzeugt

Zwischen dem Spulenpaar befindet sich ein Fadenstrahlrohr (FSR)

Die von der Glühkathode ausgesandten Elektronen werden durch die zwischen Anode und Kathode liegende Spannung U_B beschleunigt.



Die Elektronenbahn ist sichtbar, da die Elektronen das Füllgas der Röhre zum Leuchten anregen.

Bei genügend hohem Spulenstrom bewegen sich die Elektronen auf einer Kreisbahn. Dabei gilt: Lorentzkraft = konstante Zentralkraft.

a. Bestimmung der spezifischen Ladung e/m des Elektrons

Ein Elektron wird zwischen Kathode und Anode des Fadenstrahlrohrs durch die Spannung U_B beschleunigt.

Es gilt: $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = e U_B \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}$ (I)

die Elektronen beschreiben die Kreisbahn

$$\Rightarrow F_z = F_L$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = e \cdot v \cdot B \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{v}{r \cdot B} \quad \text{mit I}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{\sqrt{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}}{r \cdot B} \Rightarrow \frac{e^2}{m^2} = \frac{2 \cdot \frac{e}{m} \cdot U_B}{v^2 \cdot B^2}$$

$$\Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_B}{v^2 \cdot B^2}$$