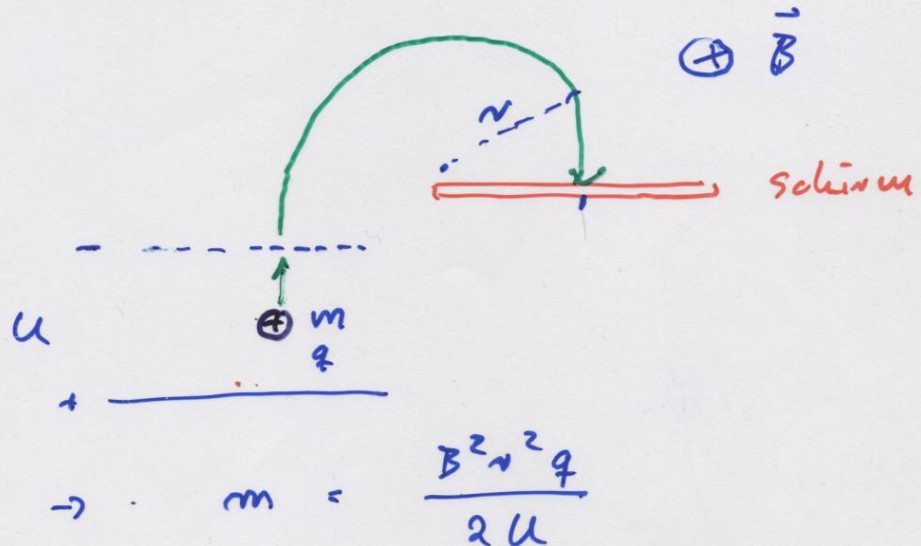


Anwendungen

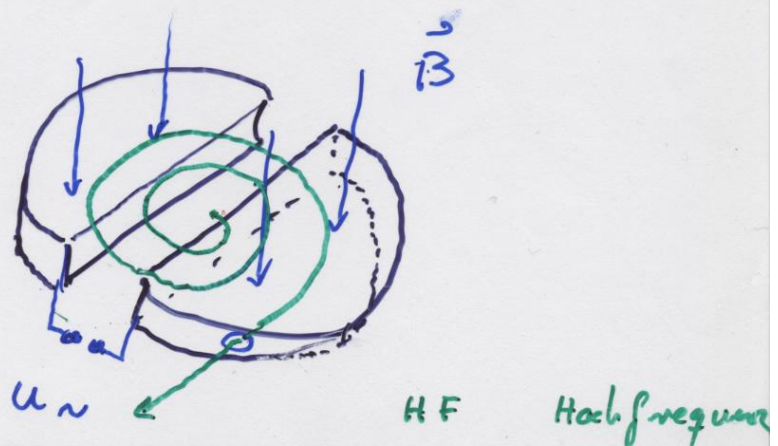
a) Massenspektrometer

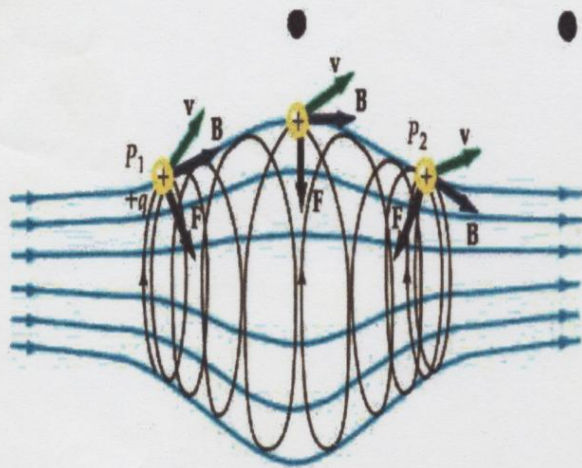


b) Magnetische Flaschen, Fallen

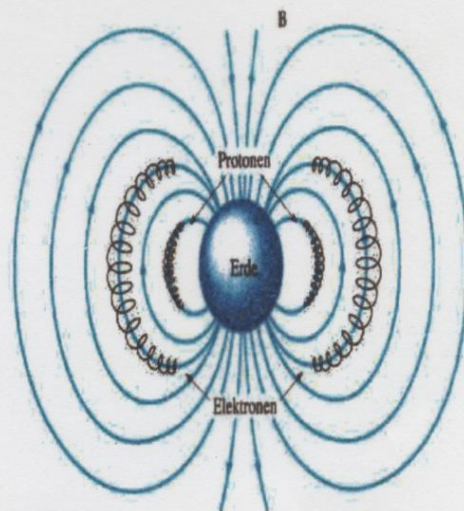
c) Teilchenbeschleuniger

Zyklotron

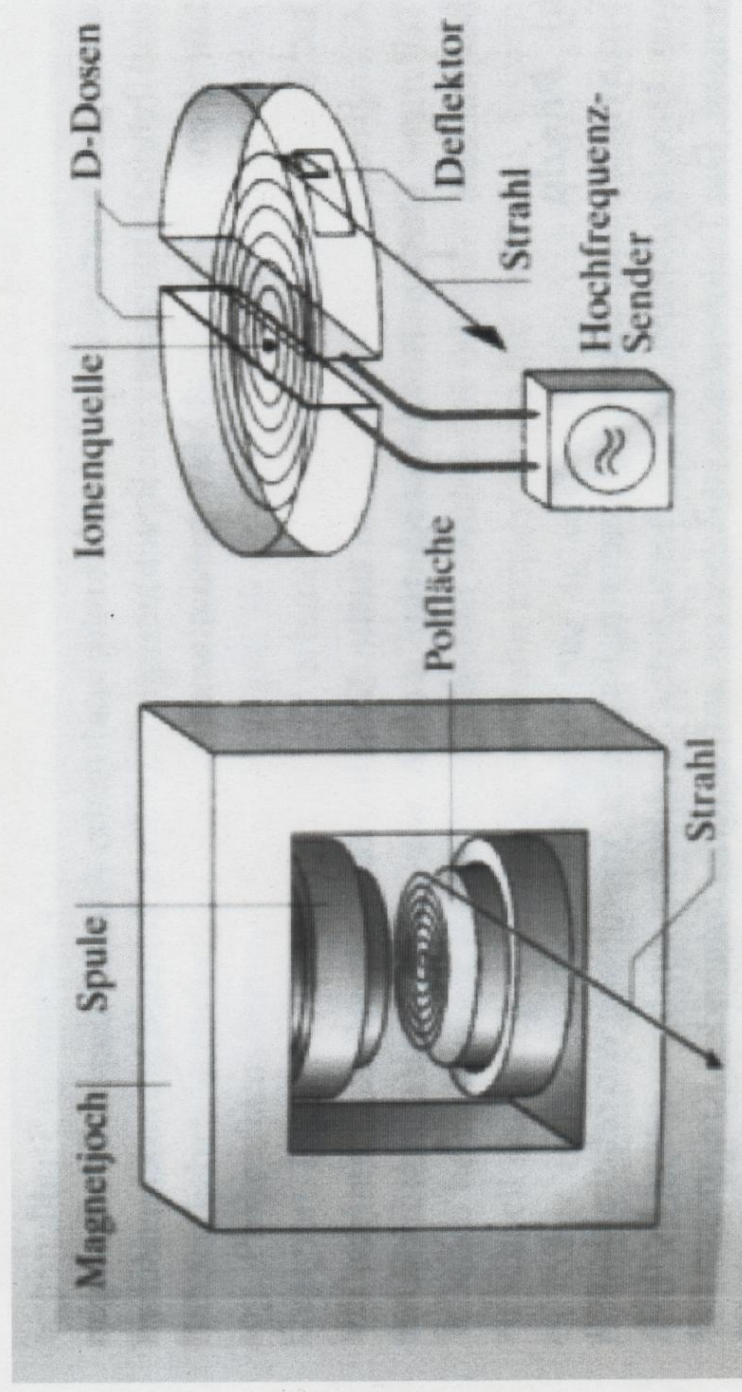




Bewegung in
 inhomogenen
 Feldern:
 magn. "Flaschen"
 und "Fallen" möglich



Zyklotron



Zyklotron

Forschungszentrum Karlsruhe



Uni Erlangen

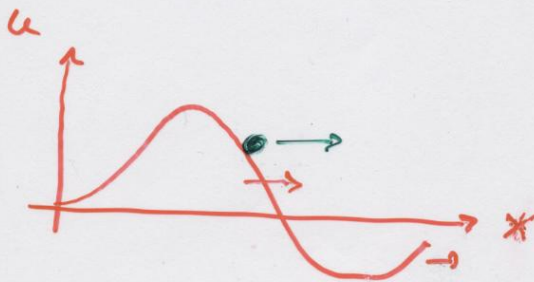
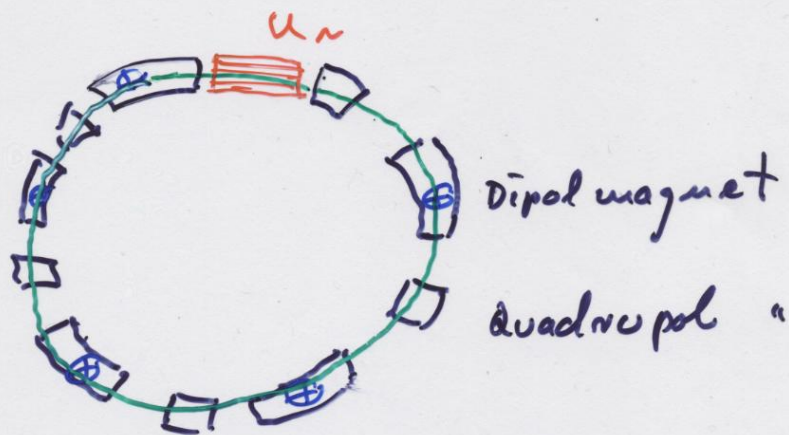


$$v_{HF} = \frac{q}{2\pi m} B = \text{const}$$

Energie begrenzt: typ $\sim 20 \text{ MeV}$

Synchrotron

Kreisbahn im Magnetring



d) Teilchendetektoren

Bei konstantem Magnetfeld wächst der Bahnradius mit der Energie an:

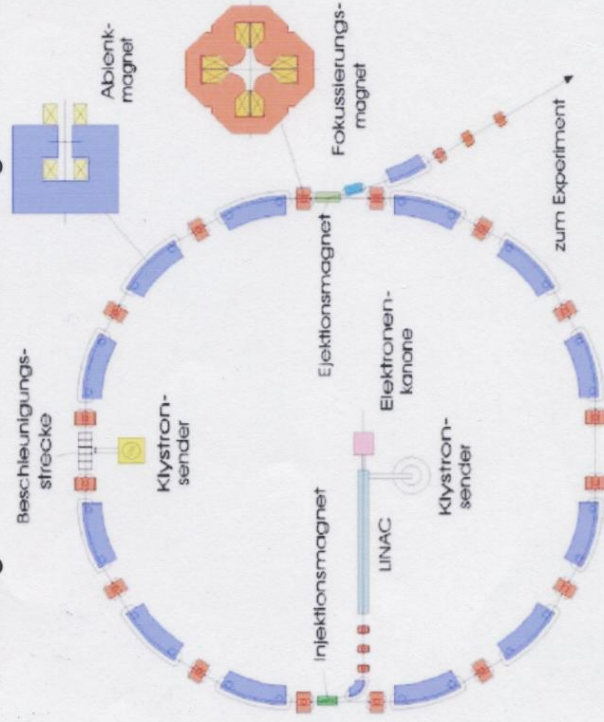
$$R = \frac{E}{ecB} \rightarrow \text{Maschinengröße} \sim R \sim E \rightarrow \frac{E}{B} = \text{const.} \rightarrow \text{Biegeradius konstant}$$

d.h. das Magnetfeld B wird während der Beschleunigung synchron mit der Energie E hochgefahren.

Daher wird ein nach diesem Prinzip arbeitender Kreisbeschleuniger auch „**Synchrotron**“ genannt.

Zur Beschleunigung dienen eine oder mehrere HF-Resonatoren („Cavities“). Der Umfang L und die HF-Wellenlänge haben die Beziehung: $L = q \lambda_{\text{HF}}$

mit ganzzahligem q



Das 500 MeV Elektronen-Synchrotron der Uni Bonn (1958 - 1984):

Synchrotron - groß

Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

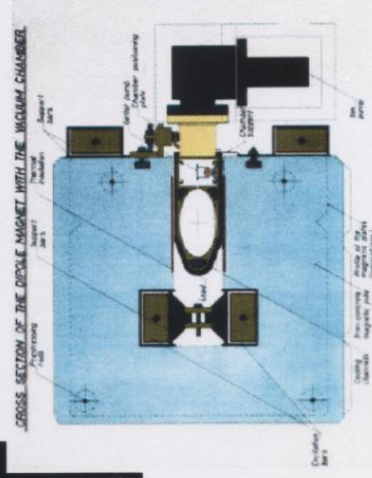
Synchrotron Radiation

non - destructive
materials testing
and analysis
microstructuring
services for internal
and external users



ANKA
synchrotron radiation source

Synchrotron – am größten



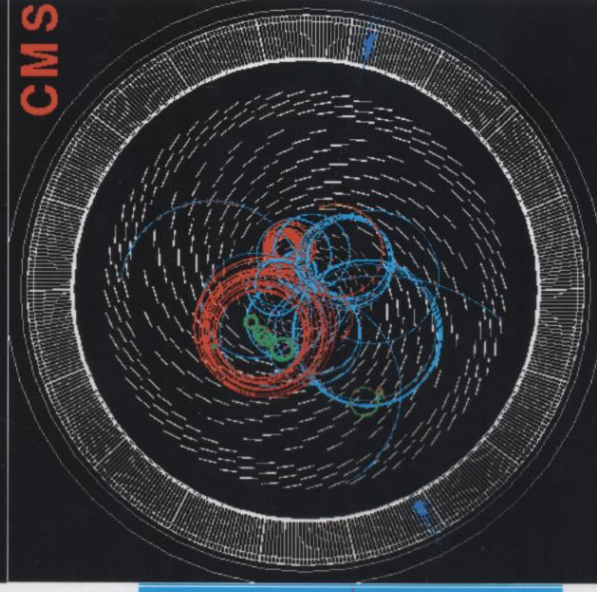
CERN, Genf, Umfang 27 km

Impulsmessung Impulsunterdrückung



CMS Crystal Calorimeter (PbWO₄)

CMS



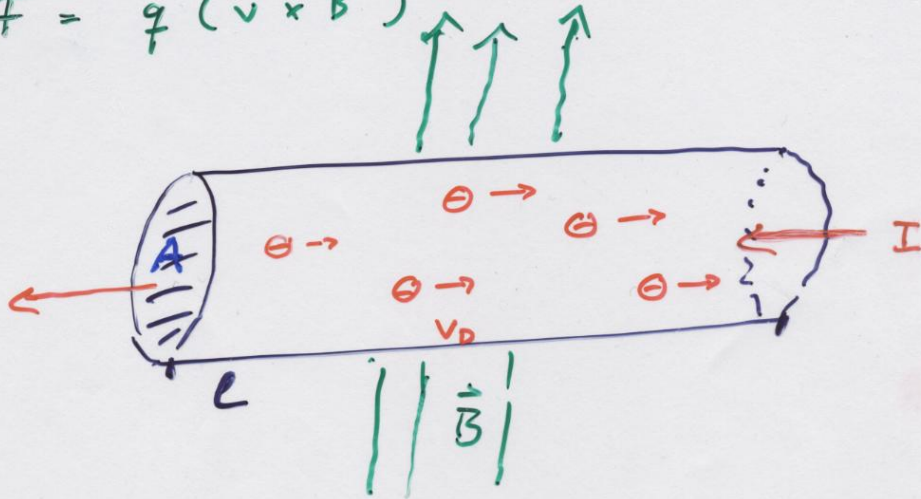
$H \rightarrow \gamma\gamma$

$m_H = 100 \text{ GeV}$

$\sigma_m = 0.5 \text{ GeV}$ at low luminosity

4.1.2 Kräfte auf Ströme im Magnetfeld

$$\vec{F} = q (\vec{v} \times \vec{B})$$



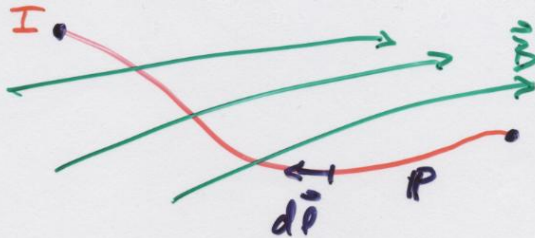
Auf jedes e^- : $\vec{F}_i = e \cdot \vec{v}_D \times \vec{B}$

$$\begin{aligned} I &= \int_A \vec{j} dA = \rho \cdot v_D \cdot A \\ &= \frac{Q}{l} \cdot v_D \cdot A \\ &= \frac{Q \cdot v_D}{e} \end{aligned}$$

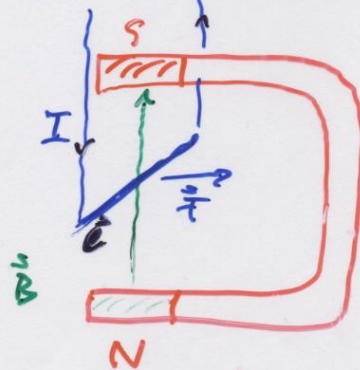
$$\begin{aligned} \vec{F} &= Q \cdot \vec{v}_D \times \vec{B} \\ &= I \cdot l \cdot \frac{\vec{v}_D}{|\vec{v}_D|} \times \vec{B} \\ &= I \cdot \vec{l} \times \vec{B} \end{aligned}$$

Allgemein: $d\vec{F} = I \cdot d\vec{\ell} \times \vec{B}$

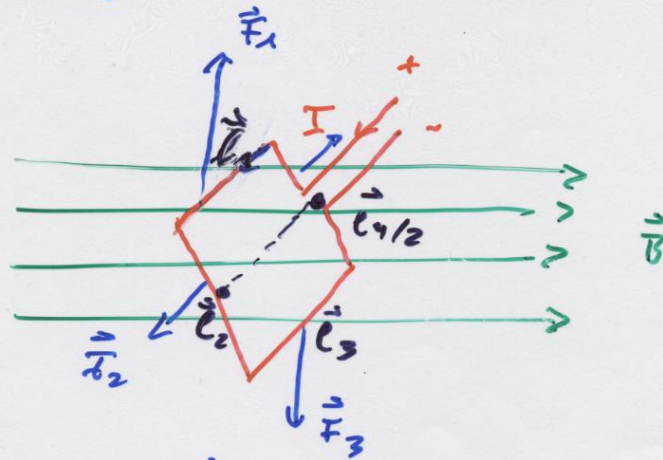
$$\vec{F} = I \int_P d\vec{\ell} \times \vec{B}$$



Demo: Kraft auf Draht in
Hufeisenmagnet



• Kraft auf Stromschleife:



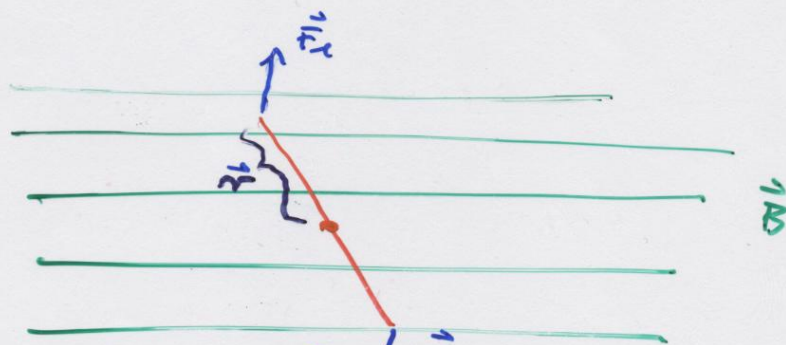
$$\vec{F}_1 = I \cdot \vec{l}_1 \times \vec{B}$$

$$\begin{aligned} \vec{F}_3 &= I \cdot \vec{l}_3 \times \vec{B} \\ &= -\vec{F}_1 \end{aligned}$$

$$(l_1 = l_2 = l_3 = l_4)$$

$$\vec{F}_2 = I \vec{l}_2 \times \vec{B} = -\vec{F}_4$$

$$\Rightarrow \sum \vec{F}_i = 0$$



Drehmoment: $\vec{D} = 2 \vec{r} \times \vec{F}_1$

$$D = I \cdot l_1 \cdot l_2 \cdot B \cdot \sin \theta$$

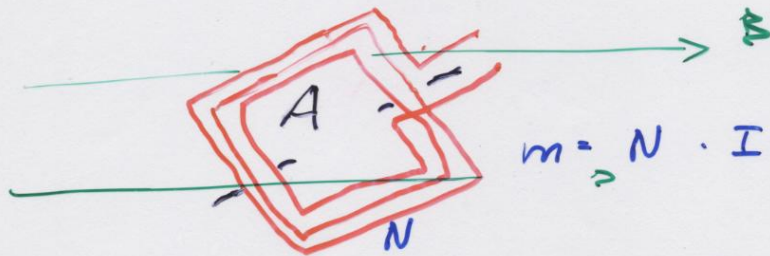
$$= I \cdot A \cdot B \sin \theta$$

$$\vec{D} = I \cdot \vec{A} \times \vec{B}$$

$$= \vec{m} \times \vec{B}$$

↑
Magnetisches Moment $\vec{m} = I \cdot \vec{A}$
[m] = A m²

• Spule im B-Feld



$$m = N \cdot I \cdot A$$

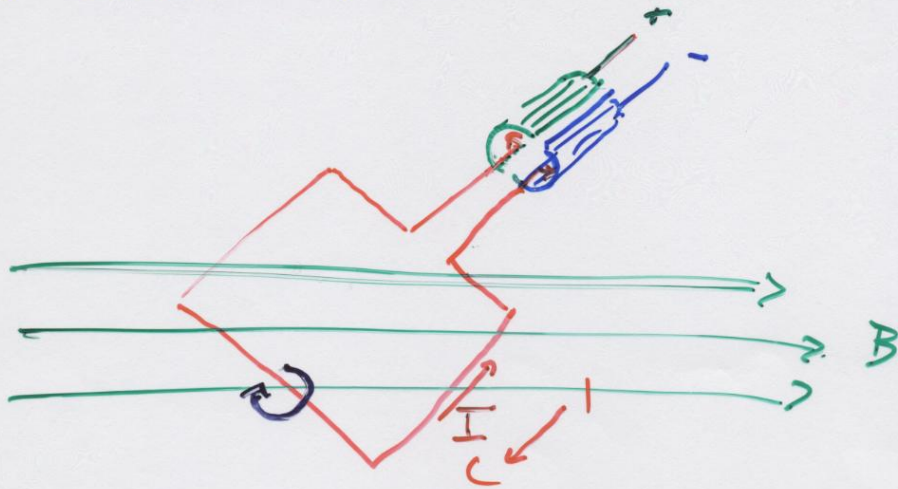
$$D = N \cdot I \cdot A \cdot B$$

Anwendungen:

a) Galvanometer

$$I \sim D$$

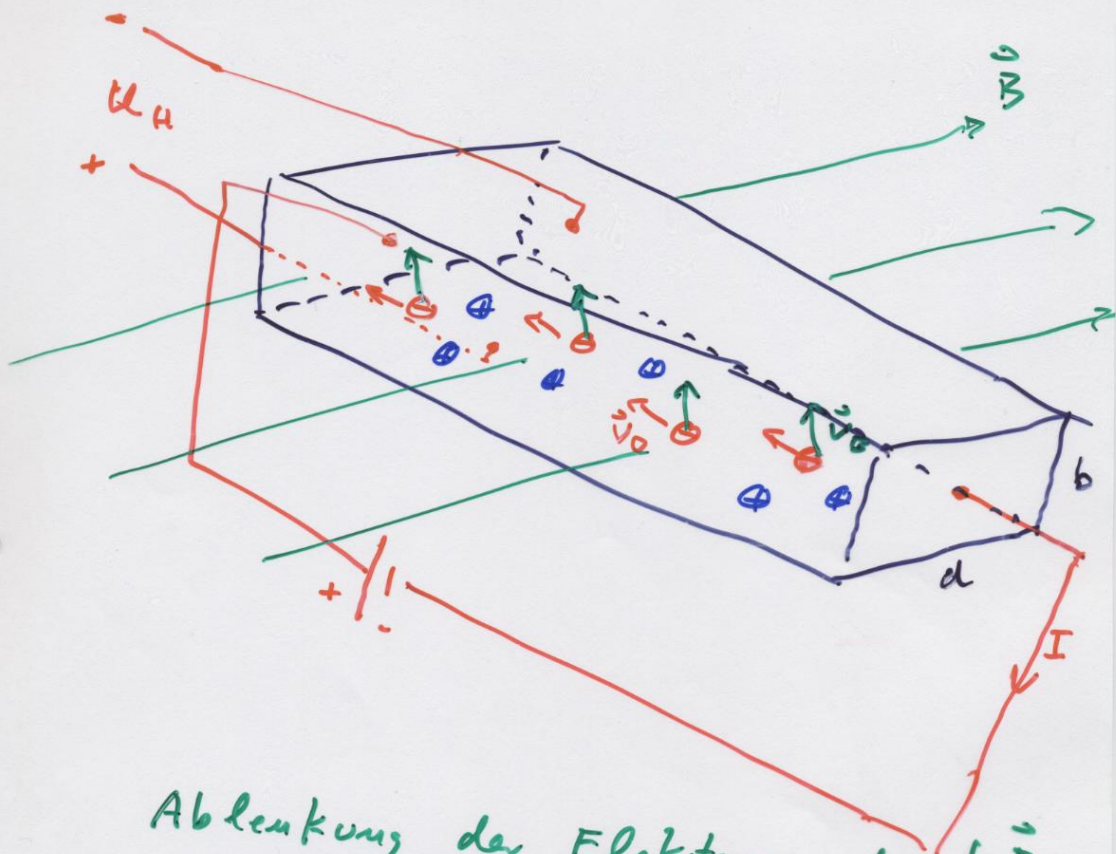
b) Elektromotor



Schleifkontakt so angelegt, daß
Strom sich umkehrt nach 180°
Drehung $\rightarrow$ Drehung in einer
Richtung

4.1.3 Hall - Effekt

Trennung von Ladungen im stromdurch-
flossenen Material im B -Feld:



Ablenkung der Elektronen durch $\vec{B}$
 Positive Ladungen des Festkörpers
 bleiben am Ort.

$$U_H = b \cdot E$$

$$= v_D \cdot B \cdot b$$

$$\vec{F}_{e^-} = -e \cdot \vec{v}_D \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_{ion} = +e \cdot \vec{E}$$

Hallspannung

↪ Gleichgewicht

Messungen:

i) Magnetfelder: $B = \frac{U_H}{v_D \cdot b}$

ii) Ladungsträgerdichte:

$$I = \underbrace{n \cdot q}_{\text{Ladung}} \cdot \underbrace{v_D \cdot A}_{\frac{\text{Volumen}}{\text{Zeit}}}$$

$$n = \frac{I}{A \cdot v_D \cdot e} = \frac{I}{b \cdot d \cdot v_D \cdot e}$$

$$n = \frac{I \cdot B}{e \cdot d \cdot U_H}$$

iii) Materialeigenschaften

$$U_H = \frac{I \cdot B}{n \cdot e \cdot d} \quad ; \quad U_H = A_H \cdot \frac{I \cdot B}{d}$$

↑
Hallkonstante

$$R_H = \frac{U_H}{I} = A_H \cdot \frac{B}{d}$$

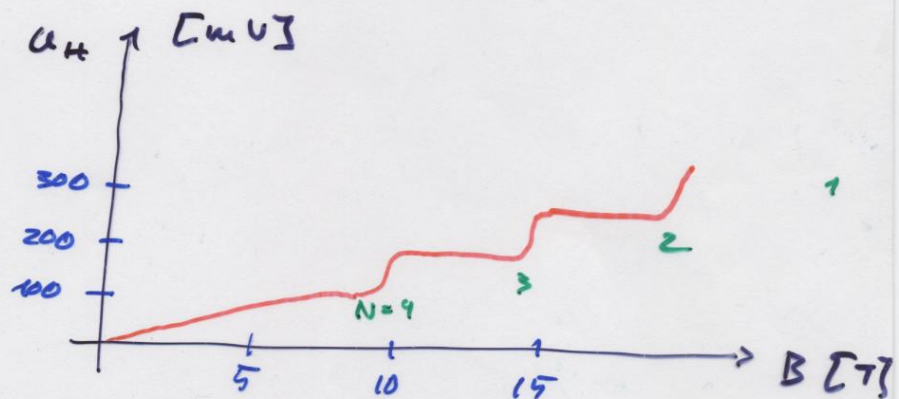
Hall - Widerstand

(v) Sonderfall: Quanten-Hall-Effekt

Erwarte $U_H \propto B$



Bei sehr tiefen Temperaturen im Halbleiter



Spannung wächst in Sprüngen

$$\begin{aligned} R_H &= \frac{U_H}{I} = \frac{R_K}{N}, \quad N = 1, 2, \dots \\ &= \frac{h}{e^2} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2} \\ &= 25815 \, \Omega \end{aligned}$$

R_H = v. Klitzing - Konstante