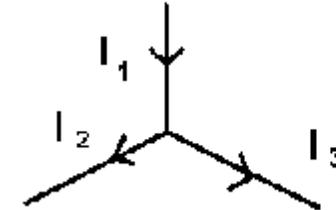
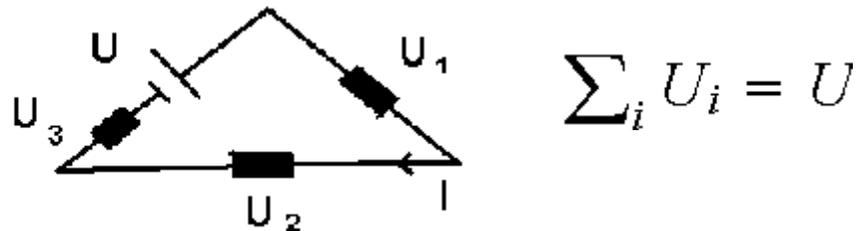


Anmerkungen zu Schaltungen Kirchhoffschen Regeln:

1: Knotenregel: $\sum_i I_i = 0$

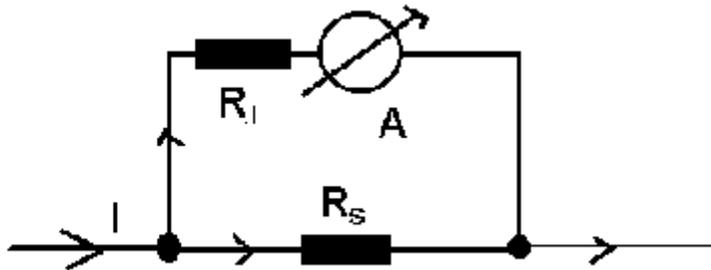
Ladungserhaltung

2: Maschenregel: $\sum_i U_i = 0$



Wegunabhängigkeit der Potentialdifferenz

Anwendung: Messgeräte z.B.: **Strommessung**



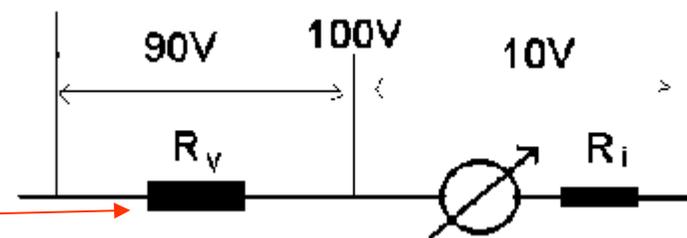
Vergrößerung des Messbereichs!

$$\frac{R_s}{R_i} = \frac{\frac{1}{10}}{\frac{9}{10}} \Rightarrow R_s = \frac{1}{9} R_i$$

z.B.: **Spannungsmessung**
(meistens Strommessung)

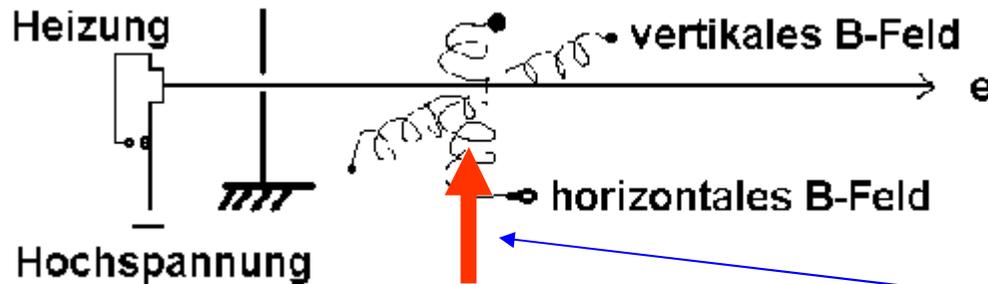
Messbereich 10V, R_V

Vorschalt-
widerstand



9.5. Materie im magnetischen Feld

2. Braunsche Röhre



1. Schritt:
Eisen, Ferrit

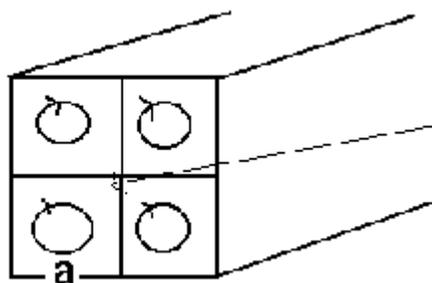
Permanentmagnet

Horizontales B-Feld → Vertikalablenkung

Materie in der Spule,
z.B.: Fe, Ferrit

Verstärkung der Ablenkung → Verstärkung des magn. Felds

Modellvorstellung: Im Eisen/ Ferrit, sind **kleine magnetische Dipole**, die durch das angelegte Feld ausgerichtet werden und dieses verstärken.



innen heben sich die Ströme auf

Außen: **Ringstrom I**
verursacht $I \cdot a^2$:

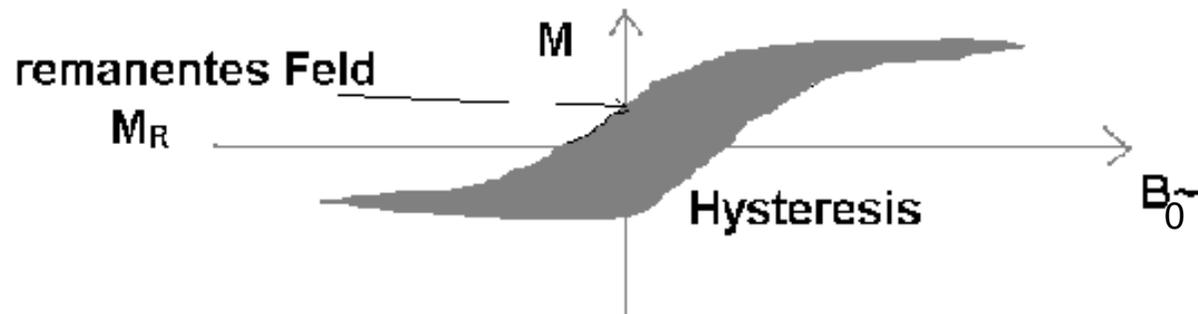
Magnetisches Moment
dieses Bereichs

Magnetisierung: $\vec{M} = \frac{\text{magn. Moment}}{\text{Volumen}}$

analog \vec{P}

im elektrischen Fall

Schluss: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$ \vec{B}_0 magnetisierendes Feld



"Nachhinken" der Magnetisierung hinter dem magnetischen Feld

M_R "groß": magnetisch hart \Rightarrow Dauermagnet

M_R "klein": magnetisch weich \rightarrow Trafo

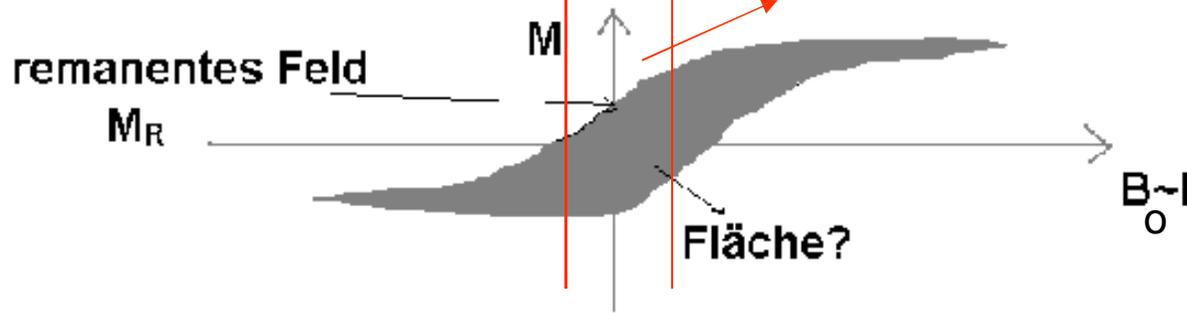
Relative Permeabilität: $\vec{B} = \vec{B}_0 + \mu_0 \vec{M}$ wir stellen fest:

$\mu_0 \vec{M} = \chi \vec{B}_0$ χ : Suszeptibilität und damit $\vec{B} = \vec{B}_0(1 + \chi)$

$1 + \chi = \mu$: Ein Grad für die Ausrichtung

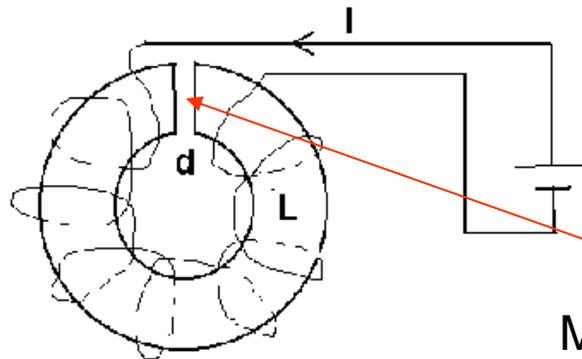
Ferromagnetika:

$$\int M(B_0) dB_0 = \frac{\chi}{2\mu_0} B_0^2 = \frac{\mu-1}{2\mu_0} B_0^2$$



$$\chi \gg 1$$

EX: Modell, Barkhausen, Curie Anwendung: **Hohe Magnetfelder**



L: Weg im Eisen, d: Breite des Luftspalts
N: Zahl der Windungen

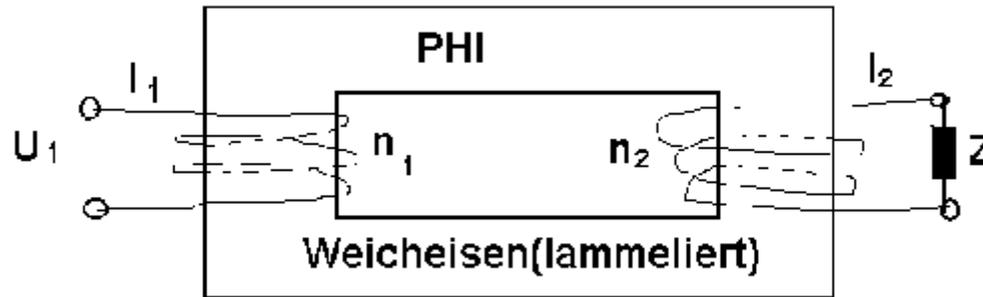
Feldstärke der Spule ohne Eisen:

$$B_0 = \mu_0 \frac{N}{L} I$$

Mit Eisen:

$$B = \mu \cdot B_0$$

Transformator:



Primärwicklung Sekundärwicklung

Idealer Transformator

a) Ohmscher Widerstand
vernachlässigbar
(Spulen Zuleitungen)

b) Keine Wirbelströme ,
keine Hysterese

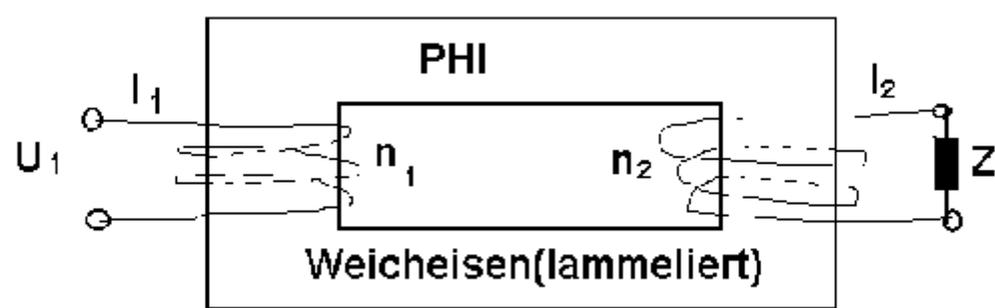
c) im Eisen konzentriert

$U_1 = -U_{ind}; U_1 = n_1 \cdot \dot{\Phi}$ Sekundärkreis: $\dot{\Phi}$ produziert $U_2 = -n_2 \cdot \dot{\Phi}$

→ Spannungsübersetzung des Transformators: $\frac{U_2}{U_1} = -\frac{n_2}{n_1}$

Spezialfälle: $I_2 = 0$ Primärkreis: **Leerlaufstrom** $I_{1,0} = \frac{U_1}{i\omega L_1}$

reiner Blindstrom



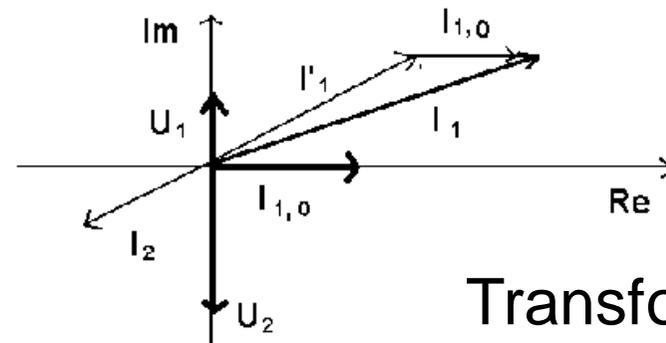
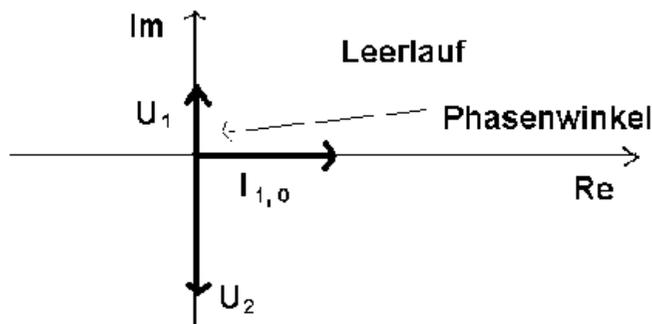
Z
 im Sekundärkreis:
 $Z = R + i\omega L; I_2 = \frac{U_2}{Z}$

$\dot{\Phi}$ kompensiert U_1 , zusätzlich ändert sich nicht

$n_2 \cdot I_2$ muss durch zusätzlichen Primärstrom I_1' kompensiert werden

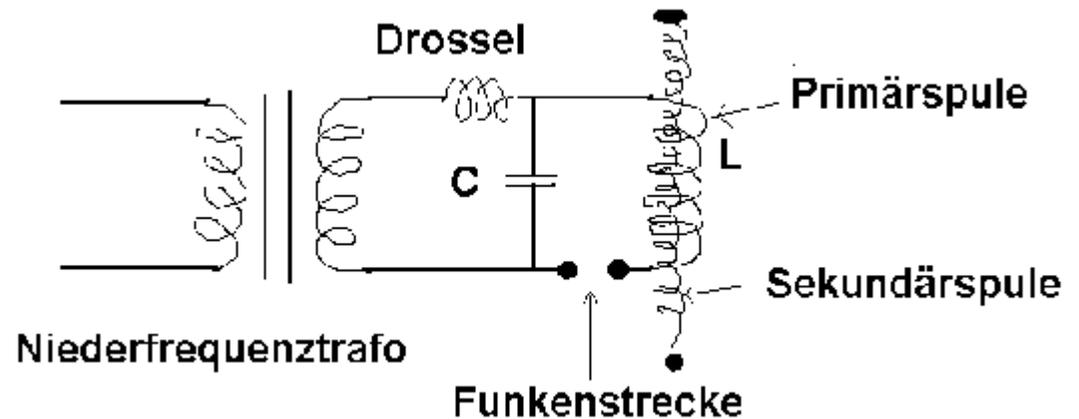
$$n_1 \cdot I_1' + n_2 \cdot I_2 = 0 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1'} = -\frac{n_1}{n_2} \quad \text{Primärstrom:}$$

$$I_1 = I_{1,0} - \frac{n_2}{n_1} I_2 = I_{1,0} - \frac{n_2}{n_1} \frac{U_2}{Z}$$



Transformator
 belastet

TESLA-Transformator



$$\text{z.B.: } C=10^{-9}F, L = 1.25 \cdot 10^{-6}H \Rightarrow \nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} =$$
$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{10^{-9} \cdot 1.25 \cdot 10^{-6}}} = 4.5 \times 10^6 s^{-1}$$

Dämpfung durch Widerstand der Spule und Funkenstrecke

sehr hohe Spannungen : einige $10^5 V$

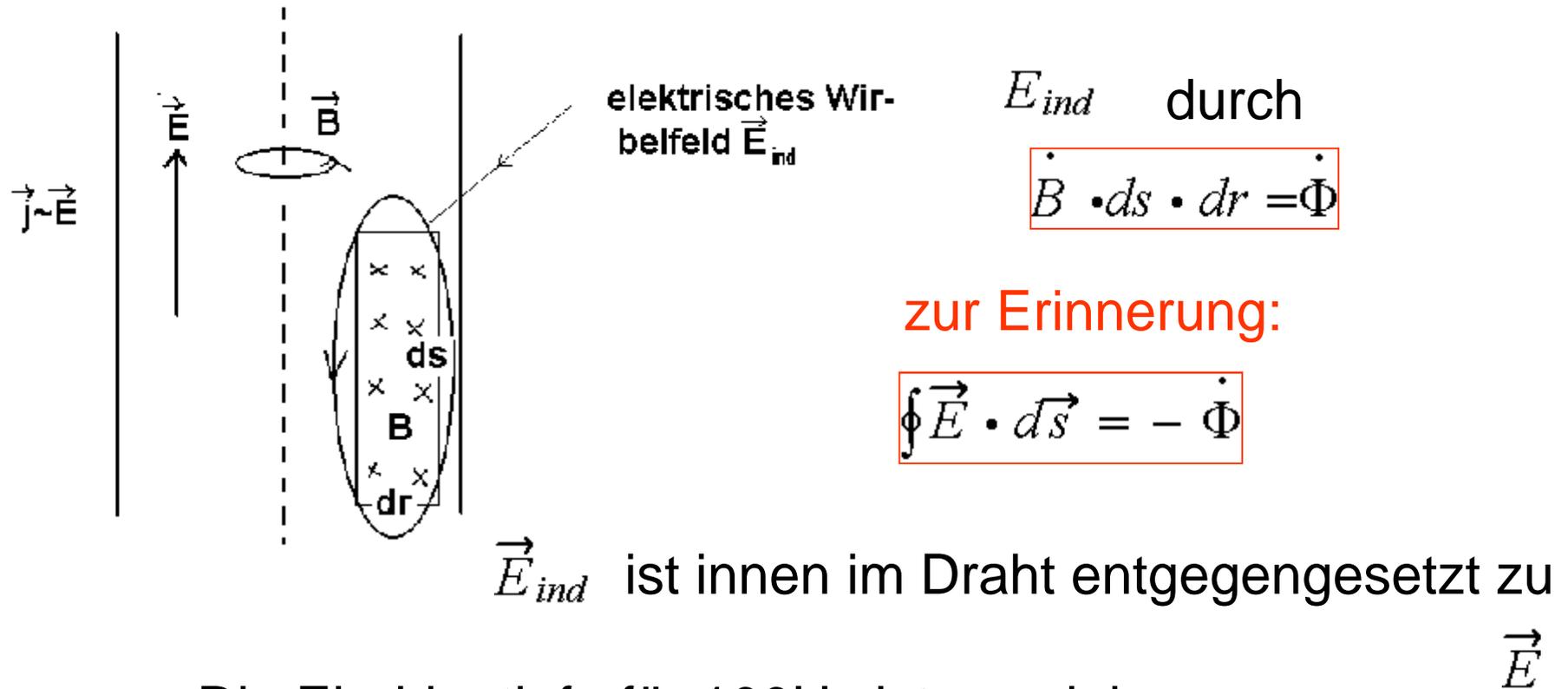
Hohe Änderungsgeschwindigkeit des Magnetflusses

Skineffekt!

Beobachtung:

Hohe Frequenz

Strom drängt an die Oberfläche

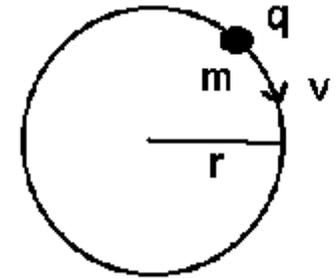


Die Eindringtiefe für 100Hz ist ca. einige cm

für $10^{12} Hz$ ca. $0.1 \mu m$

Weitere Effekte von Materie in Magnetfeldern

Auf der atomaren Ebene gibt es atomare magnetische Momente: *Drehimpuls* : $L = m \cdot v \cdot r$



Magnetisches Moment $m_m = I \cdot A = I \cdot \pi \cdot r^2$

Ladung auf einer Kreisbahn : $I = q \cdot v = \frac{q}{T} = \frac{q \cdot v}{2\pi r}$ mit $T = \frac{2\pi r}{v}$

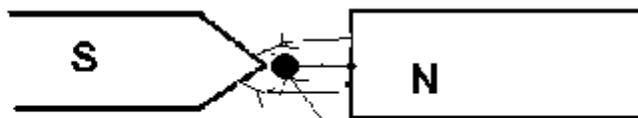
magnetisches Moment

$$m_m = I \cdot A = I \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{q \cdot v}{2\pi r} \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{1}{2} q \cdot v \cdot r$$

Paramagnetismus: $\chi > 0$; z.B : Al

Ausrichtung von Elementarmagneten:

Grad der Ausrichtung: $\vec{m}_m \cdot \vec{B} / kT = \frac{\text{potentielle Energie der Dipole im Magnetfeld}}{\text{Wärmebewegung}}$



Materiekügelchen

magnetischer Dipol in einem inhomogenen Magnetfeld:

Bei vorhandenen magn.Dipol:

Wird auf die Spitze gezogen!

Kraft!

Feld wird verstärkt, wie beim Ferromagnetismus!

Bei Pb, Bi und C beobachtet man Abstoßung von der Spitze!

Alle diese Elemente haben kein permanentes Dipolmoment!

d.h.: $\chi < 0$ oder das Feld wird geschwächt!

Diamagnetismus

Ursache (klassisch):

Das B-Feld induziert beim Einbringen der Materie "zusätzliche" Kreisströme, induzierte magn. Momente, in den Atomen.

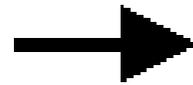
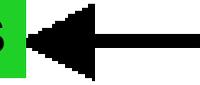
Nach der Lenzschen Regel: Abschwächung

Alle Stoffe zeigen Diamagnetismus!

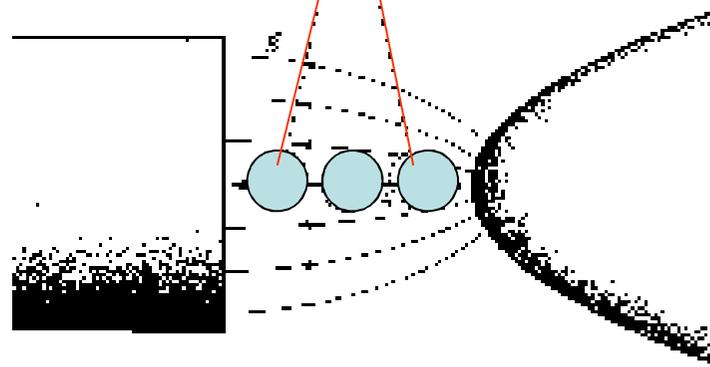
Einige zeigen zusätzlich, und dann dominierend,

Paramagnetismus bzw. Ferromagnetismus

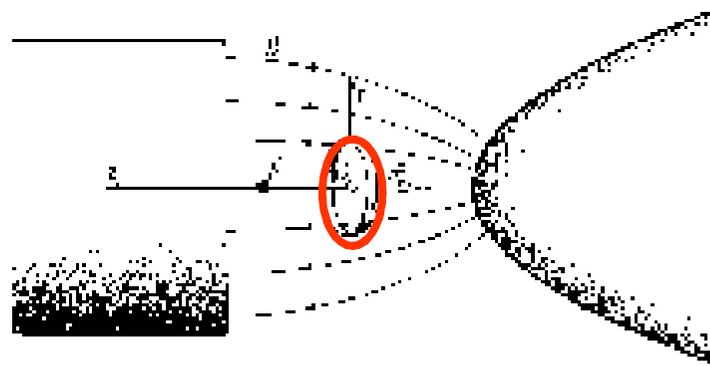
Diamagnetismus



Paramagnetismus



Kreisströme beim Diamagnetismus



Siehe Feynman Bd.II

Now we would like to demonstrate that according to classical mechanics there can be no diamagnetism or paramagnetism at all!!!