

PHYS3100 Grundkurs IIb für Physiker

Othmar Marti
Experimentelle Physik
Universität Ulm

Othmar.Marti@Physik.Uni-Ulm.de

Vorlesung nach Tipler, Gerthsen, Alonso-Finn, Halliday

Skript: <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/Lehre/gk3b-2003-2004>

Übungsblätter und Lösungen:

<http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/gk3b-2003-2004/ueb/ue#>

20. Januar 2004



Universität Ulm, Experimentelle Physik

Klausur

Datum und Uhrzeit 19. 2. 2004, 9:00-11:00

Ort Hörsaal H2

Hilfsmittel 6 Seiten A4 (3 Blätter) *handgeschrieben mit eigener Hand*

Tutorium am 16.2. 2004, Ort und Zeit sind Verhandlungssache



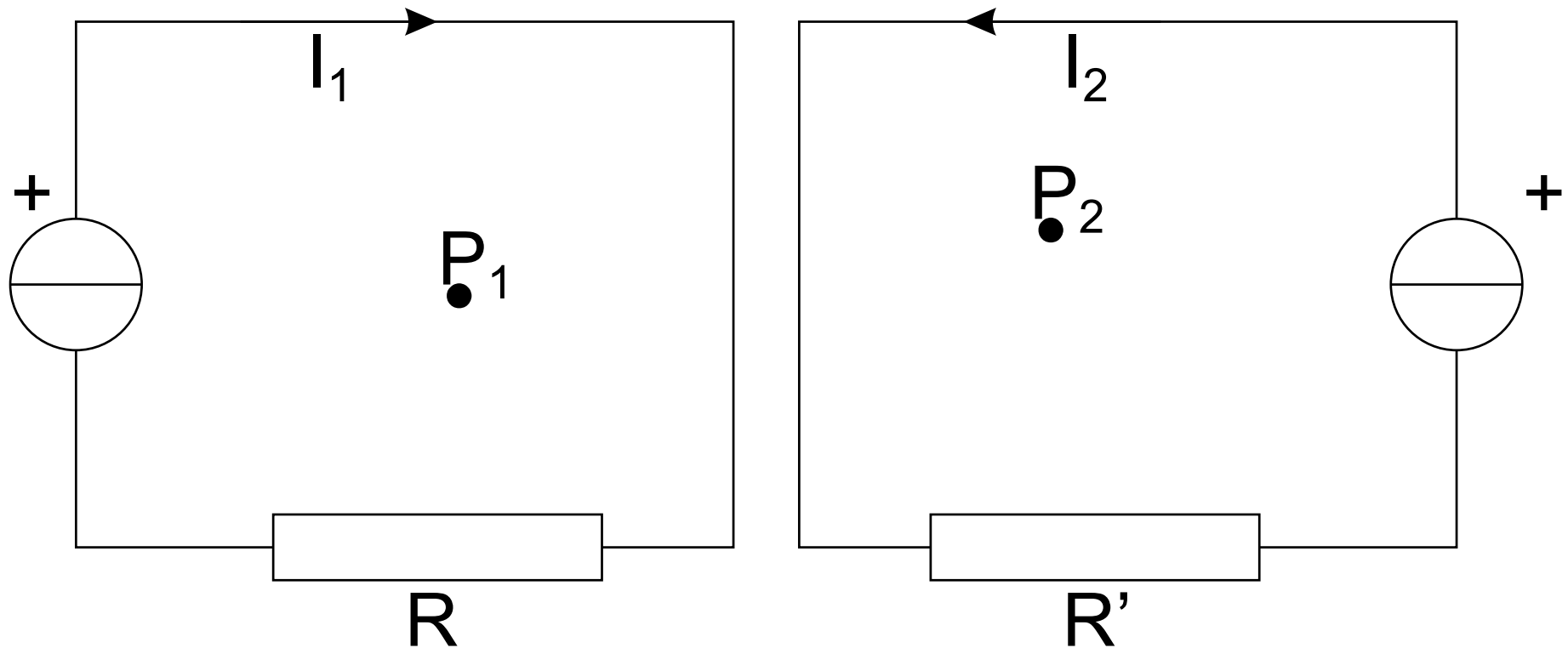
Faradaysches Gesetz, Induktionsgesetz

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d}{dt} \iint_{A(S)} \vec{B} \cdot d\vec{a} \quad (1)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$



Transformator



Zwei gekoppelte Stromkreise



Der magnetische Fluss am Punkt P_2 hängt sowohl vom Strom I_2 wie auch vom Strom I_1 ab:

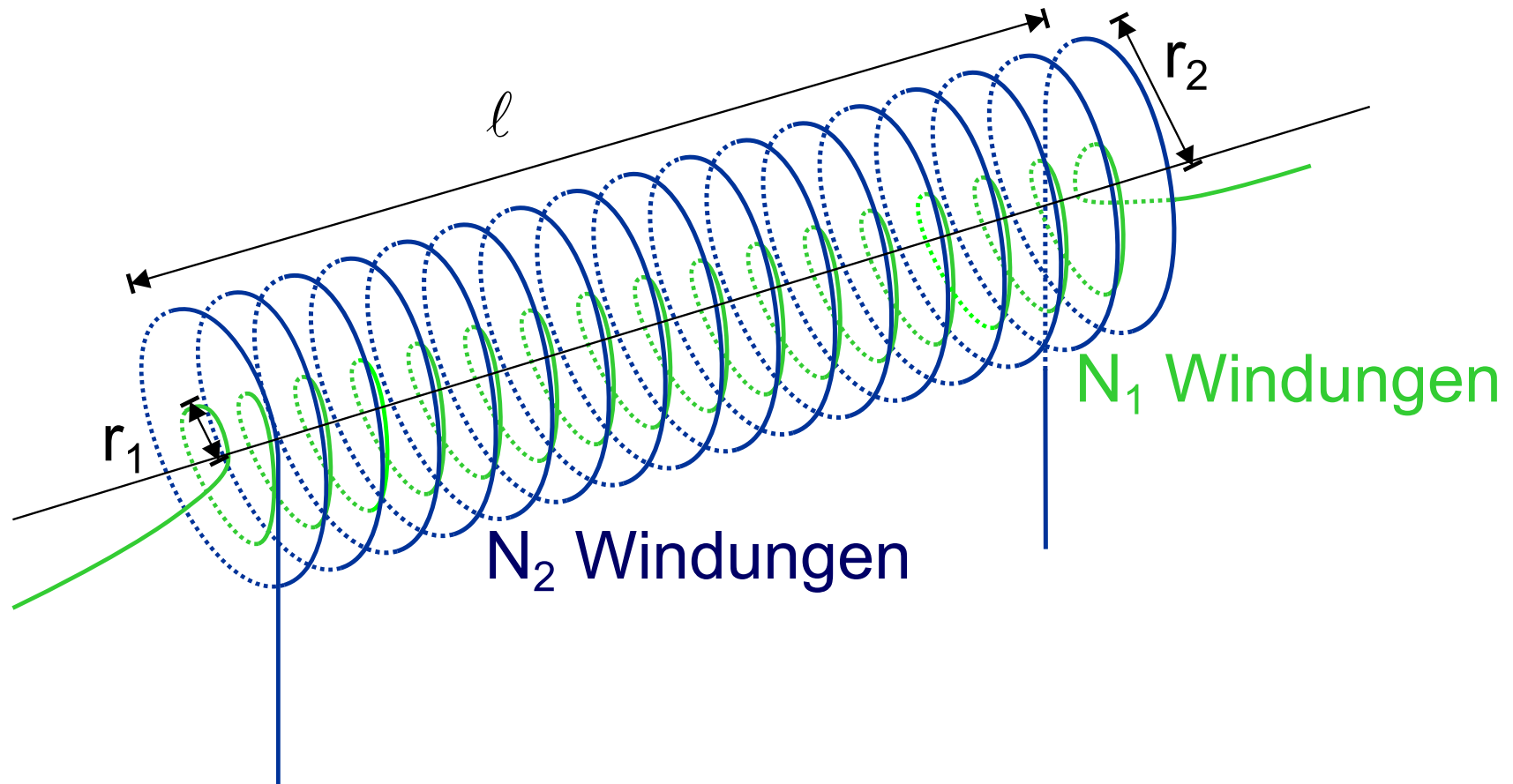
$$\phi_B(P_2) = L_2 \cdot I_2 + M_{12} \cdot I_1 \quad (3)$$

Ebenso hängt der magnetische Fluss am Punkt P_1 von beiden Strömen ab

$$\phi_B(P_1) = L_1 \cdot I_1 + M_{21} \cdot I_2 \quad (4)$$

Neben der **Selbstinduktivität** L_i müssen bei realen Systemen auch die **Gegeninduktivitäten** M_{ij} berücksichtigt werden. Wie bei den Induktivitäten hängt auch bei den Gegeninduktivitäten die Grösse allein von der Geometrie ab.





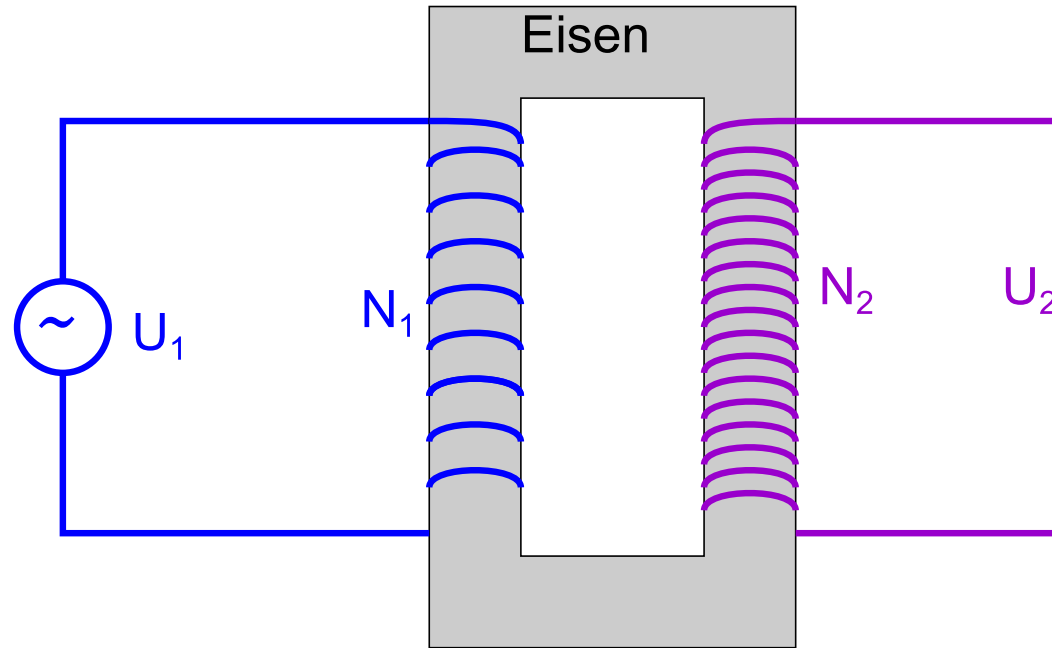
*Symbolische Darstellung eines **Transformators***

Die Gegeninduktivität ist

$$M_{21} = \frac{\phi_{B_1}}{I_2} = \mu_0 n_1 n_2 \ell (\pi r_1^2) = M_{12} \quad (5)$$

Diese Beziehung, die an einem Spezialfall gezeigt wurde, gilt auch allgemein (ohne Beweis).





Schematischer Aufbau eines Transformators

Für Spannungen

$$U_2 = -\frac{N_2}{N_1}U_1 \quad (6)$$

N_2/N_1 heisst der **Übersetzungsfaktor** des Transformators.



Wird der Ausgang des Transformators mit R belastet, fließt der Strom I_2 , der zu U_2 in Phase ist. I_2 erzeugt einen magnetischen Fluss $\phi'_B \propto N_2 I_2$, der den ursprünglichen Fluss ϕ_B durch die Spule 2 schwächt. Da durch beide Spulen der gleiche magnetische Fluss fließt, muss auch der Fluss durch die erste Spule geschwächt werden. Da die Spannung durch die Spannungsquelle U vorgegeben ist, muss der Strom I_1 auf der Primärseite zusätzlich fließen, so dass $\phi'_B \propto N_1 I_1$ gilt.

$$I_2 = -\frac{N_1}{N_2} I_1 \quad (7)$$

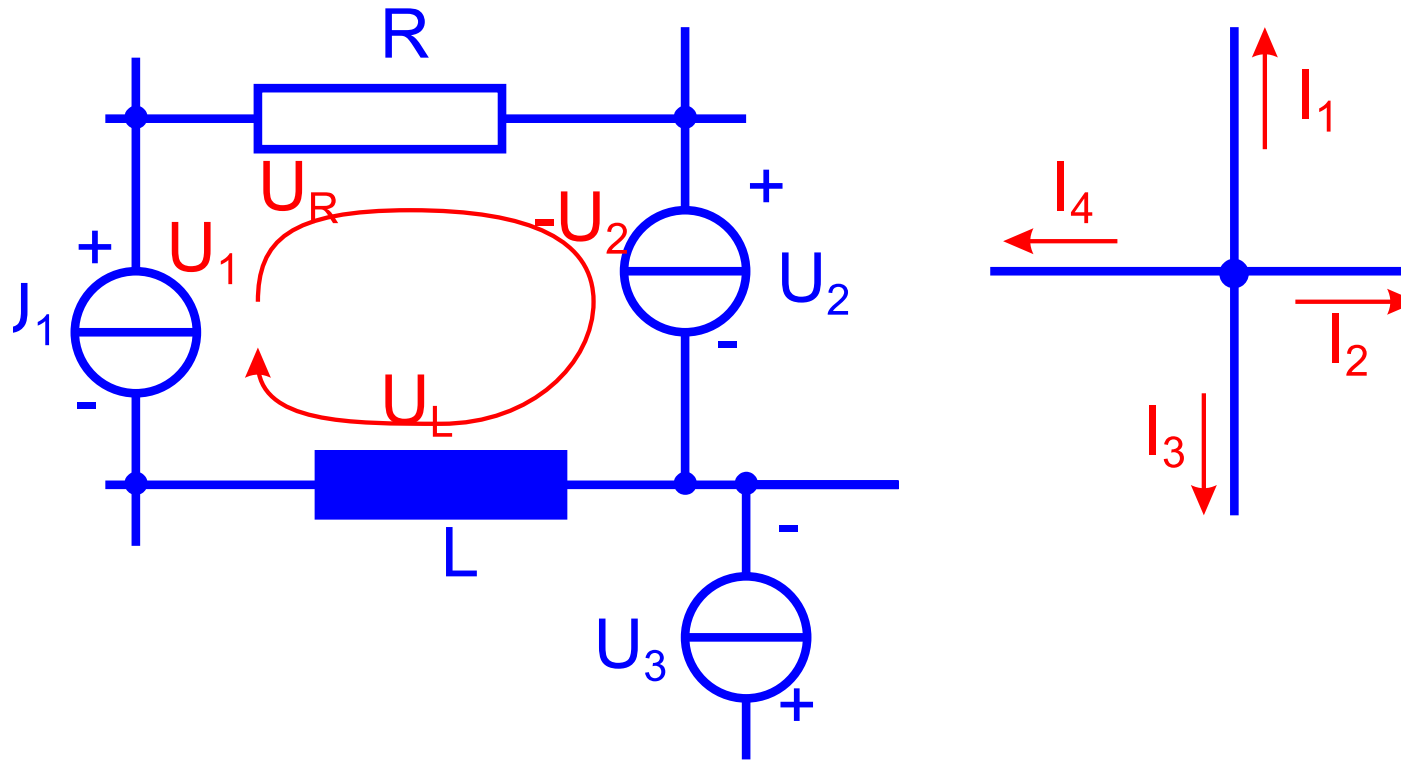
Wenn wir die Effektivwerte betrachten haben wir damit

$$U_2 I_2 = \left[-\frac{N_2}{N_1} U_1 \right] \left[-\frac{N_1}{N_2} I_1 \right] = U_1 I_1 \quad (8)$$

sofern man Verluste vernachlässigt. **Ideale Transformatoren übertragen also verlustfrei Leistung.**



Kirchhoffsche Gesetze



Kirchhoffsche Gesetze: links die Maschenregel, rechts die Knotenregel.

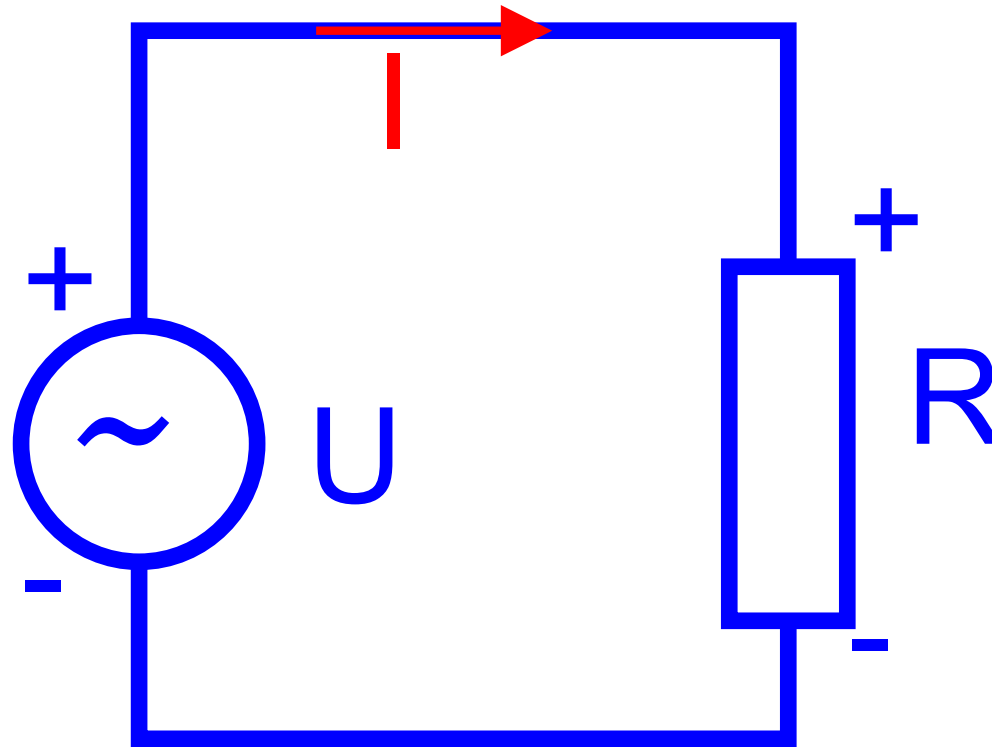


$$\sum_{\forall k \text{ Quellen}} U_k = \sum_{\forall j \text{ Verbraucher}} U_j \quad (9)$$

$$\sum_{\forall k \text{ eines Knotens}} I_k = 0 \quad (10)$$



Wechselstromkreise und Impedanzen



Definition von Strömen und Spannungen bei Wechselspannungen



Rechnen mit komplexen Impedanzen

$$U(t) = \hat{U}e^{i\omega t}$$

$$I(t) = \hat{I}e^{i\omega t}$$

Ableitung

$$\frac{\partial U(t)}{\partial t} = i\omega\hat{U}e^{i\omega t}$$



unbestimmtes Integral, Stammfunktion

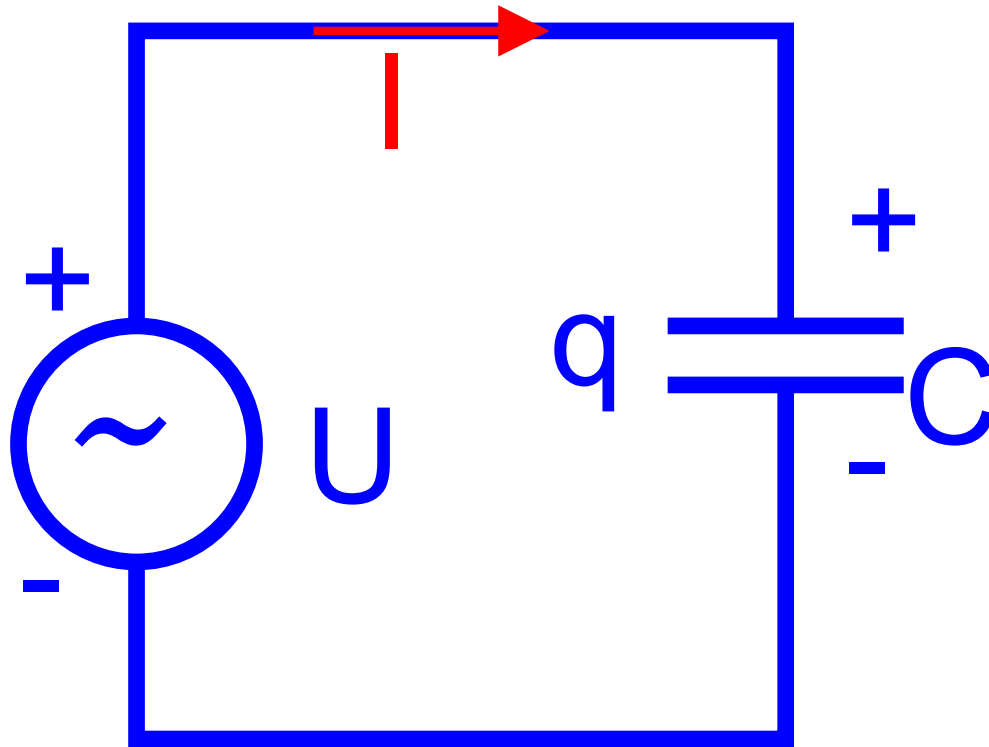
$$\int U(t) dt = \frac{1}{i\omega} \hat{U} e^{i\omega t}$$

Ohmsches Gesetz

$$U(t) = R \cdot I(t)$$



Kapazität C



Kondensator mit Wechselspannung

$$\frac{\partial U(t)}{\partial t} = \frac{1}{C} I(t)$$

$$i\omega \hat{U} e^{i\omega t} = \frac{1}{C} \hat{I} e^{i\omega t}$$

$$\hat{U} e^{i\omega t} = \frac{1}{i\omega C} \hat{I} e^{i\omega t}$$

$$U(t) = \frac{1}{i\omega C} I(t)$$

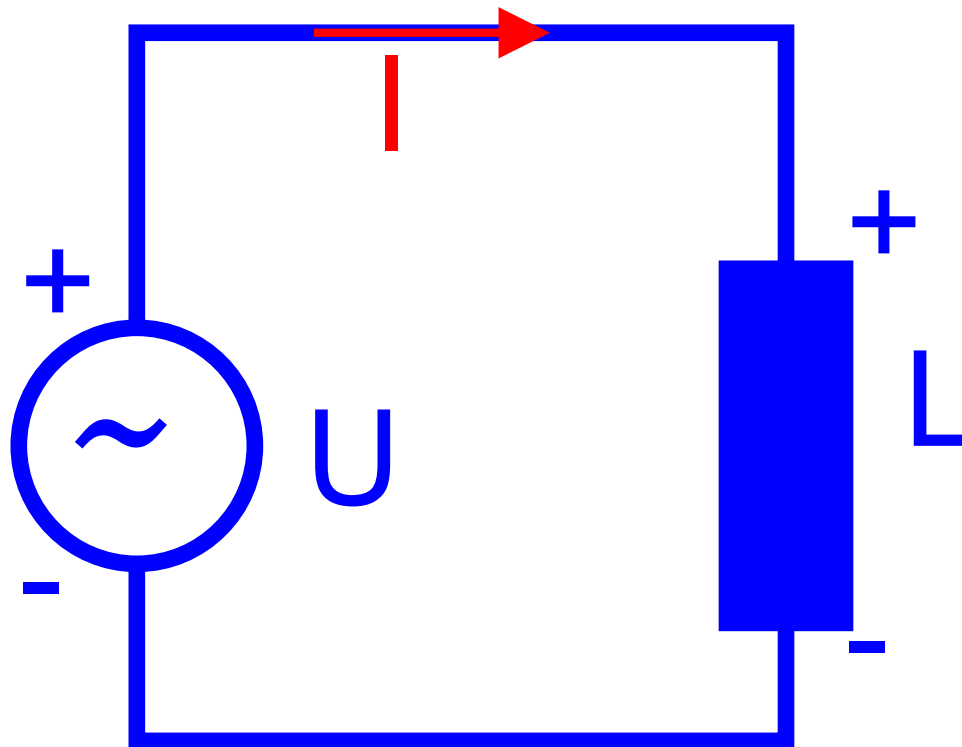
$$\hat{U} = \frac{1}{i\omega C} \hat{I}$$

mit $X_C = \frac{1}{i\omega C}$

$$U(t) = X_C I(t)$$



Induktivität L



Spule mit Wechselspannung



$$U(t)_{\text{Selbstinduktion}} = -L \frac{\partial I(t)}{\partial t}$$

wir haben: $U_{\text{Selbstinduktion}} = -U_{\text{angelegt}}$. Dann ist

$$U(t) = L \frac{\partial I(t)}{\partial t}$$

$$\hat{U} e^{i\omega t} = i\omega L \hat{I} e^{i\omega t}$$

$$U(t) = i\omega L I(t)$$

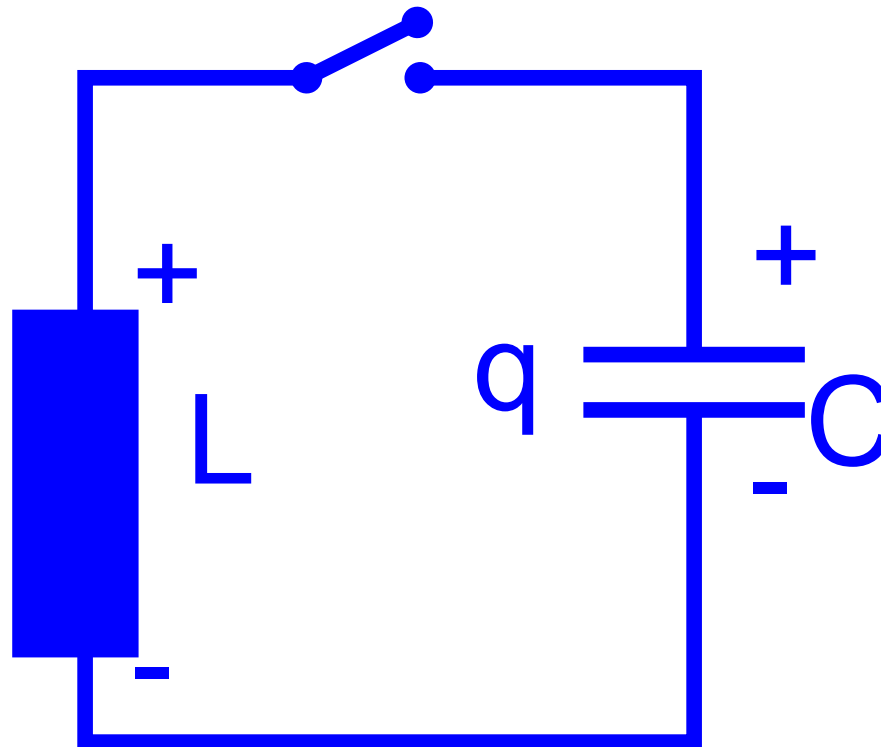
$$\hat{U} = i\omega L \hat{I}$$

mit $X_L = i\omega L$

$$U(t) = X_L I(t)$$



Schwingkreis



Schwingkreis



$$L \frac{dI}{dt} + \frac{Q}{C} = 0$$

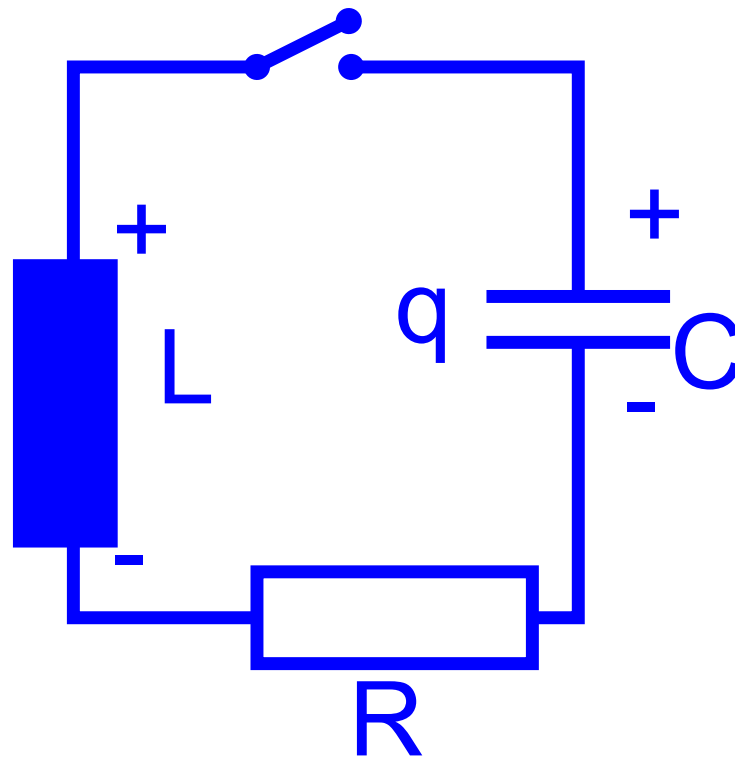
$$i\omega LI + \frac{1}{i\omega C} I = 0$$

Die Resonanzfrequenz ist

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$



Schwingkreis mit Widerstand



Schwingkreis mit Widerstand



$$L \frac{dI}{dt} + R \cdot I + \frac{Q}{C} = 0$$

$$i\omega L \cdot I + R \cdot I + \frac{I}{i\omega C} = 0$$

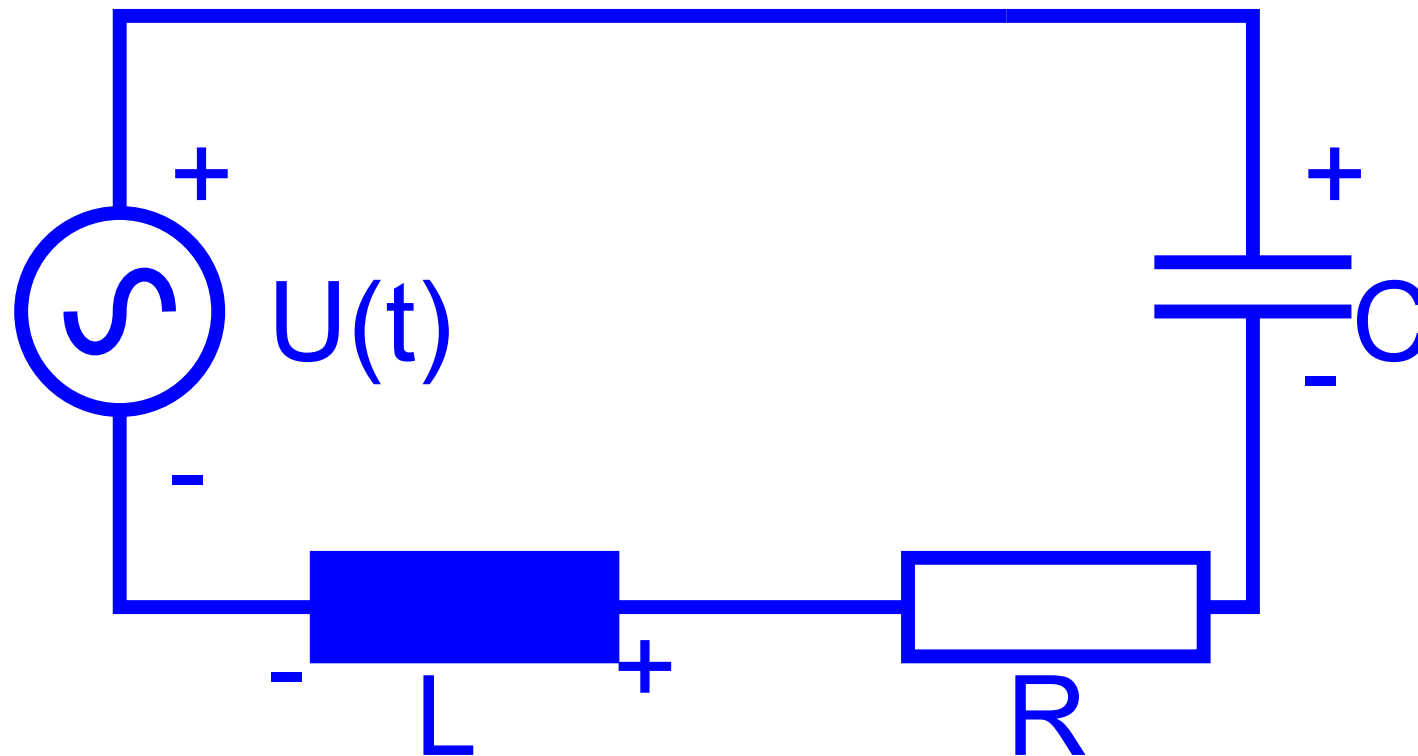
$$\omega^2 - i\omega \frac{R}{L} - \frac{1}{LC} = 0$$



$$\omega = \frac{i\frac{R}{L} \pm \sqrt{-\frac{R^2}{L^2} + \frac{4}{LC}}}{2} = i\frac{R}{2L} \pm \sqrt{-\frac{R^2}{4L^2} + \frac{1}{LC}}$$



Schwingkreis mit Widerstand, an Spannungsquelle



Schwingkreis mit Widerstand an Spannungsquelle



$$U(t) = \hat{U}e^{i\omega t} = i\omega L \cdot I + R \cdot I + \frac{I}{i\omega C}$$

$$\hat{U}e^{i\omega t} = i\omega L \cdot \hat{I}e^{i\omega t} + R \cdot \hat{I}e^{i\omega t} + \frac{\hat{I}e^{i\omega t}}{i\omega C}$$

$$Y = \frac{1}{X} = \frac{\hat{I}}{\hat{U}} = \frac{1}{i\omega L + R + \frac{1}{i\omega C}}$$



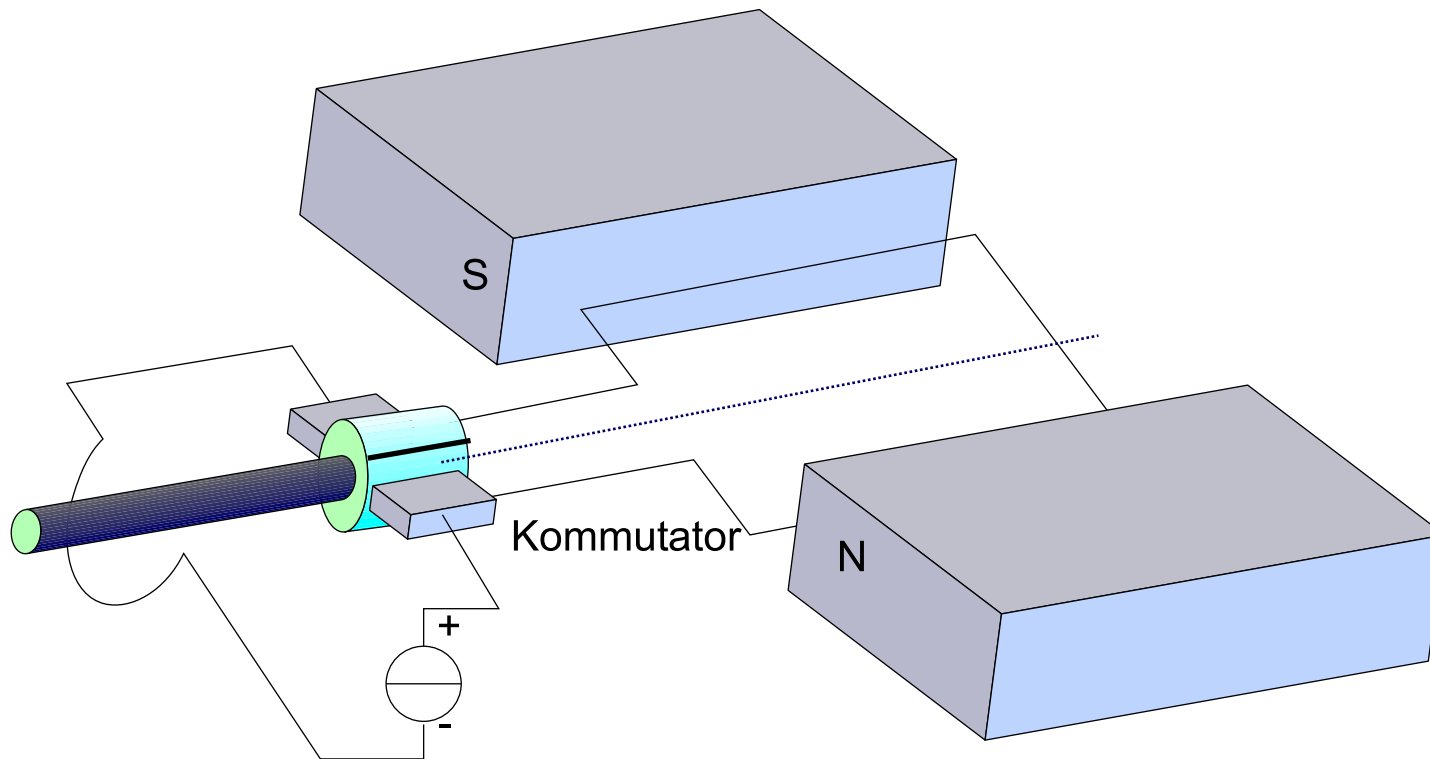
$$Y = \frac{i\omega C}{-\omega^2 CL + i\omega RC + 1} = \frac{\frac{i\omega}{L}}{\frac{1}{CL} - \omega^2 + i\omega \frac{R}{L}}$$

mit $\omega_0 = 1/(CL)$

$$Y = \frac{\frac{i\omega}{\omega_0} C}{\omega_0^2 - \omega^2 + i\omega \frac{R}{L}}$$



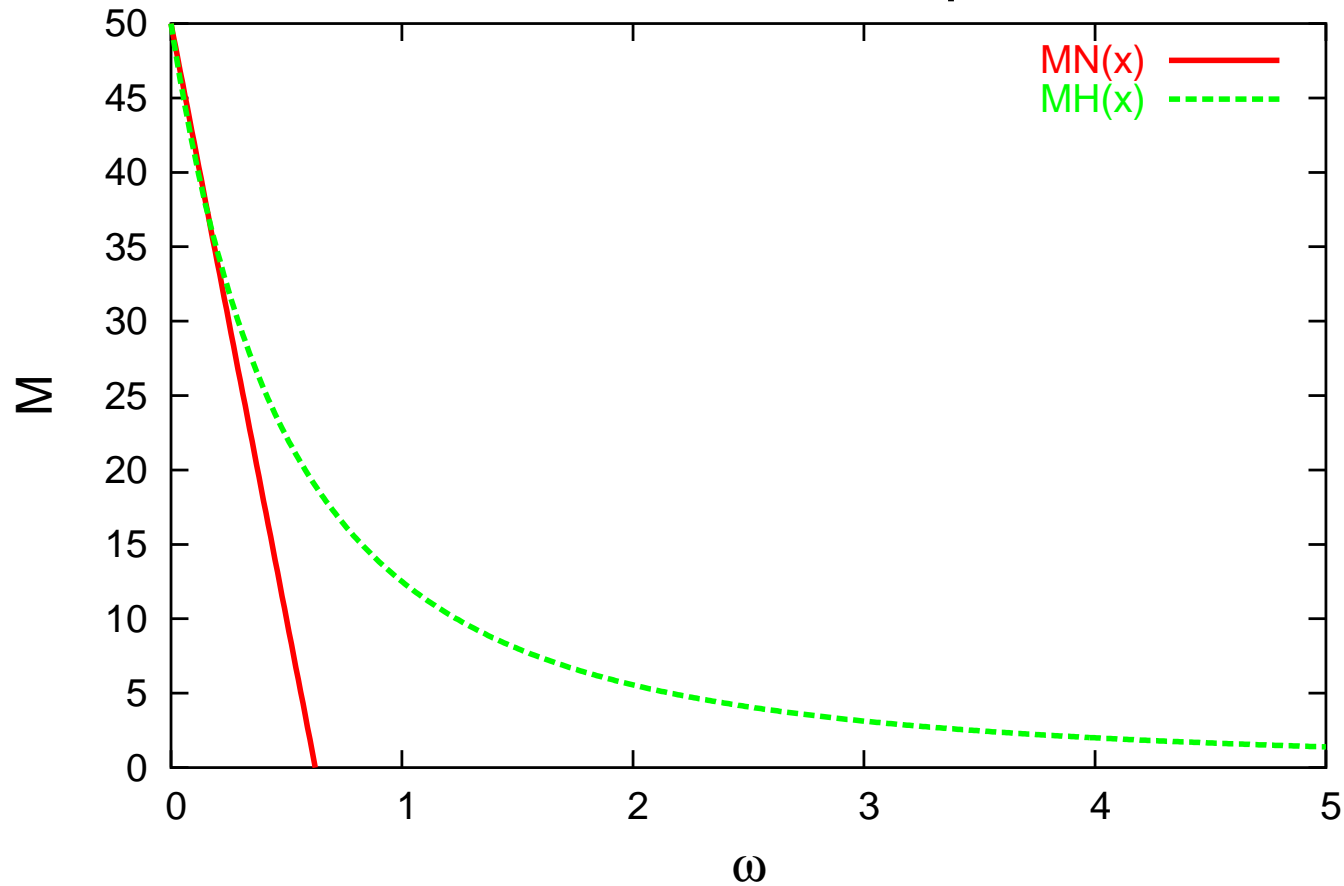
Elektromotoren



Prinzipbild eines Elektromotors



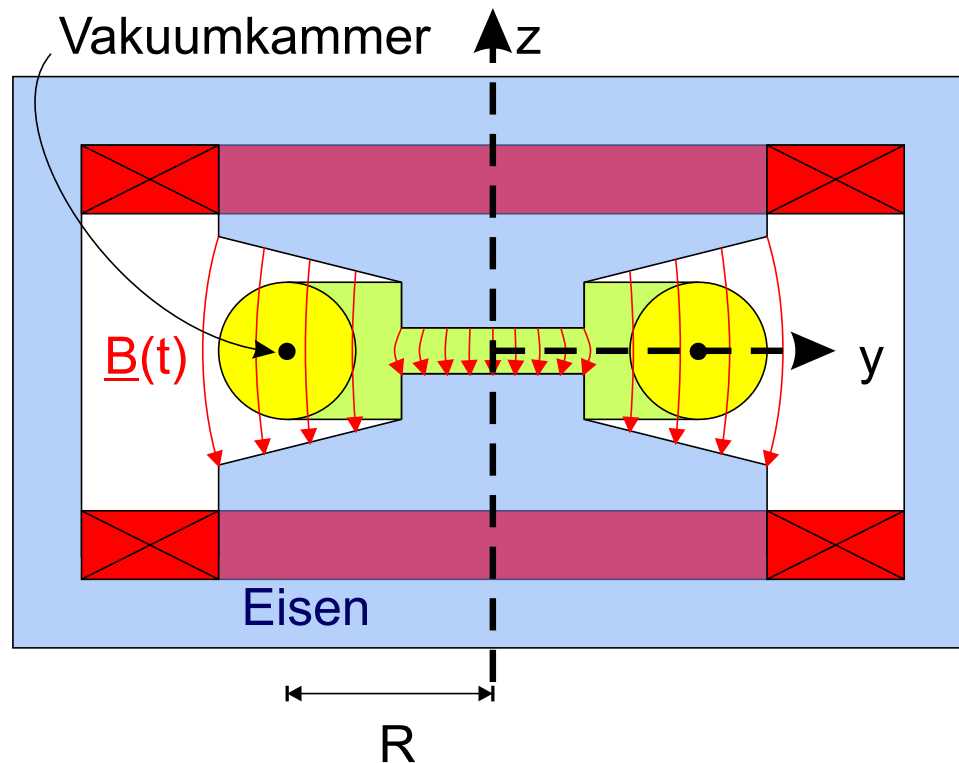
Nebenschlussmotor und Hauptschlussmotor



Kennlinien



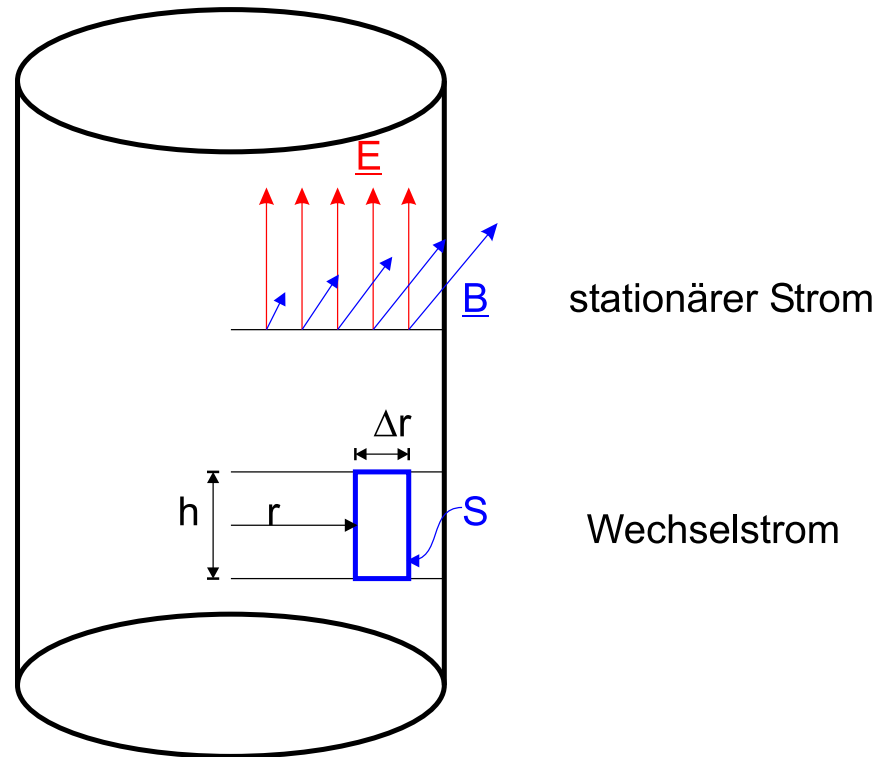
Betatron



Skizze eines Betatrons



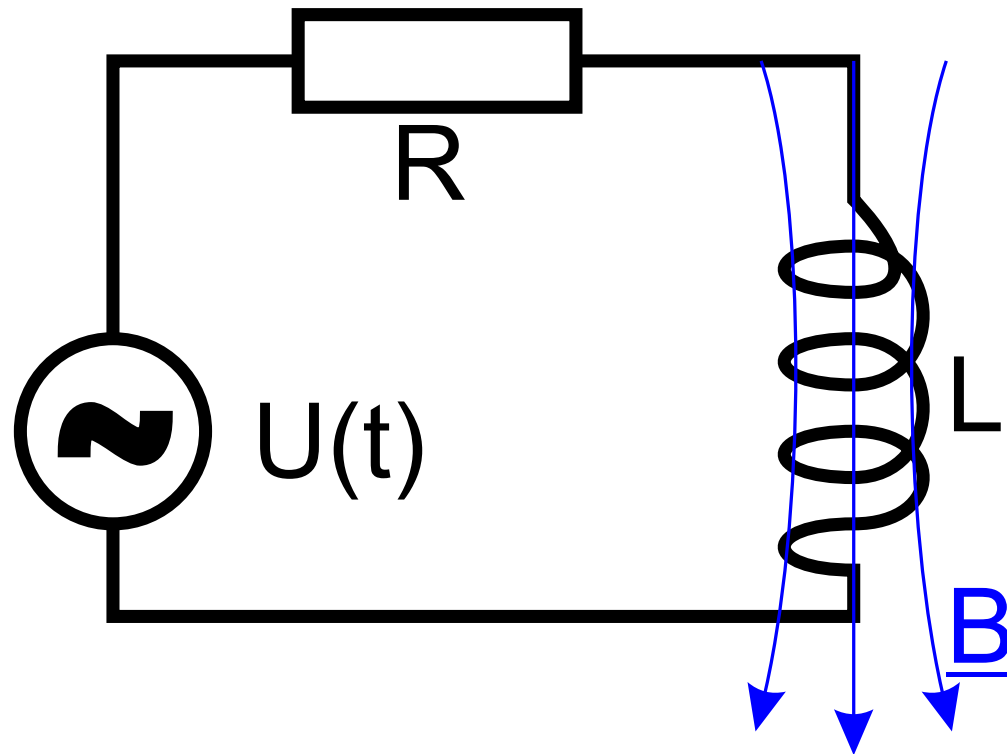
Skineffekt



Berechnung des Skin-Effektes

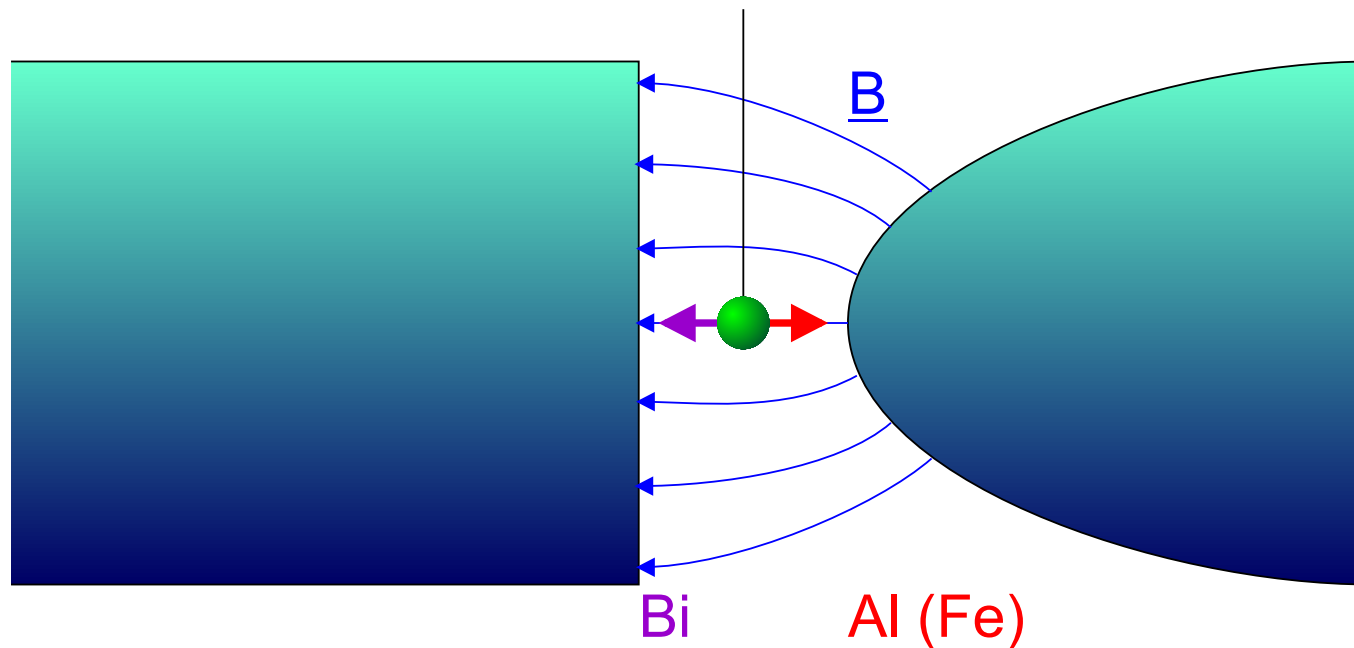


Energie im Magnetfeld



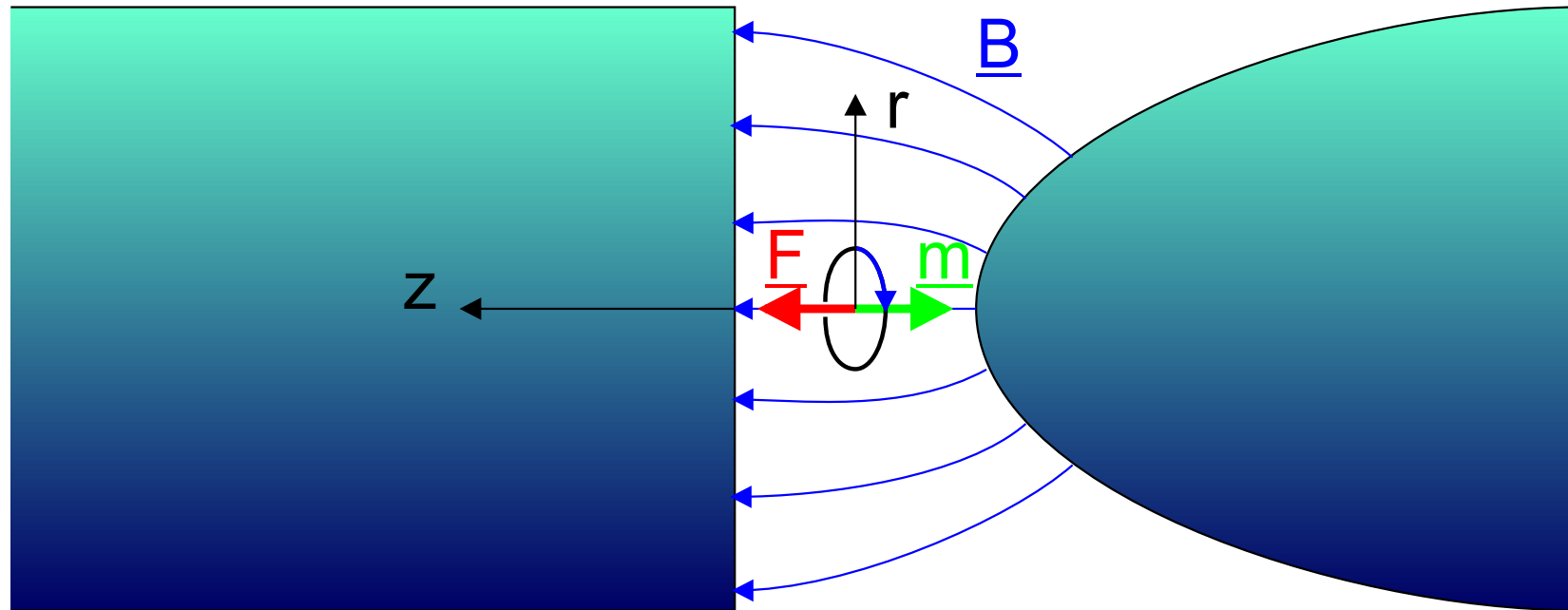
Berechnung der Energie im Magnetfeld

Magnetische Eigenschaften



Diamagnetische (Bi), paramagnetische (Al) und ferromagnetische (Fe) Materialien im inhomogenen Magnetfeld.





Kreisströme als Ursache des Dia- und des Paramagnetismus

Satz von Larmor

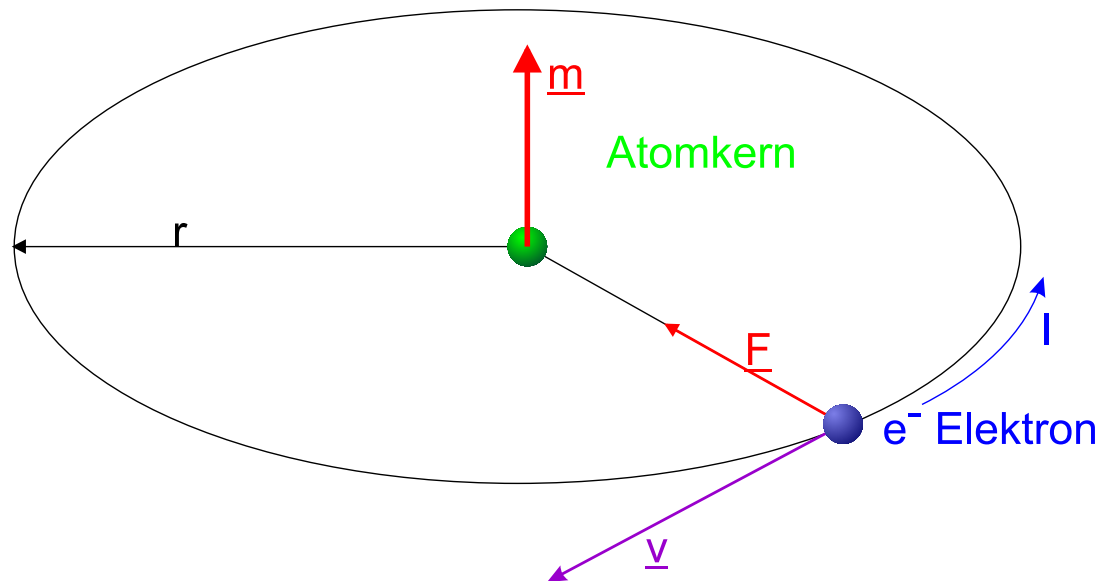
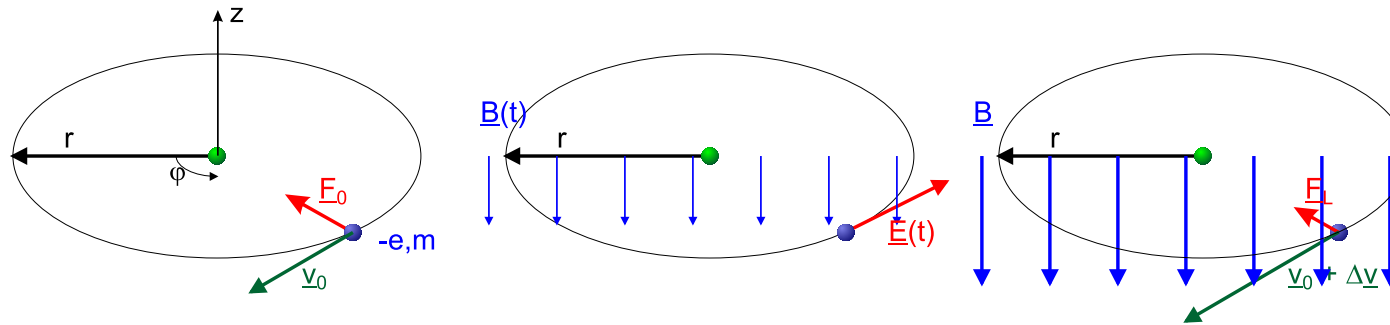


Illustration zum Satz von Larmor





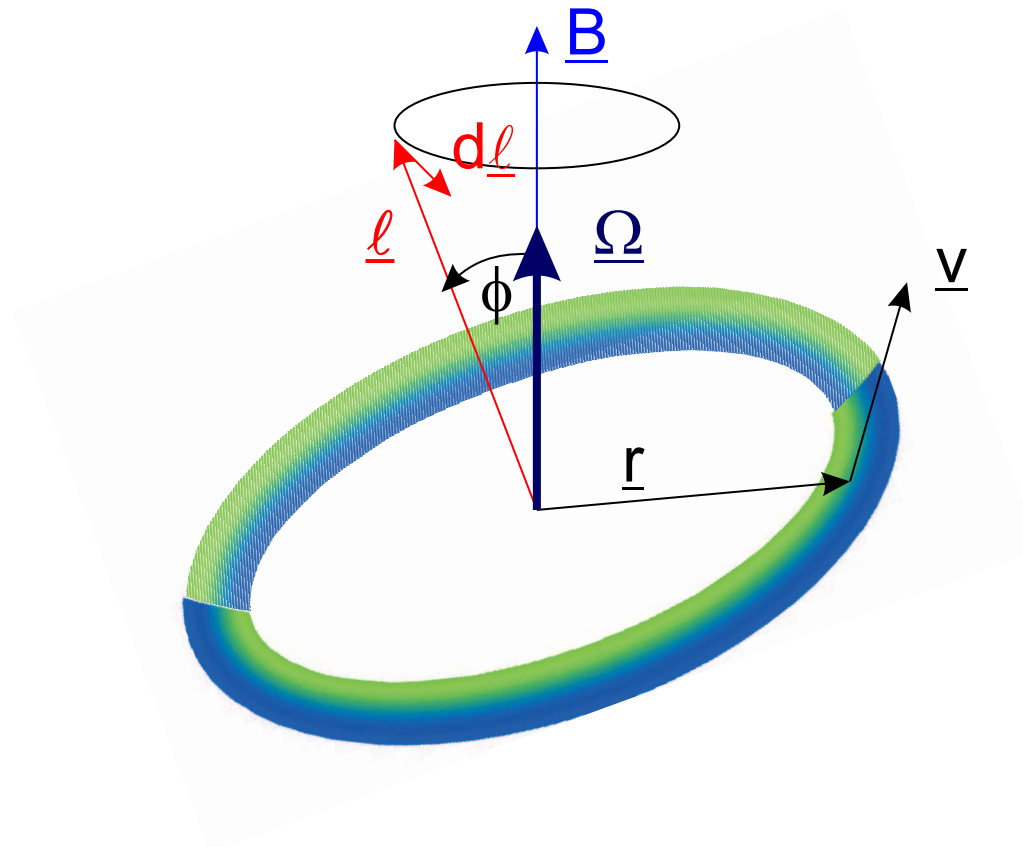
Langsames Einschalten eines Magnetfeldes für ein Elektron in einem Atom. Im linken Schaubild sind die positiven Richtungen definiert.

Larmorwinkelgeschwindigkeit

$$\vec{\Omega} = \frac{e}{2m_e} \vec{B} \quad (11)$$

In einem mit der Winkelgeschwindigkeit $\vec{\Omega}$ rotierenden System sind die Elektronenbahnen im Atom unverändert.





Berechnung der Larmorfrequenz mit einem Kreisel

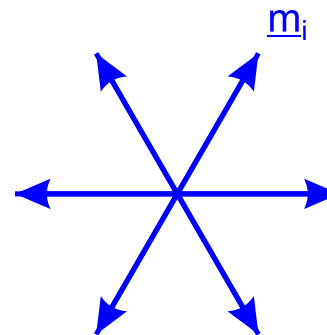
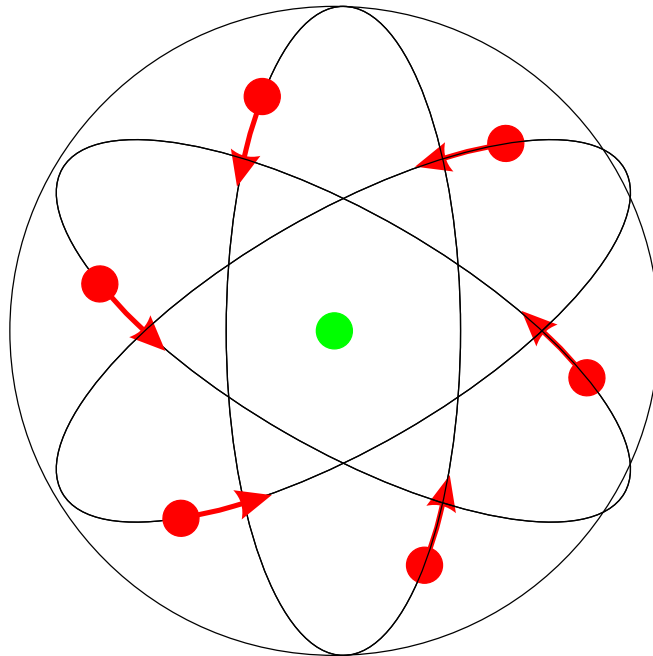


vektorielle Schreibweise der Larmorfrequenz

$$\vec{\Omega} = \frac{e}{2m} \vec{B} \quad (12)$$

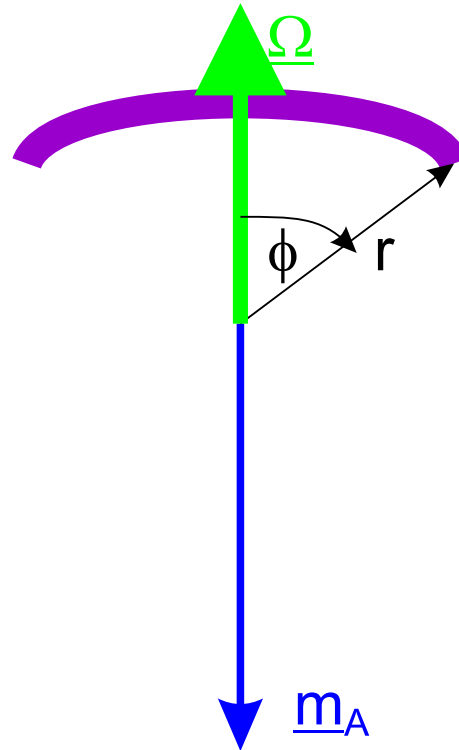


Diamagnetismus



Berechnung des Diamagnetismus

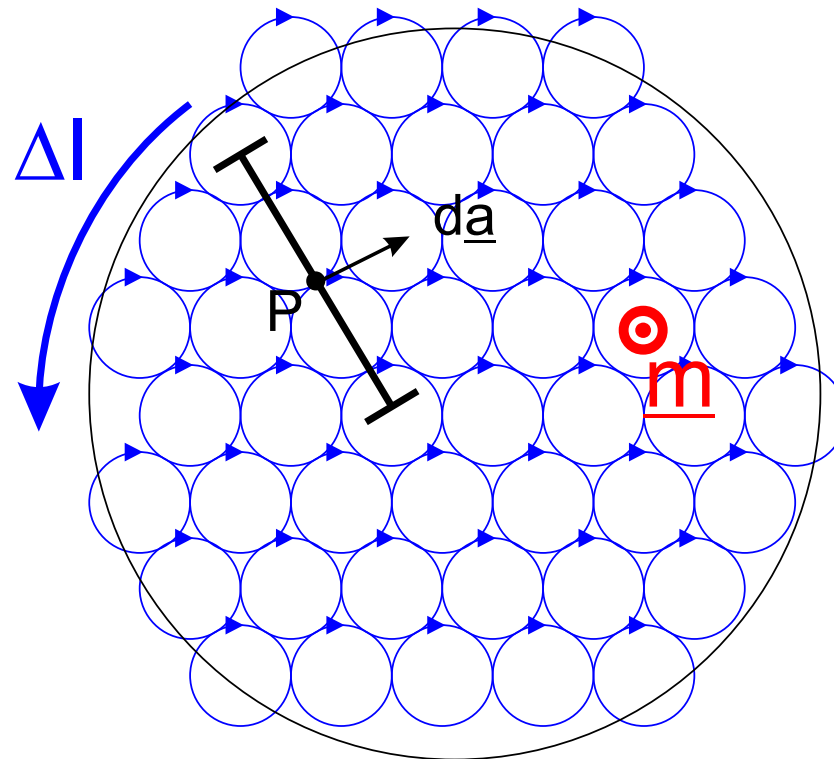




Ein einzelner Kreisstrom



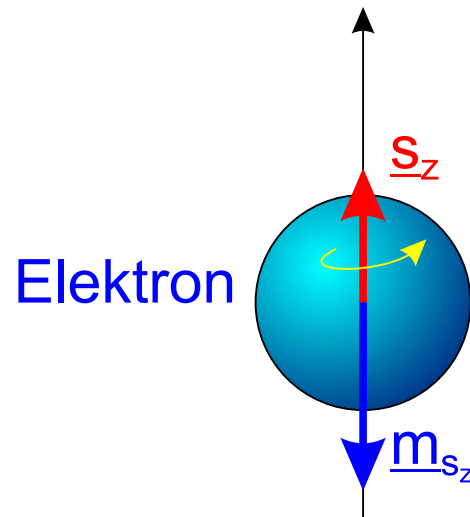
Magnetismus



Atomare Kreisströme

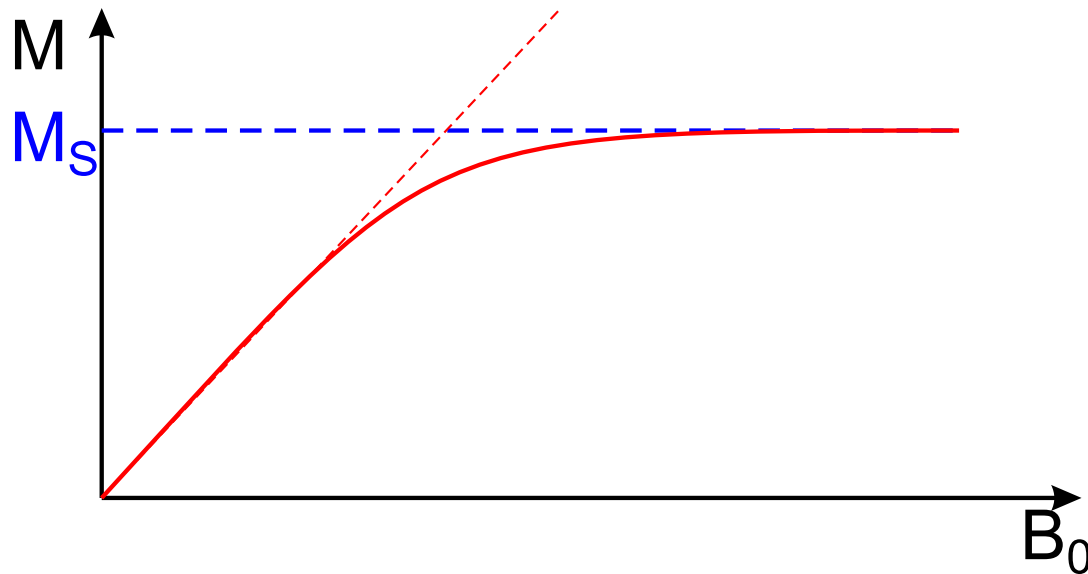


Elektronenspin



Elektronenspin

Paramagnetismus



Curie-Gesetz

