

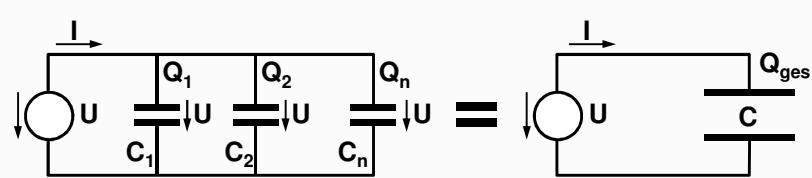
Magnetismus

1. Das stationäre magnetische Feld



Schaltungen mit Kondensatoren

Parallelschaltung von Kondensatoren

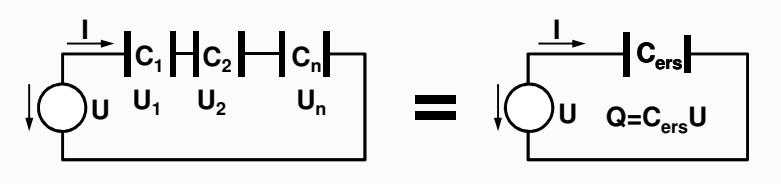


Für Parallelschaltungen von Kondensatoren gilt:

$$C_{\text{ers}} = \sum C_n$$

Schaltungen mit Kondensatoren

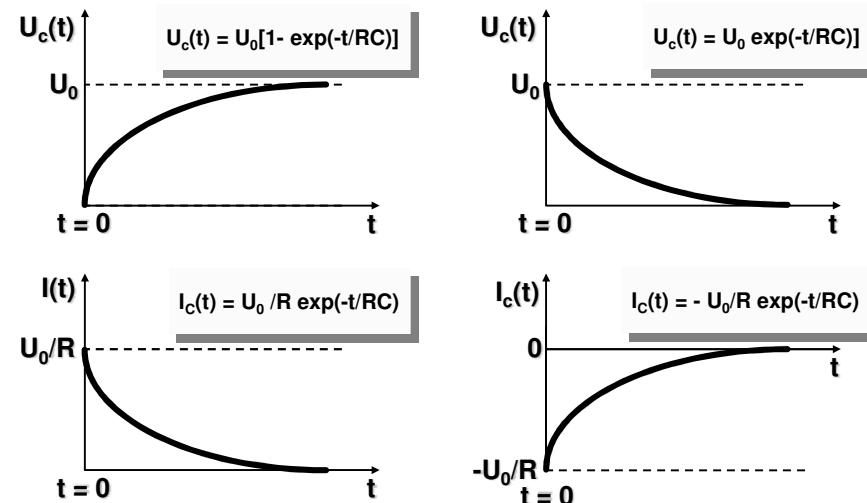
Reihenschaltung von Kondensatoren



Für Reihenschaltungen von Kondensatoren gilt:

$$1/C_{\text{ers}} = \sum 1/C_n$$

Ladung und Entladung eines Kondensators



Energie eines aufgeladenen Kondensators

$$W_{el} = \frac{CU^2}{2}$$

Magnetismus

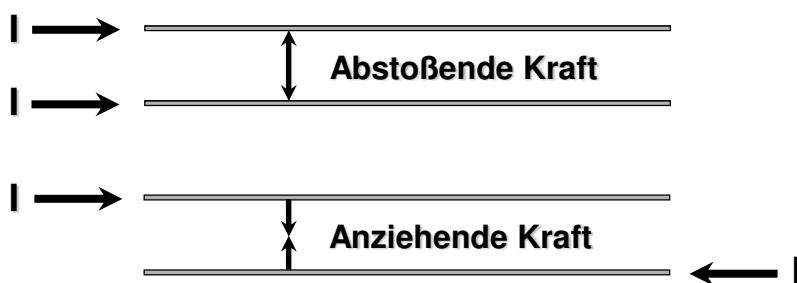
Motivation:

- ◆ **Funktion von Elektromotoren aufgrund des Elektromagnetismus**
- ◆ **Magnetische Sensoren (Veränderung eines Magnetfeldes aufgrund von Stoffen, die in das Magnetfeld gebracht werden.)**

- 6.1 Ursache des magnetischen Feldes
- 6.2 Kenngrößen des magnetischen Feldes
- 6.3 Werkstoffe im Magnetfeld
- 6.4 Kraftwirkungen auf stromdurchflossene Leiter



Magnetismus: Beobachtungen



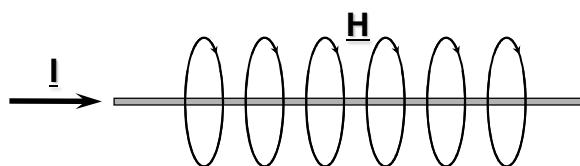
- ◆ Zwei parallele, elektrisch neutrale Leiter stoßen sich gegenseitig ab, wenn in ihnen Strom in die gleiche Richtung fließt.
- ◆ Sie ziehen sich an, wenn der Strom in entgegengesetzte Richtungen fließt

6.1 Magnetismus: Ursache

- ◆ Stromdurchflossene Leiter werden von einem Feld umgeben, welche Kraft auf andere stromdurchflossenen Leiter ausübt. Dieses Feld heißt **Magnetfeld**.
- ◆ Magnetismus hat seine Ursache in bewegten elektrischen Ladungen und wirkt auf bewegte elektrische Ladungen.
- ◆ Es gibt keine magnetischen Ladungen.

6.1.1 Magnetfeld stromdurchflossener Leiter

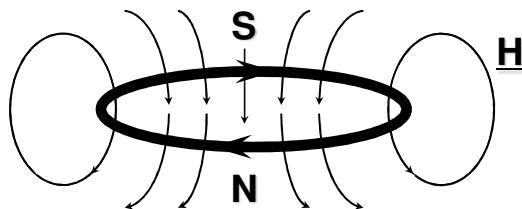
Stromdurchflossene Leiter werden immer von einem magnetischen Feld H umgeben.



**Für die Bestimmung der Richtung der Feldlinien gilt die Rechte-Hand-Regel (Korkenzieherregel):
Streckt man den Daumen in die Richtung des fließenden Stroms, dann zeigen die Finger in die Richtung der magnetischen Feldlinien.**

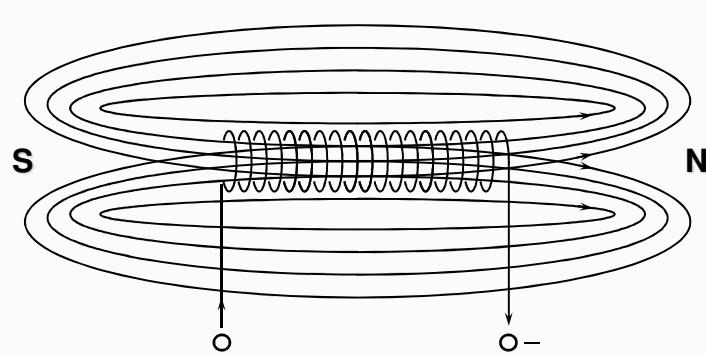
Magnetfeld von Ringströmen

→ Ringströme erzeugen einen magnetischen Dipol.



Die magnetischen Feldlinien verlaufen
(außerhalb des Ringes) vom Nordpol zum Südpol.

Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule

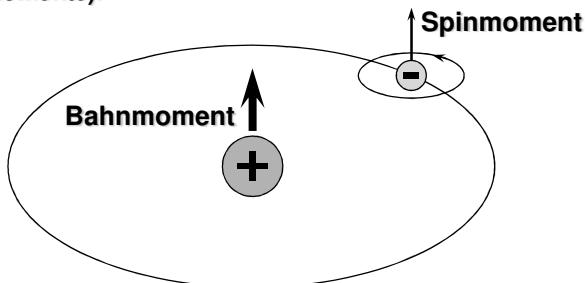


Magnetische Feldlinien sind immer geschlossene Linien.
Sie verlaufen (außerhalb der Spule) vom Nord- zum Südpol.

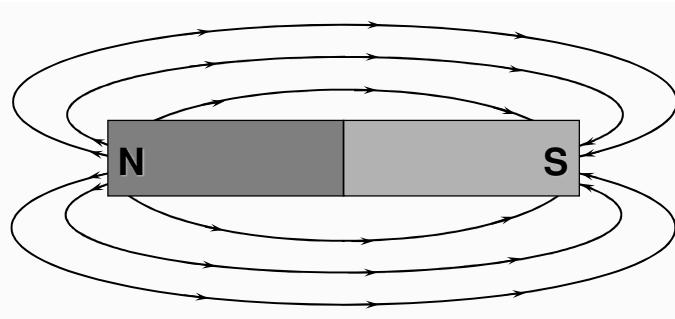
6.1.2 Permanentmagneten

Magnetfeld atomarer Ringströme

**Elektronen "umkreisen" den Atomkern →
Ringströme → magnetisches Dipolmoment
(magnetisches Bahnmoment).
Außerdem sind mit der Eigenrotation (Spin)
weitere magnetische Dipolmomente verbunden
(Spinmomente).**



Magnetische Feldlinien eines Permanentmagneten



Die Funktion eines Permanentmagneten ist die Folge gerichteter atomarer Ringströme

**Die Feldlinien eines Magneten sind immer geschlossene Linien.
Sie verlaufen vom Nord- zum Südpol.**

- ◆ **Elektromagneten haben ihre Ursache in elektrischen Kreisströmen in einer Spule**
- ◆ **Permanentmagneten haben ihre Ursache in atomaren Ringströmen**

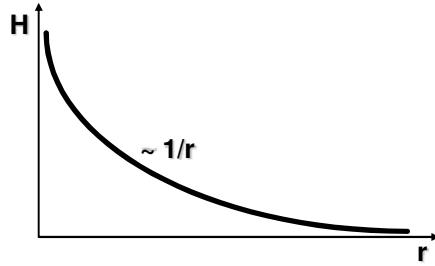
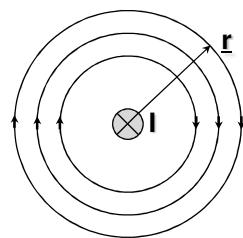
- 6.2.1 Magnetische Feldstärke**
- 6.2.2 Magnetischer Fluß**
- 6.2.3 Magnetische Induktion**

6.2.1 Magnetische Feldstärke

- ◆ Die magnetische Feldstärke eines vom Strom I durchflossenen Leiters beträgt:

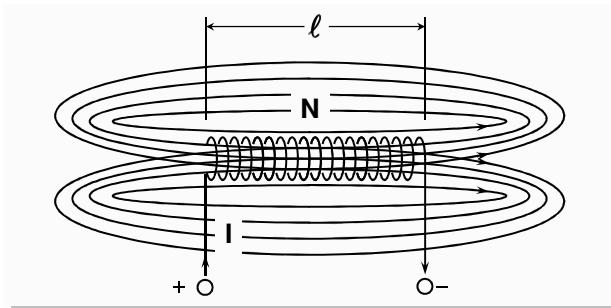
$$H = I / 2\pi r$$

6.1



- ◆ Die Einheit der magnetischen Feldstärke ist A/m.

Magnetfeld einer linearen Spule



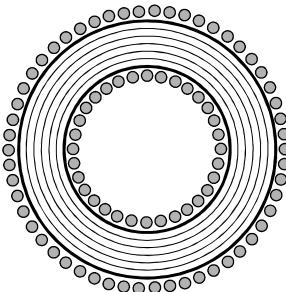
- ◆ Das Magnetfeld im Innern einer Luftspule der Länge ℓ beträgt:

$$H = I N / \ell$$

6.2

Magnetfeld einer Ringspule

- ◆ Das Magnetfeld einer linearen stromdurchflossenen Spule ist besonders im Außenraum recht kompliziert (Streufeld)
- ◆ Ein homogenes Magnetfeld wird insbesondere bei einer Ringspule erreicht. Hier verlaufen die Feldlinien in konzentrischen Kreisen nur innerhalb der Spule.



6.2.2 Magnetischer Fluß Φ

- ◆ Als Maß für die Kraft, die ein Magnetfeld z.B. auf einen stromdurchflossenen Leiter ausübt, kann die Anzahl der magnetischen Feldlinien angenommen werden.
- ◆ Die Gesamtheit der magnetischen Feldlinien wird als magnetischer Fluß Φ gekennzeichnet.
- ◆ Die Einheit des magnetischen Flusses ist Weber [Wb]:
 $1\text{Wb} = 1\text{Vs}$.

6.2.3 Magnetische Flußdichte B

- ◆ Die magnetische Flußdichte **B** bezieht den magnetischen Fluß **Φ** auf eine bestimmte Fläche **A**:

$$\mathbf{B} = \Phi / \mathbf{A}$$

6.2

- ◆ Die Einheit der magnetischen Flußdichte ist Tesla [T]:
 $1\text{T} = 1\text{Vs} / \text{m}^2 = 1\text{Wb} / \text{m}^2$

Allgemeine Formulierung:
Magnetflußdichte, Magnetischer Fluß

- ◆ Allgemein gilt für die Magnetflußdichte **B**:

$$\mathbf{B} = d\Phi / d\mathbf{A}$$

6.3

- ◆ Daraus folgt für den magnetischen Fluß:

$$\Phi = \int \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

6.4

- ◆ Dabei ist dA ein Vektor, der senkrecht auf A steht.
Für das innere Produkt ergibt sich daher:

$$\Phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \cos \phi$$

6.5

Beziehung zwischen B und H-Feld

- ◆ Die Beziehung zwischen der Dichte der magnetischen Feldlinien, der magnetischen Flussdichte B , und dem Magnetfeld H lautet im Vakuum:

$$\underline{B} = \mu_0 \underline{H} \quad 6.6$$

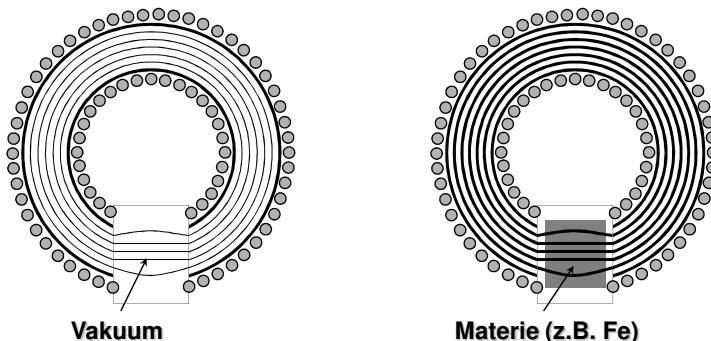
- ◆ μ_0 ist die magnetische Permeabilität des Vakuums, eine Naturkonstante mit dem Wert:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am} = 1,256637 \cdot 10^{-6} \text{ Vs/Am} \quad 6.7$$

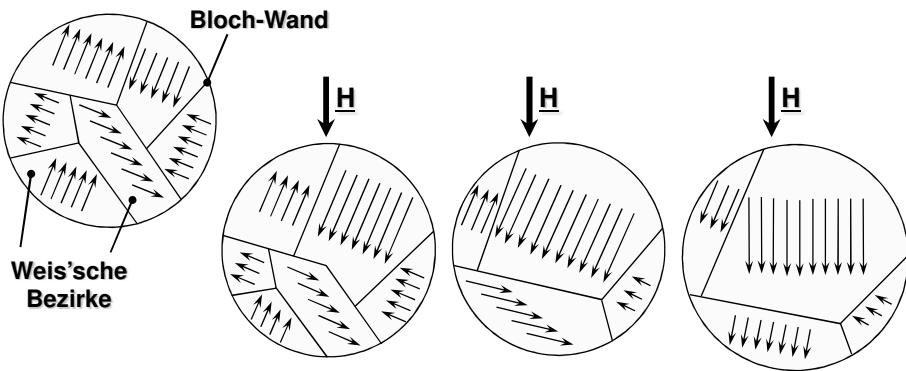
- ◆ μ_0 wird auch als Induktionskonstante bezeichnet

6.3 Werkstoffe im Magnetfeld

- ◆ Es zeigt sich, daß durch das Einbringen von Werkstoffen in ein Magnetfeld die Dichte der magnetischen Feldlinien erheblich gesteigert werden kann, d.h.: bei konstantem Magnetfeld H bzw. konstantem Strom I kann die magnetische Flußdichte B z.B. durch Eisen vergrößert werden.

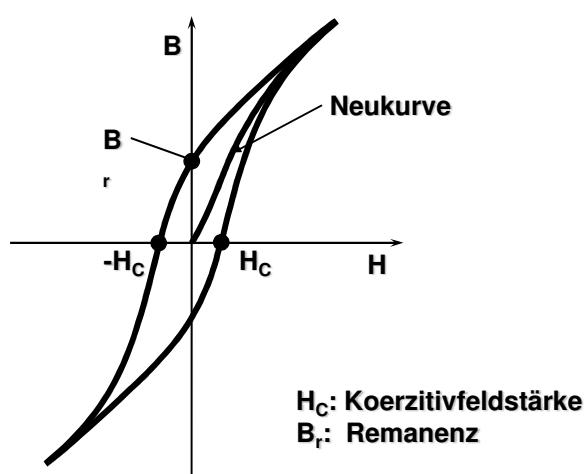


Ursache der Verstärkung des magnetischen Flusses
(in ferroelektrischen Materialien)



- Beim Anlegen eines Magnetfeldes werden zuerst Blochwände verschoben.
- Anschließend erfolgt Drehung der Spinorientierung in den Domänen.

6.3.1 Magnetisierungskurve / Hysterese



6.3.2 Magnetische Werkstoffe

- ◆ Der Faktor, der die Veränderung der magnetischen Flußdichte beschreibt, nennt man relative Permeabilität μ_r .

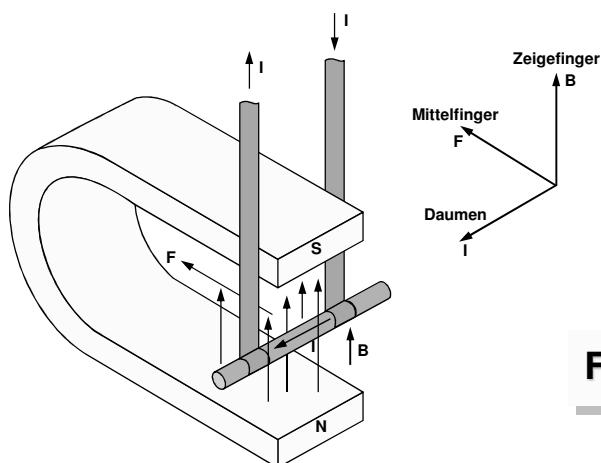
$$\underline{B} = \mu_0 \mu_r H = \mu H \quad 6.8$$

mit

$$\mu = \mu_0 \mu_r \quad 6.9$$

- ◆ μ_r ist eine dimensionslose Größe.
Für Vakuum gilt: $\mu_r = 1$
- ◆ Es gibt Stoffe, die verstärken die magnetische Flußdichte sehr:
 $\mu_r >> 1$; das sind ferromagnetische Werkstoffe (Fe, Ni).
- ◆ Es gibt Stoffe, die verstärken die magnetische Flußdichte nur schwach:
 $\mu_r > 1$; das sind paramagnetische Werkstoffe (Al).
- ◆ Es gibt Stoffe, die schwächen die magnetische Flußdichte ab:
 $\mu_r < 1$; das sind diamagnetische Werkstoffe (Au, Ag, Cu).

6.4 Kraftwirkungen auf stromdurchflossene Leiter



$$F_L = q (v \times B)$$

Kraftwirkungen auf stromdurchflossene Leiter

- ◆ Auf Ladungsträger q , die mit der Geschwindigkeit v in einem Magnetfeld mit der Flussdichte B bewegt werden, wirkt die Lorentz-Kraft F_L :

$$F_L = q (v \times B) \quad 6.14$$

- ◆ Der Betrag dieses Kreuzproduktes lautet:

$$F_L = q v B \sin \phi \quad 6.15$$

wobei ϕ den Winkel zwischen v und B einschließt.

- ◆ Mit $v = \ell/t$ und $I = q/t$ ergibt sich

$$F_L = I \ell B \sin \phi \quad 6.16$$

Wichtige Formeln der Vorlesung 06

$$H = I / 2\pi r$$

Magnetfeld im Außenraum eines Leiters

$$H = I N / \ell$$

Magnetfeld im Innern einer Spule

$$B = \Phi / A \quad \text{bzw}$$

$B = d\Phi / dA$ Magnetische Flußdichte
bzw. magn. Induktion

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Magnetischer Fluß

$$B = \mu_0 \mu_r H = \mu H$$

Beziehung $B - H$, Permeabilität

Wichtige Formeln der Vorlesung 06

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

Lorentz-Kraft:
Magnetkraft auf bewegte Ladungen
bzw. stromdurchflossene Leiter

$$F_L = I \ell B \sin \phi$$

Verständnisfragen zur Vorlesung 06

- ◆ Was ist die Ursache für magnetische Erscheinungen?
- ◆ Wie verläuft das Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters? Welche radiale Abhängigkeit zeigt es?
- ◆ Wie verläuft und wie lautet das Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule?
- ◆ Was versteht man unter magnetischem Fluß und magnetischer Flußdichte bzw. Induktion?
- ◆ Welche Wirkung haben ferromagnetische Werkstoffe im Kern einer Spule? Was ist die Ursache?
- ◆ Was beschreibt die Lorentzkraft?

Übungsaufgaben

Aufgabe 6.1:

Ein Eisenring von $l=60\text{cm}$ Länge und einem Querschnitt des Eisens von 2000mm^2 trägt eine Spule mit $N=1000$ Windungen, durch die ein Strom $I = 0.5 \text{ A}$ fließt. Der Ring enthält einen Luftspalt mit $l_L=0.5 \text{ cm}$ Breite.

Wie groß ist die Durchflutung ?

Wie groß ist die magnetische Feldstärke im Innern der Spule ? (Die Spaltbreite sei hier vernachlässigbar klein und es wird die gesamte Eisenringlänge genommen)

Wie groß wäre die Induktion ohne Eisenmaterial ?

Wie groß ist sie mit Eisenmaterial, wenn für Eisen gilt $\mu_r = 500$ (Maximalwert für Gußeisen)

Welcher Magnetfluß herrscht im Ring ?

Wie groß ist die magnetische Feldstärke im Luftspalt ?

Welche Induktion herrscht im Luftspalt ?

Aufgabe 6.2:

Wie groß ist das magnetische Feld bzw. die magnetische Induktion für einen stromdurchflossenen unendlichen Leiter im Abstand von 25cm , wenn der Strom $4,2 \text{ Ampere}$ beträgt ?



Übungsaufgaben

Aufgabe 6.3:

Für die Erregung eines Elektromagneten wird eine Spule mit 500 Windungen bei einem Strom von 13.5 Ampere eingesetzt. Da das diesen Strom liefernde Gerät ausgefallen ist und als Ersatz nur ein Gerät mit 4 Ampere Dauerbelastung zur Verfügung steht, muß eine neue Spule gewickelt werden. Wieviele Windungen muß die neue Spule besitzen ?

Aufgabe 6.4 (für Leute die Spaß dran haben):

Ein Elektron wurde durch eine Spannung von 1000 Volt beschleunigt. Mit der Geschwindigkeit $v=1000 \text{ Volt}$ tritt das Elektron senkrecht in ein B-Feld mit 0.01 Tesla ein. Danach beschreibt das Elektron eine Kreisbahn. Wie groß ist der Radius dieser Kreisbahn ?



Energie eines aufgeladenen Kondensators

- ◆ Die Energie des aufgeladenen Kondensators beträgt:

$$W_{\text{Kondensator}} = \int_0^{\infty} U_c(t) I_c(t) dt$$

$$W_{\text{el}} = \frac{CU^2}{2}$$