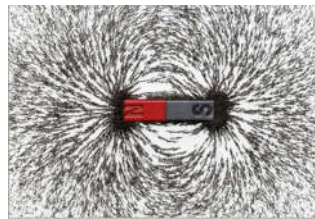
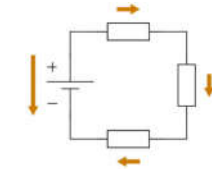


Grundlagen der medizinischen Biophysik

8. Vorlesung 01. 10. 2021
Ádám Orosz
Elektrizitätslehre 2
Magnetismus



Elektrizität - Zusammenfassung

$q_1 \rightarrow q_2$ $F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ $F_{ES} = \frac{F}{q}$ $F = q \cdot E_{ES}$ $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow \Delta q = I \cdot \Delta t$ $U = R \cdot I$ $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ $I = G \cdot U$ $G = \sigma \cdot \frac{A}{l}$ $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$ $Q = C \cdot U$ $C = \frac{Q}{U}$ $W = F \cdot s = q \cdot E_{ES} \cdot s$ $\psi = \frac{W}{q} = \frac{q \cdot E_{ES} \cdot s}{q} = E_{ES} \cdot s$ $\Delta \psi = \psi_2 - \psi_1 = U_{21} = \frac{W_{21}}{q} = E_{ES} \cdot s$ $E_{ES} = \frac{U}{s}$ $W = q \cdot U$ $W_s = q \cdot U = I \cdot \Delta t \cdot U$ $P_{el} = \frac{W}{t} = \frac{q \cdot U}{t} = I \cdot U = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$

Feld-Modell
 Arbeit
 Potential
 Speichern q und Energie
 Leitfähigkeit (Probleme)

2

Das joulesche Gesetz

- Bei der **Abbremsung** von Ladungsträgern durch Widerstände verlieren diese Energie, die in Form von **joulescher Wärme** (elektrische Arbeit, Stromarbeit) frei wird:

$$W_{\text{Strom}} = U \cdot I \cdot t$$

$$\text{Elektrische Leistung (P): } P = U \cdot I$$

Elektrokauter (Hitze kauter):



3

Übung

In einer elektrotherapeutischen Behandlung fließt ein Strom mit einer Stromstärke von 5 mA durch die Haut. Der elektrische Widerstand der Haut beträgt 2000 Ω . Berechnen Sie

a) den Leitwert der Haut

$$R = 2000 \Omega$$

$$G = \frac{1}{R} = 0,0005 S = \underline{\underline{0,5 mS}}$$

b) die Spannung, die zu dieser Stromstärke nötig ist $I = 5 mA$

$$U = R \cdot I = 2000 \cdot 0,005 = \underline{\underline{10 V}}$$

c) die Ladungsmenge, die während einer 5 Minuten langen Behandlung durch die Haut hindurchfließt

$$t = 5 \text{ min} = 300 s$$

$$\Delta q = I \cdot \Delta t = 0,005 \cdot 300 = \underline{\underline{1,5 C}}$$

d) die Wärme, die während der Behandlung in der Haut entsteht

$$W = U \cdot t \cdot I = 10 \cdot 0,005 \cdot 300 = \underline{\underline{15 J}}$$



4

Elektrische Stromkreise

Geschlossene Anordnungen von elektrischen Schaltelementen (Spannungsquellen, Kondensatoren, Widerständen), durch die ein elektrischer Strom fließen kann.

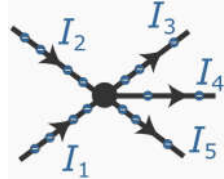
Zusammenhänge für die **Verteilung** von **Strom** und **Spannung** in Stromkreisen

1. Kirchhoffsche Regel (Knotenregel): in einem Verzweigungspunkt ist die Summe der Stromstärken der zufließenden Ströme gleich der Summe der Stromstärken der abfließenden Ströme



$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

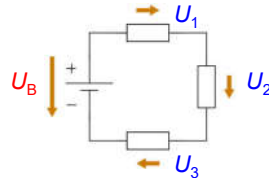
$$\sum_i^n I_n = 0$$



2. Kirchhoffsche Regel (Maschenregel): in einem geschlossenen Stromkreis (Masche) ist die Summe der Teilspannungen an den einzelnen Elementen (Widerständen, Spannungsquellen, ...) gleich null

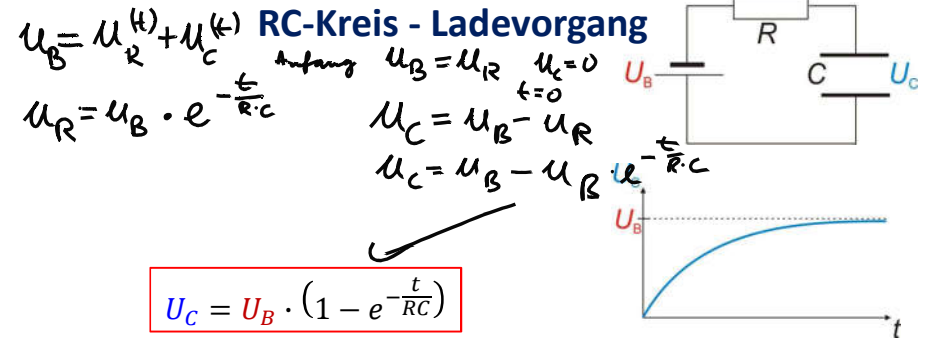
$$U_B = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\sum_i^n U_n = 0$$

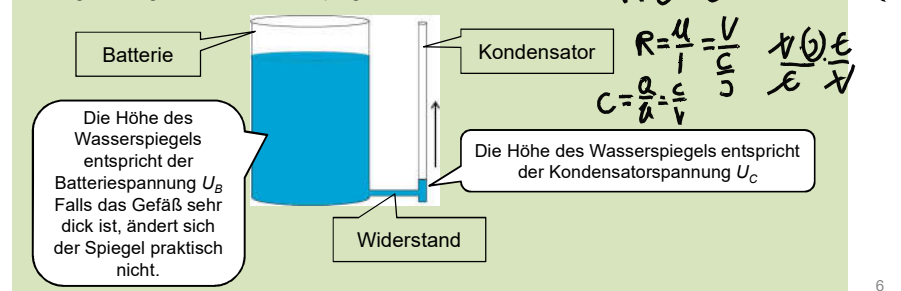


5

RC-Kreis - Ladevorgang

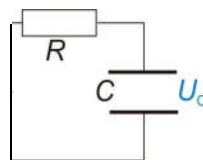
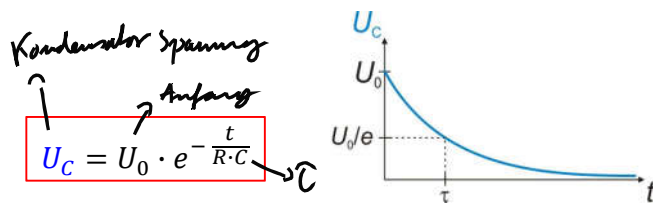


Analogie: Ausgleich der Wasserspiegel in den Gefäßen

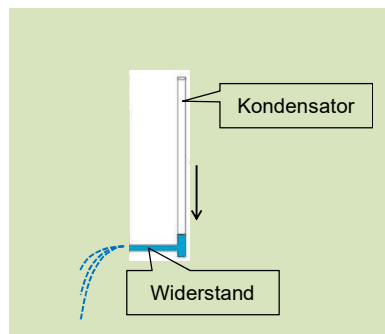


6

RC-Kreis - Entladevorgang



Analogie: Senkung des Wasserspiegels im dünnen Rohr



7

Übung

Man lädt den Kondensator eines Defibrillators vor der Anwendung 0,5 s lang mit einer Spannungsquelle von 5000 V. (Die Zeitkonstante des Ladekreises beträgt 100 ms.) Berechnen Sie die Spannung des Kondensators am Ende der Aufladung.

Handwritten calculations for the exercise:

$$U_B = 5000 \text{ V}, \quad t = 0,5 \text{ s}, \quad \tau = R \cdot C = 100 \text{ ms} = 0,1 \text{ s}$$

$$U_C = U_B \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = 5000 \cdot (1 - e^{-\frac{0,5}{0,1}}) = 5000 \cdot (1 - e^{-5}) \approx 5000 \cdot 0,993 = 4966 \text{ V}$$

Nach der Aufladung wird der Kondensator des Defibrillators ($C = 20 \mu\text{F}$) in der Anwendung mit Hilfe von zwei Elektroden an den Patienten geschaltet. Der Körper stellt einen Widerstand von etwa 2000Ω dar. Berechnen Sie

a) die Zeitkonstante des Kreises

$$\tau = R \cdot C = 2000 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 0,04 \text{ s}$$

b) die Zeit, während welcher die Spannung auf 1% sinkt

Handwritten calculations for part b:

$$U_C = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\frac{U_C}{U_0} = \frac{1}{100} = e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow 100 = e^{\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \ln 100 = \frac{t}{\tau} \cdot \ln e$$

$$4,6 = \frac{t}{0,04} \Rightarrow t = 0,184 \text{ s}$$



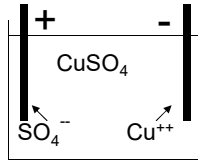
8

Wirkungen des elektrischen Stromes

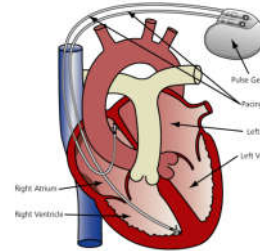
- Wärmewirkung
- chemische Wirkung
- biologische Wirkung



Behandlung mit
Kondensatorplatten
- hochfrequenter
Wechselstrom

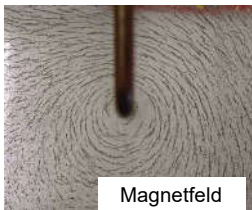


Elektrolyse -
Gleichstrom



Herzschrittmacher -
Stromimpulse

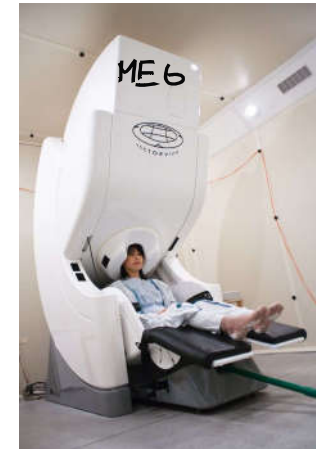
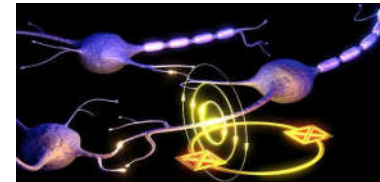
- magnetische Wirkung



Magnetfeld

9

Magnetismus und elektromagnetische Induktion



10

Magnete

Grundsätzlich gibt es zwei Ursachen des Magnetismus:

- **Permanente Magnete** (z.B. natürlich magnetisierte Steine)
- **Elektromagnete** (durch bewegte Ladungsträger verursachte Magnetfelder)

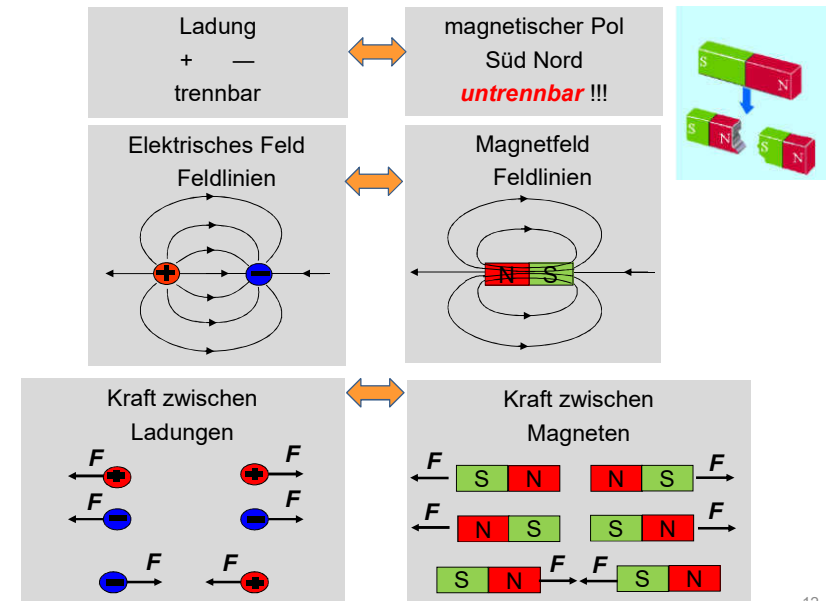


Magnetisches Moment

- Das **magnetische Moment** (m oder μ) beschreibt die **Stärke eines Magneten**
- **Elektronen, Protonen und Neutronen** innerhalb eines Atoms/Atomkerns besitzen ein magnetisches Moment, sie können als **winzige Magnete** betrachtet werden
- **Magnete üben Kräfte aufeinander aus**, die nicht durch andere Wechselwirkungen erklärbar sind: **magnetische Wechselwirkung**

11

Elektrische vs. magnetische Wechselwirkung



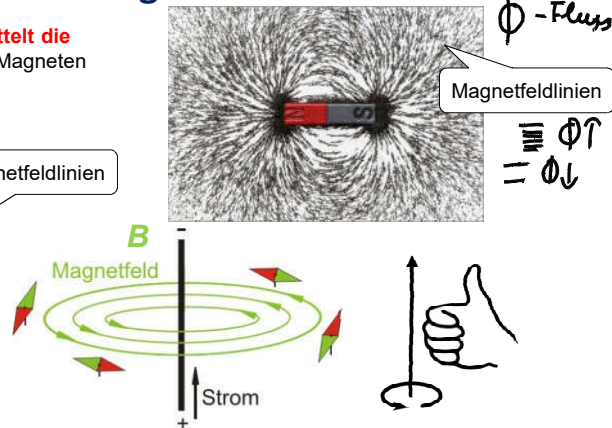
12

Magnetfeld und magnetische Flussdichte

- Das **Magnetfeld** übermitteln die **Kraftwirkung** zwischen Magneten

stromdurchflossener Leiter

Magnetfeldlinien



$$B \sim \frac{\Phi}{A}$$

- Richtung der Feldlinien: **Rechte-Hand-Regel** (Schraubenzieher Regel)
- Je größer ist die Stromstärke, desto stärker wird das Magnetfeld

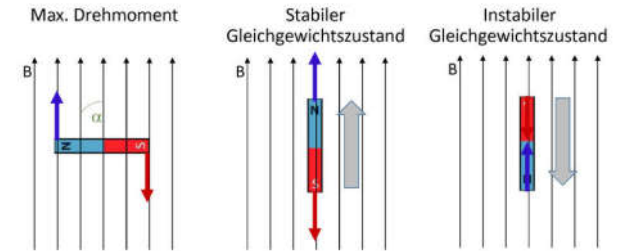
Magnetische Flussdichte (B), SI-Einheit: Tesla (T)

- Die **magnetische Flussdichte B** gibt die **Stärke eines Magnetfeldes** an

13

Verhalten von Magneten und Ladungsträger im Magnetfeld

$$\text{Drehmoment: } B \cdot \mu \cdot \sin \alpha$$



Potentielle Energie: $E \sim \mu B$

0

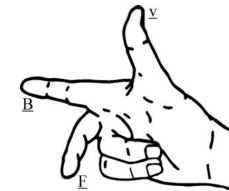
$-\mu B$

$+\mu B$

Ein Magnetfeld übt Kraft auch auf bewegte Ladungen aus

Lorenzkraft:

$$F_{\max} = q \cdot v \cdot B$$



14

Lorenzkraft

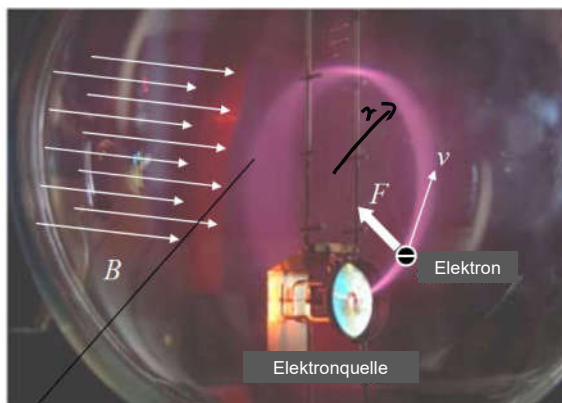
$$F = q \cdot v \cdot B$$

$$B \perp v \perp F \perp p$$

$$F_{zp} = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

$$m \cdot \frac{v^2}{r} = q \cdot v \cdot B$$

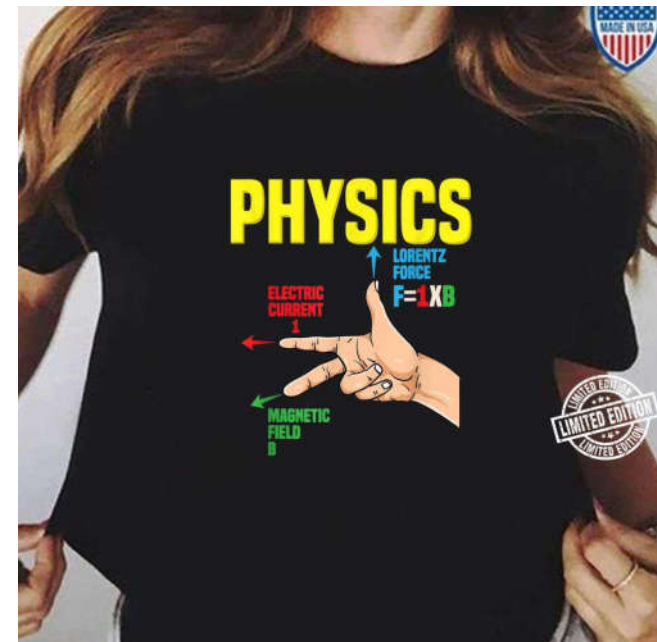
$$r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$



*Zyklotron (β⁺ Strahl)
Messungselektronometrie*

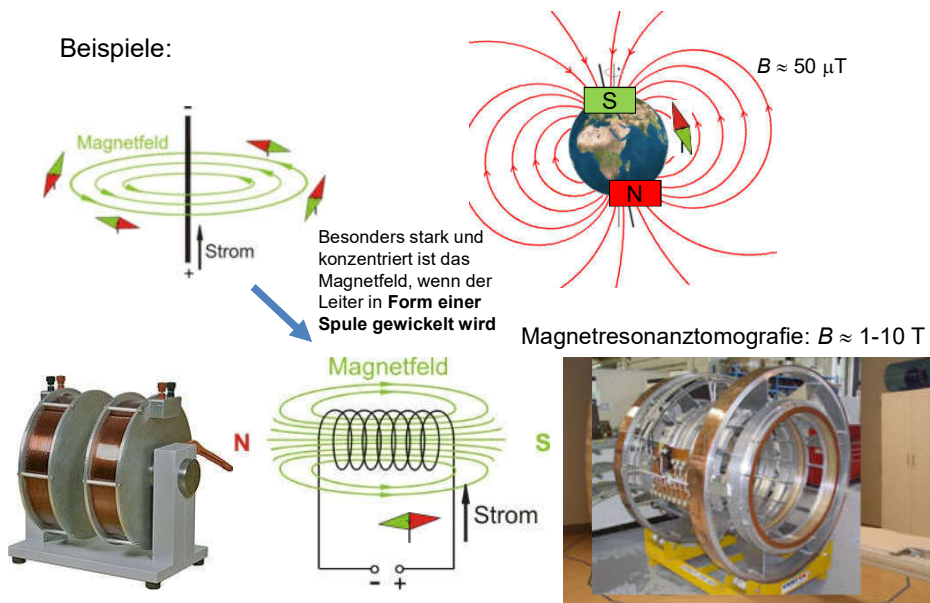
Das Elektron bewegt sich im Vakuum im Kreis.
(in der Abbildung zeigt das Ionisationslicht einer kleinen Gasladung den Weg der Elektronen an)

15



16

Beispiele:



Elektrischer Strom, bewegte el. Ladungen erzeugen Magnetfeld

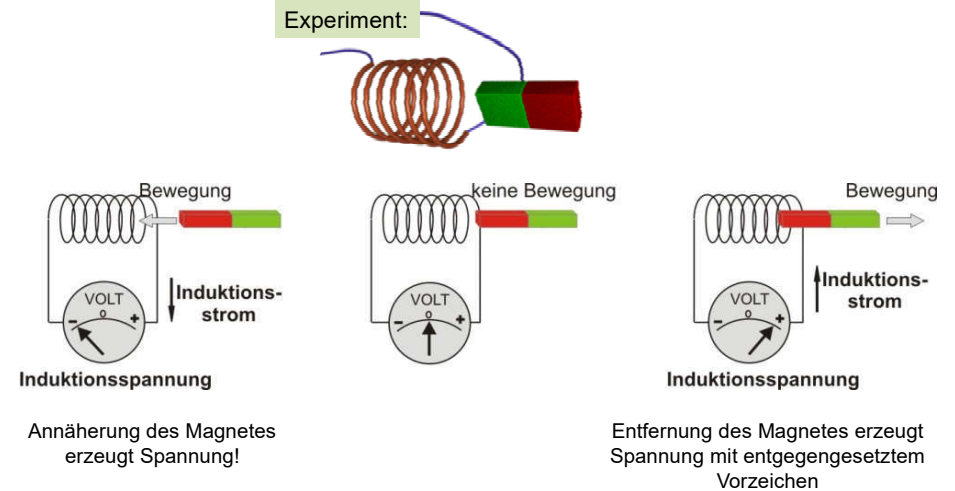
17

Magnetische Induktion

Bewegte elektrische Ladungen erzeugen Magnetfeld.

Können bewegte Magnete elektrisches Feld erzeugen und dadurch elektrische Ladungen bewegen? (Faraday)

Experiment:



18

Magnetische Induktion

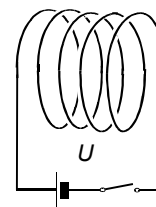


Sich ändernde Magnetfelder erzeugen elektrisches Feld

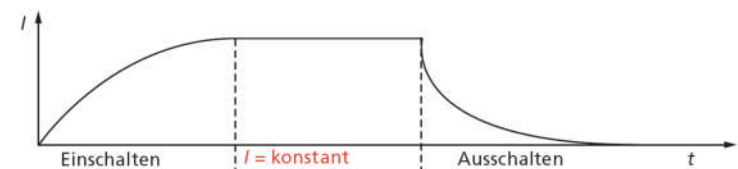
- Je **schneller** und je **stärker** sich das **Magnetfeld** ändert, desto größer ist die **induzierte Spannung**
- **Lenzsche Regel**: Der Induktionsstrom ist stets **so gerichtet**, dass er **seiner Ursache entgegenwirkt**

19

Selbstinduktion

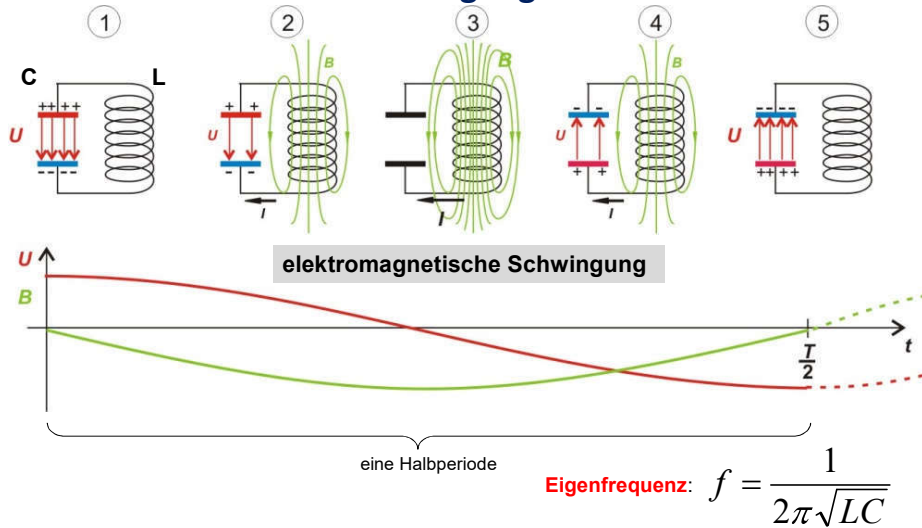


- **Magnetische Induktion in der selben Spule**, die das Magnetfeld erzeugt (Feldspule = Induktionsspule)
- Typisch beim Ein- und Ausschalten
- **Selbstinduktion einer Spule** hängt von den Eigenschaften der Spule (Windungszahl, ...) - **Induktivität (L)**



20

Schwingkreis (LC-Kreis) – elektromagnetische Schwingungen

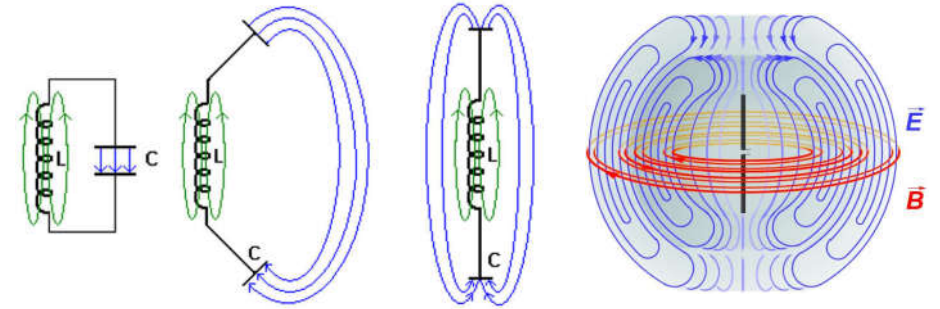


- Im Idealfall (Energieverluste ausgeschlossen) wird die Schwingung ungedämpft und sinusförmig
- In der Wirklichkeit muss man Energie zuführen die konstante Amplitude aufrechtzuerhalten

21

Erzeugung elektromagnetischer Wellen

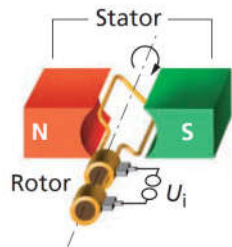
Eine Möglichkeit zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen: **Hertz'sche Dipol** der Hertz'sche Dipol kann als offener Schwingkreis interpretiert werden



- Die Entstehung eines **offenen Schwingkreises** kann man sich schematisch als Deformation eines **geschlossenen Schwingkreises** vorstellen
- Dabei werden die Kondensatorplatten auseinandergezogen. Die Fläche der Kondensatorplatten sowie die Windungszahl der Spule werden reduziert
- So erhält man einen geraden Draht. Das **elektrische Feld** ragt nun weit in den Raum hinaus. Auch das **magnetische Feld** der Spule breitet sich in dem umgebenden Raum aus.
- Wir erhalten eine **hochfrequente elektromagnetische Schwingung** innerhalb des oben gezeichneten Metallstabs ---- **Antenne**

22

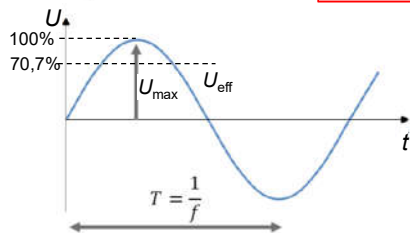
Wechselstrom



Elektrischer Generator

- Die Leiterschleife wird gedreht → **Induktionsspannung** (U_i) erscheint beim Ausgang der Leiterschleife

$$U = U_{\max} \cdot \sin \omega t$$



- U_{max} ist der Maximalwert (= Amplitude) und wird auch Scheitelwert genannt
- ω ist die Kreisfrequenz: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$$

- Die Wärmewirkung von der Wechselspannung U ist gleich der Wärmewirkung der Gleichspannung U_{eff}.

Wechselstromkreise

In einem Wechselstromkreis vertritt ein Kondensator auch einen Widerstand - **kapazitiver Widerstand** (X_C):

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Den **Gesamtwiderstand** des Wechselstromkreises nennt man: **Impedanz**

23

Viel Erfolg zur Grundklausur!



24