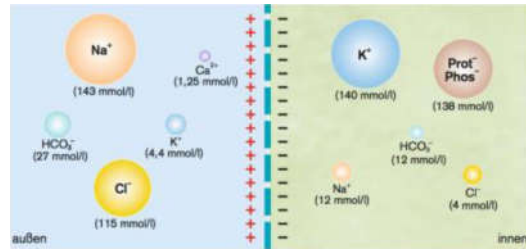
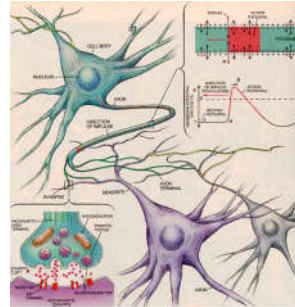


Grundlagen der medizinischen Biophysik



8. Vorlesung 02. 10. 2020 Ádám Orosz Elektrizitätslehre 2



1

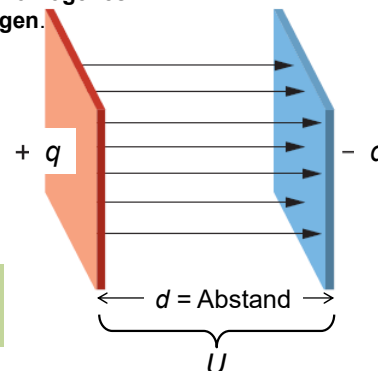
Grundklausur

- Termin der Klausur: 9. Oktober 2020. 18:30-19:30, Online Moodle Test
- Dauer: 1 Stunde
- 34 Fragen: richtige Antwort: +3; falsche Antwort -1. Keine Antwort: 0
- Die Prüfung wird per Zoom überwacht und aufgenommen. Den Test können Sie auf der Moodle-Seite erreichen. Sie erhalten vor der Prüfung einen Link zum Meeting durch das Neptun-System.
- Für die Prüfung darf nur ein einziges Gerät verwendet werden, beispielsweise ein Computer oder Laptop. Wenn nur ein Handy/Tablet erreichbar ist, sind diese auch gestattet.
- Die Kamera des Geräts muss während der gesamten Prüfung ständig eingeschaltet sein. Anwendung von Kopfhörern oder Headsets ist verboten.
- Sie müssen einen in Neptun registrierten Ausweis (Personalausweis/Reisepass/Studentenausweis) vor Beginn für 10 s in die Kamera zeigen.
- Sie dürfen nur leere Papierblätter und Stifte benutzen und Taschenrechner.
- Konstante die Sie auswendig wissen müssen: Avogadro-Konstante, Lichtgeschwindigkeit, Erdbeschleunigung
- Konsultation: 8. Oktober 18:00 – Zoom-Meeting

2

Kondensator

- Ein Kondensator ist ein elektrisches Bauteil, das elektrische **Ladung** und **Energie speichern** kann
- In seiner einfachsten Bauform besteht er aus **elektrisch leitenden Platten**, die **gegeneinander isoliert sind** (meist durch Luft) und heißt dann Plattenkondensator
- Wird ein Kondensator geladen, so erhalten seine beiden Platten betragsgleiche und ungleichnamige Ladungen $+q$ und $-q$
- $+q = Q$ wird als **Ladung des Kondensators** bezeichnet, wobei die **effektive Ladung** des Kondensators **null** ist
- Das elektrische Feld **zwischen** den beiden Platten ist ein **homogenes Feld**, **außerhalb** der beiden Platten ist es jedoch **inhomogen**.
- Die Platten des Kondensators sind Äquipotenzialflächen



Beobachtung:
 $Q \sim U$

3

Kapazität eines Kondensators

$$\text{Kapazität (C): } C = \frac{Q}{U} \left(\frac{C}{V} = F \text{ (Farad)} \right)$$

- Je **größer** die Kapazität, desto **mehr Ladung** kann **bei einer bestimmten Spannung** gespeichert werden
- Die **Kapazität** kann **erhöht** werden durch:
 - **Vergrößerung** der Kondensatorplatten A
 - **Verkleinerung** des **Abstands** d zwischen den Kondensatorplatten
 - **Erhöhung** der relativen **Permittivität** ϵ_r durch ein Dielektrikum

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

- Damit ein Kondensator **geladen** werden kann, muss eine äußere Spannungsquelle **Arbeit** verrichten
- Die zum Aufladen des Kondensators verrichtete Arbeit speichert der Kondensator in Form von **elektrischer Energie**

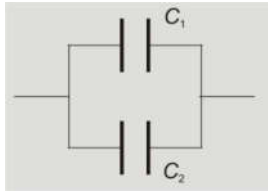
$$W(=E) = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

- Beim Entladen des Kondensators wird diese Energie wieder abgegeben

4

Schaltung von Kondensatoren

Parallelschaltung



$$C = C_1 + C_2 + \dots$$

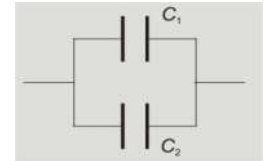
Reihenschaltung



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$$

Übung

1. Berechnen Sie die Gesamtkapazität, wenn $C_1 = 1 \text{ mF}$ und $C_2 = 4 \text{ mF}$



2. Berechnen Sie die Gesamtkapazität, wenn $C_1 = 1 \text{ mF}$ und $C_2 = 4 \text{ mF}$



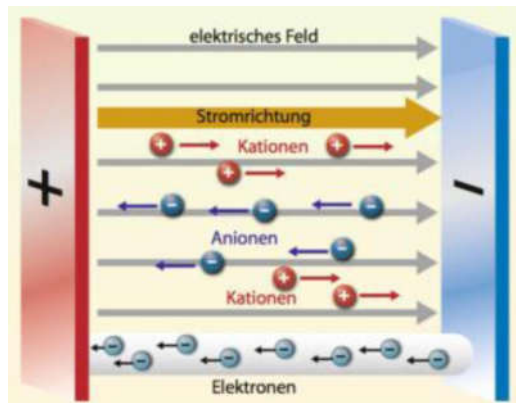
3. Berechnen Sie die Gesamtkapazität von 10 in Reihe geschalteten Kondensatoren mit je 10 mF

5

6

Elektrischer Strom

- Ein elektrischer Strom beschreibt einen gezielten und gerichteten **Ladungstransport** **durch** eine gegebene **Fläche** hindurch
- Voraussetzung dazu: **freie** (quasifreie) **Ladungsträger** (bewegliche Ladungsträger)
- Als Ladungsträger dienen typischerweise **Elektronen** oder **Ionen**
- Nicht jede Bewegung von Ladungsträgern ist zwangsläufig ein Strom



Bemerkung:

Die technische/konventionelle Stromrichtung entspricht der Richtung, in die positive Ladungen fließen: von plus nach minus.

7

Biologische Wirkung von Strom

- Der elektrische Strom ruft biologische Wirkungen hervor, die in der Medizin eingesetzt werden, z.B.:
 - Nerven-und Muskelstimulation
 - Gewebeerwärmung
 - Gewebezerstörung



8

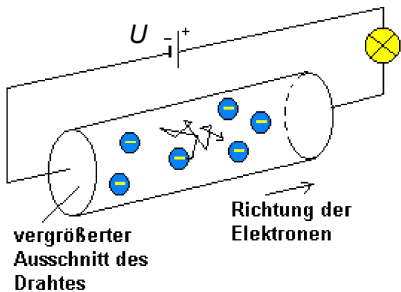
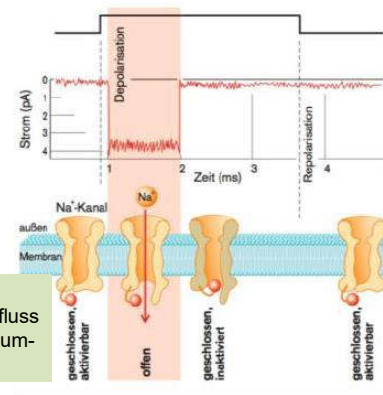
Elektrische Stromstärke

Die elektrische Stromstärke ist definiert als die **Ladungsmenge** Δq , die **während** der Zeit Δt durch eine gedachte Querschnittsebene eines Leiters tritt:

Elektrische Stromstärke (I):

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \left(\frac{C}{s} = A \text{ (Amper)} \right)$$

Natrium-Ionen, die während des Aktionspotenzials durch Natriumkanäle in der Zellmembran fließen, stellen einen elektrischen Stromfluss dar. Die Anzahl der pro Zeiteinheit durch den Kanal fließenden Natrium-Ionen bestimmt dabei die Größe dieses Stromflusses.



- Die Bewegung der Elektronen ist nicht unverhindert:
 - Kollisionen untereinander
 - Kollisionen mit den Atomen des Metallgitters
- Die elektrische **Stromstärke** ist **proportional** zur angelegten **Spannung**: $I \sim U$

9

Ohmsches Gesetz, Widerstand, Leitwert, spez. Widerstand, Leitfähigkeit

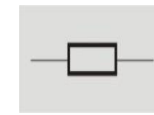
$$I \sim U$$

Ohmsches Gesetz: $U = R \cdot I$

$$I = G \cdot U$$

Elektrischer Widerstand (R):

$$R = \frac{U}{I} \left(\frac{V}{A} = \Omega \text{ (Ohm)} \right)$$



Elektrischer Leitwert (G):

$$G = \frac{I}{U} \left(\frac{A}{V} = S \text{ (Siemens)} \right)$$

- Der elektrische Widerstand eines Leiters hängt u.a. von dessen **Geometrie** ab:
 - Je größer die Querschnittsfläche A , desto geringer ist der Widerstand
 - Je länger der Leiter l , desto größer ist der Widerstand
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$
- ρ ist der **spezifische Widerstand** und ein von der **Temperatur** abhängiger **stoffspezifischer** Koeffizient mit einer Maßeinheit von $\Omega \cdot m$
- Der elektrische Leitwert eines Leiters hängt u.a. von dessen **Geometrie** ab:
 - Je größer die Querschnittsfläche A , desto größer ist der Leitwert
 - Je länger der Leiter l , desto kleiner ist der Leitwert
$$G = \sigma \cdot \frac{A}{l}$$
- σ ist die **elektrische Leitfähigkeit** und ein von der **Temperatur** abhängiger **stoffspezifischer** Koeffizient mit einer Maßeinheit von S/m

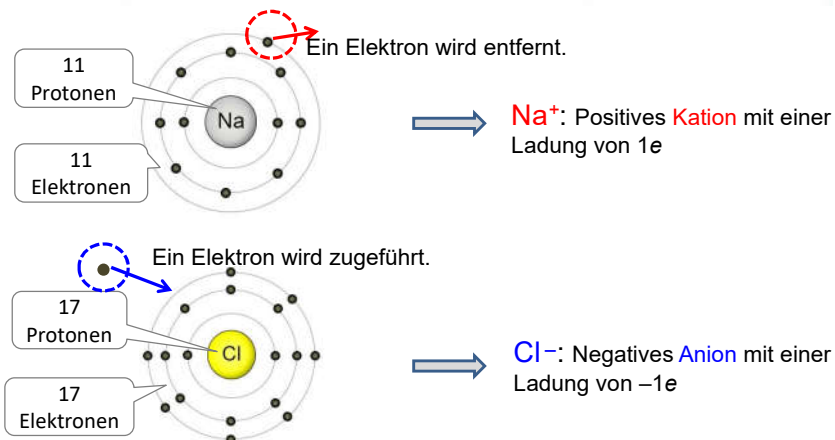
10

Aufladung eines Körpers

- Atome, Moleküle, makroskopische Objekte sind im allgemeinen elektrisch neutral, da diese gleich viele Elektronen wie Protonen enthalten
- Körper (Atome, Moleküle, makroskopische Körper) können durch Entfernung oder durch Zuführen von Elektronen netto elektrische Ladung erhalten



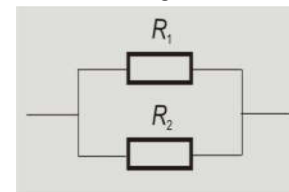
Z. B.:



11

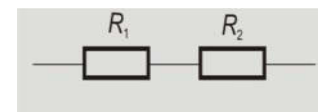
Schaltung von Widerständen

Parallelschaltung



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Reihenschaltung



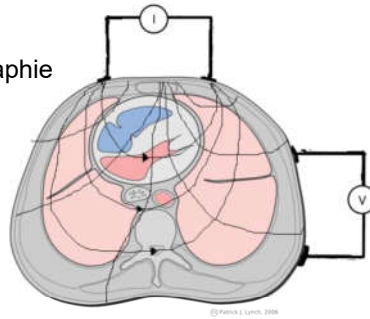
$$R = R_1 + R_2 + \dots$$

12

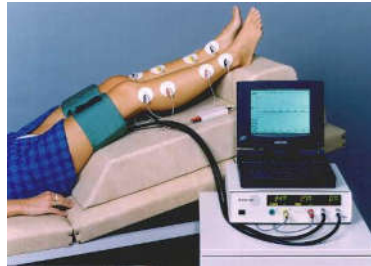
Elektrische Leitfähigkeit in der Diagnostik

Gewebe	σ (mS/m)
Blut	700
graue Hirnmasse	300
weiße Hirnmasse	150
Haut	100
Fett	40
Knochen	10

Elektrische Impedanztomographie (EIT)



Impedanzplethysmographie (IPG)



13

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

b) die Spannung, die zu dieser Stromstärke nötig ist

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

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



15

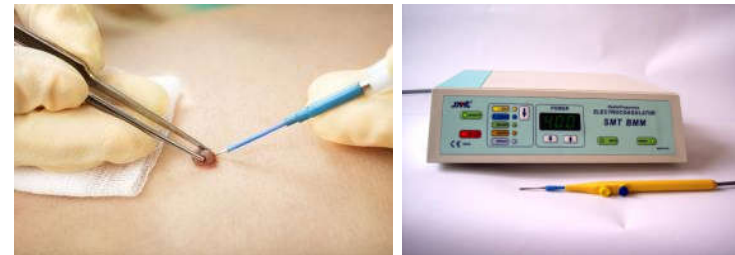
Das joulesche Gesetz

- Bei der **Abbremung** 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 (Hitzekauter):



14

Elektrische Stromkreise

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

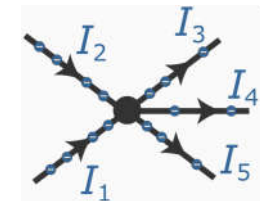
Zusammenhänge für die **Verteilung** von **Strom** und **Spannung** in Stromkreisen

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



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

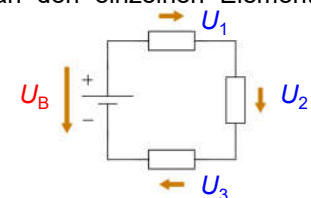
$$\sum_i^n I_n = 0$$



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

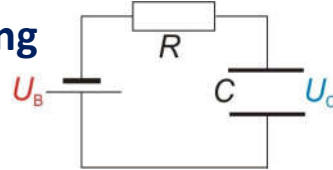
$$U_B = U_1 + U_2 + U_3$$

$$\sum_i^n U_n = 0$$

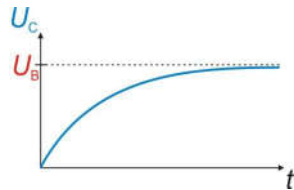
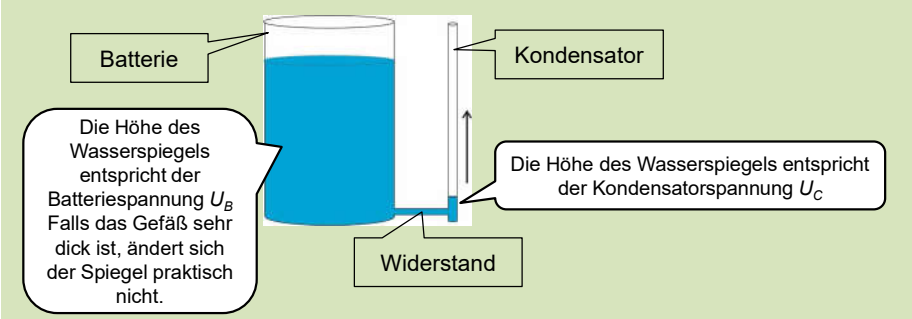


16

RC-Kreis - Ladevorgang



Analogie: Ausgleich der Wasserspiegel in den Gefäßen

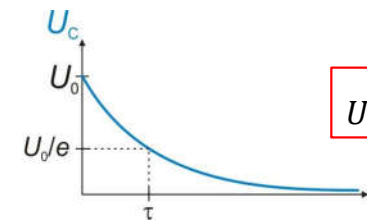
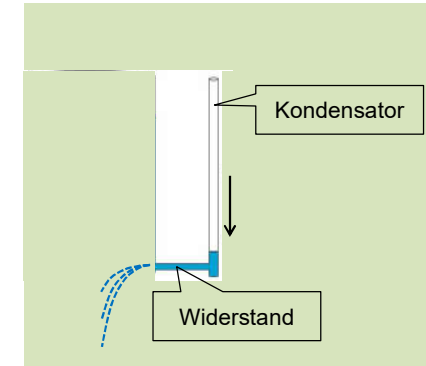
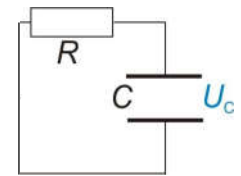


$$U_C = U_B \cdot (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

17

RC-Kreis - Entladevorgang

Analogie: Senkung des Wasserspiegels im dünnen Rohr



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

18

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.

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



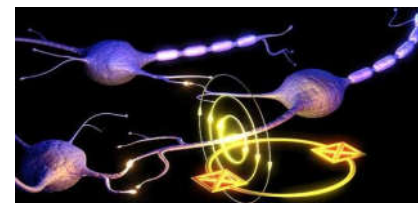
a) die Zeitkonstante des Kreises

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

19

Grundlagen der medizinischen Biophysik

Magnetismus und elektromagnetische Induktion



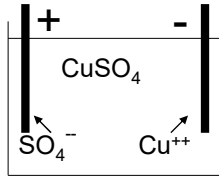
20

Wirkungen des elektrischen Stromes

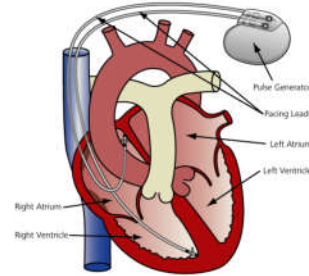
- Wärmewirkung
- chemische Wirkung
- biologische Wirkung



Behandlung mit
Kondensatorplatten
- hochfrequenter
Wechselstrom

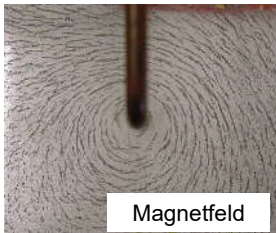


Elektrolyse -
Gleichstrom



Herzschrittmacher -
Stromimpulse

- magnetische Wirkung



Magnetfeld

21

Magnete

Grundsätzlich gibt es zwei Ursachen des Magnetismus:

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

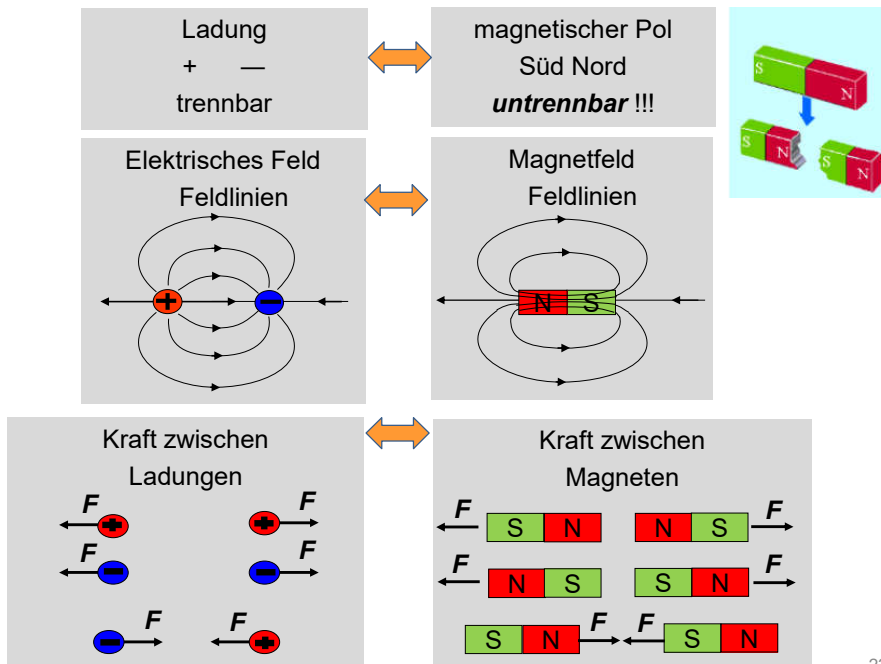


Magnetisches Moment

- 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**

22

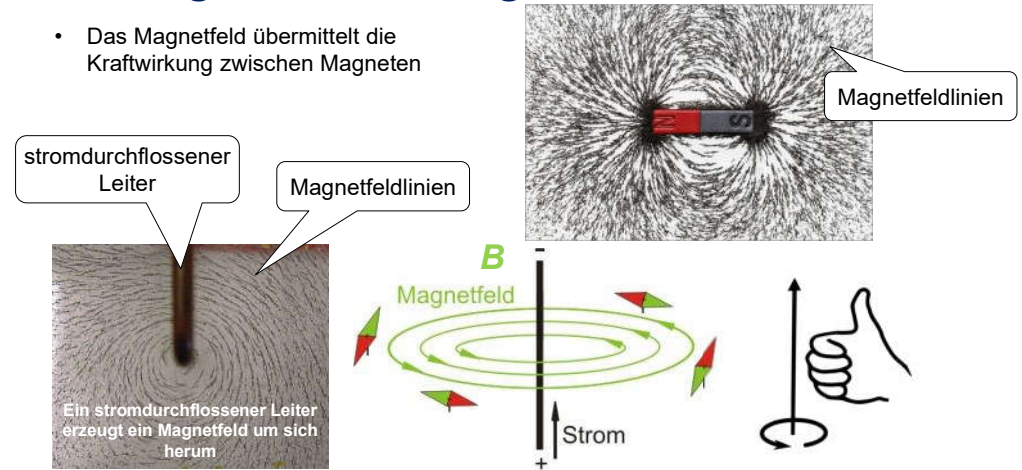
Elektrische vs. magnetische Wechselwirkung



23

Magnetfeld und magnetische Flußdichte

- Das Magnetfeld übermitteln die Kraftwirkung zwischen Magneten



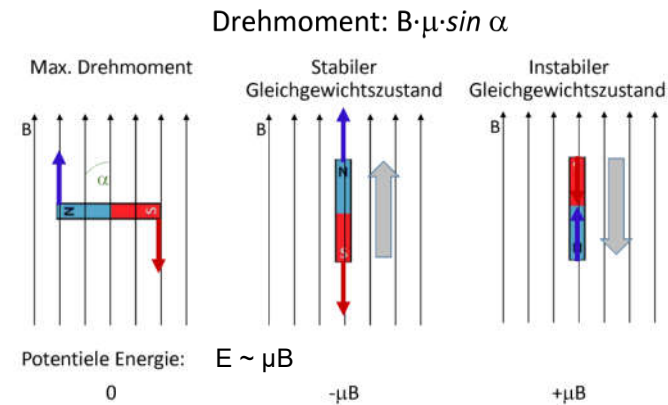
- Richtung der Feldlinien: Rechte-Hand-Regel (Schraubenzieher Regel)
- Je größer ist die Stromstärke, desto stärker wird das Magnetfeld

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

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

24

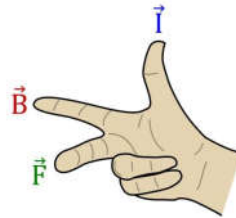
Verhalten von Magneten und Ladungsträger im Magnetfeld



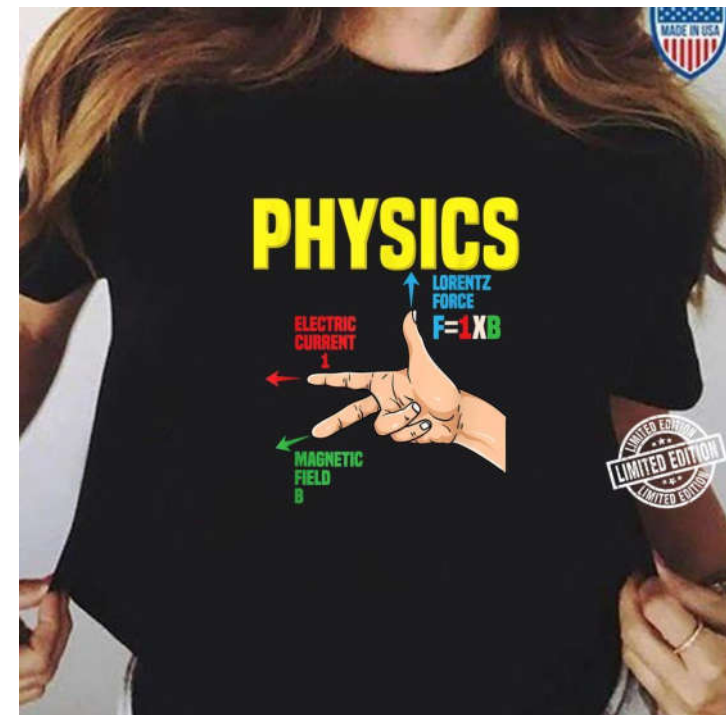
Ein Magnetfeld übt Kraft auch auf bewegte Ladungen aus

Lorenzkraft:

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

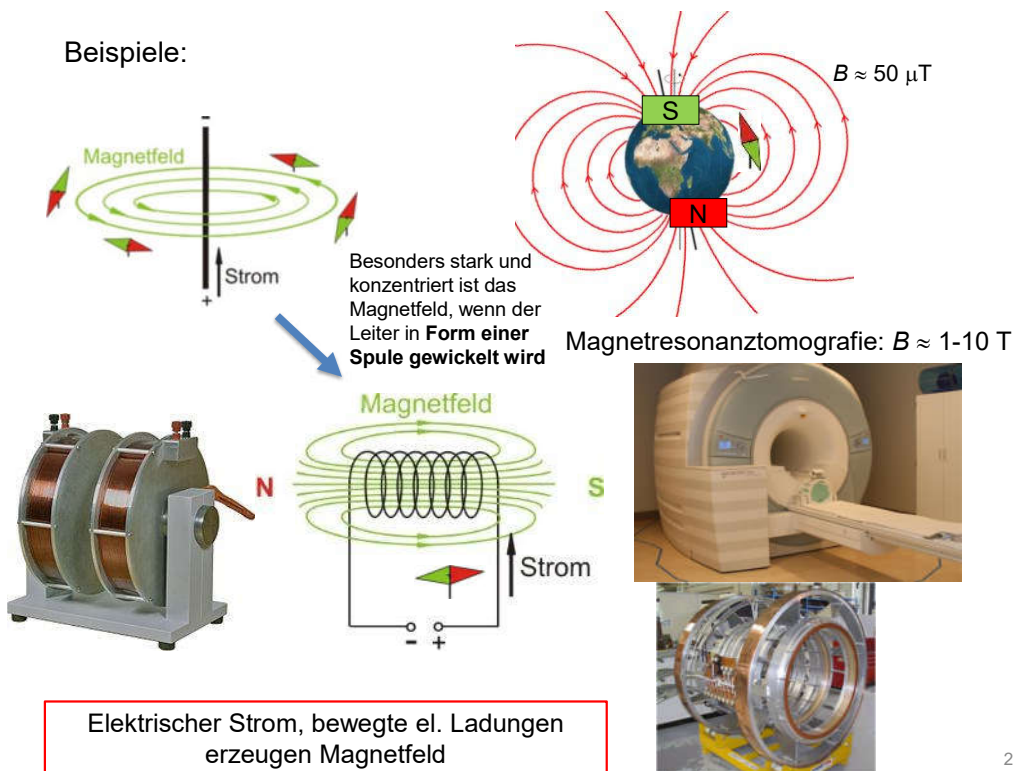


25



26

Beispiele:

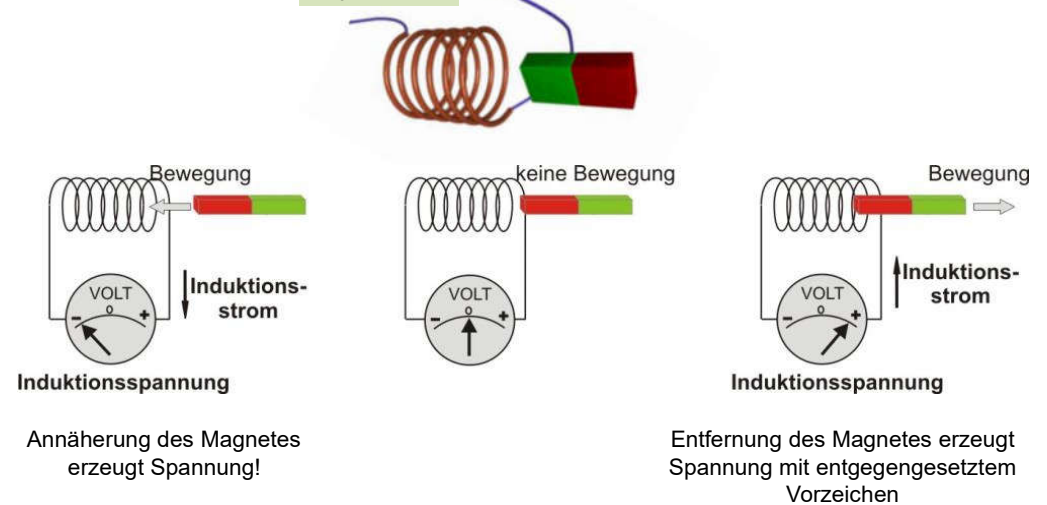


27

Magnetische Induktion

Bewegte elektrische Ladungen erzeugen Magnetfeld. \rightarrow Können bewegte Magnete elektrisches Feld erzeugen und dadurch elektrische Ladungen bewegen? (Faraday)

Experiment:



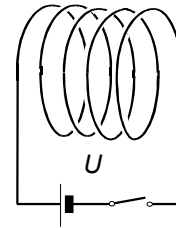
28



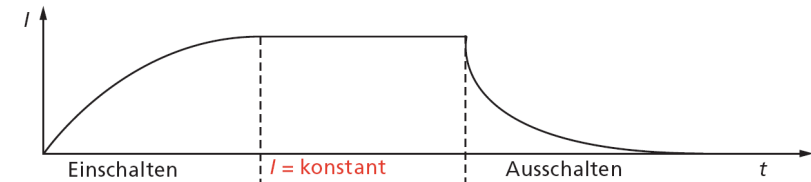
Sich ändernde Magnetfelder erzeugen elektrisches Feld

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

Selbstinduktion



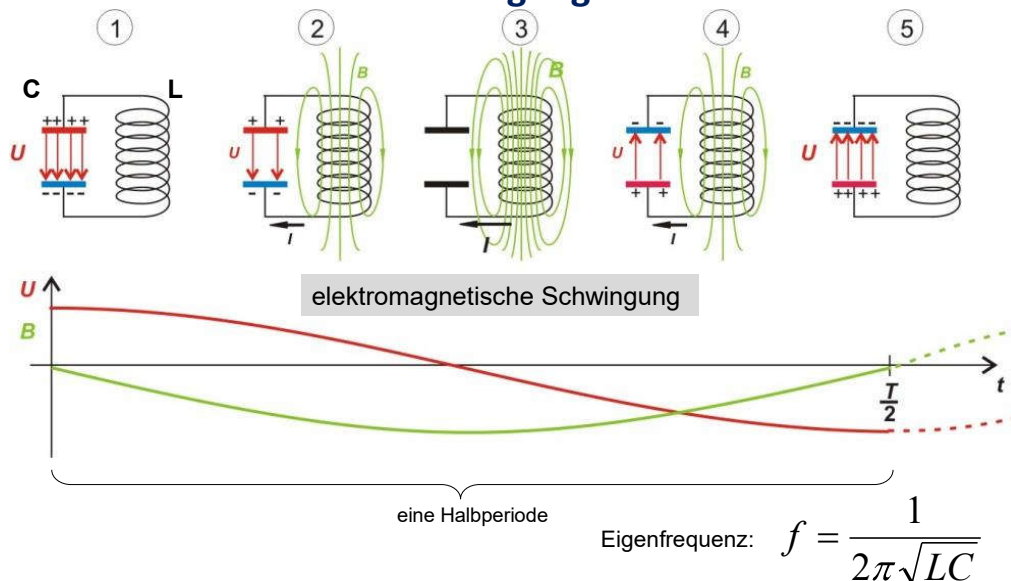
- Magnetische Induktion **in der selben Spule**, die das Magnetfeld erzeugt (Feldspule = Induktionsspule)
- Typisch beim Ein- und Ausschalten
- Diese **Eigenschaft einer Spule** hängt von den Eigenschaften der Spule (Windungszahl, ...) und wird **Induktivität (L)** genannt



29

30

Schwingkreis (LC-Kreis) – elektromagnetische Schwingungen

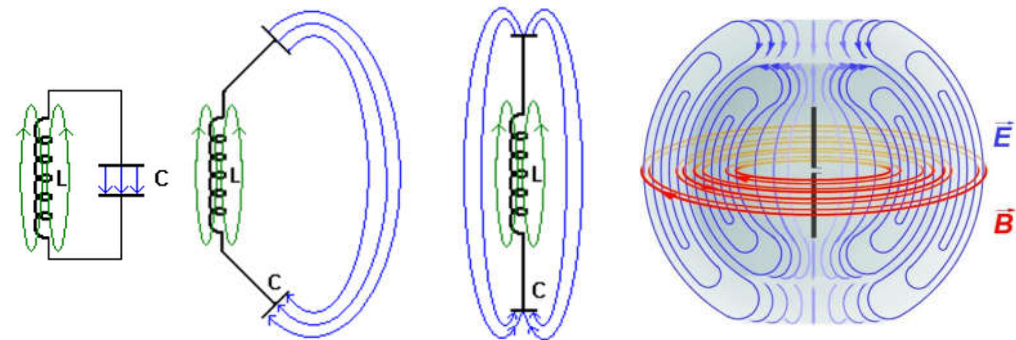


- Im Idealfall (Energieverluste ausgeschlossen) wird die Schwingung ungedämpft und sinusförmig
- In der Wirklichkeit muss man Energie zuführen die konstante Amplitude aufrechtzuerhalten

31

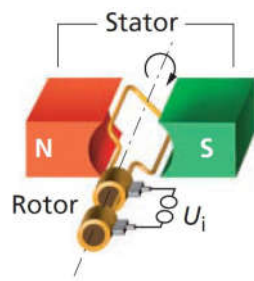
Erzeugung elektromagnetischer Wellen

Eine Möglichkeit zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen: **Hertzsche Dipol**
der Hertzsche 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.

32

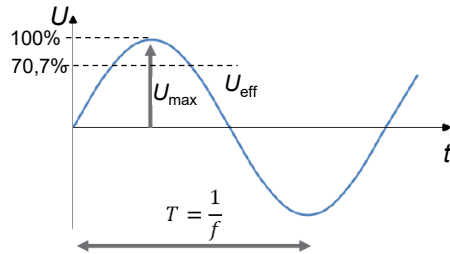


Wechselstrom

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):

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

Viel Erfolg zur Grundklausur!



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