

A) Elektrizität und Magnetismus: Kurzwiederholung.**a) Das „normale“ elektrische Feld.**

- 1) Die elektrischen Ladungen befinden sich als neg. Elektronen und pos. Atomkerne im Atom.
- 2) Der Buchstabe der elektr. Ladung ist Q .
- 3) Die Maßeinheit ist *Coulomb*.
- 4) Ein Coulomb besteht aus $6,24 \cdot 10^{18}$ Elementarladungen, $1C = 6,24 \cdot 10^{18} e$ bzw. $1e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$.
- 5) Das „normale“ elektrische Feld setzt eine Ladungstrennung voraus.
- 6) Eine Vorrichtung zur Ladungstrennung heißt „Spannungsquelle“.
- 7) Der Buchstabe der Spannung ist U , die Maßeinheit ist *Volt*.
- 8) Spannung ist definiert als Arbeit pro abgetrennte Ladung $U = W / Q$.
- 9) Eine punktförmige elektrische Ladung Q erzeugt ein elektrisches Radialfeld $E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$.
- 10) $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} C^2 / m^2 \cdot N$ heißt elektrische Feldkonstante.
- 11) Die Feldlinien laufen aus der positiven elektrischen Ladung. heraus, in die neg. Ladung hinein.
- 12) Ein elektrisches Feld bewirkt eine Kraft auf eine elektrische Ladung.
- 13) Eine positive el. Ldg. bewegt sich in Feldrichtung, eine negative Ldg. bewegt sich dagegen.
- 14) Eine unbekannte Feldstärke wird mit einer positiven Probeladg. bel. Größe gemessen: $E = F / q$.
- 15) Große Feldliniendichte bedeutet große Feldstärke und umgekehrt.
- 16) Die el. Feldst. einer Pktldg. nimmt deshalb quadr. ab, weil die Kugeloberfläche quadr. zunimmt
- 17) Sind eine positive und negative Ladung nahe bei einander, so heben sich ihre Felder bereits in geringer Entfernung auf.
- 18) Weil die Felder von Elektronen und Atomkernen sich schon in geringer Entfernung aufheben ist das Atom nach außen neutral.
- 19) Eine Ader die nicht an eine Spannungsquelle angeschlossen ist, ist elektrisch neutral.
- 20) Eine Ader, die an einen Minus- bzw. Pluspol angeschlossen ist, ist pos. bzw. neg. el. geladen.
- 21) Die beiden Adern eines Stromkreises sind el. aufgeladen und ziehen sich elektrisch an.
- 22) Später lernen wir, dass sie sich magnetisch abstoßen. Welche Kraft überwiegt, ist fallabhängig.
- 23) Das elektrische Feld zwischen zwei getrennten Punktladungen heißt Dipolfeld (abstoß oder anz.).
- 24) Das el. Feld einer mit Q geladenen Platte der Größe A hat die Feldstärke $E = (1 / \epsilon_0) \cdot (Q / A)$.
- 25) Zwei gleich geladene Platten liefern zwischen ihnen einen feldfreien Raum. (Faradayscher K.)
- 26) Zwei gegengleich geladene Platten erzeugen außen Feldfreiheit und innen Verdoppelung.
- 27) Die Anordnung heißt Kondensator. Er speichert Ldg: $Q = C \cdot U$ und Energie $W = \frac{1}{2} Q \cdot U$.
- 28) Die Energiedichte zwischen den Platten ist $\rho_{el} = \frac{1}{2} \cdot \epsilon_0 \cdot E^2$.
- 29) Daran sieht man, dass ein elektrisches Feld ein Energieträger ist.
- 30) C heißt „Kapazität“; Maßeinheit *Farad* = F . C hängt von der Bauform ab $C = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot A / d$
- 31) ϵ_r (ohne Maßeinh.) hängt vom Material ab und heißt relative Dielektrizitätskonstante
- 32) Parallelschltg: $C = C_1 + C_2$. Reihenschltg: $1 / C = 1 / C_1 + 1 / C_2$. Gerade umgekehrt bei Widerst.
- 33) Der Buchstabe für die el. Stromstärke ist I , Maßeinheit *Ampere*.
- 34) Auf- und Entladen eines Kondensator über einen Widerstand erfolgen gemäß e -Funktionen.
- 35) Die Halbwertszeit beträgt $t_H = R \cdot C \cdot \ln 2$.
- 36) Die Spannungsquelle trennt Elektronen von Atomen ab. Die Fehlstellen heißen Löcher.
- 37) Nach Anschluss ist auf der Minusader ein Überschuss, auf der Plusader ein Mangel von e .
- 38) Elektronenmangel ist dasselbe wie Vorhandensein von Löchern.
- 39) Die abgetrennten Elektronen und zurückbleibenden Löcher sind auf ihren Adern frei bewegl.
- 40) Das Vorlaufen der Löcher erfolgt durch den Rücksprung von Elektronen.
- 41) Zwischen jeden beliebigen zwei Punkten der Adern besteht die Spannung U der Spannungsqu.
- 42) Dafür häufen sich die beweglichen El. und Löcher bei Engstellen an.
- 43) Wird ein Verbraucher eingesetzt, sagt man, dass der Stromkreis geschlossen wurde.

- 44) Im Verbraucher rekombinieren die getrennten Ldg. und die Trennarbeit wird zurückgegeben.
- 45) Auch bei geschlossenem Stromkreis bleiben die Adern voll geladen.
- 46) Das liegt daran, dass so viele Ldg. neu getrennt werden, wie im Verbraucher rekombinieren.
- 47) Nur bei Kurzschluss schafft die Spannungsquelle es nicht und die Adern entladen sich.
- 48) Der elektrische Strom ist die Anz. der getrennten u. rekombinierten Ldg. pro Zeit.
- 49) Den el. Strom misst man an jeder Stelle der Adern bei ihrem Weg von der Spqu. zum Vbr.
- 50) Stromstärke $I = \Delta Q / \Delta t$ bzw. $I = \dot{Q}$. Ldg, die pro Zeit durch einen Querschnitt fließt.
- 51) Die Größe des Querschnittes ist egal.
- 52) Die technische Stromrichtung orientiert sich an positiven Ladungsträgern.
- 53) Also laufen die Löcher in Richtg. des technischen Stromes, die Elektronen dagegen.
- 54) Da Löcher vorwärtsbewegung Elektronenrücksprung ist, laufen im Stromkr. Elektr. im Kreis.
- 55) Betrachtet man nur El. im Kreis, vergisst man die Aufladung der Adern, ein schwerer Fehler.
- 56) Vergisst man im Stromkreis die Aufladung der Adern, so läge am Verbr. keine Spannung.
- 57) Die übertragene Energie pro Zeit heißt Leistung $P = \Delta W / \Delta t$. Es gilt $P = U \cdot I$
- 58) In $U = W / Q$ steckt die Trennarbeit pro Ldg. In $I = \Delta Q / \Delta t$ steckt die Anz. der transportierten getrennten Ladungen pro Sekunde. Deshalb $P = U \cdot I$.
- 59) Die Maßeinheit der Leistung ist Watt W. $\boxed{\text{Watt} = \text{Joule} / \text{Sek}}$ oder $\boxed{\text{Watt} = \text{Volt} \cdot \text{Ampere}}$
- 60) Eine Wattsekunde = $Ws = W \cdot s$ ist ein Joule. Eine kWh = 3600 kJ.
- 61) Ohmsches Gesetz $I = U / R$
- 62) Die Stromst. ist prop. zur antreibenden Spannung u. antiprop. zum bremsenden Widerstand.
- 63) Stromst. I ist prop. zur Geschw. v der Ldgtr. Wegen $U = W / q = F \cdot d / q \Rightarrow U \sim F$. Daher ist beim Ohmschen Gesetz nicht $a \sim F$ sondern $v \sim F$. Also ist das Ohm G. ein Reibungsgesetz.
- 64) Die Maßeinheit des Widerstandes R ist $\text{Ohm} = \Omega$. Es gilt $\Omega = \text{Volt} / \text{Ampere}$.

b) Das „normale“ magnetische Feld.

- 1) Bewegte elektrische Ladungen nehmen einerseits ihre elektrischen Felder mit. Andererseits...:
- 2) Bewegte elektr. Ldg. erzeugen andererseits vom ruhenden Standpunkt aus, ein Magnetfeld.
- 3) Der „normale“ Magnetismus beruht grundsätzlich auf einem elektrischen Strom.
- 4) Der Magnetismus des Stromes erklärt sich durch die Lozentzkontraktion der Relativitätstheorie.
- 5) Alle magnetischen Felder, auch die wir noch kennen lernen werden, sind Ringfelder ohne Pole.
- 6) Der Nord- und der Südpol des Magnetismus sind nur Scheinpole.
- 7) Nord- und Südpol des Magnetismus sind nur Durchlaufgebiete von Feldlinien.
- 8) Weil N- u. S-Pol nur Durchlaufgebiete sind, gibt es beim Durchbrechen neuen S-u. N-Pole
- 9) Ein linearer elektr. Leiter umgibt sich mit kreisförmigen Magnetfeldlinien der Länge $U = 2\pi r$.
- 10) Die magnetische Feldstärke hat den Buchstaben H .
- 11) Weil die Feldlinien in größerem Abstand länger werden, wird die Feldst. entsprechend kleiner.
- 12) Die magn. Feldstärke eines linearen Leiters gehorcht der Abstandsformel $H = I_{err} / 2\pi r$.
- 13) Die Maßeinheit der magnetischen Feldstärke ist $\text{Ampere} / \text{Meter}$.
- 14) Der Drehsinn der Feldlinien ergibt sich aus der rechten bzw. linken Korkenzieherregel.
- 15) Windet man einen Leiter (Ader, Kabel) zu einem Kreis, so erhält man eine Leiterschleife.
- 16) Viele Leiterschleifen hintereinander bilden eine Spule. Die Anzahl der Windungen heißt n .
- 17) In eine Spule laufen die Feldlinien an der einen Seite hinein, aus der anderen Seite hinaus.
- 18) Die Auslaufseite ist der Nordpol (rot), die Einlaufseite der Südpol (grün).
- 19) Den Strom durch eine Leiterschleife (= Spule mit Wdgzahl $n = 1$) nennt man Ringstrom.
- 20) Jeder Ringstrom erzeugt ein elementares Magnetfeld mit N- und S-Pol.
- 21) Die umlaufenden Elektronen im Atom bilden atomare Ringströme u. erzeugen Elementarmagn.
- 22) Die Spin-Eigendrehung der Elektronen erzeugen ebenfalls atomare elementare Magnete.
- 23) Hebt sich die Wirkung der atomaren Magn. in einem Atom auf, so ist der Stoff diamagnetisch.
- 24) Andernfalls ist der Stoff paramagnetisch.
- 25) Bei starker WW benachbarter Atome entsteht unterhalb der Curietemperatur Ferromagnetismus

- 26) Bei Ferromagn. sind viele 10^6 Atome in Weißschen Bezirken jeweils magn. gleichgerichtet.
- 27) Oberhalb der Curietemperatur schlägt der Ferromagnetismus in Paramagnetismus um.
- 28) Ein Magnetfeld übt auf eine Kompassnadel ein Drehmoment aus.
- 29) Aus dem Drehmoment auf eine Testkompassnadel kann man auf die magn. Kraft schließen.
- 30) Die magn. Eigenschaften der Materie verändern die Kraftwirkung eines magnetischen Feldes.
- 31) Der Verstärkungsfaktor der Kraft durch die Materie heißt $\mu_r = \text{rel. Permeabilität}$. B
- 32) Bei Kraftverstärkung ist $\mu_r > 1$, Abschwächung ist $\mu_r < 1$. Beim Supraleiter ist $\mu_r = 0$.
- 33) Diamagnetische Stoffe schwächen das äußere Magnetfeld: $\mu_r < 1$
- 34) Paramagnetische Stoffe verstärken das äußere Magnetfeld leicht: $\mu_r > 1$
- 35) Ferromagnetische Stoffe verstärken das äußere Magnetfeld extrem: $\mu_r \gg 1$. (sehr viel größer)
- 36) Die enorme Verst. erfolgt, weil das äuß. Feld alle Weißschen Bezirke in seine Richtung klappt.
- 37) Die magn. Kraft ergibt sich aus der magnetischen Flussdichte B .
- 38) Die Maßeinheit der Flussdichte B ist Tesla. Es gilt $T = N / A \cdot m$.
- 39) Die magn. Flussd. B ergibt sich aus dem magn. Kraftfluss \mathcal{F} einfach durch Multipl. mit μ_0 .
- 40) Es gilt also $B = \mu_0 \cdot \mathcal{F}$. Dabei ist $\mu_0 = 1,2566 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} / \text{Am}$ eine Naturkonstante.
- 41) Im Vakuum bzw. in Luft stimmt der Kraftfluss \mathcal{F} mit der Feldstärke H überein.
- 42) Wiederholung von 12): Für den linearen Leiters gilt $H = I_{err} / 2\pi r$, bzw. $H = I_{err} / U$.
- 43) Die magn. Feldstärke ist antiprop. zur Länge der Feldlinie um den Leiter.
- 44) Die magn. Feldstärke ist proportional zur Erreger-Stromstärke $H = I_{err} / U$.
- 45) Weil $H = I_{err} / U$ antiprop. zu U ist, stellt U den magn. Widerstand R_{magn} für die Feldlinie dar.
- 46) Je der magn. Widerstand (je größer der Umfang), desto kleiner die Feldstärke.
- 47) Weil man anstatt von U auch R_{magn} schreiben kann, folgt aus $H = I_{err} / U$ auch $H = I_{err} / R_{magn}$.
- 48) Wiederholung 41). Weil im Vakuum \mathcal{F} und H übereinstimmen, gilt auch $\mathcal{F} = I_{err} / R_{magn}$.
- 49) Erst diese Formel ermöglicht die Verallgemeinerung, wenn das Magnetfeld durch Materie läuft.
- 50) Im Fall von Materie braucht man nur den magn. Widerstand R_{magn} anzupassen.
- 51) Ist der Raum mit komplett mit μ_r gefüllt, so gilt $R_{magn} = \rho \cdot U$.
- 52) Dabei ist $\rho = 1 / \mu_r$ magn. Widerstandsfaktor. ρ ist der Kehrwert der rel. Permeabilität μ_r .
- 53) ρ und auch μ_r sind einfache Zahlen ohne Maßeinheit.
- 54) Ist der Raum für die Feldlinie auf dem Abschnitt l_1 mit $\rho_1 = 1 / \mu_{r,1}$ und auf dem Abschnitt l_2 mit $\rho_2 = 1 / \mu_{r,2}$ gefüllt, so beträgt der magn. Widerstand $R_{magn} = \rho_1 \cdot l_1 + \rho_2 \cdot l_2$.
- 55) Ist der Raum entsprechend geteilt, so gilt für den Kraftfluss $\mathcal{F} = I_{err} / (\rho_1 \cdot l_1 + \rho_2 \cdot l_2)$.
- 56) Die Raumteilung in Luft und Eisen (Fe) kommt bei fast allen elektro-magn. Geräten vor.
- 57) Entscheidend für die magnetische Kraft = Lorentzkraft ist die magnetische Flussdichte B .
- 58) Wiederh.39): Die magn. Flussdichte B ergibt sich aus \mathcal{F} durch Multipl mit μ_0 : $B = \mu_0 \cdot \mathcal{F}$.
- 59) Die Maßeinheit der Flussdichte B ist Tesla. Es gilt $T = N / A \cdot m$.
- 60) Der lineare Leiter in Luft oder Vakuum hat daher die Flussdichte $B = \mu_0 \cdot I_{err} / 2\pi r$.
- 61) Für das Innere einer langen dünnen Spule gilt $B = \mu_{Spule} \cdot \mu_0 \cdot n \cdot I_{err} / l$ mit $l = \text{Spulenlänge}$.
- 62) Hat die Spule einen Eisenkern mit μ_{Fe} , so ist μ_{Spule} viel kleiner als μ_{Fe} , weil die Feldlinien im großen Bogen von N-Pol außen herum durch die Luft zum S-Pol zurücklaufen müssen.
- 63) Damit die Anwendung effektiv ist, muss der Luftweg klein gegenüber dem Eisenweg sein.

c) **Magnetische Kraft, Lorentzkraft.**

- 1) Wiederholung: Ein Magnetfeld übt auf eine Kompassnadel ein Drehmoment aus.
Aus dem Drehmoment auf eine Testkompassnadel kann man auf die magn. Kraft schließen.
- 2) Man kann die magn. Kraft auch ohne Kompassnadel direkt messen.
- 3) Die direkte Kraftmessung nutzt einen stromdurchflossenen Leiter, anstatt der Kompassnadel.
- 4) Die magn. Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter heißt Lorentzkraft.
- 5) Die Richtung der Lorentzkraft erhält man durch die Drei-Finger-Regeln.
- 6) Die Formel für die Lorentzkraft lautet $F_L = l \cdot I \cdot B$.
- 7) Die Länge des im Magnetfeld befindlichen Leiterstücks heißt l .
- 8) Die Flussdichte B ist entweder gegeben oder sie wird durch $B = \mu_0 \cdot I_{err} / R_{magn}$ errechnet.
- 9) Die Leiter in einem Stromkreis ziehen sich elektrisch an und stoßen sich magnetisch ab.
- 10) Welche Kraft überwiegt ist fallabhängig.
- 11) Gleichsinnig durchflossene el. Leiter stoßen sich elektrisch ab und ziehen sich magnetisch an.
- 12) Die Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern kann man graphisch veranschaulichen:
Kommt es durch den Drehsinn zwischen den Leiter zu B -Verstärkung, so folgt Abstoßung.
Kommt es durch den Drehsinn zwischen den Leiter zu B -Aufhebung, so folgt Anziehung.
- 13) Die Lorentzkraft wirkt auch auf einen Strahl freier, mit der Geschw. v bewegter Ladungsträger.
- 14) Die Lorentzkraft nimmt dann die Form $F_L = v \cdot q \cdot B$. Für Elektronen gilt $q = e$.
- 15) Auch hier ergibt sich die Richtung der Lorentzkraft aus den Drei-Finger-Regeln.
- 16) Für einen Elektronenstrahl im homogenen Magn.feld liefert die Lorentzkraft eine Kreisbahn.
- 17) Anwendungen des Elektro-Magnetismus sind Hebemagn., Wagnerscher Hammer, Relais, Lautsprecher, Mikrophon, Gleich-, Wechsel- und Unipolarstrommotor. Volt- und Amperemeter.
- 18) Wird eine stromdurchfl. Platte rechth. von einem B -Feld durchsetzt, so tritt der Halleffekt auf.
- 19) Beim Halleffekt werden die Plattenseiten pos. bzw. negativ aufgeladen.
- 20) Die seitliche Aufladung der Hallplatte kann man als „Hall“-Spannung U_H messen.
- 21) Der Halleffekt ermöglicht den Bau einer Magnetfeldsonde = Hallsonde.
- 22) Bei festen übrigen Daten ist die Hallspannung U_H proportional zur Flussdichte B .
- 23) Der Halleffekt liefert auch die Anz. der für den Stromfluss verfügbaren Ldgr. im Leiter.
- 24) Im MagnetoHydroDynamischen Generator wird der Halleffekt großtechnisch genutzt.