

$$U_L(R_L = 110 \, \Omega) = 20 \, \text{V} \cdot \frac{R_2}{100 \, \Omega + \frac{(100 \, \Omega - R_2) \cdot R_2}{110 \, \Omega}}$$

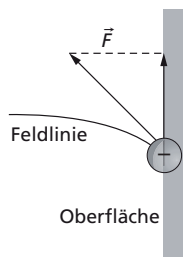
$$U_L(R_L = 25 \, \Omega) = 20 \, \text{V} \cdot \frac{R_2}{100 \, \Omega + \frac{(100 \, \Omega - R_2) \cdot R_2}{25 \, \Omega}}$$

$$U_L(R_L \rightarrow \infty) = 20 \, \text{V} \cdot \frac{R_2}{100 \, \Omega}$$

- d) Die Kurve U_L geht unabhängig von dem Widerstand R_L durch die Punkte (0/0) und (R/U). Bei unbelastetem Potenziometer ($R_L \rightarrow \infty$) ergibt sich eine Gerade, die bei Belastung umso mehr „durchhängt“, je kleiner der Widerstand R_L ist, d. h. je mehr das Potenziometer vom Verbraucher belastet wird.

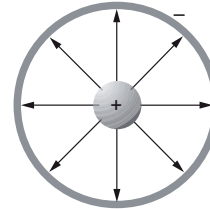
Statisches elektrisches Feld (LB S. 44–46)

- Ein elektrisches Feld existiert in der Wirklichkeit. Ein Feldlinienbild ist ein Modell des real existierenden Felds.
- Die Skizze zeigt das Feldlinienbild zwischen einer Spitze und einer Platte. Aus dem unterschiedlichen Abstand der Feldlinien ergibt sich: Das Feld ist in der Nähe der Spitze stärker als in der Nähe der Platte.
 - siehe a). Da vereinbarungsgemäß die Dichte der Feldlinien ein Maß für die Stärke des Felds ist, ergibt sich: An der Spitze ist das Feld stärker als an der Platte.
- Zwischen gleichnamig geladenen Kugeln wirken abstoßende Kräfte, zwischen ungleichnamig geladenen Kugeln anziehende Kräfte.
 - Eine Deutung könnte so erfolgen, dass man sich die Feldlinien wie eine Art Gummischnüre vorstellt (faradaysche Vorstellung).
- Die Richtung einer Feldlinie ist immer gleich der Richtung, in die im Feld eine Kraft auf eine Ladung wirkt.
Würde eine Feldlinie nicht senkrecht zur Leiteroberfläche stehen (↗ Skizze), dann würde das bedeuten: Auf die Ladungsträger in der Leiteroberfläche würde eine Kraft $\vec{F}$ wirken. Da die Ladungsträger auf der Leiteroberfläche beweglich sind, würde die senkrechte Komponente der Kraft $\vec{F}$ solange eine Verschiebung bewirken, bis $\vec{F}$ senkrecht zur Oberfläche steht. Damit steht auch die Feldlinie senkrecht zu Oberfläche.
- Erkundung, Präsentation
- Eine Abschirmung elektrischer Felder kann durch einen Faradaykäfig (Drahtgitter, massive Ummantelung) erfolgen.



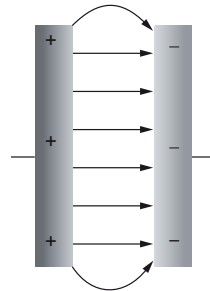
7. **Hinweis:** Nachfolgend ist eine bestimmte Ladungsverteilung angenommen. Bei Veränderung der Art der Ladung ändert sich lediglich die Richtung der Feldlinien.

a)



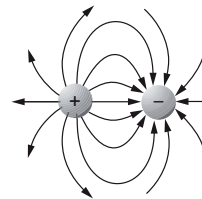
Es liegt ein radialsymmetrisches Feld vor. Das Feld ist inhomogen.

b)



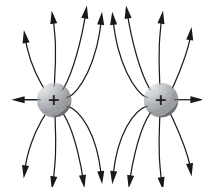
Zwischen den Platten ist das Feld weitgehend homogen, in den beiden Randbereichen inhomogen.

c)



Um die beiden ungleichnamig geladenen Platten (Kugeln) besteht ein inhomogenes Feld.

d)



Um die beiden gleichnamig geladenen Platten (Kugeln) besteht ein inhomogenes Feld.

8. a) Die in Natur und Technik auftretenden Feldstärken sind sehr unterschiedlich.

Beispiele:

- Elektrisches Feld der Erde am Erdboden: $130 \frac{\text{V}}{\text{m}}$
- Bügeleisen: $120 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ (in 30 cm Entfernung)
- Föhn: $80 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ (in 30 cm Entfernung)
- Mobilfunk-Basisstation: bis $61 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ (in 50 m Entfernung)
- 380-V-Freileitung: $6000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ (in 1 m Höhe über dem Erdboden im Bereich der größten Durchhängung der Leitungen)

Der Grenzwert für Dauerbelastung bei statischen Feldern und bei Feldern mit einer Frequenz von 50 Hz (Netzfrequenz) beträgt $5000 \frac{\text{V}}{\text{m}}$. Gesundheitliche Gefährdungen werden zwar teilweise behauptet, sind aber bei Einhaltung der Grenzwerte nicht belegt.

- b) Befinden sich Körper in einem elektrischen Feld, so kommt es zur Influenz (bei Leitern) bzw. zur

dielektrischen Polarisierung (bei Nichtleitern). Beide Effekte können zum Nachweis eines elektrischen Felds genutzt werden, z. B. beim Elektrofeldmeter.
Hinweis: Unter diesem Suchwort findet man im Internet ausführliche Informationen zu Aufbau und Wirkungsweise.

9. Zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke E wird die influenzierende Flächenladungsdichte ermittelt.

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot r^2}$$

Damit erhält man für die Feldstärke E :

$$E = \frac{D}{\epsilon_0} = \frac{Q}{\epsilon_0 \cdot \pi \cdot r^2}$$

$$E = \frac{2,7 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \pi \cdot (0,02 \text{ m})^2}$$

$$E = 24,3 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$$

10. a) $E = \frac{U}{d}$

$$E = \frac{55 \text{ V}}{0,20 \text{ m}} = 275 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

- b) $W = \Delta E$

$$W = F \cdot s = q \cdot E \cdot s$$

$$W = 3,2 \cdot 10^{-8} \text{ C} \cdot 275 \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot 0,10 \text{ m}$$

$$W = 8,8 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

Die potenzielle Energie vergrößert sich um $8,8 \cdot 10^{-7} \text{ J}$.

- c) Unter der genannten Bedingung beträgt das Potenzial an der positiv geladenen Platte 55 V.

11. a) $W = F \cdot s = q \cdot E \cdot s = q \cdot \frac{U}{d} \cdot s$
 Mit $d = s$ erhält man:

$$W = q \cdot U$$

$$W = \frac{6,5 \text{ C} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \text{ V}}{10^6}$$

$$W = 9,75 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

- b) Die Potentialdifferenz beträgt 750 V.

Für das Potenzial gilt $\varphi = E \cdot s$. Bei konstanter Feldstärke E ist $\varphi \sim s$, nimmt also von der negativ geladenen Platte ($\varphi = 0$) in Richtung positiv geladener Platte gleichmäßig bis $\varphi = 1,5 \text{ kV}$ zu.

12. $F = q \cdot E = q \cdot \frac{U}{d}$

$$F = \frac{20 \text{ C} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \text{ V}}{10^9 \cdot 0,032 \text{ m}} = 937,5 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

$$F = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

13. a) $U = d \cdot E$

$$U = 0,012 \text{ m} \cdot 7,0 \cdot 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$U = 840 \text{ V}$$

- b) bezüglich der negativ geladenen Platte:

$$\varphi = 280 \text{ V}$$

bezüglich der positiv geladenen Platte:

$$\varphi = -560 \text{ V}$$

- c) Wir gehen von einem Luftkondensator ($\epsilon_r = 1$) aus.

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

$$E = \frac{1}{2} \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} \cdot U^2$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot \frac{245 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}{0,012 \text{ m}} \cdot (840 \text{ V})^2$$

$$E = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

14. a) Gewichtskraft F_G :

$$F_G = m \cdot g$$

$$F_G = 9,8 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 9,6 \cdot 10^{-31} \text{ N}$$

Kraft im elektrischen Feld:

$$F = q \cdot E = q \cdot \frac{U}{d}$$

$$F = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot \frac{1 \text{ V}}{0,1 \text{ m}} = 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ N}$$

- b) Beide Kräfte wirken in entgegengesetzter Richtung. Da die Feldkraft wesentlich größer als die Gewichtskraft ist, bewegt sich das Elektron nach oben.

15. a) Für den Gesamt Widerstand erhält man:

$$R = 84 \Omega$$

Damit beträgt die Gesamtstromstärke:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{50 \text{ V}}{84 \Omega} = 0,60 \text{ A}$$

- b) Die Potentialdifferenzen ergeben sich aus den Spannungsabfällen an den Widerständen:

$$C-A: 38 \text{ V}$$

$$C-B: 30 \text{ V}$$

$$C-D: 34 \text{ V}$$

16. Für zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren gilt:

$$U = U_1 + U_2 \quad \text{und} \quad Q = Q_1 = Q_2$$

Im Gegensatz dazu sind die an zwei parallel geschalteten Kondensatoren abfallenden Spannungen gleich der anliegenden Spannung und die Gesamtladung errechnet sich zu

- a) Kondensatoren einzeln: $U = U_1 = U_2 = 10 \text{ V}$

$$Q_1 = C_1 \cdot U$$

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 10 \text{ V}$$

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

$$Q_2 = C_2 \cdot U$$

$$Q_2 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 10 \text{ V}$$

$$Q_2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

- b) Kondensatoren in Reihe: $U = U_1 + U_2$

$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$U = Q \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2}$$

$$Q = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot U$$

$$Q = \frac{4 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{4 \cdot 10^{-6} \text{ F} + 10 \cdot 10^{-6} \text{ F}} \cdot 10 \text{ V} = 2,9 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}$$

$$U_1 = \frac{2,9 \cdot 10^{-5} \text{ C}}{4 \cdot 10^{-6} \text{ F}}$$

$$U_1 = 7,25 \text{ V}$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_1}$$

$$U_2 = \frac{2,9 \cdot 10^{-5} \text{ C}}{10 \cdot 10^{-6} \text{ F}}$$

$$U_2 = 2,9 \text{ V}$$

- c) Kondensator parallel: Die an den Kondensatoren abfallenden Spannungen U_1 , U_2 entsprechen der anliegenden Spannung U .

$$U_1 = U_2 = U = 10 \text{ V}$$

Die Ladungen Q_1 und Q_2 ergeben sich, analog zum Aufgabenteil a), zu

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ C} \quad \text{und} \quad Q_2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ C}.$$

17. Die Luftstrecke wird durchschlagen, wenn die elektrische Feldstärke des Plattenkondensators mindestens so groß ist wie die Durchschlagsfestigkeit E_d der Luft.

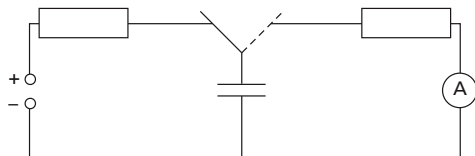
$$d = \frac{U}{E_d}$$

$$d = \frac{430 \text{ V}}{20 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}}$$

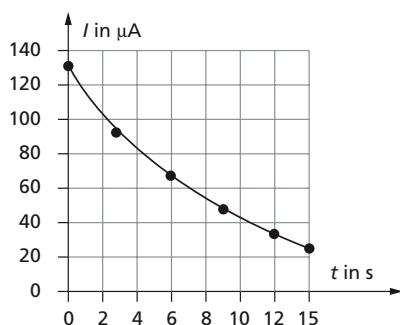
$$d = 0,225 \text{ mm}$$

Die Luftstrecke wird durchschlagen, falls der Plattenabstand 0,23 mm (oder weniger) beträgt.

18. a)



- b)



Beim Entladen eines Kondensators über einen Widerstand nimmt die Entladestromstärke exponentiell ab.

- c) Nach 6,4 s ist die Stromstärke auf die Hälfte ihres Anfangswertes zurückgegangen. Ein Viertel der Anfangsstromstärke liegt nach 12,8 s vor.
- d) Nach der Definition der Stromstärke $I = \frac{dQ}{dt}$ erhält man die gesuchte Ladung durch Integration.

Für eine Abschätzung kann der Entladestrom in den angegebenen Intervallen als konstant angenommen werden. Es gilt:

$$Q \approx (130 \mu\text{A} + 91 \mu\text{A} + 68 \mu\text{A} + 51 \mu\text{A} + 35 \mu\text{A}) \cdot 3 \text{ s}$$

$$Q \approx 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

Die Fläche unter dem Graphen kann auch ausgezählt werden. Die ursprüngliche Ladung des Kondensators betrug ca. $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ C}$.

19. Für einen Plattenkondensator gilt:

$$E = \frac{U}{d}, \quad C = \frac{Q}{U}, \quad C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

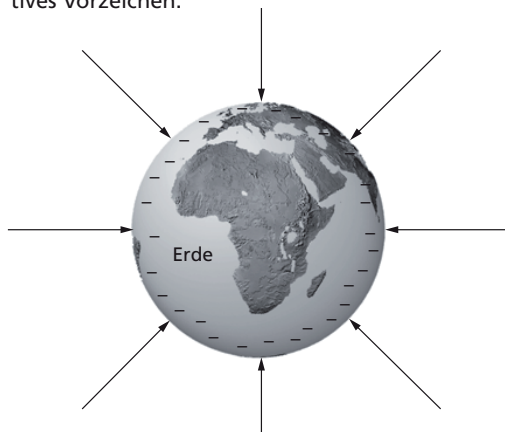
Die Ladung der Platten wird als konstant angenommen.

- a) Die Spannung ist halb so groß, die Feldstärke bleibt gleich.
- b) Die Spannung ist doppelt so groß, die Feldstärke bleibt gleich.
- c) Der Abstand der Platten beträgt dann $\frac{1}{10} \cdot d$. Die Spannung beträgt ein Zehntel, die Feldstärke bleibt gleich.
- d) Der Abstand der Platten beträgt dann 1,3d. Damit verringert sich C auf das 0,77-Fache. Die Spannung steigt auf das 1,3-Fache, die Feldstärke bleibt gleich.

20. Um den Plattenabstand zu vergrößern, ist Arbeit erforderlich. Mit dem Verrichten von Arbeit vergrößert sich die im Feld gespeicherte Energie um:

$$W = \Delta E = F \cdot s$$

21. a) Da die Feldlinien vereinbarungsgemäß von + nach - verlaufen, hat die Ladung der Erde ein negatives Vorzeichen.



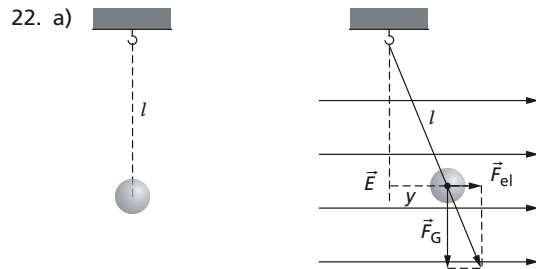
Hinweis: Die Oberflächenladung der Erde kann man aus der elektrischen Feldstärke in Erdnähe (ca. $130 \frac{\text{V}}{\text{m}}$) berechnen. Sie beträgt etwa $6 \cdot 10^5 \text{ C}$.

- b) Für die Kraft gilt:

$$F = E \cdot Q$$

$$F = 130 \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot 5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$F = 6,5 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$



- b) Die elektrische Feldkraft F_{el} , die auf die geladene Kugel wirkt, ist im Gleichgewicht mit der Rückstellkraft F_R des Pendels. Bei den vorliegenden Abmessungen ist die elektrische Feldkraft in guter Näherung antiparallel zur Rückstellkraft.

$$F_{el} = \frac{m \cdot g}{l} \cdot y$$

$$F_{el} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{1,5 \text{ m}} \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$F_{el} = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Die auf die Kugel wirkende elektrische Feldkraft beträgt etwa $0,16 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

23. a) $E = \frac{1}{2} C \cdot U^2$

$$E = \frac{1}{2} \cdot 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ F} \cdot (120 \text{ V})^2$$

$$E = 0,017 \text{ Ws}$$

b) $E = m \cdot g \cdot h$

$$h = \frac{E}{m \cdot g}$$

$$h = \frac{0,017 \text{ Nm} \cdot \text{kg}}{0,010 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N}} = 17 \text{ cm}$$

c) $E = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,017 \text{ Nm}}{0,010 \text{ kg}}} = 1,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

24. Bei der Reihenschaltung von Kondensatoren gilt: $Q = Q_1 = Q_2$. Werden die Kondensatoren parallel geschaltet, so bleibt die gesamte Ladung erhalten. Sie verteilt sich aber jetzt so, dass an beiden Kondensatoren die gleiche Spannung liegt.

Für die Energie gilt: $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$

Mit Veränderung der Schaltung ändert sich nicht nur die Gesamtkapazität, sondern auch die Spannung und damit die Energie.

Für die Reihenschaltung gilt:

$$E_R = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad \text{mit} \quad U = \frac{Q}{C}$$

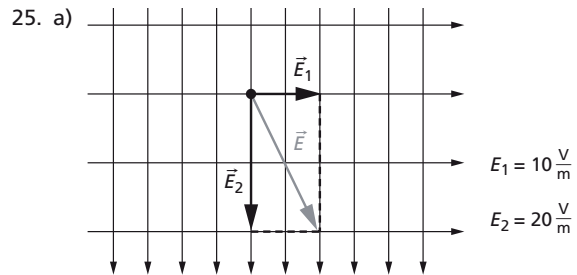
$$E_R = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \cdot \frac{Q^2 (C_1 + C_2)^2}{(C_1 \cdot C_2)^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_1 + C_2}{C_1 \cdot C_2} \cdot Q^2$$

Für die Parallelschaltung erhält man:

$$E_P = \frac{1}{2} (C_1 + C_2) \cdot \frac{Q^2}{(C_1 + C_2)^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C_1 + C_2}$$

Der Vergleich ergibt: $E_P < E_R$

Mit der Parallelschaltung verringert sich die in den Kondensatoren gespeicherte Energie.



- b) Die resultierende Feldstärke beträgt:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

$$E = \sqrt{\left(10 \frac{\text{V}}{\text{m}}\right)^2 + \left(20 \frac{\text{V}}{\text{m}}\right)^2}$$

$$E = 22 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

Damit beträgt die Kraft auf die Ladung:

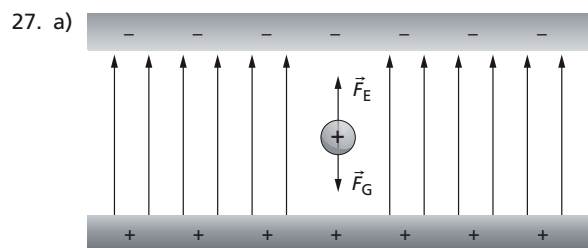
$$F = E \cdot q$$

$$F = 22 \frac{\text{V}}{\text{m}} \cdot 12 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

$$F = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

26. Kurzreferat. Es sollten folgende Sachverhalte hervorgehoben werden:

- Das Wirken von Kräften zwischen geladenen Körpern ist seit Langem bekannt, über die Erklärung dieses Sachverhalts gab es unterschiedliche Auffassungen.
- Zunächst dominierte die **Fernwirkungstheorie**: Zwei geladene Körper wirken unmittelbar und sofort aufeinander ein. Der Raum zwischen ihnen spielt keine Rolle.
- Mit der Entdeckung und Erforschung von Feldern setzte sich allmählich die **Nahwirkungstheorie** durch: Jeder elektrisch geladene Körper ist von einem elektrischen Feld umgeben. Befindet sich ein zweiter geladener Körper in dem Feld, so wird er von diesem beeinflusst.



- b) Beim Schweben müssen Gewichtskraft F_G und Feldkraft F_E gleich groß sein:

$$F_G = F_E$$

$$m \cdot g = E \cdot q$$

$$m \cdot g = \frac{U}{d} \cdot q$$

Damit erhält man für die Spannung:

$$U = \frac{m \cdot g \cdot d}{q}$$

$$U = \frac{0,15 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,05 \text{ m}}{5 \cdot 10^{-9} \text{ C}}$$

$$U = 1,5 \cdot 10^4 \text{ V}$$

Bei Vergrößerung der Spannung vergrößert sich die Feldstärke und damit die Feldkraft. Die Gewichtskraft bleibt gleich. Damit bewegt sich der Wattenbäusch nach oben.

28. a) $\sin \alpha = \frac{y}{l}$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{r}{2l}\right)$$

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{0,1 \text{ m}}{2 \cdot 1 \text{ m}}\right)$$

$$\alpha = 2,9^\circ$$

Die abstoßende Kraft entspricht der Rückstellkraft eines Pendels.

Es gilt also:

$$F_C = \frac{m \cdot g}{l} \cdot y$$

$$F_C = \frac{1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}{1 \text{ m}} \cdot 0,05 \text{ m}$$

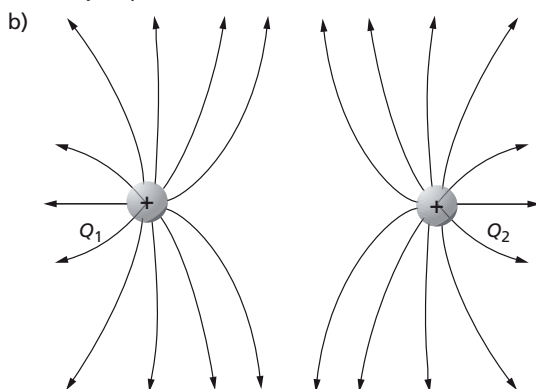
$$F_C = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

$$F_C = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \frac{Q^2}{r^2}$$

$$Q = \sqrt{4\pi \cdot \epsilon_0 \cdot F_C \cdot r}$$

$$Q = \sqrt{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ N} \cdot 0,1 \text{ m}}$$

$$Q = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$



c) Für die elektrische Feldstärke eines Radialfelds gilt:

$$E = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}} \cdot \frac{2,3 \cdot 10^{-8}}{(0,1 \text{ m})^2}$$

$$E = 20,7 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$$

d) $F_R = F_C$

$$\frac{m \cdot g}{l} \cdot \frac{r}{2} = \frac{1}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{r^2}$$

$$r = \left(\frac{l \cdot Q^2}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$r\left(\frac{Q}{2}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot r$$

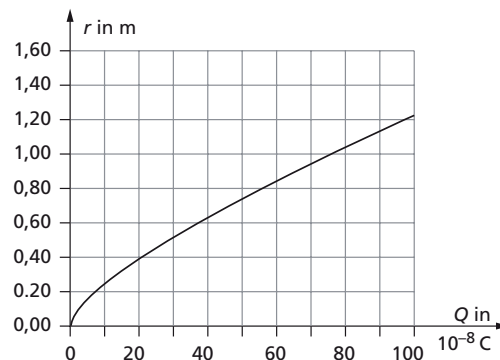
$$r\left(\frac{Q}{2}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,06 \text{ m}$$

$$r(2Q) = 2^{\frac{1}{3}} \cdot r$$

$$r(2Q) = 2^{\frac{1}{3}} \cdot 0,1 \text{ m} = 0,16 \text{ m}$$

e) $r = \left(\frac{l}{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot m \cdot g} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot Q^{\frac{2}{3}}$

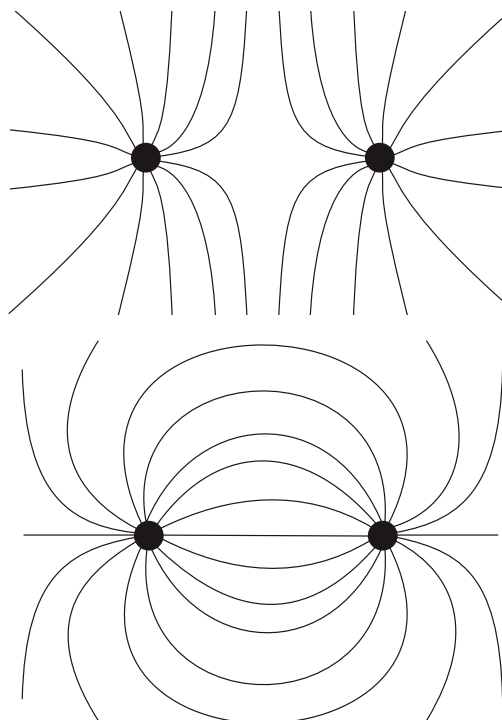
$$r = \left(\frac{1 \text{ m}}{2\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot Q^{\frac{2}{3}}$$



Der Abstand r der Kugel vergrößert sich mit zunehmender Ladung Q .

Statisches magnetisches Feld (LB S. 61–64)

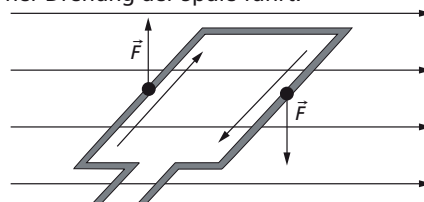
1. a)



b) Informationsgehalt eines Feldlinienbilds:

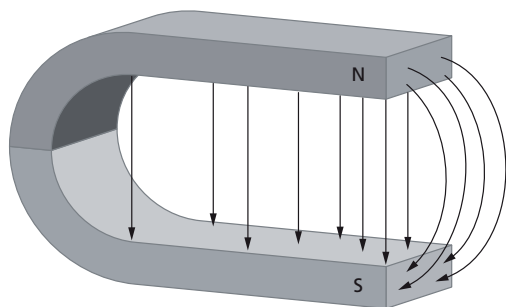
- Die magnetischen Feldlinien sind geschlossen, d.h., das magnetische Feld ist ein quellenfreies Wirbelfeld.
- Je dichter die Feldlinien an einem Ort des Felds zusammenliegen, desto größer ist die dort wirkende Kraft auf einen Probekörper.

- Die Richtung der Feldlinien entspricht der Richtung der wirkenden Kraft auf einen Probekörper.
 - Grenzen des Modells:
 - Ein Feldlinienbild suggeriert ein zweidimensionales Feld. Das magnetische Feld wirkt jedoch im ganzen Raum, ist also ein dreidimensionales Feld.
 - Ein Magnet ist umgeben von einem den gesamten Raum ausfüllenden Magnetfeld. Auch dort, wo ein Punkt des Feldlinienbilds nicht von einer Feldlinie durchsetzt wird, wirkt eine Kraft auf einen Probekörper.
2. a) Folgende Elemente sollten enthalten sein:
- Das Magnetfeld der Erde ist ein magnetisches Dipolfeld, das in der nahen Erdumgebung mit dem Feld eines Stabmagneten verglichen werden kann.
 - Die mittlere magnetische Flussdichte des Felds beträgt zwischen $60 \mu\text{T}$ (in Polnähe) und $20 \mu\text{T}$ (im Äquatorbereich). Es ist also ein relativ schwaches Feld.
 - Zu unterscheiden sind die Vertikal- und die Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds.
 - Die Erdachse und die magnetische Achse des Felds sind um ca. $11,4^\circ$ gegeneinander geneigt. Magnetischer Nord- und Südpol des Felds fallen mit den geografischen Polen also nicht zusammen.
 - Der magnetische Nordpol liegt in der Nähe des geografischen Südpols, der magnetische Südpol liegt in der Nähe des geografischen Nordpols.
 - Das Erdmagnetfeld unterliegt zeitlichen und räumlichen Schwankungen, die verbunden sind mit eruptiven Prozessen der Sonne (z.B. Flares).
 - Die Entstehung des Erdmagnetfelds beruht auf dem Prinzip des selbsterregenden Dynamos.
 - Mit Magnetosphäre bezeichnet man das gesamte, die Erde umgebende Magnetfeld.
 - Die Form der Magnetosphäre wird vom Sonnenwind beeinflusst.
 - Das Erdmagnetfeld schützt uns vor dem Einfall energiereicher Teilchen und macht dadurch menschliches Leben auf der Erde erst möglich.
- b) Auch andere Planeten und Monde haben Magnetfelder, die durch unterschiedliche Ursachen zustande kommen (Jupiter – selbst erregter Strömungsdynamo, Mars – Felder durch dauermagnetisierte Stoffe, Jupitermond Io – fremdinduziertes Magnetfeld).
3. Da die Feldlinien von einem Pol zum anderen verlaufen, kann man ableiten: Der Magnet hat mehrere Polpaare, genauer: vier Polpaare (acht Pole).
4. Erkundungsaufgabe
5. Die neben der skizzierten Variante weiteren möglichen Fälle ergeben sich
- durch Umpolen der Spannungsquelle bzw.
 - durch Umdrehen des Magneten.
6. a) Arbeiten im Internet
b) Arbeiten mit einer Simulation
c) Untersuchung, Präsentation
7. Erkundungsaufgabe: Ferromagnetische, paramagnetische und diamagnetische Stoffe unterscheiden sich nach dem Wert der Permeabilitätszahl.
- | Ferromagnetische Stoffe | Paramagnetische Stoffe | Diamagnetische Stoffe |
|--|---|--|
| $\mu_r \gg 1$ | $\mu_r > 1$ | $\mu_r < 1$ |
| Eisen ($\mu_r = 250 \dots 680$), Nickel, Cobalt, spezielle magnetische Legierungen | Aluminium, Platin, Luft ($\mu_r = 1,00000037$) | Antimon, Gold, Wasser ($\mu_r = 0,999991$), Zink, Kupfer, Glas |
| Magnetfelder werden durch diese Stoffe stark beeinflusst. | Magnetfelder werden durch diese Stoffe nur wenig beeinflusst. | |
8. Magnetfelder beeinflussen Magnetnadeln bzw. die Bewegung von Ladungsträgern in dünnen Schichten (Hall-Effekt). Beides kann zum Nachweis eines Magnetfelds genutzt werden:
- Einbringen einer Magnetnadel in den Raum,
 - Magnetfeldmesser (Hall-Sonde).
9. a) Körper aus ferromagnetischen Stoffen werden nicht durchdrungen, solche aus Isolatoren werden durchdrungen. Diamagnetische und paramagnetische Stoffe beeinflussen Magnetfelder nur wenig.
- b) Besonders geeignet zur magnetischen Abschirmung sind weichmagnetische Stoffe. Der betreffende Raum könnte mit Blechen aus weichmagnetischem Eisen umschlossen werden.
10. Die drehbare Spule befindet sich in einem Magnetfeld. Wird sie von einem Strom durchflossen, so wirkt aufgrund der Lorentzkraft ein Kräftepaar, das zu einer Drehung der Spule führt.



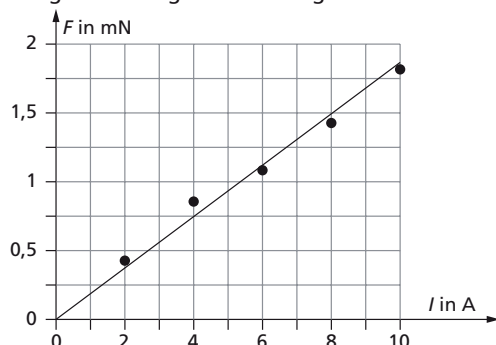
Eine Rückstellfeder sorgt dafür, dass nur ein bestimmter Ausschlag erreicht wird. Je größer die Stromstärke durch die Spule ist, desto größer ist die Kraft und desto größer ist demzufolge auch der Ausschlag.

11.



12. a) Ein gerader stromdurchflossener Leiter, der an einer empfindlichen Stromwaage befestigt ist, wird so in einem homogenen Magnetfeld einer Luftspule (Feldspule) angeordnet, dass er die magnetischen Feldlinien senkrecht schneidet. Folgende Größen können eingestellt werden: Feldstromstärke I_1 , Leiterstromstärke I_2 und Leiterlänge l . Mithilfe einer Federwaage wird die Kraft F auf den Leiter gemessen.

- b) Es ergibt sich folgendes I - F -Diagramm:



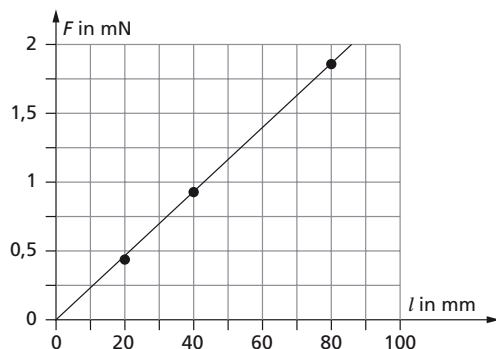
Der Graph im I - F -Diagramm ist eine Ursprungsgerade. Daraus ist ableitbar: $F \sim I$.

Der Quotient aus I und F (oder aus F und I) ist für die Wertepaare näherungsweise konstant.

I in A	2,0	4,0	6,0	8,0
F in mN	0,34	0,78	1,03	1,42
$\frac{F}{I}$ in $\frac{\text{mN}}{\text{A}}$	0,17	0,20	0,17	0,18

Daraus kann man ebenfalls folgern: $F \sim I$
Bei 10 A beträgt die Kraft 1,7 mN.

c)

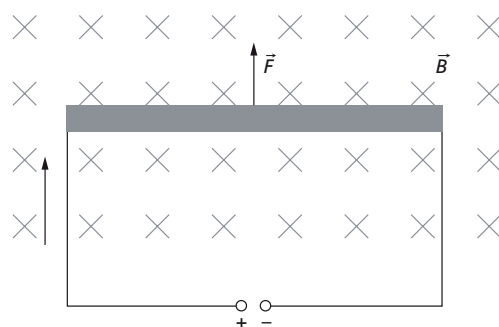


Der Graph im l - F -Diagramm ist eine Ursprungsgerade. Es gilt also: $F \sim l$

- d) Aus $F \sim l$ und $F \sim I$ folgt:

$$F \sim I \cdot l \quad \text{oder} \quad \frac{F}{I \cdot l} = \text{konstant}$$

13. a)



Hinweis: Der Sachverhalt kann in unterschiedlicher Weise skizziert werden.

b) $B = \frac{F}{I \cdot l}$

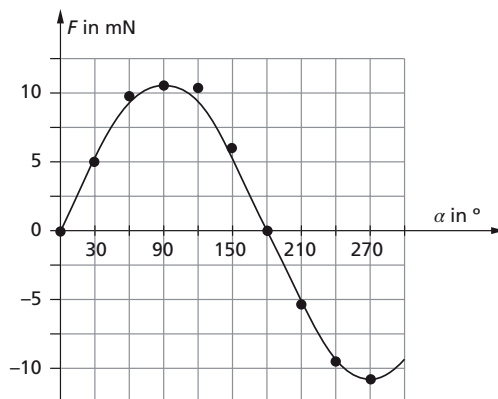
$$B = \frac{1,8 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{2,4 \text{ A} \cdot 0,060 \text{ m}} = 12,5 \text{ mT}$$

14. a) $B = \frac{F}{I \cdot l}$

$$B = \frac{11,6 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{10 \text{ A} \cdot 0,04 \text{ m}} = 29 \text{ mT}$$

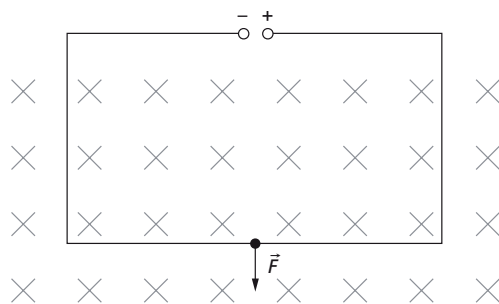
- b) Vorzeichenwechsel bedeutet eine Änderung der Kraftrichtung.

c)



Aus dem Verlauf des Graphen kann man ableiten:
 $F \sim \sin \alpha$

15. a)

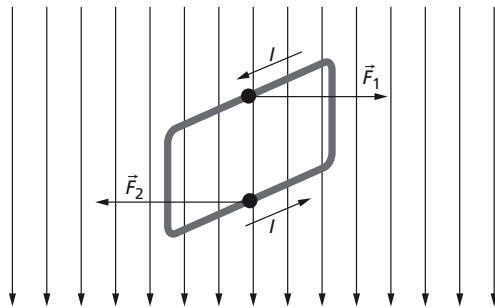


b) $B = \frac{F}{l \cdot I}$

$$B = \frac{12 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{2,5 \text{ A} \cdot 0,2 \text{ m}} = 24 \text{ mT}$$

- c) Die Kräfte auf den linken und rechten Teil der Leiterschleife sind gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet. Ihre Summe ist null.

16. a) Auf die Teile, die parallel zu den Feldlinien liegen, wirkt keine Kraft, da
- I
- und
- B
- parallel zueinander sind. Eine Kraft wirkt auf die Teile der Spule, bei denen die Wicklungen senkrecht zum Magnetfeld verlaufen. Das ist oben und unten der Fall. Die Richtung der Stromstärke ist allerdings oben und unten entgegengesetzt, damit auch die wirkenden Kräfte. Vereinfacht lässt sich das für eine Leiterschleife so darstellen:



Beide Kräfte sind gleich groß und entgegengesetzt gerichtet. Für den Betrag einer Kraft erhält man:

$$F = l \cdot I \cdot B$$

$$F = 500 \cdot 0,06 \text{ m} \cdot 2,6 \text{ A} \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

$$F = 3,1 \text{ N}$$

- b) Es wirkt nur noch eine Kraft auf den unteren Teil der Spule.

17. a)
-

Die Kraft wirkt auf den Leiter nach oben.

b) $F = l \cdot I \cdot B$

$$F = 25 \cdot 10^{-6} \text{ T} \cdot 120 \text{ m} \cdot 500 \text{ A}$$

$$F = 1,5 \text{ N}$$

18. a) Die Stärke des Erdmagnetfelds hängt von der geografischen Breite ab und beträgt im Bereich des Äquators etwa
- $30 \mu\text{T}$
- und im Bereich der magnetischen Pole etwa
- $60 \mu\text{T}$
- . In Mittel Europa sind es etwa
- $50 \mu\text{T}$
- .

Hinweis: Die angegebenen Werte sind Mittelwerte. Es gibt erhebliche Magnetfeldanomalien.

- b) Für technische Geräte und Anlagen findet man zum Beispiel folgende Werte:

Gerät	Abstände		
	3 cm	30 cm	100 cm
Föhn	2 – 2000 μT	0,01 – 7 μT	< 0,3 μT
Rasierapparat	15 – 1500 μT	0,08 – 9 μT	–
Mikrowelle	73 – 100 μT	4 – 8 μT	< 0,6 μT
Computer	0,5 – 30 μT	< 0,01	–
Elektrischer Herd	1 – 50 μT	0,15 – 3 μT	< 0,15 μT

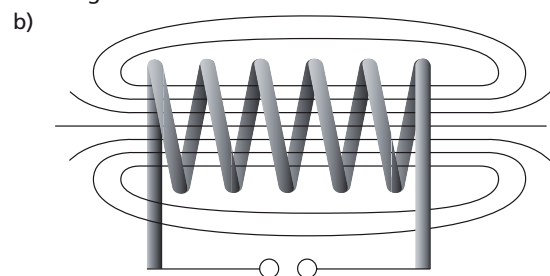
380-kV-Leitung:

38 μT (in 1 m Höhe über dem Erdboden im Bereich der größten Durchhängung)

Grenzwert für Dauerbelastung:

100 μT

19. a) Der Versuch könnte entsprechend der Skizze im Lehrbuch Seite 62, Aufgabe 12, aufgebaut sein. Möglich ist auch die Verwendung eines Kraftsensors. Geändert werden die Stromstärke durch die Feldspule, die Länge der Feldspule und ihre Windungszahl.



- c) Aus der grafischen Darstellung oder durch Rechnung erhält man:

$$B \sim I$$

- d) Für das Magnetfeld im Innern einer langen Spule gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

Die Umstellung der Gleichung ergibt:

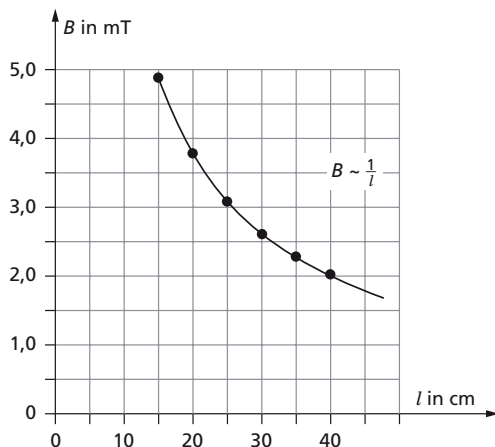
$$I = \frac{B \cdot l}{\mu_0 \cdot N}$$

$$I = \frac{3,5 \text{ T} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 10^7 \text{ Am}}{10^3 \cdot 4\pi \cdot \text{Vs} \cdot 30}$$

$$I = 14 \text{ A}$$

e)

l in cm	15	20	25	30	35	40
B in mT	4,98	3,97	3,11	2,62	2,32	2,05
$l \cdot B$ in cm · mT	74,7	79,4	77,8	78,6	81,2	82,0



f) $\mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l}$ liefert: $\mu_0 = 1,24 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

20. a) Für die magnetische Flussdichte im Innern einer langen stromdurchflossenen Zylinderspule gilt:

$$B = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{N \cdot I}{l}$$

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N \cdot I}{l} \quad \left(N = \frac{l}{d}\right)$$

$$B = \mu_0 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{I}{l}$$

$$B = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ Vs} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \frac{40 \text{ mm}}{0,1 \text{ mm}} \cdot \frac{50 \text{ mA}}{40 \text{ mm}}$$

$$B = 0,63 \text{ mT}$$

* b) $U = I \cdot R$

Mit $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ erhält man: $U = \frac{l \cdot \rho \cdot I}{A}$

Die Drahtlänge l ergibt sich aus der Windungszahl und dem Umfang der Spule:

$$l = N \cdot \pi \cdot d = 400 \cdot \pi \cdot 8 \text{ mm}$$

$$l = 10053 \text{ mm} = 10,1 \text{ m}$$

Die Querschnittsfläche ergibt sich aus dem Drahtdurchmesser:

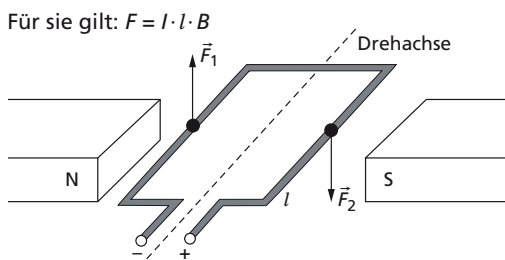
$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \pi \cdot \frac{(0,1 \text{ mm})^2}{4} = 0,0079 \text{ mm}^2$$

Damit erhält man für die Spannung:

$$U = \frac{0,05 \text{ A} \cdot 0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot 10,1 \text{ m}}{\text{m} \cdot 0,0079 \text{ mm}^2}$$

$$U = 1,1 \text{ V}$$

21. a) Die Abbildung zeigt das Funktionsprinzip eines Elektromotors. Wird die Leiterschleife von einem Strom der Stärke I durchflossen, so wirkt auf die senkrecht zum Feld liegenden Teilstücke der Leiterschleife die Kraft F . Für sie gilt: $F = I \cdot l \cdot B$



Da die Kräfte F_1 und F_2 entgegengesetzt gerichtet sind und keine gemeinsame Wirkungslinie besitzen, rufen sie ein Drehmoment hervor. Die Leiterschleife beginnt sich zu drehen. Für die wirkende Gesamtkraft gilt:

$$F_{\text{ges}} = F_1 + F_2$$

$$F_{\text{ges}} = 2 \cdot I \cdot l \cdot B$$

Da in der Aufgabenstellung eine Spule betrachtet wird, muss das Ergebnis zusätzlich mit der Anzahl der Windungen multipliziert werden.

$$F_{\text{ges}} = 2 \cdot I \cdot l \cdot B \cdot N$$

$$F_{\text{ges}} = 2 \cdot 1,3 \text{ A} \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ T} \cdot 120$$

$$F_{\text{ges}} = 40 \text{ N}$$

- * b) Das auf die Leiterschleife wirkende maximale Drehmoment errechnet sich zu:

$$M = F_{\text{ges}} \cdot r$$

$$M = 40 \text{ N} \cdot 0,02 \text{ m}$$

$$M = 0,8 \text{ Nm}$$

Das auf eine Spule wirkende Drehmoment ändert sich mit dem Winkel φ zwischen der Flächennormalen und der Richtung des Magnetfelds. Es gilt:

$$M = M_{\text{max}} \cdot \sin \varphi$$

$$M = 0,8 \text{ Nm} \cdot \sin \varphi$$

Die auf den Anker wirkende Gesamtkraft beträgt etwa 40 N, das maximale Drehmoment ergibt sich zu 0,8 Nm.

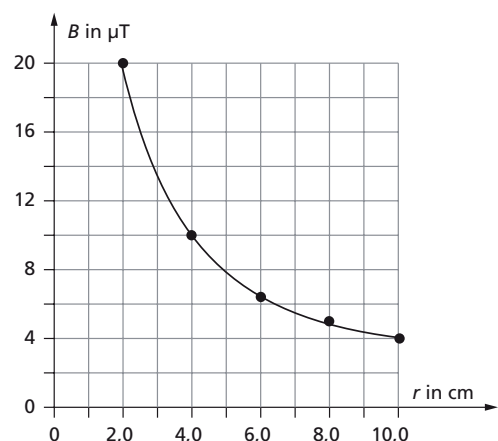
22. a) $B(r) = \frac{2A}{2\pi} \cdot \mu_0 \cdot \frac{1}{r}$

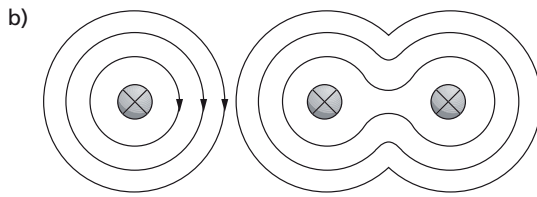
$$B(r) = \frac{2A \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1}{2\pi} = 4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{1}{r}$$

Damit erhält man z. B. die folgenden Werte:

r in cm	2,0	4,0	6,0	8,0	10
B in μT	20	10	6,7	5,0	4,0

Damit erhält man das folgende Diagramm:





c) $F = B \cdot I \cdot l$

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi \cdot r} \cdot I^2 \cdot l$$

$$F = \frac{4\pi \text{ Vs} \cdot (1 \text{ A})^2 \cdot 1 \text{ m}}{10^7 \text{ Am} \cdot 2\pi \cdot 1 \text{ m}}$$

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

*23. $B = k \cdot \frac{I}{r} = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$ bedeutet:

$$k = \frac{\mu_0}{2\pi}$$

Mit der Gleichung $B = \frac{F}{I \cdot l}$ erhält man:

$$\mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r} = \frac{F}{I \cdot l}$$

Die Umstellung ergibt:

$$\mu_0 = \frac{2\pi \cdot r \cdot F}{I^2 \cdot l}$$

Setzt man die Angaben aus der Ampere-Definition ein, so erhält man:

$$\mu_0 = \frac{2\pi \cdot 1 \text{ m} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ N}}{(1 \text{ A})^2 \cdot 1 \text{ m}} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

24. Zu berechnen ist die magnetische Flussdichte in zwei Meter Entfernung vom Kabel:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

$$B = \frac{4\pi \text{ Vs} \cdot 250 \text{ A}}{10^7 \text{ Am} \cdot 2\pi \cdot 2,0 \text{ m}}$$

$$B = \frac{250}{10^7} \text{ T} = 25 \mu\text{T}$$

Die durch das Erdkabel verursachte magnetische Flussdichte liegt in der Größenordnung der Horizontalkomponente des Erdmagnetfelds.

Daraus könnte man folgern: Ein Kompass kann erheblich beeinflusst werden. Dabei sind aber zwei Aspekte zu beachten:

- Ob und wie die Kompassnadel beeinflusst wird, hängt von der Richtung der beiden Magnetfelder sowie von der Stellung der Magnetnadel am jeweiligen Ort ab.
- Bei einem Erdkabel wird durch die Erdschicht das Magnetfeld des Kabels abgeschwächt.

25. a) Die magnetische Flussdichte von Leiter 1 am Ort von Leiter 2 errechnet sich zu:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r}$$

Für die Kraft, die das Feld von Leiter 1 auf Leiter 2 ausübt gilt:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$F = \mu_0 \cdot \frac{I}{2\pi \cdot r} \cdot I \cdot l$$

$$F = \mu_0 \cdot \frac{I^2}{2\pi \cdot r} \cdot l$$

$$F = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot \frac{(800 \text{ A})^2}{2\pi \cdot 0,12 \text{ m}} \cdot 1 \text{ m}$$

$$F = 1,1 \text{ N}$$

Je 1 m Leiterlänge übt der Leiter 1 eine Kraft von 1,1 N auf den Leiter 2 aus. Die gleiche Kraft wirkt vom Leiter 2 auf den Leiter 1.

- b) Beim Bau von Starkstromleitungen werden die stromdurchflossenen Leiter in genügend großem Abstand angeordnet. Dieser bleibt mithilfe von Abstandshaltern aufrechterhalten.

Bewegung geladener Teilchen in Feldern (LB S. 88–90)

1. a) $\Delta E = Q \cdot U$

$$\Delta E = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV}$$

b) Aus $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ folgt für die Geschwindigkeit:

$$v = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 5,9 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. a) $F = m \cdot a$

b) $a = \frac{F}{m}$

$$a = \frac{(1,6 \cdot 10^{-16} \text{ N})}{(1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg})} = 9,6 \cdot 10^{10} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

c) Für die Beschleunigung des Pkw erhält man:

$$a = \frac{27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{8,7 \text{ s}} = 3,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Die Beschleunigung des Elektrons ist $3 \cdot 10^{10}$ -mal so groß wie die des Pkw.

3. a) $e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2$

$$U = \frac{v^2}{2 \cdot \frac{e}{m}}$$

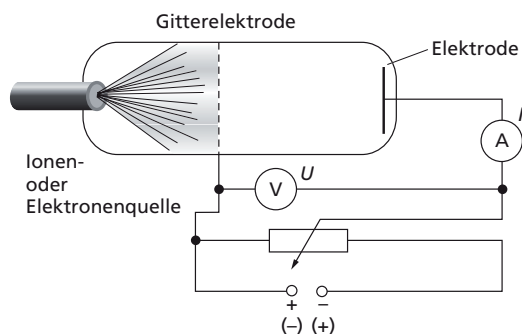
$$U = \frac{(1,875 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \text{ kg}}{2 \cdot 1,759 \cdot 10^{11} \text{ C}}$$

$$U = 1000 \text{ V}$$

b) Die Antwort ist die gleiche wie bei Teilaufgabe a. Die Platte wird ebenfalls gerade nicht erreicht.

4. a) Die Gegenfeldmethode ist ein Verfahren, mit dem man die Geschwindigkeit und damit die Energie von geladenen Teilchen (Elektronen, Ionen) bestimmen kann. Eingeführt wurde sie durch den deutschen Physiker PHILIP LENARD (1862–1947), der sich große Verdienste um die Erforschung der Kationenstrahlen (Elektronenstrahlen) erworben hat und für seine Arbeiten 1905 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurde.

Nutzbar ist die Gegenfeldmethode bei allen elektrisch geladenen Teilchen, die sich mit einer gegebenen Geschwindigkeit bewegen. Das Prinzip wird in der Skizze auf der nächsten Seite dargestellt.



Ionen oder Elektronen treten mit einer bestimmten Geschwindigkeit v durch eine Gitterelektrode hindurch. Wie diese Geschwindigkeit zustande kommt, ist für das Messverfahren nicht von Bedeutung. Zwischen der Gitterelektrode und einer zweiten Elektrode besteht ein elektrisches Feld, dessen Stärke verändert werden kann und das so gerichtet ist, dass die Bewegung der geladenen Teilchen im elektrischen Feld abgebremst wird. Das bedeutet: Die Polung der Spannungsquelle hängt davon ab, ob die zu untersuchenden Teilchen positiv oder negativ geladen sind. Bei geringer Gegenspannung gelangen geladene Teilchen zur 2. Elektrode. Am empfindlichen Stromstärkemesser (Galvanometer) wird ein Strom registriert. Wird die Spannung zwischen den Elektroden weiter erhöht, so verringert sich die Stromstärke und wird schließlich null.

Für diesen Grenzfall gilt:

kinetische Energie der geladenen Teilchen = Arbeit gegen das Feld

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = Q \cdot U$$

Damit erhält man eine Gleichung für die Geschwindigkeit der Elektronen:

$$v = \sqrt{2U \cdot \frac{Q}{m}}$$

b) $E = Q \cdot U$

$$E = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 83 \text{ V}$$

$$E = 83 \text{ eV} = 1,3 \cdot 10^{-17} \text{ J}$$

Für die Geschwindigkeit ergibt sich:

$$v = \sqrt{2U \cdot \frac{Q}{m}}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 83 \text{ V} \cdot 1,759 \cdot 10^{-19} \frac{\text{C}}{\text{kg}}}$$

$$v = 5,4 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5. a) Das Elektron führt aufgrund der konstanten Feldkraft eine gleichmäßig verzögerte Bewegung aus, kommt zum Stillstand und wird dann durch die Feldkraft in Richtung unterer Platte beschleunigt. Für die Verzögerung bzw. die Beschleunigung gilt:

$$a = \frac{F}{m} = E \cdot \frac{Q}{m} = \frac{U}{d} \cdot \frac{Q}{m}$$

* b) Für den Weg gilt: $s = \frac{v^2}{2a}$

Mit $a = \frac{U}{d} \cdot \frac{Q}{m}$ erhält man

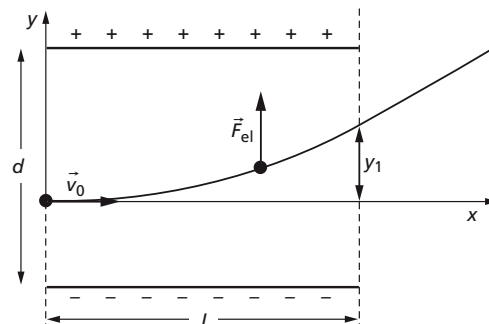
$$s = \frac{v^2 \cdot d}{2 \cdot U \cdot \frac{Q}{m}}$$

$$s = \frac{(2 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 \cdot 0,1 \text{ m}}{2 \cdot 8000 \text{ V} \cdot 1,759 \cdot 10^{-11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}}$$

$$s = 0,014 \text{ m} = 1,4 \text{ cm}$$

c) $E = 8 \cdot 10^3 \text{ eV} = 1,3 \cdot 10^{-15} \text{ J}$

6. a) Die Bahnkurve des Elektrons innerhalb des homogenen elektrischen Felds ist Teil einer Parabel.



Nach dem Superpositionsprinzip überlagert sich die Bewegung in x-Richtung ungestört mit der in y-Richtung. Es gilt:

$$x = v_0 \cdot t \rightarrow t = \frac{x}{v_0} \quad \text{und} \quad y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Die konstante Feldkraft führt zu einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung in y-Richtung mit der Beschleunigung:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{e \cdot E}{m}$$

Einsetzen in den Ausdruck für y führt zu:

$$y = \frac{1}{2} \cdot \frac{e \cdot E}{m} \cdot t^2 \quad \text{bzw. zu} \quad y = \frac{1}{2} \cdot \frac{U}{d} \cdot \frac{e}{m} \cdot \frac{1}{v_0^2} \cdot x^2$$

- b) Die Geschwindigkeit des Elektrons nach Durchlaufen des elektrischen Längsfelds kann mit folgender Gleichung berechnet werden:

$$v_0 = \sqrt{2U_B \cdot \frac{e}{m}}$$

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot 600 \text{ V} \cdot 1,759 \cdot 10^{-11} \frac{\text{C}}{\text{kg}}}$$

$$v_0 = 14,5 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

7. a) Xenon-Ionen sind einfach positiv geladen. Ihre Masse beträgt 131,3 u. Es gilt:

$$e \cdot U = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad \text{und damit}$$

$$U = \frac{m \cdot v^2}{2e}$$

$$U = \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \cdot 131,3 \text{ kg} \cdot (4 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}$$

$$U = 1090 \text{ V}$$

- * b) Die Masse des Treibstoffs (Xenon-Ionen) ist bekannt. Insgesamt lief das Triebwerk 5000 h. Wir gehen davon aus, dass der Treibstoff gleichmäßig und kontinuierlich ausströmt.