

Lösungen: Elektrodynamik

1 Grundlagen der Elektrotechnik, S. 23

Teste dein Wissen 1

Beschreibe Faradays Entdeckung der Induktion.

Antwort:

Faraday zeigte 1831 experimentell: Nur ein veränderliches Magnetfeld (also eine Änderung des magnetischen Flusses Φ) kann in einem Leiter/einer Spule eine Spannung und damit (bei geschlossenem Stromkreis) einen Strom induzieren. In seinem bekannten Versuch nutzte er zwei Spulen auf einem gemeinsamen Weicheisenring: Beim Ein- und Ausschalten des Stroms in der Primärspule änderte sich das Magnetfeld im Ring. In der kurzgeschlossenen Sekundärspule trat dadurch kurzzeitig ein Strom auf, der durch die Drehung einer Magnetnadel nachgewiesen wurde. Bei konstantem Primärstrom trat kein Strom in der Sekundärspule auf.

Teste dein Wissen 2

Erkläre einem Freund oder einer Freundin, wie Generatoren funktionieren.

Antwort:

Ein Generator wandelt mechanische Energie (Drehbewegung) in elektrische Energie um: Eine Spule (oder Leiterschleife) wird im Magnetfeld gedreht. Dadurch ändert sich der magnetische Fluss durch die Spule, und es wird eine Spannung induziert. Bei gleichförmiger Drehung entsteht bei einem Wechselspannungsgenerator eine sinusförmige Wechselspannung $U_{\text{ind}}(t) = U_S \cdot \sin(\omega t)$. Beim Gleichspannungs-Generator wird pulsierende Gleichspannung generiert. Sobald ein Verbraucher angeschlossen ist, fließt Strom. Die Lorentzkraft hemmt die Bewegung der Spule/Schleife (Lenz'sche Regel), und man muss mechanische Arbeit zuführen.

Teste dein Wissen 3

Erkläre einer Person bei dir zu Hause, wie Elektromotoren funktionieren.

Antwort:

Elektromotoren wandeln elektrische Energie mit hohem Wirkungsgrad ($> 90\%$) wieder in mechanische Energie um. Eine angelegte Spannung lässt Strom durch eine (drehbare) Spule im Magnetfeld fließen. Auf die Leiterstücke wirkt die Lorentzkraft und es entsteht ein Drehmoment am Rotor. Beim Gleichstrommotor sorgt ein Kommutator dafür, dass nach jeder halben Umdrehung die Stromrichtung passend umgepolt wird, damit das Drehmoment weiter in gleicher Drehrichtung wirkt.

Teste dein Wissen 4

Begründe, ob das Drehen der Spule eines Generators bei offenem/geschlossenem Stromkreis Arbeit erfordert.

Antwort:

Offener Stromkreis: In einem offenen Stromkreis wird zwar eine Spannung induziert, da jedoch kein Strom fließen kann, entsteht praktisch keine elektromagnetische Bremswirkung. Es treten lediglich Reibungs- oder Lagerverluste auf.

Geschlossener Stromkreis: Ist der Stromkreis geschlossen, fließt ein Strom, wodurch die Lorentzkraft gemäß der Lenz-Regel bremsend wirkt. In diesem Fall muss mechanische Arbeit aufgebracht werden, welche in elektrische Energie umgewandelt wird.

Teste dein Wissen 5

Beschreibe, wodurch sich Gleichstrom- und Wechselstromgenerator unterscheiden.

Antwort:

Wechselspannungsgenerator: Bei diesem Generator erfolgt der Abgriff über Schleifringe, wodurch die Spannung periodisch ihr Vorzeichen wechselt, was als Wechselspannung bezeichnet wird.

Gleichspannungsgenerator: Bei diesem Generator erfolgt der Abgriff über einen Kommutator (geteilter Schleifring oder Polwender). Dadurch wird die in der Spule entstehende Wechselspannung so umgepolt, dass nach außen hin eine pulsierende Gleichspannung entsteht.

Teste dein Wissen 6

Erkläre einer Schulkollegin oder einem Schulkollegen, was man unter dem dynamoelektrischen Prinzip versteht.

Antwort:

Leistungsstarke Generatoren/Motoren nutzen statt Permanentmagneten Elektromagnete. Der Generator liefert dabei (über geeignete Schaltung) selbst den Erregerstrom für sein Magnetfeld. Wichtig ist, dass im Eisenkern Restmagnetismus bleibt, sodass der Generator nach Stillstand wieder angeregt werden kann.

Teste dein Wissen 7

Beschreibe, was Scheitelwert und Effektivwert von Spannung und Stromstärke bedeuten.

Antwort:

- **Scheitelwert** U_S, I_S : Diese geben den maximalen Betrag der sinusförmigen Wechselgröße an.
- **Effektivwert** $U_{\text{eff}}, I_{\text{eff}}$: Dies ist jener Wert, der bei einem Ohm'schen Widerstand dieselbe mittlere Leistung erzeugt wie ein Gleichstrom/eine Gleichspannung. Es gilt:

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_S}{\sqrt{2}}, I_{\text{eff}} = \frac{I_S}{\sqrt{2}}$$

Teste dein Wissen 8

Beschreibe, wie sich der Strom, der durch eine Spule fließt, bei Wechselspannung verhält.

Antwort:

In der Spule wird durch den wechselnden Strom fortlaufend ein Magnetfeld auf- und abgebaut. Die Selbstinduktion erzeugt eine Gegenspannung $U_{\text{ind}} = -L \, dI/dt$, welche der zeitlichen Änderung der Stromstärke entgegenwirkt (den Strom quasi abbremst). Der Strom fließt daher phasenverschoben (um 90°) relativ zur angelegten Spannung durch die Spule. Der „Wechselstromwiderstand“ (induktiver Widerstand) ist

$$R_L = \omega \cdot L$$

(ω ... Wechselstromfrequenz, L ... Induktivität der Spule)

und steigt mit der Frequenz.

Teste dein Wissen 9

Erkläre, wie sich der Strom ändert, wenn Gleichspannung/Wechselspannung an einen Kondensator angelegt wird.

Antwort:

Bei **Gleichspannung** fließt im Moment des Einschaltens nur kurzzeitig ein Ladestrom, bis der Kondensator vollständig aufgeladen ist. Danach fließt kein Dauerstrom mehr, weshalb der Kondensator im idealen Fall wie eine Leitungsunterbrechung wirkt und sein kapazitiver Widerstand für Gleichstrom unendlich groß ist.

Im Gegensatz dazu wird der Kondensator bei **Wechselspannung** aufgrund der periodischen Umpolung ständig geladen und entladen, wodurch ein permanenter Wechselstrom fließt.

Dabei tritt eine Phasenverschiebung auf, bei welcher der Strom der Spannung (um 90°) voreilt. Der kapazitive Widerstand lautet

$$R_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

(ω ... Wechselstromfrequenz, C ... Kapazität des Kondensators)

und wird bei hoher Frequenz kleiner.

Teste dein Wissen 10

Erkläre einer Freundin oder einem Freund, was man unter der Wirkleistung versteht.

Antwort:

Bei Wechselstrom gilt für die mittlere (nutzbare) Leistung (bzw. Wirkleistung):

$$\bar{P} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos(\varphi)$$

Diese Wirkleistung ist der Teil, der tatsächlich in Wärme, Licht, mechanische Arbeit usw. umgesetzt wird. $\cos(\varphi)$ wird als Leistungsfaktor bezeichnet. Bei praktischen Anwendungen wird ein Leistungsfaktor nahe eins angestrebt, d. h. $\varphi \approx 0$, um die Phasenverschiebung und den damit einhergehenden Blindstrom (der das Netz belastet, aber keine nutzbare Energie beim Verbraucher abgibt) minimal zu halten.

Teste dein Wissen 11

Beschreibe, wie ein Transformator für hohe Ströme bei niedrigen Spannungen aufgebaut sein muss.

Antwort:

Für **kleine Sekundärspannungen** muss die Sekundärspule im Verhältnis zur Primärspule nur wenige Windungen aufweisen, was einem kleinen Windungsverhältnis (N_2/N_1) entspricht.

Da bei niedriger Spannung gleichzeitig **hohe Stromstärken** fließen müssen, wird für die Sekundärspule ein dicker Kupferdraht mit einem geringen Ohm'schen Widerstand verwendet. Dies ist notwendig, um die Verlustleistung:

$$P_L = I^2 \cdot R$$

durch Erwärmung so gering wie möglich zu halten. Typisch für einen solchen Transformator ist daher ein Aufbau mit vielen Windungen auf der Primärseite und wenigen Windungen aus sehr dickem Draht auf der Sekundärseite.

Teste dein Wissen 12

Begründe, warum Fernleitungen mit Spannungen von 110 kV bis 380 kV betrieben werden.

Antwort:

Für eine gegebene Gesamtleistung P gilt vereinfacht: $I = P/U \rightarrow I$ sinkt bei hoher Spannung stark.
Für das Verhältnis der Verlustleistung $P_L = I^2 \cdot R$ zur Gesamtleistung gilt:

$$\frac{P_L}{P} = \frac{P \cdot R}{U^2}$$

Damit sinken die Verluste quadratisch mit der Spannung, weshalb große Leistungen über weite Strecken mit sehr hohen Spannungen übertragen werden.

Teste dein Wissen 13

Begründe, warum Hochspannungsmasten neben einem Blitzschutzseil 3 oder 6 stromführende Drahtseile tragen.

Antwort:

Fernleitungen nutzen Drehstrom, bei dem drei Außenleiter L_1, L_2, L_3 drei um 120° phasenverschobene Ströme führen. Bei (nahezu) symmetrischer Belastung und gleichen Widerständen ist der Summenstrom im Neutralleiter $I = I_1 + I_2 + I_3 = 0$, daher wird bei Fernleitungen kein Neutralleiter mitgeführt. Viele Masten tragen 3 Seile (ein Drehstromsystem) oder 6 Seile (zwei parallele Drehstromsysteme / höhere Übertragungsleistung). Zusätzlich gibt es oben ein Blitzschutzseil zur Ableitung von Blitzeinschlägen.

Rechenaufgabe 1

Eine stromdurchflossene Spule wird in axialer Richtung auf eine kurzgeschlossene Spule gleicher Bauart hinbewegt. Dabei wird in der zweiten Spule eine Spannung induziert.

- Begründe, ob der Induktionsstrom in der zweiten Spule in gleicher oder in entgegengesetzter Richtung wie der Strom in der ersten Spule fließt.
- Begründe in welche Richtung der Strom fließt, wenn die erste Spule von der zweiten fortbewegt wird.

Antwort:

a) Nähert man die Spulen einander an, nimmt der magnetische Fluss durch die zweite Spule zu. Gemäß der Lenz'schen Regel ist der entstehende Induktionsstrom so gerichtet, dass er seiner Ursache – in diesem Fall der Flusszunahme – entgegenwirkt. Deshalb baut die zweite Spule ein Magnetfeld auf, das dem Feld der ersten Spule entgegengesetzt ist, wodurch der Induktionsstrom **entgegen der Stromrichtung der ersten Spule** fließt.

b) Beim Entfernen der Spulen nimmt der magnetische Fluss durch die zweite Spule hingegen ab. Der Induktionsstrom „versucht“ diesen ursprünglichen magnetischen Fluss aufrechtzuerhalten, und erzeugt daher ein Magnetfeld in der gleichen Richtung wie das der Primärspule. Dies hat zur Folge, dass der Induktionsstrom in die **gleiche Richtung wie der Strom der ersten Spule** fließt.

Rechenaufgabe 2

Ein Drahtrahmen mit einer Fläche von 100 cm^2 dreht sich in einem homogenen Magnetfeld ($B = 0,05 \text{ T}$) mit 50 Umdrehungen pro Sekunde.

- Bestimme, wie groß die induzierte Spannung für die Stellungen $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ der Flächennormale des Rahmens relativ zum Feld ist.
- Bestimme, wie viele Windungen man auf den Rahmen wickeln muss, damit die maximale Spannung 10 V beträgt.

Antwort:

a)

Gegeben: $A = 100 \text{ cm}^2 = 100 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,01 \text{ m}^2$, $B = 0,05 \text{ T (V}\cdot\text{s/m}^2)$

$f = 50 \text{ Hz} \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \approx 314,16 \text{ s}^{-1}$

Wir nehmen ein Modell mit einer Windung an:

$$U_{\text{ind}}(\alpha) = U_S \cdot \sin(\alpha) \quad \text{mit: } U_S = B \cdot A \cdot \omega$$

Scheitelwert: $U_S = 0,05 \text{ V}\cdot\text{s/m}^2 \cdot 0,01 \text{ m}^2 \cdot 314,16 \text{ s}^{-1} \approx 0,157 \text{ V}$

Werte:

$$U_{\text{ind}}(0^\circ) = 0,157 \text{ V} \cdot 0 = 0 \text{ V}$$

$$U_{\text{ind}}(45^\circ) = 0,157 \text{ V} \cdot 0,707 \approx 0,111 \text{ V}$$

$$U_{\text{ind}}(90^\circ) = 0,157 \text{ V} \cdot 1 = 0,157 \text{ V}$$

$$U_{\text{ind}}(135^\circ) = 0,157 \text{ V} \cdot 0,707 \approx 0,111 \text{ V}$$

$$U_{\text{ind}}(180^\circ) = 0,157 \text{ V} \cdot 0 = 0 \text{ V}$$

b) Windungszahl für $U_{S,\text{max}} = 10 \text{ V}$

Für N Windungen gilt:

$$U_{S,\text{max}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega = N \cdot U_S$$

Für eine maximale Spannung von 10 V folgt also:

$$N = \frac{U_{S,\text{max}}}{B \cdot A \cdot \omega} \Rightarrow \frac{10 \text{ V}}{0,157 \text{ V}} \approx 63,7 \approx 64$$

Man benötigt ca. 64 Windungen.

Rechenaufgabe 3

Bestimme, wie groß der kapazitive Widerstand eines Kondensators der Kapazität $1 \mu\text{F}$ ist für:

a) Gleichstrom

b) 50 Hz

c) 100 kHz

d) Zeichne einen Graphen für den kapazitiven Widerstand eines Kondensators als Funktion der Frequenz.

Antwort: ($1 \mu\text{F} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ F}$)

Formel:

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

a) Gleichstrom $\rightarrow f = 0$

Für $f = 0$ gilt:

$R_C \rightarrow \infty$, da eine Division durch 0 einer Unendlichkeitsstelle (Singularität) entspricht.

Der kapazitive Widerstand ist für Gleichstrom unendlich groß.

b) $f = 50 \text{ Hz}$

$$R_C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} \approx 3183 \, \Omega$$

Der kapazitative Widerstand bei 50 Hz Wechselstrom beträgt etwa 3,18 kΩ.

c) $f = 100 \text{ kHz} = 10^5 \text{ Hz}$

$$R_C = \frac{1}{2\pi \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,1} \approx 1,59 \, \Omega$$

Der kapazitative Widerstand bei 100 kHz Wechselstrom beträgt etwa 1,59 Ω.

d) Graph $R_C(f)$:

R_C ist **umgekehrt proportional** zur Frequenz: $R_C \propto \frac{1}{f}$.

Die bedeutet folgendes für den Graphen:

Bei kleinen $f \rightarrow$ sehr großer Widerstand

Bei großen $f \rightarrow$ sehr kleiner Widerstand

Der Graph ist ein Ast einer Hyperbel mit den Koordinatenachsen als Asymptoten:

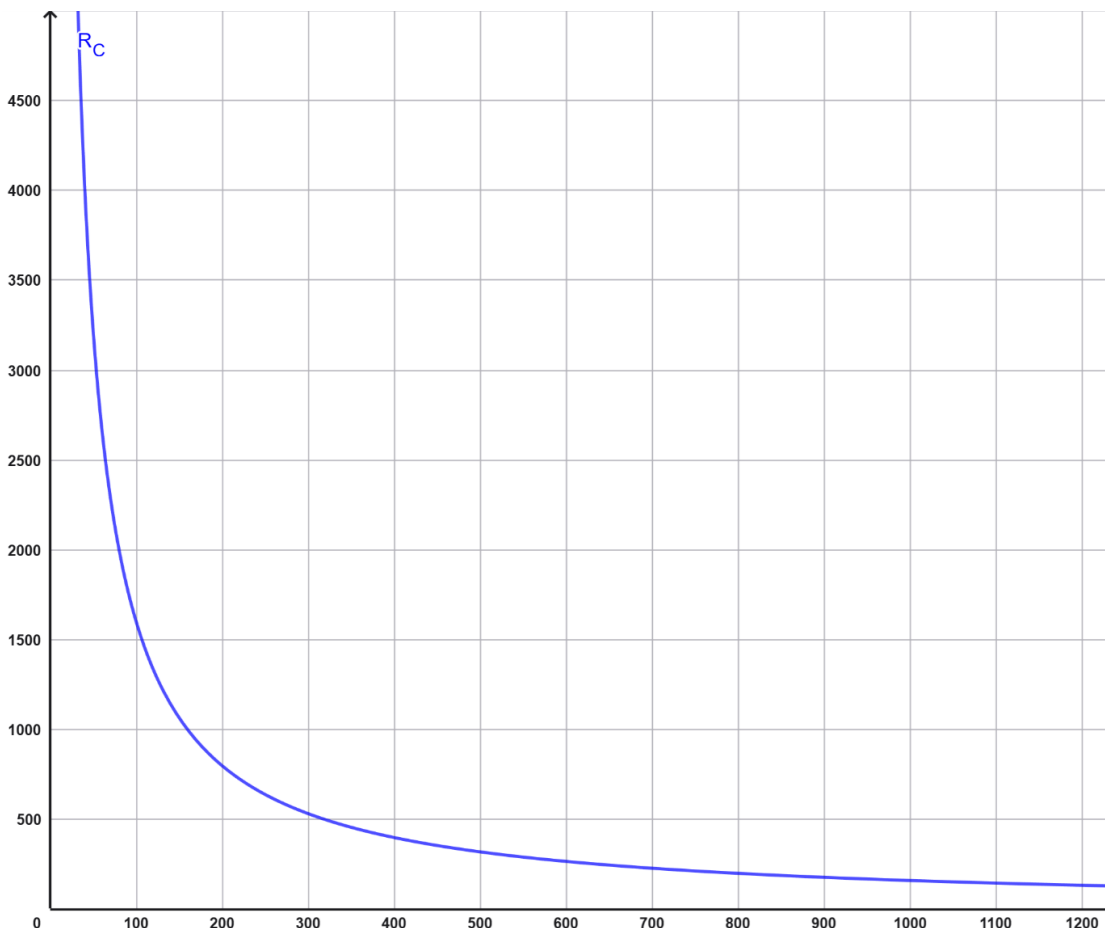


Bild: Nikola Filipovic, Wien

Rechenaufgabe 4

An einen Kondensator legt man eine Wechselspannung von $U_{\text{eff}} = 20 \text{ V}$ ($f = 50 \text{ Hz}$) an und misst einen Strom von 100 mA . Erkläre die notwendigen Umformungen zur Berechnung der Kapazität und berechne deren Größe.

Antwort:

Gegeben: $I_{\text{eff}} = 0,1 \text{ A}$, $\omega = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}$

Für den Kondensator gilt (Effektivwerte):

$$R_c = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{1}{\omega \cdot C} \Rightarrow C = \frac{I_{\text{eff}}}{\omega \cdot U_{\text{eff}}}$$
$$C = \frac{0,1 \text{ A}}{2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1} \cdot 20 \text{ V}} \approx 1,59 \cdot 10^{-5} \text{ F}$$

Der Kondensator hat somit eine Kapazität von etwa $15,9 \mu\text{F}$.

Rechenaufgabe 5

An eine Spule legt man zunächst eine Gleichspannung von 4 V an und misst einen Strom von $0,1 \text{ A}$. Dann legt man eine Wechselspannung von $U_{\text{eff}} = 12 \text{ V}$ an und misst einen Strom von 30 mA .

a) Berechne, wie groß der ohmsche Widerstand der Spule ist.

b) Berechne, wie groß die Induktivität der Spule ist.

Antwort:

Gegeben: DC: $U = 4 \text{ V}$, $I = 0,1 \text{ A}$. AC: $U_{\text{eff}} = 12 \text{ V}$, $I_{\text{eff}} = 30 \text{ mA}$

a)

Bei Gleichstrom wirkt nur der Ohm'sche Widerstand:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4 \text{ V}}{0,1 \text{ A}} = 40 \Omega$$

Die Spule hat einen Widerstand von 40Ω .

b)

Annahme: Netzfrequenz $f = 50 \text{ Hz} \Rightarrow \omega = 2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}$

Der Betrag des induktiven Wechselstromwiderstands entspricht:

$$R_L = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}} = \frac{12 \text{ V}}{0,03 \text{ A}} = 400 \Omega$$

Da der Wechselstromwiderstand wesentlich größer als der Ohm'sche Widerstand ist, kann dieser vernachlässigt werden. (Sonst müsste man den Wechselstromwiderstand wie folgt anpassen: $R'_L = \sqrt{(R_L)^2 - R^2} = \sqrt{(400 \Omega)^2 - (40 \Omega)^2} \approx 398 \Omega$)

$$L = \frac{R_L}{\omega} = \frac{400 \Omega}{2\pi \cdot 50 \text{ s}^{-1}} \approx 1,27 \text{ H}$$

Die Induktivität der Spule beträgt somit etwa $1,27 \text{ H}$.

Rechenaufgabe 6

Auf einem Spielzeugtransformator, der zum Anschluss an eine Steckdose vorgesehen ist, findet man folgende Aufschrift: Leistung $P = 30 \text{ W}$; maximale Stromstärke $I_2 = 2 \text{ A}$. Berechne a) die Sekundärspannung U_2 , b) das Verhältnis der Windungszahlen, c) die Primärstromstärke I_1 .

Antwort:

a)

Für die Sekundärspannung gilt:

$$U_2 = \frac{P}{I_2} = \frac{30 \text{ W}}{2 \text{ A}} = 15 \text{ V}$$

Die Sekundärspannung U_2 des Spielzeugtransformators beträgt 15 V.

b)

Im idealen Fall gilt für das Verhältnis der Windungszahlen:

$$\left| \frac{U_1}{U_2} \right| = \frac{N_1}{N_2}$$

Mit der Netzspannung als Primärspannung: $U_1 = 230 \text{ V}$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{230 \text{ V}}{15 \text{ V}} \approx 15,3$$

Die Windungszahlen dieses Transformators verhalten sich in etwa wie 15:1.

c)

Für die Primärstromstärke gilt:

$$I_1 = \frac{P}{U_1} = \frac{30 \text{ W}}{230 \text{ V}} \approx 0,130 \text{ A}$$

Die Primärstromstärke I_1 des Spielzeugtransformators beträgt ca. 130 mA.

Rechenaufgabe 7

Von einem Kraftwerk mittlerer Leistung ($P = 100 \text{ MW}$) soll die Energieübertragung mittels Drehstrom über eine Entfernung von 100 km mit einer Aluminiumleitung vom Querschnitt $A = 6 \text{ cm}^2$ erfolgen. Berechne aus der Gesamtlänge $s = 300 \text{ km}$ der Leitung und dem spezifischen Widerstand von Aluminium ($\rho = 3 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$) den Leitungswiderstand R der Fernleitung. Vergleiche bei zwei verschiedenen Spannungen ($U = 110 \text{ kV}$, $U = 380 \text{ kV}$) die ohmsche Verlustleistung in der Fernleitung relativ zur gesamten Leistung von 100 MW. Welchen Schluss ziehst du aus deinem Ergebnis?

Antwort:

Gegeben:

$$\rho(\text{Aluminium}) = 3 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}, s = 300 \text{ km} = 3 \cdot 10^5 \text{ m}, A = 6 \text{ cm}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$U_1 = 110 \text{ kV} = 1,1 \cdot 10^5 \text{ V}, U_2 = 380 \text{ kV} = 3,8 \cdot 10^5 \text{ V}, P = 100 \text{ MW} = 1 \cdot 10^8 \text{ W (V} \cdot \text{A)}$$

Für den Leitungswiderstand R der Fernleitung gilt:

$$R = \frac{\rho \cdot s}{A} = \frac{(3 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}) \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ m}}{6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = \frac{9 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-4}} = \mathbf{15 \Omega \text{ (V/A)}}$$

Für das Verhältnis der Verlustleistung zur Gesamtleistung gilt:

$$\frac{P_L}{P} = \frac{I^2 \cdot R}{I \cdot U} = \frac{I \cdot R}{U} = \frac{I \cdot U \cdot R}{U^2} = \frac{P \cdot R}{U^2}$$

Für 110 kV:

$$\frac{P_L}{P} = \frac{1 \cdot 10^8 \text{ VA} \cdot 15 \text{ V/A}}{(1,1 \cdot 10^5 \text{ V})^2} \approx 0,124 = 12,4 \%$$

Für 380 kV:

$$\frac{P_L}{P} = \frac{1 \cdot 10^8 \text{ VA} \cdot 15 \text{ V/A}}{(3,8 \cdot 10^5 \text{ V})^2} \approx 0,01 = 1 \%$$

Ergebnis des Vergleichs der Ohm'schen Verlustleistung in der Fernleitung relativ zur gesamten Leistung von 100 MW:

Bei 110 kV sind es ca. 12,4 % und bei 380 kV sind es ca. 1 % Verlust.

Eine Erhöhung der Spannung verringert die notwendige Stromstärke für die gleiche Leistung. Da die Verluste quadratisch mit dem Strom wachsen ($P_L \propto I^2$), führt eine Erhöhung der Spannung ebenso zu einer quadratischen Reduzierung der Verluste. Hochspannungsleitungen sind also notwendig, um Leitungsverluste zu minimieren.

2 Energieversorgung, S. 33

Teste dein Wissen 1

Zähle die Energieträger auf, die nicht erneuerbar sind und erkläre dann, welche langfristig zur Verfügung stehen.

Antwort:

Nicht erneuerbar (werden durch Nutzung weniger, sind endlich):

- Erdöl, Erdgas, Kohle (fossile Energieträger)
- Uran/Kernbrennstoffe (für Kernenergie; ebenfalls begrenzt)

Langfristig verfügbar (erneuerbar, regenerieren sich laufend):

- Sonnenenergie, Windenergie, Wasserkraft
- Geothermie und Biomasse (langfristig nur bei nachhaltiger Nutzung)

Teste dein Wissen 2

Beurteile, ob Kohle in Österreich als Energieträger eine wichtige Rolle spielt.

Antwort:

Kohle spielt in Österreich insgesamt nur eine sehr geringe Rolle, da „feste fossile Energieträger“ im Nutzenergiebedarf nur einen kleinen Anteil (~1,5 %) ausmachen. Im österreichischen Strommix dominiert Wasserkraft (ca. 60 %), dazu Wärmekraftwerke (ca. 21 %) und Wind/PV/Geothermie (ca. 19 %). Damit ist Kohle im Strombereich nicht der prägende Hauptenergieträger (anders als z.B. in manchen anderen Ländern).

Teste dein Wissen 3

Zähle möglichst viele Vor- und Nachteile der gesamteuropäischen Vernetzung der nationalen Stromnetze auf.

Antwort:

Vorteile

- Versorgungssicherheit: Länder können sich bei Engpässen/Spitzenlast helfen
- Besserer Ausgleich von schwankender Erzeugung (Wind/PV) über große Regionen
- Reserveleistung kann geteilt werden → effizienterer Kraftwerkseinsatz
- Stromhandel → tendenziell höherer Wettbewerb / Nutzung günstiger Erzeuger

Nachteile

- Störungen können sich ausbreiten (Kaskadeneffekte im Verbundnetz)
- Abhängigkeiten von Nachbarländern/Marktpreisen
- Hoher Netzausbau- und Regelungsaufwand (Leitungen, Umspannwerke)
- Akzeptanzprobleme (Trassenbau, Landschaft/Naturschutz)

Teste dein Wissen 4

Erkläre einer Person bei dir zu Hause, wie sich Sonnenenergie nutzen lässt.

Antwort:

- **Photovoltaik (PV):** Sonnenlicht → Solarzelle erzeugt elektrischen Strom (Gleichstrom) → Wechselrichter macht daraus Wechselstrom fürs Haus/Netz.
- **Solarthermie:** Sonnenstrahlung erwärmt ein Medium (Wasser/Wärmeträger) → Warmwasser/Heizungsunterstützung.
- **Solarthermische Kraftwerke:** Spiegel bündeln Sonne → erhitzen Fluid → Dampf → Turbine/Generator erzeugt Strom (ähnlich Wärmekraftwerk, aber Wärmequelle ist Sonne).

Teste dein Wissen 5

Zähle auf, wofür von dir und deiner Familie Energie verwendet wird. Zähle die Energiearten auf, die von dir und deiner Familie verwendet werden. Recherchiere und schätze ab, wie viel Energie (z. B. in Strom, Gas, Benzin) von dir und deiner Familie pro Jahr benötigt wird.

Beispielantwort:

Typische Verwendungszwecke im Haushalt:

- Raumwärme, Warmwasser, Kochen, elektrische Geräte etc.

Energiearten:

- Elektrische Energie (Strom in kWh)
- Chemische Energie (Erdgas/Heizöl/Benzin → meist in kWh/Jahr oder Liter → kWh)
- Wärmeenergie (bereitgestellt z. B. durch Heizung/Fernwärme → in kWh)

So schätzt du den Jahresbedarf:

1. Stromrechnung: E_{Strom} direkt in kWh/Jahr ablesen.
2. Gasrechnung/Fernwärme: E_{Heizung} in kWh/Jahr ablesen.
3. Benzin/Diesel (in kWh/Jahr):

$$E \approx V \cdot H$$

mit V = Verbrauch in Liter/Jahr, H = Heizwert in kWh/l.

Zusatz: Wenn du statt Litern nur „km/Jahr“ und „l/100 km“ kennst:

$$V = \frac{\text{km/Jahr} \cdot \text{l/100 km}}{100}$$

Teste dein Wissen 6

Recherchiere, woher der Strom, das Gas, das Benzin kommt, das von dir und deiner Familie benötigt wird.

Antwort:

- **Strom:** Stromanbieter → der Stromkennzeichnung / dem Tarifblatt zu entnehmen.
(Anteile Wasserkraft, Wind, PV, fossil etc.)
- **Gas:** Gaslieferant/Netzbetreiber → Herkunft oft über Import/Handelsmix. Details sollten im Lieferanten-Infomaterial gelistet sein.
- **Benzin/Diesel:** Tankstelle/Ölkonzern → stammt aus Rohöl (meist importiert), welches in Raffinerien weiterverarbeitet und an Vertriebe geliefert wird.

Teste dein Wissen 7

Recherchiere, wie viel Energie Menschen in anderen Teilen der Welt zur Verfügung haben, und erkläre dies einem Freund oder einer Freundin.

Beispielantwort:

Große Unterschiede im Pro-Kopf-Energiebedarf:

z. B. USA ~ 75 000 kWh/Jahr, Österreich ~ 43 000 kWh/Jahr, Indien ~ 8 000 kWh/Jahr.

Erklärung: Unterschiede entstehen u. a. durch Industrialisierungsgrad, Mobilität/Verkehr, Wohnfläche/Heizbedarf, Effizienz, Infrastruktur und Wohlstandsniveau.

Teste dein Wissen 8

Überlege, wo von dir und deiner Familie Energie und damit Geld eingespart werden könnte.

Beispielantwort:

- Stand-by vermeiden.
- Effizientere Geräte/LED, sinnvolle Nutzungszeiten (Waschen/Spülen)
- Heizung/Warmwasser optimieren: z. B. bessere Regelung, Dämmung, Stoßlüften
- Wärmepumpe statt Öl/Gas: Kann bei umweltfreundlicher Stromquelle den Heizenergiebedarf deutlich senken.

Teste dein Wissen 9

Erkläre jemandem in deiner Familie, was man unter erneuerbarer Energie versteht.

Antwort:

Erneuerbare Energien stammen aus Quellen, die sich laufend regenerieren (z.B. Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, Erdwärme) und daher im menschlichen Zeitmaßstab nicht „verbraucht“ werden. Fossile Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas) und Kernbrennstoffe (z.B. Uran) werden durch Nutzung weniger und sind begrenzt.

Teste dein Wissen 10

Zähle die Vor- und Nachteile der Nutzung von fossilen Energieträgern auf. Zähle die Vor- und Nachteile der Nutzung erneuerbarer Energieträger auf und vergleiche die Ergebnisse.

Antwort:

Fossil (Öl/Kohle/Gas):

Vorteile: hohe Energiedichte, gut speicherbar, bestehende Infrastruktur

Nachteile: endlich; weltweit dominieren sie zwar noch stark, sind aber Haupttreiber von Emissionen/Problemen.

Erneuerbar (Sonne/Wind/Wasser ...):

Vorteile: langfristig verfügbar, geringe direkte Emissionen

Nachteile: wetter-/saisonabhängig (v. a. PV/Wind), braucht mehr Netze/Speicher/Regelung

Vergleich: Fossile Energieträger sind planbar und energiedicht, aber endlich und klimapolitisch problematisch. Erneuerbare Energieträger sind hingegen nachhaltig, aber erfordern einen ausgiebigen Infrastrukturausbau.

Teste dein Wissen 11

Erkläre a) einem Volksschulkind, b) deinen Großeltern, welche fossilen und welche erneuerbaren Energieträger es gibt und warum es wichtig ist, fossile durch erneuerbare Energieträger zu ersetzen.

Antwort:

a) Fossile Energie wie Kohle, Öl und Gas ist wie ein Vorrat, der irgendwann leer wird. Erneuerbare Energie kommt von Sonne, Wind und Wasser – das kommt immer wieder. Darum wollen wir mehr erneuerbare nutzen.

b) Fossile Energieträger sind endlich vorhandene Rohstoffe. Hingegen senken erneuerbare Energieträger Abhängigkeiten und Emissionen, brauchen aber Ausbau von Netzen/Speichern und effiziente Nutzung.

Teste dein Wissen 12

Argumentiere, wie die Menschheit ihren Energiebedarf in Zukunft decken sollte.

Antwort:

1. Energieeffizienz: Verbrauchsreduktion durch Technik/Isolation/Optimierung.
2. Erneuerbare Energien massiv und regional passend ausbauen.
3. Netze + Speicher + Flexibilität (Lastmanagement, Speichertechnologien).

Begründung: Der weltweite Energiebedarf ist stark gestiegen und hängt mit Wachstum/Industrialisierung zusammen. Daher braucht es Lösungen, die skalieren, dauerhaft vorhanden und klimaverträglich sind.

Teste dein Wissen 13

Erkläre einem Freund oder einer Freundin, welche Arten von a) Wärmekraftwerken und b) Wasserkraftwerken es gibt, aus welchen Komponenten sie bestehen, und wie bei ihnen die Stromerzeugung funktioniert.

Antwort:

a) Wärmekraftwerke:

Kohle-, Gas-, Öl-, Biomasse-, Müllverbrennungs-, Kern- und geothermische Kraftwerke

Komponenten: Brenn-/Wärmequelle, Kessel/Dampferzeuger, Turbine, Generator, Kondensator/Kühlung, Transformator.

Funktionsweise: Zuerst wird Wärme erzeugt, um Wasser in Dampf umzuwandeln. Dieser Dampf sorgt dafür, dass die Turbine dreht. Der angeschlossene Generator erzeugt schließlich den Strom.

b) Wasserkraftwerke: Laufkraftwerk, Speicherkraftwerk, Pumpspeicherkraftwerk.

Komponenten: Wehr/Stausee, Druckrohrleitung, Turbine, Generator, Transformator.

Funktionsweise: Die Lageenergie oder die Strömung des Wassers treibt direkt eine Turbine an. Diese Energie wird im Generator in elektrischen Strom umgewandelt.

Teste dein Wissen 14

Lass von einer KI eine Zusammenfassung über das Stromnetz der Zukunft schreiben (Stichworte: zentrale/dezentrale Versorgung, Versorgungssicherheit, Speichermöglichkeiten, bidirektionales Laden von Elektroautos, Energiegemeinschaften, ...) und beurteile das Ergebnis.

Beispielantwort:

Das Stromnetz der Zukunft verbindet zentrale Großanlagen (z. B. Wasserkraft, Großspeicher) mit vielen dezentralen Erzeugern (PV-Dächer, Windparks). Um trotz schwankender Erzeugung eine sichere bzw. stabile Versorgung zu gewährleisten, braucht es Speicher, Smart-Grid-Steuerung, Netzausbau und Flexibilität bei Verbrauchern. Bidirektionales Laden kann E-Autos zeitweise als Speicher nutzen. Energiegemeinschaften ermöglichen lokalen Austausch, müssen aber bedarfsgerecht und netzdienlich eingebunden werden.

Beurteilung:

- Sind zentrale/dezentrale Versorgung, Netzstabilität/-sicherheit, Speicher, bidirektionales Laden und Energiegemeinschaften gut und sinnvoll erklärt?
- Ist es fachlich korrekt?
- Ist die Darstellung konkret (Mechanismen/Beispiele) statt nur Schlagworte?

Teste dein Wissen 15

Zähle möglichst viele Vor- und Nachteile auf, die verschiedene Kraftwerkstypen (Wärmekraftwerke, Wasserkraftwerke, Kernkraftwerke, Solarkraftwerke, Windkraftwerke,...) haben. Wie beurteilst du ihren Einsatz?

Beispielantwort:

Vorteile	Nachteile
Wasserkraft	
Erneuerbarer Energieträger	Eingriff in Natur und Ökosysteme beim Bau von Kraftwerken
Keine direkten CO ₂ -Emissionen im Betrieb	Begrenzte Standorte für potenzielle Kraftwerke
Pumpspeicherkraftwerke können zur Speicherung von Energie genutzt werden	Abhängigkeit von Wasser, vor allem in trockeneren Zeiten
Solarkraftwerke/Photovoltaik	
Erneuerbarer Energieträger	Abhängigkeit von Tageszeit/Sonne
Keine direkten CO ₂ -Emissionen im Betrieb	Ausbau von Energiespeichern notwendig
Photovoltaik-Anlagen können direkt auf dem Dach installiert und Energie direkt vor Ort genutzt werden (auch die Produktion von Modulen wird immer billiger)	Bei Einspeisung in Energienetze kann es für Netzbetreiber zu Herausforderungen kommen
Windkraftwerke	
Erneuerbarer Energieträger	Abhängigkeit von Windstärke
Keine direkten CO ₂ -Emissionen im Betrieb	Wahl von geeigneten Standorten oft schwierig
Auch Offshore-Anlagen sind möglich	Eingriff in Landschaft und Ökosysteme bei Bau von Windrädern
Wärmekraftwerke (fossile Energieträger)	
Planbare und steuerbare Energiebereitstellung	CO ₂ -Emissionen im Betrieb mit fossilen Energieträgern

Unabhängig von Tageszeit/Wetterkonditionen	Begrenzte Menge von z.B. Kohle, Öl oder Erdgas
Stabilisierung der Stromnetze	Abgase und Luftverschmutzung im Betrieb mit fossilen Energieträgern
Kernkraftwerke	
Keine direkten CO ₂ -Emissionen im Betrieb	Brennstoff nur begrenzt vorhanden
Planbare Energiebereitstellung	Lagerung von radioaktiven Abfällen
Hohe Energiedichte von Brennstoff	Gefahr von schwerwiegenden Störfällen

Fossile Energieträger sind planbar und stabilisieren die Stromnetze, aber endlich und klimapolitisch problematisch. Erneuerbare Energieträger sind hingegen nachhaltig, aber erfordern einen ausgiebigen Infrastrukturumbau.

Rechenaufgabe 1

Die elektrische Beheizung von Wohnungen durch billigen Strom in der Nacht wurde vor Jahrzehnten beworben. Recherchiere, wie teuer Nachtstrom im Vergleich zu einem normalen Stromtarif ist und berechne die Ersparnis eines Haushalts durch den Nachtstromtarif bei einem Heizenergiebedarf von 2 000 kWh pro Jahr.

Beispielantwort:

Früher war Nachtstrom eine billige Alternative zu Tagstrom, da große Kraftwerke (z. B. Wasserkraftwerke oder Wärmekraftwerke) auch in der Nacht Strom lieferten, aber die Nachfrage in der Nacht geringer war. Heute werden noch immer Nachtspeicheröfen und Boiler mit Nachtstrom betrieben (dafür gibt es oft einen eigenen Stromanschluss), dafür gab es wesentlich billigere Nachtstromtarife. Heute ist der Unterschied nicht mehr so groß, da in der Nacht z. B. Server betrieben werden, Elektroautos aufgeladen werden, der europäische Strommarkt optimiert wurde etc. Auch der starke Ausbau von Photovoltaik beeinflusst den Preisunterschied, da Photovoltaikanlagen am Tag viel Strom zur Verfügung stellen, der den Strompreis während des Tages senkt.

Daher gibt es viele Anbieter, die oft nur noch einen Stromtarif anbieten und gar nicht mehr zwischen Tag- und Nachtstrom unterscheiden. Man findet aber noch Nachtstromtarife, die günstiger sind als Tagstromtarife (bei unserem Beispiel vernachlässigen wir die Grundgebühr). Im Februar 2026 bietet Anbieter X diese Tarife (netto, ohne Steuern und Netzentgelte) an:

Tagstromtarif: 12,50 ct/kWh

Nachtstromtarif: 9,50 ct/kWh

Da der Energiepreis jedoch nur einen Teil der Gesamtkosten ausmacht, müssen wir ca. 10 ct/kWh für Netzentgelte und Abgaben berücksichtigen (zur Vereinfachung hier pauschale Angabe):

Tagstromtarif: 12,50 ct + 10 ct = 22,50 ct/kWh

Nachtstromtarif: 9,50 ct + 10 ct = 19,50 ct/kWh

Bei diesen Tarifen müssen wir noch die Steuer berücksichtigen:

Tagstromtarif: 22,50 ct · 1,2 = 27 ct/kWh

Nachtstromtarif: 19,50 ct · 1,2 = 23,40 ct/kWh

Preisunterschied · Heizenergiebedarf = 3,60 ct/kWh · 2 000 kWh = 72€/Jahr
--

Hinweis: Bei einigen Anbietern können zusätzliche Gebühren für einen zweiten Stromzähler anfallen, dies wird hier vernachlässigt.

Rechenaufgabe 2

Wandle 108 TJ in a) kWh, b) GWh, c) TWh um.

Antwort:

Umrechnungen: $1 \text{ TJ} = 10^{12} \text{ J}$, $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

a) in kWh:

$$\begin{aligned} 108 \text{ TJ} &= 108 \cdot 10^{12} \text{ J} \\ \Rightarrow \frac{108 \cdot 10^{12}}{3,6 \cdot 10^6} \text{ kWh} &= \frac{108}{3,6} \cdot 10^6 \text{ kWh} = 30 \cdot 10^6 \text{ kWh} \\ \boxed{108 \text{ TJ} = 30\,000\,000 \text{ kWh}} \end{aligned}$$

b) in GWh:

$$\begin{aligned} 1 \text{ GWh} &= 10^6 \text{ kWh} \Rightarrow 30\,000\,000 \text{ kWh} = 30 \text{ GWh} \\ \boxed{108 \text{ TJ} = 30 \text{ GWh}} \end{aligned}$$

c) in TWh:

$$\begin{aligned} 1 \text{ TWh} &= 1000 \text{ GWh} \Rightarrow 30 \text{ GWh} = 0,03 \text{ TWh} \\ \boxed{108 \text{ TJ} = 0,03 \text{ TWh}} \end{aligned}$$

Rechenaufgabe 3

Wandle 180 GWh in a) MJ, b) GJ, c) PJ um.

Antwort:

Umrechnungen: $1 \text{ Wh} = 3600 \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ GWh} = 10^9 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^{12} \text{ J}$

$180 \text{ GWh} = 180 \cdot 3,6 \cdot 10^{12} \text{ J} = 648 \cdot 10^{12} \text{ J} = 6,48 \cdot 10^{14} \text{ J}$

a) in MJ ($1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$):

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{6,48 \cdot 10^{14}}{10^6} \text{ MJ} &= 6,48 \cdot 10^8 \text{ MJ} \\ \boxed{180 \text{ GWh} = 648\,000\,000 \text{ MJ}} \end{aligned}$$

b) in GJ ($1 \text{ GJ} = 10^9 \text{ J}$):

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{6,48 \cdot 10^{14}}{10^9} \text{ GJ} &= 6,48 \cdot 10^5 \text{ GJ} \\ \boxed{180 \text{ GWh} = 648\,000 \text{ GJ}} \end{aligned}$$

c) in PJ ($1 \text{ PJ} = 10^{15} \text{ J}$):

$$\begin{aligned} \Rightarrow \frac{6,48 \cdot 10^{14}}{10^{15}} \text{ PJ} &= 0,648 \text{ PJ} \\ \boxed{180 \text{ GWh} = 0,648 \text{ PJ}} \end{aligned}$$

3 Halbleiter, S. 41

Teste dein Wissen 1

Erkläre, was man unter dem Begriff Halbleiter versteht und wodurch sich die Leitfähigkeit von reinen Halbleitern ergibt.

Antwort:

Ein Halbleiter ist ein Festkörper, dessen elektrische Leitfähigkeit zwischen der von Isolatoren und metallischen Leitern liegt. Ein wesentliches Merkmal ist ihr Temperaturverhalten: Bei tiefen Temperaturen wirkt er eher wie ein Isolator. Mit steigender Temperatur nimmt die Leitfähigkeit zu (im Gegensatz zu Metallen).

In einem reinen Halbleiter (z. B. Silicium) sind die Valenzelektronen im Kristallgitter zunächst gebunden. Durch thermische Anregung (Gitterschwingungen aufgrund steigender Wärmeenergie) werden einige Elektronen aus Bindungen gelöst. Dadurch entstehen frei bewegliche Elektronen (Leitungselektronen) und „Elektronenlöcher“ (fehlende Elektronen, welche sich wie positive Ladungsträger verhalten).

Teste dein Wissen 2

Durch Zugabe von Fremdatomen (Dotierung) kann die Leitfähigkeit eines Halbleiters beträchtlich gesteigert werden. Beschreibe die Funktionsweise von p- und von n-Leitern.

Antwort:

n-Leiter (Elektronenüberschussleiter):

Man ersetzt z.B. einige Si-Atome (4. Hauptgruppe) durch Atome der 5. Hauptgruppe (z. B. Phosphor). Diese „Donatoren“ (lat. Geber) besitzen ein Valenzelektron mehr, weshalb ein Elektron leicht befreit wird. Diese Dotierung führt zu einer Erhöhung der Zahl von frei beweglichen Elektronen und in Folge dessen erhöht sich die Leitfähigkeit.

p-Leiter (Elektronenmangelleiter):

Geschieht eine Dotierung mit Atomen der 3. Hauptgruppe (z. B. Bor), so fehlt jeweils ein Elektron für die Bindung (Elektronenpaar- bzw. kovalente Bindung) zu den vier Siliciumnachbarn, welches die „Akzeptoren“ (lat. Empfänger) von umgebenden Siliciumatomen nehmen. Dadurch entstehen Leerstellen, welche als positive Ladungsträger wirken und eine Leitung durch „Löcherwanderung“ ermöglichen.

Teste dein Wissen 3

Beschreibe allgemein den Aufbau und die Funktionsweise einer Diode. Wofür werden Dioden am häufigsten eingesetzt?

Antwort:

Aufbau: Eine Diode besteht aus einer p-Schicht und einer n-Schicht. An der Grenzfläche entsteht der pn-Übergang (steuerbare Kontaktfläche).

Funktionsweise: An der Kontaktfläche zwischen der p- und der n-Schicht bildet sich eine Sperrschicht aus. Da in dieser Grenzzone keine beweglichen Ladungsträger vorhanden sind, entsteht dort ein hoher elektrischer Widerstand. Wird der p-Leiter an den Pluspol und der n-Leiter an den Minuspol angeschlossen, so spricht man von der *Durchlassrichtung*. Dabei wird die Sperrschicht abgebaut, sodass der elektrische Strom ungehindert fließen kann. Verbindet man hingegen den p-Leiter mit dem Minuspol und den n-Leiter mit dem Pluspol, wird die Diode in *Sperrrichtung* betrieben. Dadurch wird die Sperrschicht verbreitert, sodass nahezu kein Strom mehr fließen kann.

Häufigste Verwendung:

- Gleichrichter (Wechselstrom → Gleichstrom)
- Überspannungsschutz
- Photo-/Leuchtdioden (LED)

Teste dein Wissen 4

Beschreibe die Funktionsweise eines Transistors.

Antwort:

Ein Transistor besteht aus drei Halbleiterschichten (nnp oder pnp). Er wirkt als regelbares Stromventil: Ein kleiner Steuerstrom/kleine Steuerspannung kann einen viel größeren Strom schalten/regeln. Beim npn-Flächentransistor wird durch eine gegen den Emitter positive Basisspannung U_{BE} die Sperrschicht am Basis-Emitter-Übergang abgebaut, sodass ein kleiner Basisstrom I_B einen viel größeren Kollektorstrom I_C bis hin zur Sättigung steuern kann.

Typische Anwendungen:

- Schalter (digital: „ein/aus“)
- Verstärker (analog: kleines Signal → größeres Signal)

Teste dein Wissen 5

Welche Einsatzbereiche von Halbleitern hast du in diesem Kapitel kennengelernt? Nenne so viele wie möglich und versuche die einzelnen Anwendungen in Kategorien (z. B. Übertragung von Signalen, Umwandlung von Licht in Energie, ...) zu unterteilen.

Antwort:**Schalten & Rechnen (Mikroelektronik)**

- Transistoren/ICs in Prozessoren, Speichern, Steuergeräten (z. B. Smartphone, Auto, Airbag-Steuerung).

Energieumwandlung Licht ↔ Elektrizität (Optoelektronik)

- Solarzellen/PV-Anlagen (Photodioden als Stromquellen, Licht → el. Energie)
- LED/OLED/Laserdiode (el. Energie → Licht)

Signalübertragung

- Infrarot-Fernbedienung (kurze Distanz)
- Glasfaserkommunikation (lange Distanzen): LED/Laser-Quelle

Sensorik/Detektion

- Licht-/Bildsensoren (Photodioden/ähnliche Sensorprinzipien wie z.B. in Digital-/Smartphonekameras)
- Photodioden als Strahlungsdetektoren (Lichtmessung, Lichtschranke, Infrarot-Empfänger: Licht → el. Energie)

Teste dein Wissen 6

Welche Halbleiterbauelemente wandeln Licht in Elektrizität um und welche Elektrizität in Licht? Gib Beispiele dafür an.

Antwort:**Licht → Elektrizität:**

- Photodiode (z. B. Lichtmessung in Kameras, Lichtschranken, IR-Empfänger)
- Solarzelle (Photovoltaik-Anlagen)

Elektrizität → Licht:

- LED (Anzeigeelemente, Raum-/Straßenbeleuchtung, Fahrradlicht, Display-Hintergrundbeleuchtung)
- OLED (Displays; organische LEDs für Smartphone/TV)

Teste dein Wissen 7

Beschreibe Aufbau und Funktionsweise einer Solarzelle.

Antwort:

Eine Solarzelle ist im Kern ein pn-Übergang (wie eine Diode), aber so ausgelegt, dass Licht Ladungsträger erzeugt.

Ablauf/Funktionsweise:

1. Lichteinfall erzeugt Elektron–Loch-Paare im Halbleiter.
2. Das elektrische Feld der Sperrschicht trennt diese Ladungsträger:
→ Elektronen werden zur n-Seite, Löcher zur p-Seite gedrückt.
3. Dadurch entsteht eine Spannung zwischen p- und n-Seite.
4. Bei geschlossenem Stromkreis fließt Strom → elektrische Energie wird nutzbar.

Teste dein Wissen 8

Recherchiere, wie eine Leuchtdiode funktioniert und wofür LEDs und OLEDs eingesetzt werden.

Antwort:

LED (Leuchtdiode):

Eine LED ist eine Diode, die in Durchlassrichtung betrieben wird. Beim Stromfluss rekombinieren Elektronen und Löcher im pn-Übergang. Dabei wird Energie in Form von Licht abgegeben (Wellenlänge abhängig von Material/Dotierung).

LED werden u.a. bei Beleuchtung (Raum/Straße), Fahrradlicht, Signalanlagen, Hintergrundbeleuchtung von LCD-Fernsehern/Monitoren verwendet.

OLED (Organische LED):

OLED besteht aus dünnen organischen Halbleiter-Schichten. Sie werden immer häufiger für Displays (Smartphones/Smartwatches/TVs/Monitore) verwendet. Sie bieten u. a. höheren Kontrast (keine Hintergrundbeleuchtung benötigt) und bessere Farbtiefe.

Teste dein Wissen 9

Erkläre, was man unter optoelektronischer Nachrichtenübertragung versteht, und nenne verschiedene Beispiele.

Antwort:

Bei der optoelektronischen Nachrichtenübertragung werden Informationen als Lichtsignal übertragen. Der Sender erzeugt/moduliert Licht, der Empfänger wandelt dieses Licht wieder in ein elektrisches Signal um.

Beispiele:

- IR-Fernbedienung: LED sendet codiertes Infrarotlicht, Photodiode empfängt.
- Glasfaserkommunikation: Das Signal wird per LED oder Laser in die Faser eingespeist. Am anderen Ende empfängt eine Photodiode dieses Lichtsignal.

Teste dein Wissen 10

Beschreibe, welche Rolle Halbleiter im Bereich von Supercomputern spielen. Welche Rolle spielt dabei die Miniaturisierung und welche Grenzen sind dieser gesetzt?

Antwort:

Rolle der Halbleiter:

Die enorme Rechenleistung moderner Computer entsteht durch das Zusammenspiel extrem vieler Transistoren und integrierter Schaltkreise (ICs). Ohne diese Halbleiter-Technik wäre die Entwicklung von Mikroprozessoren unmöglich.

Warum Miniaturisierung?

Je kleiner die Transistoren werden, desto mehr passen auf gleicher Fläche. Diese höhere Packungsdichte ermöglicht es, mehr Rechenoperationen parallel durchzuführen oder die Taktung zu erhöhen, wodurch die Leistung bis hin zu technologischen Grenzen gesteigert wird.

Physikalische Grenzen:

- **Thermische Verlustleistung/Hitze:** Mit der Miniaturisierung steigt die Transistordichte auf dem Chip enorm an. Jeder Transistor erzeugt eine geringe Menge Wärme, aber in ihrer Milliardenzahl auf engstem Raum wird die Wärmedichte kritisch hoch → begrenzt weiteres Miniaturisieren.
- Mit immer kleineren Strukturen (wenige Atome) wird die Isolation der Leiterbahnen/Transistoren schwieriger → technologische/physikalische Limitierungen (siehe z.B. Quanten-Tunneleffekt, Lithografie)

Teste dein Wissen 11

Markiere die 4 bis 6 wichtigsten Begriffe im Text zur „Antwort auf die Eingangsfrage“ und notiere alle Fachbegriffe, die du nicht kennst. Recherchiere ihre Bedeutung und schreibe dir Stichwörter dazu auf. Schreibe eine kurze Erklärung zu den wichtigsten Begriffen.

Beispielantwort:

- **Supercomputer (Anwendung):** Nutzen extrem viele/leistungsfähige Prozessoren für Simulationen (z. B. Klima, Technik, Medizin)
- **Miniaturisierung (Halbleitertechnik):** Strukturen auf Chips werden immer kleiner → auf gleicher Fläche passen mehr Bauteile.
- **Transistoren (Schaltelemente):** Grundbausteine moderner Chips; mehr Transistoren ermöglichen komplexere Schaltungen und höhere Rechenleistung.
- **Moore'sches Gesetz (Trend/Beobachtung):** Transistorzahl wächst über längere Zeit ungefähr exponentiell bzw. verdoppelt sich in regelmäßigen Abständen → erklärt stark steigende Leistungsfähigkeit von Computern/Supercomputern.
- **Nanodraht:** Nanodrähte sind in der Erforschung befindliche extrem dünne Leiterbahnen und ermöglichen eine enorme Platzersparnis auf Chips. Aufgrund ihrer extrem geringen Dimensionen treten in Nanodrähten Quanteneffekte auf, die ihre elektrischen und optischen Eigenschaften drastisch verändern können.

Rechenaufgabe 1

Der Prozessor INTEL386™ wurde 1985 auf den Markt gebracht. Mit ihm begann der Einzug der Computer in das Alltagsleben. Auf diesem Prozessor befanden sich 275 000 Transistoren. Bis zum Jahr 1989 wurde dieser Prozessor weiterentwickelt zum INTEL486™. Auf diesem Prozessor befanden sich 1 180 000 Transistoren. Bestimme unter der Annahme exponentiellen Wachstums

- a) das Wachstumsgesetz.
- b) die Zeit, in der sich die Transistorzahl verdoppelt.

Antwort:

Gegeben: $N(1985) = 275\,000$, $N(1989) = 1\,180\,000$, Zeitraum: $\Delta t = 4$ Jahre

a) Wachstumsgesetz

Wir setzen ein exponentielles Modell an:

Annahme: Transistorzahl wächst pro Jahr mit einem konstanten Faktor:

$$N(\Delta t) = N_0 \cdot e^{k \cdot \Delta t}$$

$N(\Delta t) = N_0 \cdot a^{\Delta t}$ ist zwar die allgemeinere Form, wobei e Berechnungen mit Logarithmen sauberer macht. Es gilt: $a = e^k$ und damit $k = \ln(a)$

Bestimme k aus $N(1989) = 1\,180\,000$: ($N_0 = 275\,000$)

$$\begin{aligned} 1\,180\,000 &= 275\,000 \cdot e^{k \cdot 4} \rightarrow \frac{1\,180\,000}{275\,000} = e^{k \cdot 4} \\ \rightarrow k &= \frac{1}{4} \ln\left(\frac{1\,180\,000}{275\,000}\right) \approx \frac{1}{4} \ln(4,291) \approx 0,364 \end{aligned}$$

Eingesetzt ins Wachstumsgesetz:

$$N(\Delta t) = 275\,000 \cdot e^{0,364 \cdot \Delta t}$$

da $e^{0,364} \approx 1,439$ folgt für das Wachstumsgesetz: $N(\Delta t) \approx 275\,000 \cdot 1,44^{\Delta t}$

b) Verdopplungszeit

Verdopplungszeit T_d :

$$\begin{aligned} 2 &= e^{k \cdot T_d} \Rightarrow T_d = \frac{\ln(2)}{k} \\ T_d &= \frac{\ln(2)}{0,364} \approx 1,9 \text{ Jahre} \\ T_d &\approx 1,9 \text{ Jahre} \approx 22,8 \text{ Monate} \end{aligned}$$

Die Transistorzahl verdoppelt sich demnach ca. alle 23 Monate (~ 2 Jahre).

Rechenaufgabe 2

Die Verdopplungszeit von Transistoren pro Chip (nach dem Moore'schen Gesetz) wird heute mit 24 Monaten angegeben. Auf modernen Prozessoren befanden sich im Jahr 2004 auf einer Fläche von nur wenig mehr als 1 cm^2 100 Millionen Transistoren.

Unter diesen Annahmen wäre 2024 die Rechenleistung des menschlichen Gehirns erreicht worden.

Berechne, wie viele Transistoren sich nach dem Moore'schen Gesetz auf einem Chip befunden hätten.

Antwort:

Gegeben: $N(2004) = 100\,000\,000 = 1,0 \cdot 10^8$

$N(2024) = ?$

Anzahl der Verdopplungen von 2004 bis 2024:

$$\Delta t = 2024 - 2004 = 20 \text{ Jahre} \rightarrow n = \frac{\Delta t}{2} = 10$$

Wachstum:

$$N(2024) = N(2004) \cdot 2^n = 10^8 \cdot 2^{10} \approx 1.024 \cdot 10^{11}$$

Im Jahr 2024 hätten sich nach dem Moore'schen Gesetz auf einem Chip demnach etwa 102,4 Milliarden Transistoren auf einem Chip befunden.

4 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen, S. 57

Teste dein Wissen 1

Erkläre einem Freund oder einer Freundin, was man unter dem elektromagnetischen Spektrum versteht, in welche Bereiche es eingeteilt werden kann und nenne zu jedem dieser Bereiche ein Anwendungsbeispiel.

Antwort:

Das elektromagnetische Spektrum umfasst alle elektromagnetischen Wellen – geordnet nach Frequenz f bzw. Wellenlänge λ . Es wird in Bereiche von niedriger Frequenz/ langer Wellenlänge bis hohe Frequenz/ kurze Wellenlänge eingeteilt. Zu den Bereichen zählen lange/ kurze Radiowellen, Mikrowellen, Infrarot-/ Wärmestrahlung, sichtbares Licht, UV-Strahlung, Röntgenstrahlung und Gammastrahlung.

Beispiele:

- **Radiowellen:** Rundfunk (AM/FM), Funkkommunikation (WLAN, Mobilfunk)
- **Mikrowellen:** Mikrowellenherd, Radar, Satellitenkommunikation
- **Infrarot (IR):** Wärmebild-/IR-Kameras (Temperaturbilder), Fernbedienung
- **Sichtbares Licht:** Sehen/Beleuchtung, Photosynthese
- **Ultraviolett (UV):** Solarium/UV-Index, UV-Desinfektion, Geldscheinprüfung
- **Röntgenstrahlung:** medizinische Bildgebung (Knochenaufnahmen/CT), Röntgen-Strukturanalyse, Sicherheitschecks am Flughafen
- **Gammastrahlung:** aus Radioaktivität (z. B. Strahlentherapie, Sterilisation)

Teste dein Wissen 2

Veranschauliche einer Schulkollegin oder einem Schulkollegen anhand einer Skizze den Aufbau und die Funktionsweise eines Schwingkreises! Warum kann man einen Schwingkreis auch als Ladungsschaukel bezeichnen?

Antwort:

Ein Schwingkreis besteht aus einem Kondensator C (speichert elektrische Energie im elektrischen Feld) und einer Spule L (speichert Energie im magnetischen Feld).

Ablauf:

1. Ist der Kondensator geladen, dann ist das elektrische Feld groß (Strom $I = 0$).
2. Beim Schließen des Kreises entlädt sich der Kondensator. Der Strom steigt, das Magnetfeld der Spule wächst.
3. Nach Entladung des Kondensators fließt durch Selbstinduktion der Strom noch eine Zeit lang weiter. Der Kondensator wird mit umgekehrter Polung dabei wieder aufgeladen.
4. Der Vorgang wiederholt sich periodisch: Energie pendelt zwischen Kondensator (elektrische Energie) und Spule (magnetische Energie).

Warum „Ladungsschaukel“?

Weil die Ladung (bzw. die Spannung am Kondensator) gewissermaßen hin- und herpendelt: Mal ist Energie im Kondensator, mal in der Spule – ähnlich wie beim mechanischen Pendel.

Teste dein Wissen 3

Erkläre einem Freund oder einer Freundin, welcher Zusammenhang durch die Thomson'sche Formel beschrieben wird.

Antwort:

Die Thomson'sche Formel gibt die Eigenfrequenz f eines idealen LC-Schwingkreises (ohne Dämpfung) in Abhängigkeit von der Induktivität L und Kapazität C an:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Je größer/kleiner L oder C , desto kleiner/größer die Eigenfrequenz. Es sind indirekt proportionale Größen mit $f \propto 1/\sqrt{LC}$.

Teste dein Wissen 4

Begründe anhand der Thomson'schen Formel, wie man einen Schwingkreis verändern muss, um möglichst hohe Frequenzen zu erhalten!

Antwort:

Aus

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

folgt: Für möglichst große Frequenzen f muss das Produkt LC möglichst klein sein.

Für möglichst hohe Frequenzen sind also folgende Änderungen am Schwingkreis nötig:

- **Kapazität C verkleinern** (z. B. kleinere Kondensatorplatten/geringere Fläche oder größerer Plattenabstand),
- **Induktivität L verkleinern** (z. B. weniger Windungen, kleinere Spule).

Teste dein Wissen 5

Erläutere, warum eine Antenne auch als $\lambda/2$ -Dipol bezeichnet wird.

Antwort:

In einer Dipolantenne bildet die Stromstärke entlang der Antenne eine stehende Welle. An den Enden entstehen Stromknoten und in der Mitte ein Strombauch.

Der Antenne kann dadurch eine Wellenlänge λ zugeordnet werden. Sie ist gleich der doppelten Länge L der Antenne und es gilt: $\lambda = 2 \cdot L \Rightarrow L = \lambda/2$

Darum ist die Antennenlänge gleich $\lambda/2$ und man nennt sie $\lambda/2$ -Dipol.

Teste dein Wissen 6

Erörtere, wie sich elektromagnetische Wellen nachweisen lassen. Gehe dabei auch auf die zu den einzelnen Frequenzbereichen gehörigen jeweiligen Empfänger ein.

Antwort:

Elektromagnetische Wellen kann man nachweisen, indem man ihre Wirkung auf Materie/Detektoren misst: z. B. induzierte Ströme, Erwärmung, chemische/biologische Wirkung, Ionisation.

Beispiele für Nachweis/Empfänger:

- **Radiowellen/Mikrowellen:** Empfangsantenne + Elektronik (z. B. Empfangsdipol, in dem ein Lämpchen durch induzierte Ströme leuchtet).
- **Infrarot:** IR-Sensoren/IR-Kameras, die Wärmestrahlung sichtbar machen.
- **Sichtbares Licht:** Auge, Kamera/CCD/CMOS-Sensoren (Detektoren).
- **UV:** UV-Sensoren; Wirkung z. B. Sonnenbrand/Bräunung, UV-Index als Messkonzept.
- **Röntgen/Gamma:** Detektoren (Film/Platten, Halbleiterdetektoren), Nachweis über starke Durchdringung und Ionisation.

Teste dein Wissen 7

Beschreibe den Aufbau und die Funktionsweise eines Mikrowellenherdes! Führe Argumente an, die für bzw. gegen die Verwendung eines Mikrowellenherdes sprechen!

Antwort:

Aufbau/Funktionsweise:

Ein Magnetron erzeugt elektromagnetische Wellen (Mikrowellen) mit $\lambda \approx 12 \text{ cm}$, die über einen Hohlleiter in den Garraum gelangen. Im Garraum werden die Wellen an Metallwänden reflektiert, wodurch stehende Wellen mit Hot Spots entstehen. Austritt von Mikrowellenstrahlung wird u.a. durch ein Metallgitter im Sichtfenster verhindert. Wasser in Speisen absorbiert die Mikrowellen: H_2O -Moleküle werden zum Rotieren/Schwingen angeregt. Die dadurch resultierenden molekularen Stöße wärmen die Speise auf.

Argumente für Mikrowelle: schnelles Erwärmen (v. a. wasserhaltige Speisen), energieeffizient fürs Aufwärmen kleiner Portionen.

Argumente gegen Mikrowelle: ungleichmäßige Erwärmung (Hot Spots), ungeeignetes Geschirr/Kunststoffe können problematisch sein (Weichmacher).

Teste dein Wissen 8

Via Bluetooth werden elektromagnetische Wellen übertragen. Beschreibe und erkläre anhand dieses Beispiels die Übertragung von Informationen mittels Sender und Empfänger.

Antwort:

- **Sender:** erzeugt ein hochfrequentes elektromagnetisches Signal (Träger-Schwingung) und moduliert es so, dass sie die Information trägt.
- **Antenne:** wandelt das elektrische Signal in eine elektromagnetische Welle um und strahlt diese ab. (2,4 bis 2,48 GHz)
- **Empfänger:** Empfangsantenne nimmt die Welle auf $\Rightarrow$ es entsteht ein elektrisches Signal, das anschließend demoduliert/rekonstruiert wird, sodass die ursprünglichen digitalen Daten (Datenbits) wiederhergestellt werden.

Teste dein Wissen 9

Beschreibe, welche Arten von UV-Strahlung es gibt und wie sie sich in ihrer Wirkungsweise auf den menschlichen Körper unterscheiden.

Antwort:

UV-Strahlung wird nach Wellenlänge eingeteilt:

- **UV-A (315–400 nm):** Dieses UV-Spektrum gelangt fast vollständig zur Erdoberfläche. Es wirkt v. a. auf die Haut (Bräunung) und kann bei Übermaß schädlich sein.

- **UV-B (280–315 nm):** Dieses UV-Spektrum wird groÙteils (ca. 90 %) durch Ozon/Atmosphäre absorbiert. Der Anteil, der ankommt, ist maßgeblich für Sonnenbrand und kann zu Zellschäden/Hautkrebs beitragen.
- **UV-C (100–280 nm):** Dieses UV-Spektrum wird fast vollständig in der Atmosphäre absorbiert (solares UV-C erreicht uns praktisch nicht).

Zusatz:

UV wirkt u. a. auf Haut (Pigmentierung) und kann Hornhaut/Augenlinse schädigen.

In Maßen fördert UV aber auch z.B. die Vitamin-D-Bildung.

Teste dein Wissen 10

Erkläre, warum man mit Röntgenstrahlen Aufnahmen von menschlichen Knochen machen kann und warum zu viel Röntgenstrahlung gefährlich für den Menschen sein kann!

Antwort:

Röntgenstrahlen haben ein hohes Durchdringungsvermögen, werden aber je nach Material unterschiedlich stark absorbiert. Knochen enthalten u. a. Kalzium (höhere Ordnungszahl) und absorbieren Röntgenstrahlen stärker als Weichteile. Deshalb erscheinen Knochen im Röntgenbild als „Schatten“.

Warum zu viel gefährlich ist:

Röntgenstrahlung ist eine kurzwellige, energiereiche Strahlung und wirkt ionisierend.

Sie kann Zellen schädigen, weshalb Strahlenschutz und sparsame Exposition wichtig sind.

Teste dein Wissen 11

Nenne Beispiele, wie man mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen Energie bzw. Informationen übertragen kann!

Antwort:

Energieübertragung:

- Sonnenstrahlung/Strahlungsenergie (natürlich) und Erwärmung durch Absorption
- Mikrowellenherd: Energieübertragung in Speisen durch Absorption der Mikrowellen
- Infrarot-/Wärmestrahlung: Wärmebildtechnik (Energie wird als Wärme sichtbar), Heizstrahler (Wärmeausstrahlung)

Informationsübertragung:

- Radio/TV: modulierte Trägerwellen
- Mobilfunk/WLAN/Bluetooth: Funkübertragung im (typisch) GHz-Bereich
- Glasfaserkommunikation (Licht): große Datenmengen über Lichtsignale

Teste dein Wissen 12

Suche dir einige Alltagsphänomene (evtl. aus diesem Kapitel) wie z. B. einen schlechten Handyempfang in einem Aufzug oder in Gebäuden aus Stahlbeton heraus und erkläre diese anhand der Tatsache, dass elektromagnetische Strahlung beim Auftreffen auf Materie teilweise transmittiert, absorbiert oder reflektiert wird.

Beispielantwort:

Grundprinzip: Trifft elektromagnetische Strahlung auf Materie, wird sie je nach Material und Frequenz transmittiert, absorbiert oder reflektiert.

Beispiele:

- **Aufzug (Metallkabine):** Metall reflektiert Funkwellen stark (Abschirmung), weshalb wenig transmittiert wird $\Rightarrow$ schlechter Empfang (Faraday-Käfig-Effekt).
- **Stahlbetongebäude:** Metallarmierungen + dichte Materialien führen zu starker Reflexion/Absorption. Das Signal wird dadurch geschwächt und zusätzlich durch Mehrwegeausbreitung gestört.
- **Mikrowellentür mit Metallgitter:** verhindert Austritt der Mikrowellen (starke Reflexion/Abschirmung), während sichtbares Licht durchs Fenster wahrnehmbar bleibt.
- **Wasser/feuchte Materialien:** absorbieren Mikrowellen besonders gut, was zu einer starken Dämpfung führt.

Teste dein Wissen 13

Nenne mögliche biologische Wirkungen von elektromagnetischen Feldern anhand verschiedener Beispiele! Welche Rolle spielt dabei die Definition von Grenzwerten?

Antwort:

Beispiele für biologische Wirkungen (je nach Frequenzbereich):

- **Sichtbares Licht:** essenziell für Leben (Photosynthese)
- **UV:** positive Effekte (Vitamin-D-Bildung), aber auch Risiken (Sonnenbrand $\rightarrow$ Zellschäden/Hautkrebs)
- **Röntgen:** ionisierend $\rightarrow$ kann Zellen schädigen
- **Niederfrequente Felder (z. B. 50 Hz):** magnetische Anteile dringen gut in den Körper ein und können über Induktion Ströme erzeugen, die z. B. die Herzsteuerung beeinflussen könnten.
- **Hochfrequente Felder (Mobilfunk):** Hauptwirkung ist Erwärmung, gemessen in z. B. SAR (W/kg). Smartphones dürfen am Kopf einen SAR-Wert von 2 W/kg nicht überschreiten.

Rolle von Grenzwerten:

Grenzwerte sollen Exposition so begrenzen, dass (nach aktuellem Kenntnisstand) keine gesundheitliche Gefährdung zu erwarten ist. Gleichzeitig ist „Elektrosmog“ wissenschaftlich/gesellschaftlich umstritten (Studien sind schwer vergleichbar) und Grenzwertfestlegung ist komplex (Dauer, Abstand, Leistung, Frequenz, usw.).

Rechenaufgabe 1

Berechne die Wellenlänge des mit der Frequenz 99,9 MHz ausgestrahlten Radioprogramms von Ö3. In welchen Bereich des elektromagnetischen Spektrums fallen die elektromagnetischen Wellen dieses Senders? Wie nennt man die ausgestrahlten elektromagnetischen Wellen?

Antwort:

Zusammenhang zwischen Wellenlänge λ , Lichtgeschwindigkeit c und Frequenz f :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Gegeben: $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $f = 99,9 \text{ MHz} = 99,9 \cdot 10^6 \text{ Hz (s}^{-1}\text{)}$

Einsetzen ergibt:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{99,9 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} = \frac{3}{0,999} \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

Ein 99,9 MHz Sender liegt mit einer Wellenlänge von etwa 3 m im UKW-Radiowellenbereich (FM-Rundfunk).

Rechenaufgabe 2

Ein ungedämpfter elektromagnetischer Schwingkreis enthält einen Kondensator mit der Kapazität 200 pF und eine Spule mit der Induktivität $L = 10^{-5}$ H. Bestimme, welche Eigenfrequenz der Schwingkreis hat.

Antwort:

Thomson'sche Formel:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

Gegeben: $L = 10^{-5}$ H (V·s/A), $C = 200$ pF = $200 \cdot 10^{-12}$ F = $2 \cdot 10^{-10}$ F (A·s/V)

Einsetzen ergibt:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{(10^{-5} \text{ Vs/A}) \cdot (2 \cdot 10^{-10} \text{ As/V})}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-15}}} \text{ s}^{-1}$$
$$f \approx \frac{1}{2\pi \cdot 4,47 \cdot 10^{-8}} \text{ Hz} \approx 3,56 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

Der Schwingkreis hat eine Eigenfrequenz von etwa 3,56 MHz.

Rechenaufgabe 3

Aus einem Kondensator mit der Kapazität 365 pF und einer Spule soll ein Schwingkreis mit der Eigenfrequenz 728 kHz gebaut werden. Berechne, welche Induktivität die Spule haben muss.

Antwort:

Thomson'sche Formel:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

Gegeben: $f = 728$ kHz = $728 \cdot 10^3$ Hz, $C = 365$ pF = $365 \cdot 10^{-12}$ F (A·s/V)

Einsetzen ergibt:

$$L = \frac{1}{(2\pi \cdot 728 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1})^2 \cdot (365 \cdot 10^{-12} \text{ As/V})} \approx 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ V·s/A (H)}$$

Die Spule muss für diesen Schwingkreis eine Induktivität von ca 131 µH aufweisen.

Rechenaufgabe 4

Berechne, um wie viel Prozent die Eigenfrequenz eines Schwingkreises größer wird, wenn man die Kapazität seines Kondensators um die Hälfte verringert.

Antwort:

Aus der Thomson'schen Formel folgt bei konstantem L :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow f \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$$

Wenn die Kapazität halbiert wird $C' = C/2$, dann gilt:

$$\frac{f'}{f} = \frac{1/\sqrt{C'}}{1/\sqrt{C}} = \sqrt{\frac{C}{C'}} = \sqrt{\frac{C}{C/2}} = \sqrt{2} \approx 1,414$$

Prozentuale Erhöhung: $\Delta\% \approx (1,414 - 1) \cdot 100\% \approx 41,4\%$

Die Eigenfrequenz des Schwingkreises erhöht sich um den Faktor $\sqrt{2}$, das bedeutet eine Erhöhung um etwa 41,4 %.