



Amateurfunk Prüfungsvorbereitung

Klasse A

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

Methodik und Hinweis auf mögliche Fehler

Die richtigen Lösungen zu den Prüfungsfragen sind aus dem Fragenkatalog bekannt, hier geht es nur um den Weg dorthin.

- Bei Rechenaufgaben bekommst Du einen hoffentlich hinreichend nachvollziehbaren Lösungsweg präsentiert, der Dir zeigt, wie Du auf den richtigen Wert kommst.
- Bei Wissensfragen in Textform bekommst Du eine Argumentation, warum die richtige Lösung richtig und die anderen Lösungsvorschläge falsch sind.
- Außerdem bekommst Du die Hintergrundinformationen, die Du benötigst, um die Wissens-/Textaufgaben lösen zu können. Dies kann in vielen Fällen ausreichend sein, hängt aber auch von Deinen persönlichen Kenntnissen in Mathematik und Physik ab.
- Dieses Lernmaterial kann einen Amateurfunk-Prüfungsvorbereitungskurs vor Ort oder Online und/oder ein Lehrbuch selbstverständlich nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

Die Unterlage wurden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Fehler sind jedoch nicht gänzlich auszuschließen ...

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

Überblick

Kapitel	Thema	Fragen	Anzahl
5.2.1	Leiter, Halbleiter und Isolator	AB101 – AA109	9
5.2.2	Strom- und Spannungsquellen	AB201 – AB214	14
5.2.3	Sinusförmige Signale	AB301 – AB303	3
5.2.4	Nichtsinusförmige Signale	AB401 – AB409	9
5.2.5	Ladung und Energie	AB501 – AB503	3
5.2.6	Der Stromkreis	AB601	1
Summe			39

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB101 Welchen Widerstand hat ein Kupferdraht etwa, wenn der verwendete Draht eine Länge von 1,8 m und einen Durchmesser von 0,2 mm hat?

- A 1,02 Ω
- B 56,0 Ω
- C 0,26 Ω
- D 0,16 Ω

Lösung / Rechenweg:

$$A_{DR} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \text{ und } R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Aufgabenstellung:

$$d = 0,2 \text{ mm}, l = 1,8 \text{ m}$$

$$\rho = 0,018 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m}$$

Spezifischer Widerstand in Ωmm ² /m	
Material	Wert
Kupfer	0,018

Einsetzen:

$$A_{DR} = \frac{0,2^2 \cdot \pi}{4} = 0,0314 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{0,018 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \cdot 1,8 \text{ m}}{0,0314 \text{ mm}^2} = 1,03 \Omega$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB102 Zwischen den Enden eines Kupferdrahtes mit einem Querschnitt von 0,5 mm² messen Sie einen Widerstand von 1,5 Ω. Wie lang ist der Draht etwa?

- A 41,7 m
- B 3,0 m
- C 4,2 m
- D 16,5 m

Lösung / Rechenweg:

$$A_{DR} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \text{ und } R = \frac{\rho \cdot l}{A}$$

Aufgabenstellung:

$$A_{DR} = 0,5 \text{ mm}^2 \text{ und } R = 1,5 \Omega$$

Spezifischer Widerstand in Ωmm ² /m	
Material	Wert
Kupfer	0,018

Einsetzen:

$$1,5 \Omega = \frac{0,018 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m} \cdot l}{0,5 \text{ mm}^2}$$

$$l = \frac{0,75 \Omega \text{ mm}^2}{0,018 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{m}} = 41,67 \text{ m} \approx 41,7 \text{ m}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator / Widerstand und Temperaturänderung

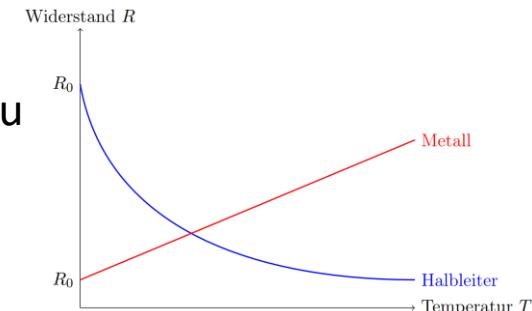
Steigende Temperatur in einem metallischen Leiter bedeutet:

- **Verstärkte atomare Bewegung**

Die Atome im Metallgitter oszillieren bei höheren Temperaturen mit größerer Energie und Auslenkung um ihre Gleichgewichtspositionen. Diese gesteigerte thermische Bewegung führt zu häufigeren und stärkeren Interaktionen zwischen den Gitteratomen und den frei beweglichen Elektronen.

- **Behinderung des Elektronenflusses**

Die verstärkten Gitterschwingungen wirken wie Hindernisse für die Bewegung der Leitungselektronen. Die Elektronen, die für den Stromfluss verantwortlich sind, kollidieren häufiger mit den stärker schwingenden Atomen. Dies resultiert in einer erhöhten Streuung der Elektronen.



Temperaturkoeffizient (α)

- beschreibt die relative Änderung des elektrischen Widerstands pro Kelvin Temperaturänderung – er gibt an, um wie viel Prozent sich der Widerstand bei einer Temperaturerhöhung um 1 Kelvin ändert.
- **$\alpha > 0$ Temperatur steigt und Widerstand steigt**
 $\alpha < 0$ Temperatur steigt und Widerstand sinkt

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB103 Wie ändert sich der Widerstand eines Metalls mit der Temperatur im Regelfall?

- A** Der Widerstand steigt mit zunehmender Temperatur, d. h. der Temperaturkoeffizient ist positiv.
- B** Der Widerstand sinkt mit zunehmender Temperatur, d. h. der Temperaturkoeffizient ist negativ.
- C** Der Widerstand ändert sich nicht mit zunehmender Temperatur, d. h. der Temperaturkoeffizient ist Null.
- D** Der Widerstand oszilliert mit zunehmender Temperatur, d. h. der Temperaturkoeffizient ist komplex.

Erklärung:

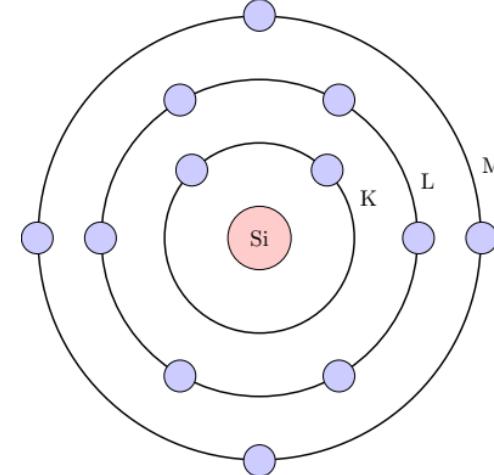
Siehe vorhergehende Folie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

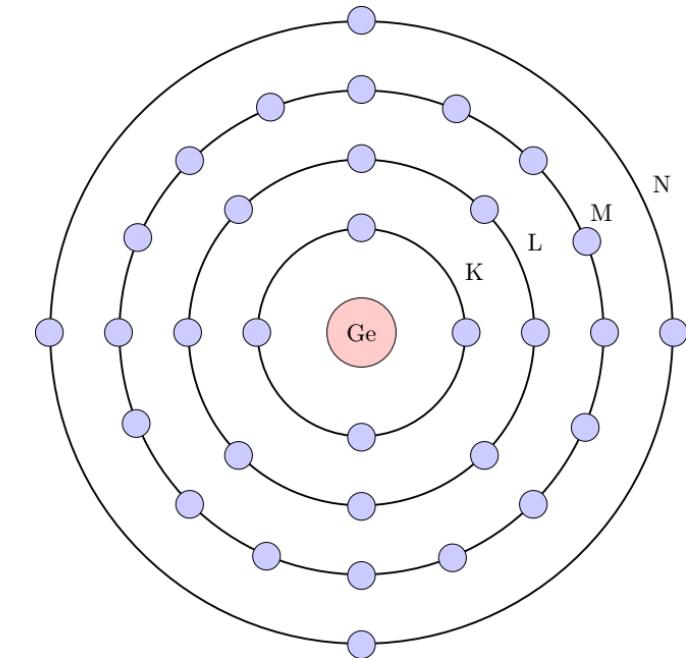
5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator / Aufbau von Halbleitern

Leiter	Halbleiter	Isolator
Viele freie Elektronen	Viel weniger freie Elektronen	Ganz wenig freie Elektronen

- Es gibt **Elementhalbleiter** wie **Silizium, Germanium und Selen**, aber auch **Verbindungshalbleiter** wie Galliumarsenid, Galliumphosphid, Indiumphospid oder Aluminiumgalliumarsenid.

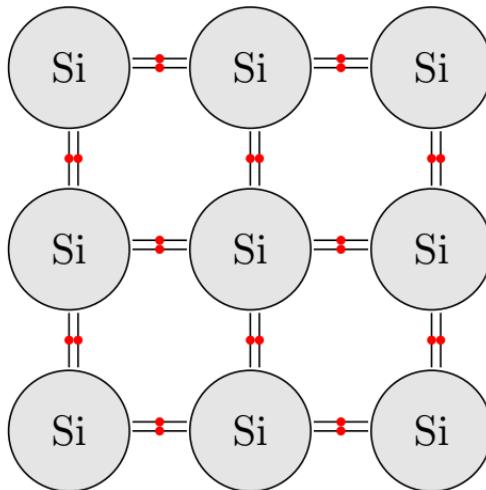
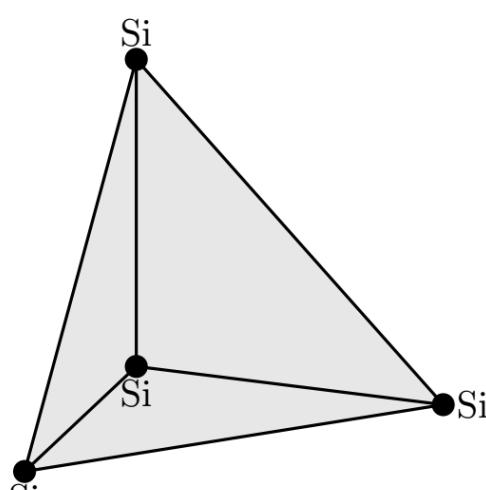


Si / Ge haben **jeweils 4 Elektronen** auf der äußersten „Schale“, die mit den Elektronen benachbarter Si / Ge Atome Bindungen aufbauen und so zur Bildung einer **Kristallstruktur** beitragen.



5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator / Aufbau von Halbleitern – Kristallstruktur und Widerstand

Kristallstruktur schematisch	Tatsächlich eine Tetraeder-Struktur	Hilfsmitteltabelle Spezifische Widerstände																				
		<p>Spezifischer Widerstand in $\Omega \text{mm}^2/\text{m}$</p> <table><thead><tr><th>Material</th><th>Wert</th></tr></thead><tbody><tr><td>Kupfer</td><td>0,018</td></tr><tr><td>Aluminium</td><td>0,028</td></tr><tr><td>Gold</td><td>0,022</td></tr><tr><td>Silber</td><td>0,016</td></tr><tr><td>Zinn</td><td>0,110</td></tr><tr><td>Eisen</td><td>0,100</td></tr><tr><td>Messing</td><td>0,070</td></tr><tr><td>Germanium</td><td>454.000,000</td></tr><tr><td>Silizium</td><td>625.000.000,000</td></tr></tbody></table>	Material	Wert	Kupfer	0,018	Aluminium	0,028	Gold	0,022	Silber	0,016	Zinn	0,110	Eisen	0,100	Messing	0,070	Germanium	454.000,000	Silizium	625.000.000,000
Material	Wert																					
Kupfer	0,018																					
Aluminium	0,028																					
Gold	0,022																					
Silber	0,016																					
Zinn	0,110																					
Eisen	0,100																					
Messing	0,070																					
Germanium	454.000,000																					
Silizium	625.000.000,000																					

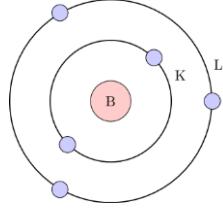
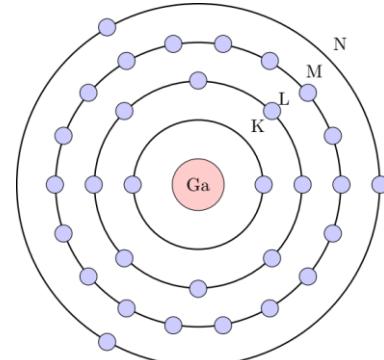
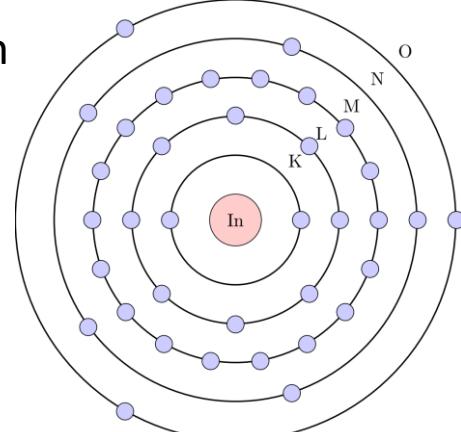
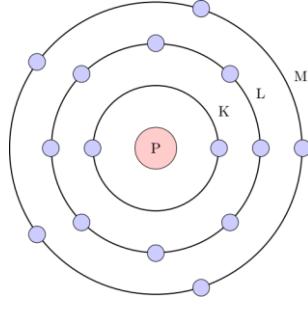
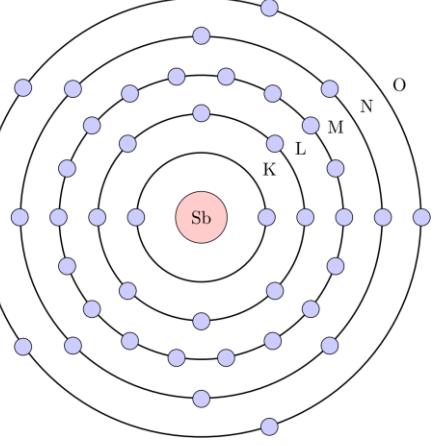
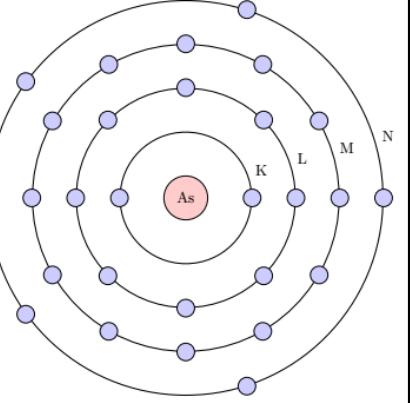
• Die Festigkeit dieser Bindungen ist die Ursache, warum **reines Silizium bei Raumtemperatur schlecht leitet** und technisch nicht verwendbar ist (**Isolator**).

• Bei Erwärmung sinkt der Widerstand, weil mehr Elektronen frei werden.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator / Dotierung von Halbleitern

Dotierung = Störstellenerstellung = Einbringen eines anderen Elements in die Kristallstruktur

P-Dotierung (3 Elektronen auf der Außenschale) (Si/Ge-1)	N-Dotierung (5 Elektronen auf der Außenschale) (Si/Ge+1)
 Bor  Gallium <p>Akzeptoren wie B, In, Ga bringen Löcher ein.</p>	 Indium  Phosphor  Antimon  Arsen <p>Donatoren wie P, As, Sb bringen freie Elektronen ein</p>

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator / Dotierung von Halbleitern

P-Dotierung (3 Elektronen auf der Außenschale) (Si/Ge-1)	N-Dotierung (5 Elektronen auf der Außenschale) (Si/Ge+1)
<p>The diagram illustrates the structure of a P-doped semiconductor. It shows a chain of silicon (Si) atoms, each with three electrons in its outermost shell (M shell). Between the Si atoms, there are two types of defects: 'Elektronenfehlstelle' (electron hole) and '„Loch“'. These defects are represented by a red circle with a dot and a red circle with a cross, respectively. The diagram also shows a boron (B) atom with only three electrons in its outer shell, which creates a positive charge center.</p>	<p>The diagram illustrates the structure of an N-doped semiconductor. It shows a chain of silicon (Si) atoms, each with five electrons in its outermost shell (M shell). A phosphorus (P) atom with five electrons in its outer shell is shown, creating a negative charge center. The diagram highlights a 'Freies Elektron' (free electron) as a red circle with a dot, indicating it has moved from its normal position.</p>

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB104 Was versteht man unter Halbleitermaterialien?

- A** Einige Stoffe (z. B. Silizium) sind in reinem Zustand bei Raumtemperatur gute Isolatoren. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen (z. B. Bor, Phosphor) oder bei hohen Temperaturen werden sie jedoch zu Leitern.
- B** Einige Stoffe (z. B. Silizium) sind in reinem Zustand bei Raumtemperatur gute Leiter. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen (z. B. Bor, Phosphor) oder bei hohen Temperaturen nimmt jedoch ihre Leitfähigkeit ab.
- C** Einige Stoffe (z. B. Silizium) sind in reinem Zustand bei Raumtemperatur gute Leiter. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen (z. B. Bismut, Tellur) fällt ihr Widerstand auf den halben Wert.
- D** Einige Stoffe (z. B. Silizium) sind in reinem Zustand bei Raumtemperatur gute Elektrolyten. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen (z. B. Bismut, Tellur) kann man daraus entweder N-leitendes- oder P-leitendes Material für Anoden bzw. Kathoden von Batterien herstellen.

Erklärung:

A:

Halbleiter sind bei Raumtemperatur gute Isolatoren. Bei Dotierung oder hohen Temperaturen werden sie zu Leiter – A ist korrekt.

B:

Silizium ist bei Raumtemperatur kein guter Leiter und durch Dotierung nimmt ihre Leitfähigkeit nicht ab, sondern zu.

C:

Silizium ist bei Raumtemperatur kein guter Leiter und Bismut und Tellur sind keine Dotierungsstoffe.

D:

Hier ist alles falsch. Anoden und Kathoden von Batterien haben nicht mit N- und P-Leitung zu tun. Ebenso die Elektrolyse.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB105 Was versteht man unter Dotierung?

- A** Das Einbringen von chemisch anderswertigen Fremdatomen in einen Halbleitergrundstoff, um freie Ladungsträger zur Verfügung zu stellen.
- B** Das Entfernen von Atomen aus dem Halbleitergrundstoff, um die elektrische Leitfähigkeit zu senken.
- C** Das Einbringen von magnetischen Nord- oder Südpolen in einen Halbleitergrundstoff, um die Induktivität zu erhöhen.
- D** Das Entfernen von Verunreinigungen aus einem Halbleitergrundstoff, um Elektronen zu generieren.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB106 N-leitendes Halbleitermaterial ist gekennzeichnet durch ...

- A einen Überschuss an beweglichen Elektronen.
- B ein Fehlen von Dotierungsatomen.
- C ein Fehlen von Atomen im Gitter des Halbleiterkristalls.
- D einen Überschuss an beweglichen Elektronenlöchern.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

AB107 P-leitendes Halbleitermaterial ist gekennzeichnet durch ...

- A einen Überschuss an beweglichen Elektronenlöchern.
- B ein Fehlen von Dotierungsatomen.
- C ein Fehlen von Atomen im Gitter des Halbleiterkristalls.
- D einen Überschuss an beweglichen Elektronen

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator / Aufbau einer P-N-Halbleiterdiode und Bildung einer Sperrsicht

Verarmungszone = Raumladungszone = Sperrsicht

- Entsteht am P-N-Übergang durch Diffusion von Ladungsträgern:
 - Elektronen aus N wandern nach P. Löcher aus P wandern nach N.
 - Grenze von N und P = Zone ohne freie Ladungsträger – die Verarmungszone.
- Zurückbleibende ortsfeste Ladungen der Dotierungsatome sorgen für ein elektrisches Feld. Dieses erzeugt eine Spannung, die den weiteren Ladungsträgerfluss verhindert.
- Betrieb in Sperrrichtung
→ Sperrsicht Vergrößerung, verhindert den Stromfluss.
- Betrieb in Durchlassrichtung
→ Sperrsicht Verkleinerung, ermöglicht den Stromfluss.
- Bei positiver Spannung am p-Kristall wird die Verarmungszone kleiner – bis zum Durchlass – die positive Spannung „zieht“ mehr, so dass Elektronen die Sperrsicht letztlich überwinden.
- **Bei negativer Spannung am p-Kristall erweitert sich die Verarmungszone – Sperren.**

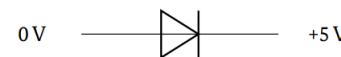
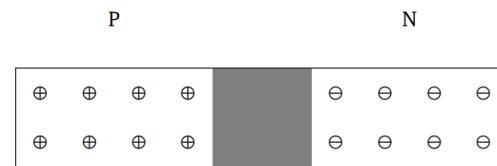


P	N	Verarmungszone	Funktion
+	-	Verengt	Durchlass
-	+	Erweitert	Sperren

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB109 Wie verhält sich die Verarmungszone in der hier dargestellten Halbleiterdiode?



Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

A Sie erweitert sich.

B Sie verengt sich.

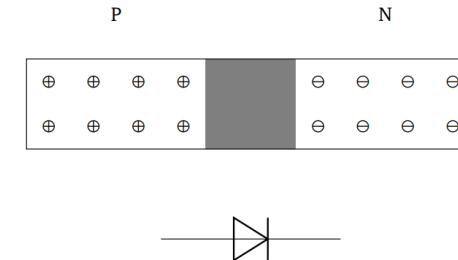
C Sie verändert sich nicht.

D Sie verschwindet

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

AB108 Das folgende Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Halbleiterdiode. Wie entsteht die Sperrsicht?



- A** An der Grenzschicht wandern Elektronen aus dem N-Teil in den P-Teil. Dadurch wird auf der N-Seite der Elektronenüberschuss teilweise abgebaut, auf der P-Seite der Elektronenmangel teilweise neutralisiert. Es bildet sich auf beiden Seiten der Grenzfläche eine isolierende Schicht.

B An der Grenzschicht wandern Elektronen aus dem P-Teil in den N-Teil. Dadurch wird auf der P-Seite der Elektronenüberschuss teilweise abgebaut, auf der N-Seite der Elektronenmangel teilweise neutralisiert. Es bildet sich auf beiden Seiten der Grenzfläche eine isolierende Schicht.

C An der Grenzschicht wandern Atome aus dem P-Teil in den N-Teil. Dadurch wird auf der P-Seite der Atommangel abgebaut, auf der N-Seite der Atommangel vergrößert. Es bildet sich auf beiden Seiten der Grenzfläche eine leitende Schicht.

D An der Grenzschicht wandern Atome aus dem N-Teil in den P-Teil. Dadurch wird auf der N-Seite der Atommangel abgebaut, auf der P-Seite der Atommangel vergrößert. Es bildet sich auf beiden Seiten der Grenzfläche eine leitende Schicht.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Spannung	Strom
<p>Gibt an, wieviel „Druck“ notwendig ist, um die Elektronen e^- zu bewegen</p> <p>Spannungsquellen:</p> <ul style="list-style-type: none">Plus-Pol = e^- Mangel, Minus-Pol = e^- ÜberschussJe größer die Elektronendifferenz, desto größer die Spannung.Einheit für die Spannung: Volt	<p>Entsteht durch Bewegung von Elektronen e^- im geschlossenen Stromkreis.</p> <ul style="list-style-type: none">Je mehr e^- pro Sekunde fließen, desto größer die StromstärkeEinheit für Strom: Ampere

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Spannungsquelle	Stromquelle
Beobachtung an einer realen Spannungsquelle (Batterie) <ul style="list-style-type: none">• Im Leerlauf misst man an den Klemmen die Nennspannung der Batterie.• Diese Klemmenspannung sinkt umso mehr, desto mehr Strom fließt. Erklärung: <ul style="list-style-type: none">• Die Batterie hat einen Innenwiderstand, an dem Spannung abfällt, wenn Strom fließt.• Innenwiderstand ist hier in Serie zur Spannungsquelle• Ohne Strom kein Abfall von Spannung am Innenwiderstand der Batterie, daher Nennspannung.	Beobachtung an einer realen Stromquelle (i.d.R. eine elektronische Schaltung) <ul style="list-style-type: none">• Laständerung führt zur Spannungs- und damit zur Stromänderung.• Kurzschlussstrom = Nennstrom• Steigende Spannung bedeutet sinkenden Strom. Der Stromquelle „kostet es mehr Aufwand“ gegen die hohe Spannung zu fließen. Erklärung und Sollzustand: <ul style="list-style-type: none">• Innenwiderstand ist hier parallel zur idealen Stromquelle• Stromänderung klein bei Spannungsänderung
Idealzustand: geringer Innenwiderstand Spannung soll bei Laständerung konstant bleiben.	Idealzustand: hoher Innenwiderstand Der Last soll ein konstanter Strom angeboten werden.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Die Stromquelle und ihr Innenwiderstand (hoch)	
<ul style="list-style-type: none">Konstante Stromabgabe Ein hoher Innenwiderstand ermöglicht es der Stromquelle, einen nahezu konstanten Strom zu liefern, unabhängig von der angeschlossenen Last bzw. Änderungen der Last. Dies ist besonders wichtig in Anwendungen, die einen präzisen und gleichbleibenden Strom benötigen.Spannungsanpassung Ein hoher Innenwiderstand erlaubt es der Stromquelle, sich an unterschiedliche Spannungsbedingungen anzupassen: Die Stromquelle kann die Spannung erhöhen oder senken, um den gewünschten Strom aufrechtzuerhalten. Dies ist nützlich bei variablen Lasten oder wenn die Stromquelle in verschiedenen Schaltungen eingesetzt wird.Minimierung von Stromverlusten Ein hoher Innenwiderstand reduziert unerwünschte Stromflüsse: Weniger Strom fließt durch den Innenwiderstand selbst ab. Dies erhöht die Effizienz der Stromquelle, da mehr Strom für die eigentliche Last zur Verfügung steht.	<ul style="list-style-type: none">Verhalten bei Leerlauf Bei offenem Stromkreis (Leerlauf) verhindert ein hoher Innenwiderstand einen übermäßigen Spannungsanstieg: Die Leerlaufspannung bleibt begrenzt, was Sicherheitsrisiken minimiert. Dies schützt sowohl die Stromquelle als auch angeschlossene Geräte vor Überspannungen.Stabilität bei Parallelschaltung Ein hoher Innenwiderstand erleichtert die Parallelschaltung mehrerer Stromquellen. Es verhindert unerwünschte Ausgleichsströme zwischen den Quellen. Dies ermöglicht eine gleichmäßigere Stromverteilung in komplexeren Schaltungen.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Die Spannungsquelle und ihr Innenwiderstand (niedrig)

- **Konstante Spannungsabgabe**

Ein niedriger Innenwiderstand ermöglicht es der Spannungsquelle, eine nahezu konstante Spannung zu liefern, unabhängig von der angeschlossenen Last.

Bei Änderungen des Laststroms bleibt die Klemmspannung weitgehend stabil. Dies ist besonders wichtig in Anwendungen, die eine präzise und gleichbleibende Spannung benötigen.

- **Minimierung des Spannungsabfalls**

Ein niedriger Innenwiderstand reduziert den Spannungsabfall innerhalb der Quelle.

Weniger Spannung fällt am Innenwiderstand selbst ab.

Dies erhöht die Effizienz der Spannungsquelle, da mehr Spannung für die eigentliche Last zur Verfügung steht.

- **Höhere Strombelastbarkeit**

Ein niedriger Innenwiderstand erlaubt es der Spannungsquelle, höhere Ströme zu liefern. Die maximale Stromstärke ist umso größer, je kleiner der Innenwiderstand der Quelle ist.

Dies ist wichtig für Anwendungen, die hohe Leistungen benötigen.

- **Stabilität bei Lastschwankungen**

Ein niedriger Innenwiderstand verbessert die Stabilität der Ausgangsspannung bei Lastschwankungen. Die Klemmspannung sinkt weniger stark ab, wenn der Laststrom zunimmt.

Dies ist besonders wichtig bei Anwendungen mit variablen Lasten.

- **Verbesserung der Energieeffizienz**

Ein niedriger Innenwiderstand verbessert die Energieeffizienz der Spannungsquelle.

Weniger Energie wird im Innenwiderstand in Wärme umgewandelt. Dies reduziert Verluste und erhöht die Gesamteffizienz des Systems.

- **In der Praxis ist ein niedriger Innenwiderstand besonders wichtig:**

- Batterien in Fahrzeugen, um genügend Strom für den Anlasser zu liefern.
- Elektronische Netzteile, um stabile Spannungen für empfindliche Geräte bereitzustellen.
- Energieversorgungssysteme, um Spannungseinbrüche bei hohen Lastströmen zu minimieren.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB201 Welche Eigenschaften sollten Strom- und Spannungsquellen nach Möglichkeit aufweisen?

A Stromquellen sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand und Spannungsquellen einen möglichst niedrigen Innenwiderstand haben.

B Strom- und Spannungsquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand haben.

C Strom- und Spannungsquellen sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.

D Stromquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand und Spannungsquellen einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Leistungsanpassung bedeutet:

- Die maximale Leistung wird von einer Quelle an einen Verbraucher übertragen

Bedingungen:

- Innenwiderstand der Quelle (R_i) ist gleich dem Lastwiderstand des Verbrauchers (R_L).
- Die Spannung teilt sich gleichmäßig zwischen Quelle und Verbraucher auf.
Am Verbraucher liegt die Hälfte der Leerlaufspannung U_0 an.
- Der Strom durch den Verbraucher (Laststrom) I_L beträgt die Hälfte des Kurzschlussstroms I_k
- Die Gesamtleistung wird gleichmäßig zwischen Quelle und Verbraucher aufgeteilt.
Jeweils 50% der Leistung werden in der Quelle und im Verbraucher umgesetzt.

Einschränkungen

Es ist wichtig zu beachten, dass Leistungsanpassung nicht immer die effizienteste Betriebsart ist:

- Der Wirkungsgrad beträgt nur 50%, da die Hälfte der Leistung in der Quelle "verheizt" wird
- Bei DC-Netzteilen und anderen Spannungsquellen ist dieser Zustand meist unerwünscht.

Insgesamt ein Kompromiss, bei dem die maximale Leistungsübertragung auf Kosten des Wirkungsgrads erreicht wird.

$$P_L = I^2 \cdot R_L = \left(\frac{U_0}{R_i + R_L} \right)^2 \cdot R_L$$

Gleich 0 setzen und nach R_L ableiten
ergibt Maximum bei $R_i = R_L$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB202 In welchem Zusammenhang müssen der Innenwiderstand R_i einer Strom- oder Spannungsquelle und ein direkt daran angeschlossener Lastwiderstand R_L stehen, damit Leistungsanpassung vorliegt?

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

A $R_L = R_i$

B $R_L \gg R_i$

C $R_L \ll R_i$

D $R_L = 1 / R_i$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Spannungsanpassung bedeutet:

- **Die maximale Spannung wird von einer Quelle an einen Verbraucher übertragen.**

Bedingungen:

- **Der Innenwiderstand der Quelle (R_i) ist deutlich kleiner als der Lastwiderstand des Verbrauchers (R_L).**
- Die Spannung am Verbraucher ist nahezu gleich der Leerlaufspannung der Quelle.
Es gibt nur einen sehr geringen Spannungsabfall am Innenwiderstand der Quelle.
- Der Strom durch den Verbraucher wird hauptsächlich durch den Lastwiderstand begrenzt, nicht durch den Innenwiderstand der Quelle.
- Die Klemmenspannung am Verbraucher bleibt auch bei Belastung weitgehend konstant.

Vorteile

- Hoher Wirkungsgrad: Bei Spannungsanpassung nähert sich der Wirkungsgrad 100%
- Geringe Verluste in der Quelle: Da der Innenwiderstand klein ist, wird nur wenig Leistung in der Quelle "verheizt".
- Stabile Spannung: Die Verbraucherspannung bleibt auch bei Lastschwankungen weitgehend konstant.

Ziel: möglichst stabile und verlustfreie Spannungsübertragung von der Quelle zum Verbraucher zu gewährleisten.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB203 In welchem Zusammenhang müssen der Innenwiderstand R_i einer Spannungsquelle und ein direkt daran angeschlossener Lastwiderstand R_L stehen, damit Spannungsanpassung vorliegt?

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

- A** $R_L \gg R_i$
- B** $R_L \ll R_i$
- C** $R_L = R_i$
- D** $R_L = 1 / R_i$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Stromanpassung bedeutet:

- **Der maximale elektrische Strom wird von einer Quelle an einen Verbraucher übertragen wird.**

Bedingungen:

- **Der Innenwiderstand der Quelle (R_i) ist deutlich größer als der Lastwiderstand des Verbrauchers (R_L).**
Mathematisch ausgedrückt: $R_L \ll R_i$.
- Der Strom durch den Verbraucher nähert sich dem maximal möglichen Strom der Quelle an.
- Die Spannung am Verbraucher ist deutlich geringer als die Leerlaufspannung der Quelle.
Der größte Teil der Spannung fällt am Innenwiderstand der Quelle ab.
- Der Stromfluss wird hauptsächlich durch den Innenwiderstand der Quelle begrenzt, nicht durch den Lastwiderstand des Verbrauchers.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">• Maximaler Stromfluss wird erreicht• Hoher Wirkungsgrad (nahe 100%) bei idealer Stromanpassung	<ul style="list-style-type: none">• Geringe Spannungsausnutzung am Verbraucher• Hohe Verlustleistung in der Quelle

Stromanpassung wird meist nicht angestrebt – eher Spannungs- oder Leistungsanpassung!

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB204 In welchem Zusammenhang müssen der Innenwiderstand R_i einer Stromquelle und ein direkt daran angeschlossener Lastwiderstand R_L stehen, damit Stromanpassung vorliegt?

A $R_L \ll R_i$

B $R_L \gg R_i$

C $R_L = R_i$

D $R_L = 1 / R_i$

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB205 Die Leerlaufspannung einer Spannungsquelle beträgt 5,0 V. Schließt man einen Belastungswiderstand mit $1,2 \Omega$ an, so geht die Klemmenspannung der Spannungsquelle auf 4,8 V zurück. Wie hoch ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

- A $0,05 \Omega$
- B $8,2 \Omega$
- C $0,17 \Omega$
- D $0,25 \Omega$

Rechenweg / Lösung:

Aufgabenstellung:

$$U_{Leer} = 5,0 \text{ V}$$

$$U_{Last} = 4,8 \text{ V}$$

$$R_{Last} = 1,2 \Omega$$

Strom, der durch den Lastwiderstand fließt:

$$I = \frac{U_{Last}}{R_{Last}} = \frac{4,8 \text{ V}}{1,2 \Omega} = 4 \text{ A}$$

Berechnung des Innenwiderstands:

$$R_i = \frac{U_{Leer} - U_{Last}}{I} = \frac{5,0 \text{ V} - 4,8 \text{ V}}{4 \text{ A}} = \frac{0,2 \text{ V}}{4 \text{ A}}$$

$$R_i = 0,05 \Omega$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB206 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 0,9 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 12,4 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

- A 1,22 Ω
- B 0,82 Ω
- C 0,99 Ω
- D 15,0 Ω

Rechenweg / Lösung:

Aufgabenstellung:

$$\begin{aligned}U_{Leer} &= 13,5 \text{ V} \\U_{Last} &= 12,4 \text{ V} \\I_{Last} &= 0,9 \text{ A}\end{aligned}$$

Berechnung des Innenwiderstands:

$$R_i = \frac{U_{Leer} - U_{Last}}{I} = \frac{13,5 \text{ V} - 12,4 \text{ V}}{0,9 \text{ A}} = \frac{1,1 \text{ V}}{0,9 \text{ A}}$$

$$R_i = 1,22 \Omega$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB207 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 2 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 13 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

- A 0,25 Ω
- B 6,75 Ω
- C 4 Ω
- D 1 Ω

Rechenweg / Lösung:

Aufgabenstellung:

$$\begin{aligned}U_{Leer} &= 13,5 \text{ V} \\U_{Last} &= 13,0 \text{ V} \\I_{Last} &= 2,0 \text{ A}\end{aligned}$$

Berechnung des Innenwiderstands:

$$R_i = \frac{U_{Leer} - U_{Last}}{I} = \frac{13,5 \text{ V} - 13,0 \text{ V}}{2,0 \text{ A}} = \frac{0,5 \text{ V}}{2 \text{ A}}$$

$$R_i = 0,25 \Omega$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB208 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,8 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 20 A abgibt, bleibt die Klemmenspannung auf 13,6 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

- A 10 mΩ
- B 20 mΩ
- C 0,2 Ω
- D 0,1 Ω

Rechenweg / Lösung:

Aufgabenstellung:

$$\begin{aligned}U_{Leer} &= 13,8 \text{ V} \\U_{Last} &= 13,6 \text{ V} \\I_{Last} &= 20 \text{ A}\end{aligned}$$

Berechnung des Innenwiderstands:

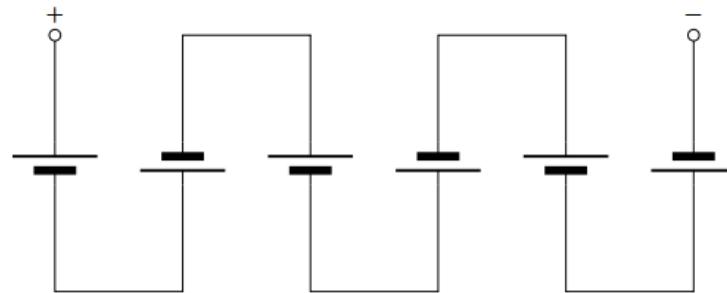
$$R_i = \frac{U_{Leer} - U_{Last}}{I} = \frac{13,8 \text{ V} - 13,6 \text{ V}}{20 \text{ A}}$$

$$R_i = \frac{0,2 \text{ V}}{20 \text{ A}} = 0,01 \Omega = 10 \text{ mΩ}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB209 Folgende Schaltung eines Akkus besteht aus Zellen von je 2 V. Jede Zelle kann 10 Ah Ladung liefern.
Welche Daten hat der Akku?



- A 12 V / 10 Ah
- B 12 V / 60 Ah
- C 2 V / 10 Ah
- D 2 V / 60 Ah

Erklärung:

Die Gesamtspannung der neuen Spannungsquelle entspricht der Summe der Einzelspannungen aller in Reihe geschalteten Akkus.

$$V_{ges} = 6 \cdot 2 V = 12 V$$

In der Reihenschaltung fließt der gleiche Strom durch alle Akkus.

Für die Ladung Q gilt:

$$Q = I \cdot t$$

Da I gleich bleibt, bleibt Q auch gleich:

$$Q = 10 Ah.$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

Nennkapazität eines Akkus

- Parameter, der angibt, wie viel elektrische Ladung ein Akku theoretisch speichern und liefern kann.

Einheiten

- Amperestunden (Ah)
- Milliamperestunden (mAh) bei kleineren Geräten wie Smartphones
- Selten auch in Amperesekunden (As) oder Coulomb (C)

Berechnung

Die Nennkapazität wird wie folgt berechnet: $Nennkapazität = Ladestrom in Ampere (I) \cdot Ladezeit in Stunden (t)$

Bedeutung und Anwendung

- Vergleichsmaßstab: Die Nennkapazität dient als standardisiertes Maß zum Vergleich verschiedener Akkumodelle.
- Laufzeitabschätzung: Sie gibt einen Anhaltspunkt, wie lange ein Gerät mit dem Akku betrieben werden kann.
- Idealbedingungen: Die Nennkapazität wird unter kontrollierten, optimalen Bedingungen gemessen, typischerweise bei einer festgelegten Entladerate und Temperatur.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

**AB210 Auf dem Akku-Pack eines Handfunkssprechgerätes stehen folgende Angaben: 7,4 V - 2200 mAh - 16,28 Wh.
Welcher Begriff ist für die Angabe 2200 mAh zutreffend?**

- A Nennkapazität**
- B Nennleistung
- C maximaler Ladestrom pro Stunde
- D maximaler Entladestrom pro Stunde

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB211 Wie lange könnte man idealerweise mit einem voll geladenen Akku mit 60 Ah einen Amateurfunkempfänger betreiben, bis dieser auf 10 % seiner Kapazität entladen ist und einen Strom von 0,8 A aufnimmt?

- A 67 Stunden und 30 Minuten
- B 43 Stunden und 12 Minuten
- C 74 Stunden und 60 Minuten
- D 48 Stunden und 0 Minuten

Rechenweg / Lösung:

$$Q = I \cdot t \quad \text{bzw.} \quad t = \frac{Q}{I}$$

Aufgabenstellung:

$$\begin{aligned}Q_{Nenn} &= 60 \text{ Ah} \quad (\text{Nennkapazität}) \\Q_{Rest} &= 6 \text{ Ah} \quad (\text{Restkapazität 10\%}) \\I &= 0,8 \text{ A} \quad (\text{Stromaufnahme})\end{aligned}$$

$$Q_{Nutz} = 54 \text{ Ah} \quad (\text{Verbrauchte Kapazität})$$

Einsetzen:

$$t = \frac{54 \text{ Ah}}{0,8 \text{ A}} = 67,5 \text{ h} = 67 \text{ Std. } 30 \text{ Min}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

AB212 Was ist die primäre Aufgabe einer Solarzelle?

- A Die Umwandlung von Strahlungsenergie in elektrische Energie.
- B Die Umwandlung von elektrischer Energie in Strahlungsenergie.
- C Die Umwandlung von Strahlungsenergie in thermische Energie.
- D Die Umwandlung von thermischer Energie in Strahlungsenergie

Erklärung:

A:

Solarzellen wandeln Strahlungsenergie in elektrische Energie um – A ist korrekt.

B:

Glühbirne, LED, Blitz – aber keine Solarzelle – B scheidet aus.

C:

Sonneneinstrahlung wärmt Flächen, Solarkollektor wärmt Wasser – aber keine Solarzelle – C scheidet aus.

D:

Glühendes Metall (Sichtbar und Infrarot), Glut im Grill – aber keine Solarzelle – D scheidet aus.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

**AB213 Ein Spannungswandler setzt 12 V auf 5 V um.
Er nimmt 2 A auf und gibt 3 A ab.
Wie groß ist sein Wirkungsgrad?**

A 62,5 %

B 160 %

C 27,7 %

D 41,7 %

Rechenweg / Lösung:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\text{Ausgangsleistung } P_{out}}{\text{Eingangsleistung } P_{in}}$$
$$P = U \cdot I$$

Eingangsleistung:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I_{in} = 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

Ausgangsleistung:

$$P_{out} = U_{out} \cdot I_{out} = 5 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 15 \text{ W}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \% = \frac{15 \text{ W}}{24 \text{ W}} \cdot 100 \% = 62,5 \%$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.2 Strom- und Spannungsquellen

**AB214 Ein Spannungswandler wandelt 5 V in 12 V um.
Dabei nimmt er 3 A auf und gibt 1 A ab.
Wie groß ist sein Wirkungsgrad?**

A 80,0 %

B 125 %

C 13,9 %

D 28,6 %

Rechenweg / Lösung:

$$\text{Wirkungsgrad } \eta = \frac{\text{Ausgangsleistung } P_{out}}{\text{Eingangsleistung } P_{in}}$$
$$P = U \cdot I$$

Eingangsleistung:

$$P_{in} = U_{in} \cdot I_{in} = 5 \text{ V} \cdot 3 \text{ A} = 15 \text{ W}$$

Ausgangsleistung:

$$P_{out} = U_{out} \cdot I_{out} = 12 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} = 12 \text{ W}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \% = \frac{12 \text{ W}}{15 \text{ W}} \cdot 100 \% = 80,0 \%$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.3 Sinusförmige Signale

AB301 Ein sinusförmiger Wechselstrom mit einer Amplitude I_{\max} von 0,5 Ampere fließt durch einen Widerstand von 20 Ω . Wieviel Leistung wird in Wärme umgesetzt?

A 2,5 W

B 5,0 W

C 10 W

D 3,5 W

Rechenweg / Lösung:

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{0,5 \text{ A}}{1,4142} = 0,353 \text{ A}$$

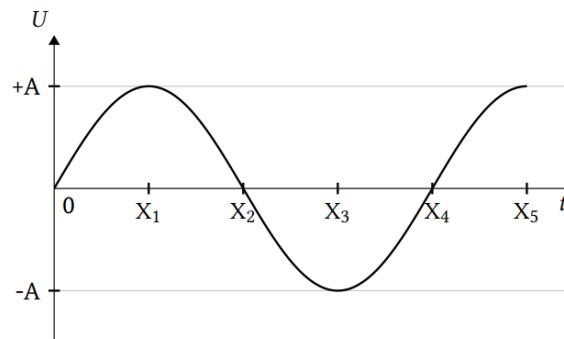
$$P = I_{eff}^2 \cdot R = (0,353 \text{ A})^2 \cdot 20 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

$$P = 2,492 \text{ VA} \approx 2,5 \text{ W}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.3 Sinusförmige Signale

AB302 Welche Antwort enthält die richtigen Phasenwinkel der dargestellten sinusförmigen Wechselspannung an der mit X_3 bezeichneten Stelle?



A $\frac{3\pi}{2}; 270^\circ$

B $\frac{\pi}{3}; 270^\circ$

C $3\pi; 180^\circ$

D $\frac{3\pi}{4}; 135^\circ$

Erklärung:

Die Punkte X_1 bis X_4 kennzeichnen 90° Drehungen um den Kreismittelpunkt.

- | | |
|-------------------------------------|-------|
| 0: Beginn der Schwingung | 0 |
| 90°: 1/4-Umdrehung oder Schwingung | X_1 |
| 180°: 1/2-Umdrehung oder Schwingung | X_2 |
| 270°: 3/4-Umdrehung oder Schwingung | X_3 |
| 360°: 1/1-Umdrehung oder Schwingung | X_4 |

Bogenmaß

Kreisumfang = 2π

d.h. 180° entspricht π

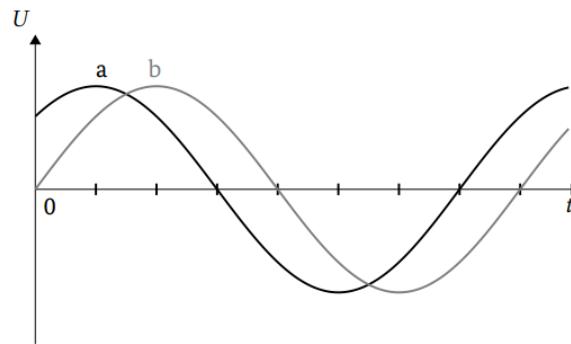
d.h. 90° entspricht $\pi / 2$

d.h. 270° entspricht $\pi + \pi / 2 = 3/2 \pi$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.3 Sinusförmige Signale

AB303 Der Betrag der Phasendifferenz zwischen den beiden in der Abbildung dargestellten Sinussignalen ist ...



- A 45°.
- B 0°.
- C 90°.
- D 180°.

Erklärung:

Sinuskurve b hat ihren 1. Nulldurchgang bei $t = 4$, d.h. bei 180° , d.h. eine Zeiteinheit stellt $180/4 = 45$ Grad dar.

Sinuskurve a hat ihren 1. Nulldurchgang bei $t = 3$.

Die beiden Sinuskurven sind um $\Delta t = 4 - 3 = 1$ verschoben.

Da eine Zeiteinheit 45° darstellt ist die Phasendifferenz = Phasenverschiebung der beiden Sinuskurven 45° .

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

Harmonische

- Eine Harmonische ist eine Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist.
- Die Grundschwingung selbst wird als erste Harmonische bezeichnet.
- D.h. spezielle Schwingungen, die in einem direkten mathematischen Verhältnis zu einer Grundschwingung stehen.

Frequenzverhältnisse

- Die erste Harmonische hat die gleiche Frequenz wie die Grundschwingung.
Die n-te Harmonische hat die n-fache Frequenz der Grundschwingung

$$\begin{aligned} f_1 &= f_0 \\ f_n &= n \cdot f_0 \end{aligned}$$

Bei einer Grundfrequenz von 50 Hz ergeben sich folgende Harmonische:

1. Harmonische: 50 Hz (Grundschwingung $f_0 = f_1$), 2. Harmonische: 100 Hz ($f_2 = 2 \cdot f_0$), 3. Harmonische: 150 Hz ($f_3 = 3 \cdot f_0$)

Praxisbedeutung

- In der Elektrotechnik können sie als Oberschwingungen auftreten und die Netzqualität beeinflussen.
In der Signalverarbeitung werden sie zur Analyse und Synthese von Signalen verwendet.
- In der Akustik und Musik bestimmen sie den Klang von Instrumenten.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB401 Was sind Harmonische?

A Harmonische sind die ganzzahligen (1, 2, 3, ...) Vielfachen einer Frequenz.

B Harmonische sind die ganzzahligen (1, 2, 3, ...) Teile einer Frequenz.

C Harmonische sind ausschließlich die ungeradzahligen (1, 3, 5, ...) Vielfachen einer Frequenz.

D Harmonische sind ausschließlich die geradzahligen (2, 4, 6, ...) Teile einer Frequenz

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB402 Die dritte Oberwelle entspricht ...

- A** der vierten Harmonischen.
- B** der dritten Harmonischen.
- C** der zweiten Harmonischen.
- D** der zweiten ungeradzahligen Harmonischen.

Erklärung:

Die Zählung der Harmonischen beginnt mit der Grundschwingung.

Oberwellen sind Harmonische oberhalb der Grundschwingung, d.h. die Zählung differiert um -1.

n-te Oberwelle = (n+1)-te Harmonische

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale / Nichtsinusförmige Signale als Summe von Sinus-/Cosinus-Signalen

Fourier-Analyse

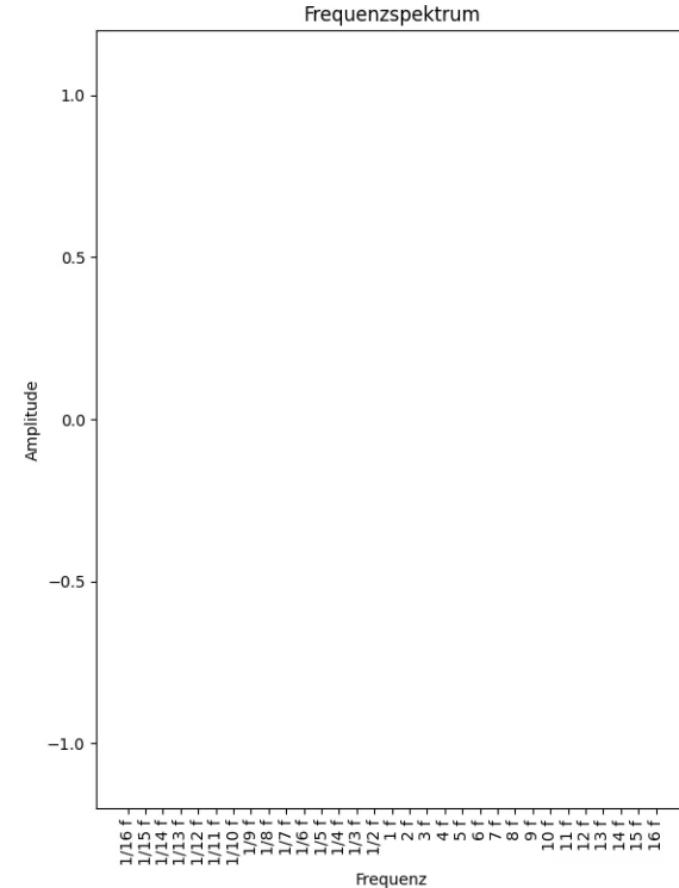
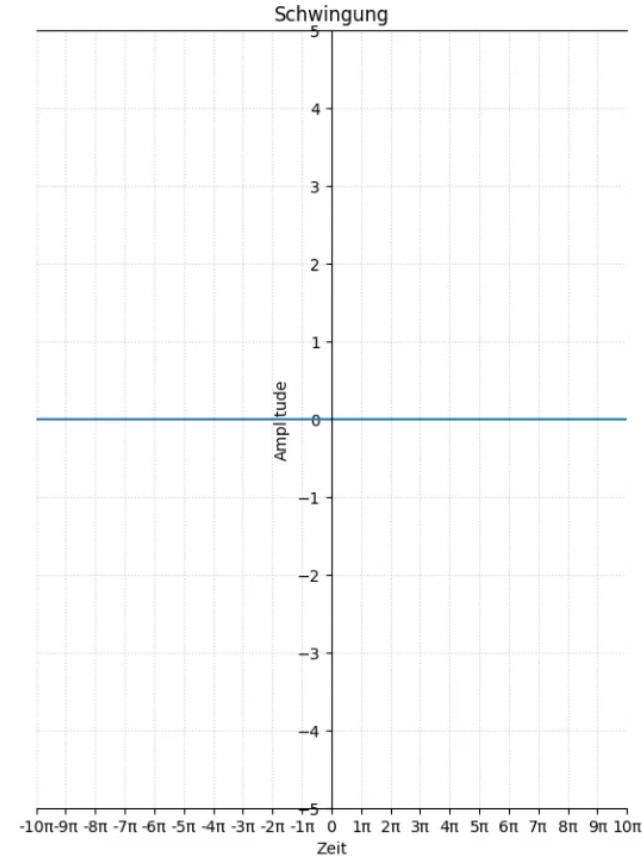
- ermöglicht es, nicht-sinusförmige periodische Signale als Summe von sinusförmigen Schwingungen darzustellen.
- **Jedes periodische Signal, egal wie komplex seine Form ist, kann als Überlagerung mehrerer Sinus-/Cosinuswellen beschrieben werden.**
 - Eine Sinuswelle mit der Grundfrequenz des Signals plus zusätzliche Sinus-/Cosinuswellen mit Frequenzen, die **ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz (und damit keine Bruchteile)** sind.
 - Die Grundschwingung gibt die Hauptform des Signals vor.
 - Die Oberwellen fügen feinere Details hinzu und formen das Signal genauer aus.
 - Jede Sinuswelle hat eine spezifische Amplitude und Phase.
- Diese Zerlegung ermöglicht es, komplexe Signalformen wie **Rechteck-, Dreieck- oder Sägezahnwellen** mathematisch zu beschreiben und zu analysieren.
- Durch die Überlagerung der Grundfrequenz mit ihren Oberwellen entsteht am Ende die gewünschte, nicht-sinusförmige Signalform.
- Für mathematisch Interessierte:

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad a_0, a_n, b_n \text{ sind die Fourier - Koeffizienten } (\mathbf{n \geq 1, d. h. keine Brüche})$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale / Eine kleine Übersicht

16 f	+0.00
15 f	+0.00
14 f	+0.00
13 f	+0.00
12 f	+0.00
11 f	+0.00
10 f	+0.00
9 f	+0.00
8 f	+0.00
7 f	+0.00
6 f	+0.00
5 f	+0.00
4 f	+0.00
3 f	+0.00
2 f	+0.00
1 f	+0.00
1/2 f	+0.00
1/3 f	+0.00
1/4 f	+0.00
1/5 f	+0.00
1/6 f	+0.00
1/7 f	+0.00
1/8 f	+0.00
1/9 f	+0.00
1/10 f	+0.00
1/11 f	+0.00
1/12 f	+0.00
1/13 f	+0.00
1/14 f	+0.00
1/15 f	+0.00
1/16 f	+0.00



Reset

Play

Sinus

Dreieck

Sägezahn fallend

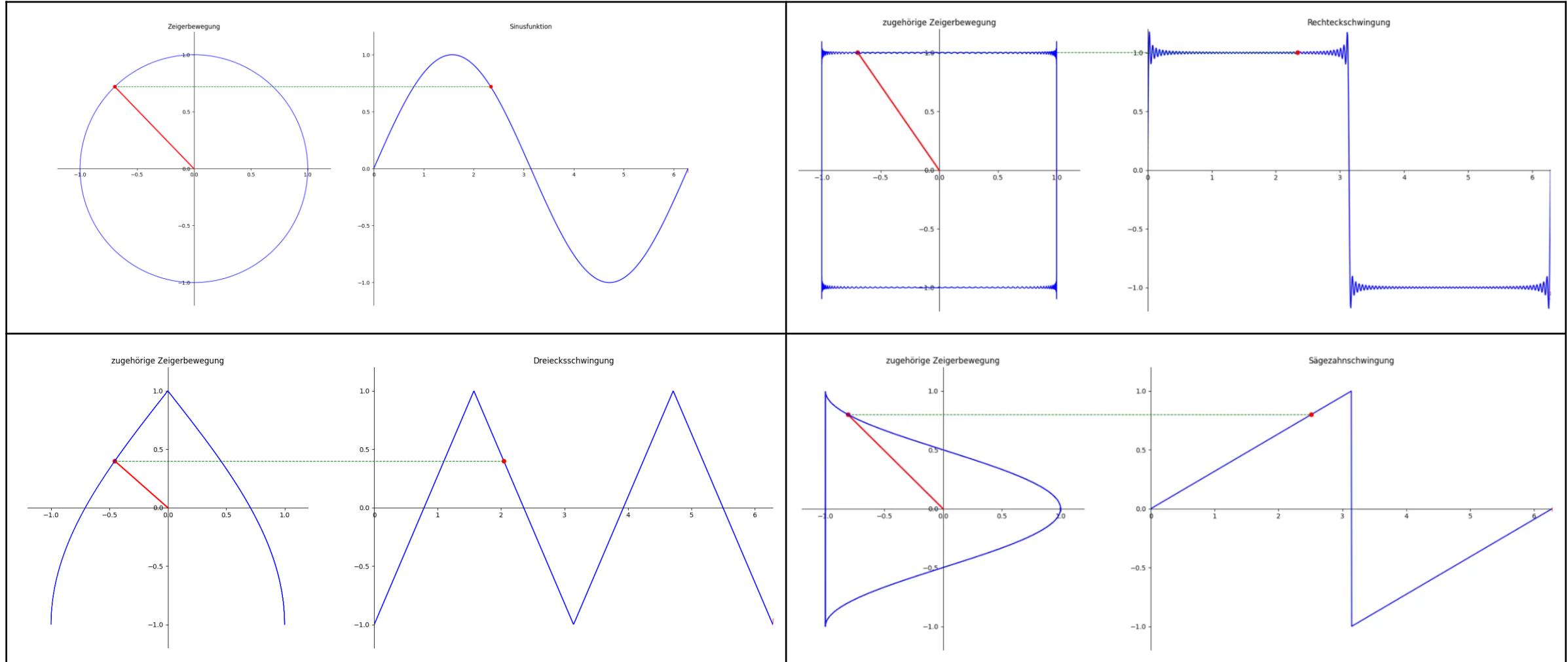
Sägezahn steigend

Rechteck

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale / Zeigerdarstellung* (nach Addition der Einzelzeiger)

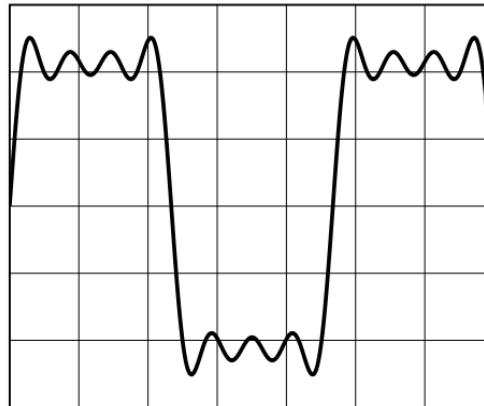
*Mathematisch natürlich nicht ganz korrekt, da eigentlich – außer bei der Sinuswelle – sehr viele Einzelzeiger beteiligt sind, um die Ergebnisfunktion zu erzeugen.



5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB403 Eine periodische Schwingung, die wie das folgende Signal aussieht, besteht ...



A aus der Grundschwingung mit ganzzahligen Vielfachen dieser Frequenz (Oberschwingungen).

B aus der Grundschwingung und Teilen dieser Frequenz (Unterschwingungen).

C aus der Grundschwingung ohne weitere Frequenzen.

D aus der Grundschwingung mit zufälligen Frequenzschwankungen.

Erklärung:

A:

Eigentlich ist die vorgegebene Antwort ungenau. Damit sie so aussieht, dürfen nur ungerade Oberschwingungen enthalten sein. A ist aber dennoch korrekt.

B:

Bruchteile (Unterschwingungen) spielen bei der Fourier-Analyse keine Rolle, nur ganzzahlige Vielfache – B scheidet aus.

C:

Eine Grundschwingung ohne weitere Frequenzen wäre eine Sinusschwingung (oder eine Cosinusschwingung) – C scheidet aus.

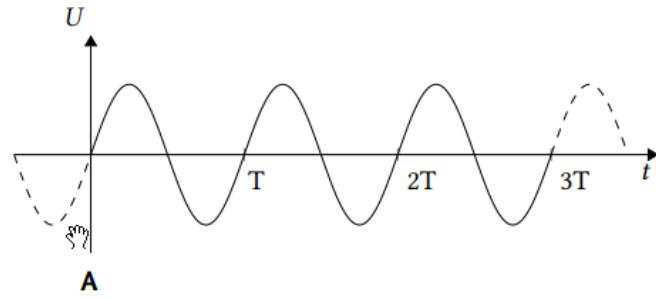
D:

Die Schwingung weiß Regelmäßigkeit auf, daher keine zufälligen Frequenzschwankungen – D scheidet aus.

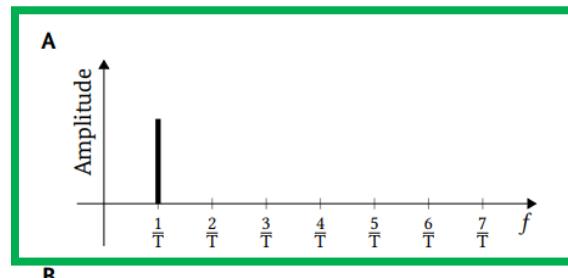
5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

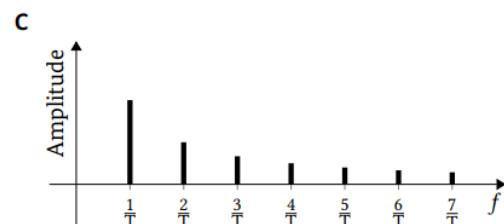
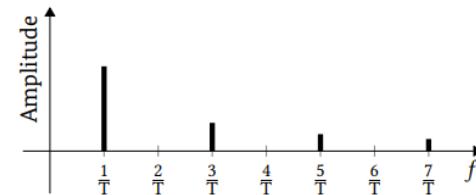
AB404 Welches Frequenzspektrum passt zu folgendem sinusförmigen Signal?



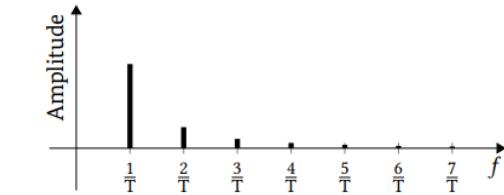
A



B



C



D

Erklärung:

A:

Dargestellt ist eine Sinuswelle.

Sinuswellen weisen keine Oberwellen-Anteile auf: $f = 2T = 3T = \dots = nT = 0$, d.h. im Frequenzspektrum sind keine Oberwellenanteile sichtbar – A ist korrekt.

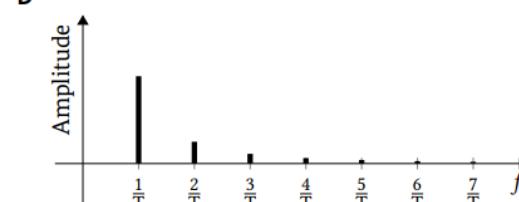
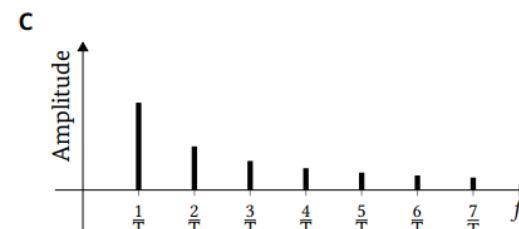
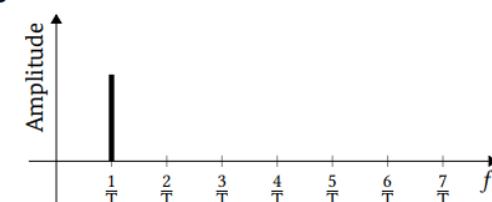
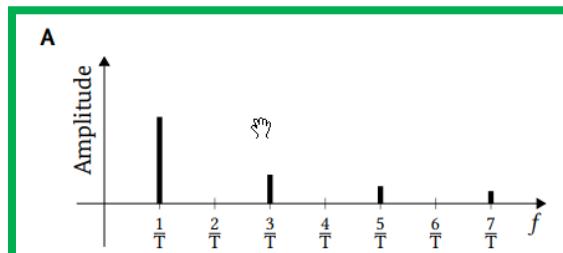
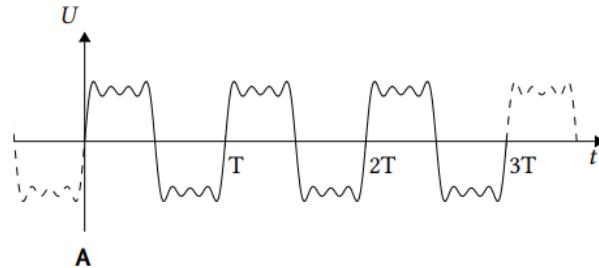
B, C, D:

Alle anderen Lösungsvorschläge enthalten Oberwellenanteile – B, C und D scheiden aus.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB405 Welches Frequenzspektrum passt zu folgendem periodischen Signal?



Erklärung:

A:

Frequenzspektrum einer Rechteckschwingung, die aus ungeraden Harmonischen besteht – A ist korrekt.

B:

Frequenzspektrum einer Sinuswelle, sie hat keine Oberwellen – B scheidet aus.

C:

Frequenzspektrum einer Sägezahnschwingung, es enthält sowohl gerade als auch ungerade Harmonische – C scheidet aus.

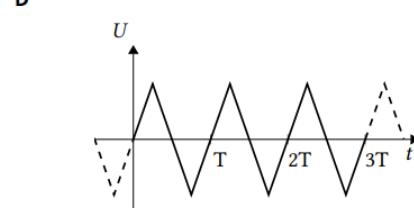
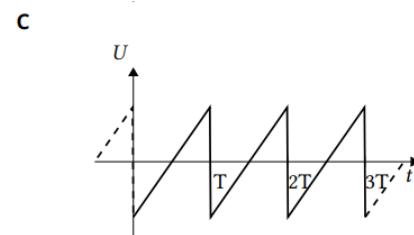
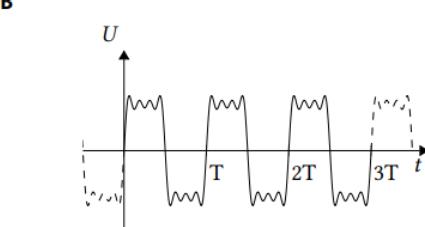
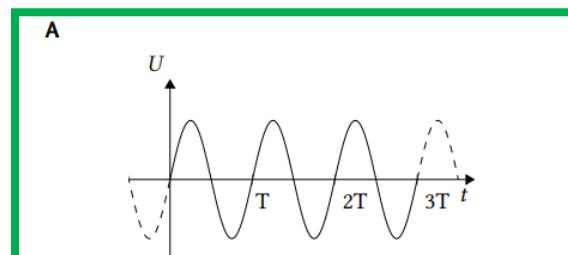
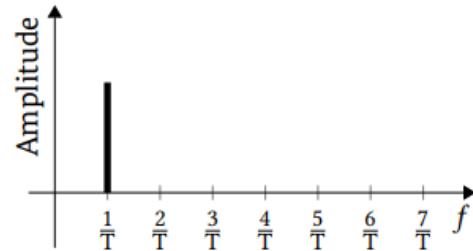
D:

Frequenzspektrum eines Rechteckpulses – D scheidet aus.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB406 Welches Signal passt zu folgendem Frequenzspektrum?



Erklärung:

A:

Dargestellt ist das Frequenzspektrum einer Sinuswelle, die keine Oberwellenanteile enthält – A ist korrekt.

B:

Rechteckschwingungen enthalten neben der Grundschwingung auch die ungeradzahligen Harmonischen. Amplitudenabnahme $1/n$.

C:

Sägezahnschwingungen enthalten neben der Grundschwingung sowohl geradzahlige als auch ungeradzahlige Harmonische.

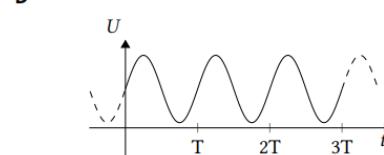
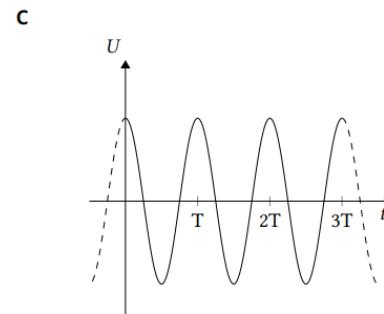
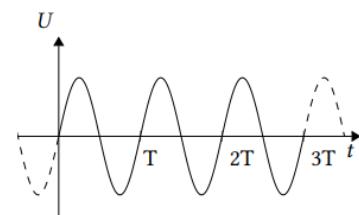
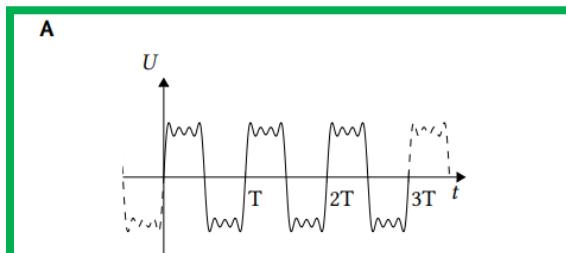
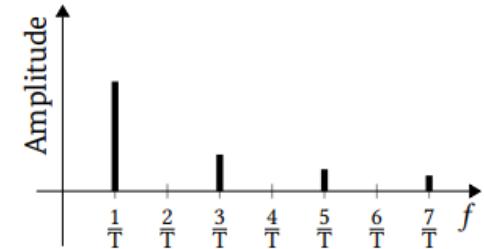
D:

Dreieckschwingungen enthalten neben der Grundschwingung auch die ungeradzahligen Harmonischen. Amplitudenabnahme $1/n^2$.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

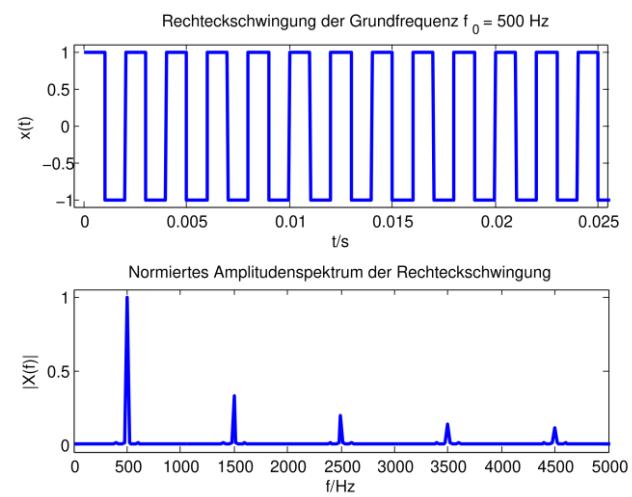
AB407 Welches Signal passt zu folgendem Frequenzspektrum?



Erklärung:

A:

Dargestellt ist das Frequenzspektrum einer periodischen Schwingung, die aus einer Grundschwingung mit ganzzahligen Vielfachen dieser Frequenz besteht (Oberschwingungen).

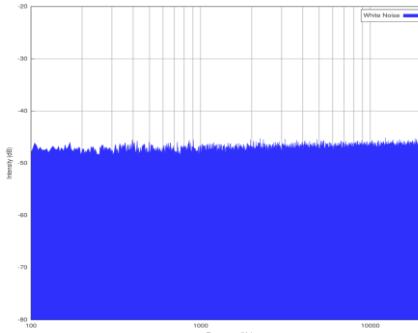


5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

Weißes Rauschen

- Signal konstanter Leistungsdichte über alle Frequenzen



Empfänger

- begrenzte Bandbreite B , die durch seine Filter bestimmt wird.
- verstärkt das eingehende Signal.
- fügt dem Signal eigenes Rauschen hinzu.

Weißes Rauschen + Empfänger

- Wegen konstanter Leistungsdichte über alle Frequenzen, wird die Gesamtleistung am Ausgang des Empfängers P von der Bandbreite des Empfängers bestimmt.
- Je breiter die Bandbreite des Empfängers, desto mehr Rauschleistung wird durchgelassen und gemessen.

Proportionalität bei weißem Rauschen

$$P \sim B, \text{ oder } P = k \cdot B \text{ mit:}$$

P = gemessenen Leistung

B = Bandbreite des Empfängers

k = Konstante

- abhängig von der Leistungsdichte des weißen Rauschens
- Verstärkung des Empfängers

Proportionalität ist unabhängig von der spezifischen Frequenz, auf die der Empfänger eingestellt ist, solange das eingespeiste Signal tatsächlich weißes Rauschen ist.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB408 Für Messzwecke speisen Sie in den Antenneneingang Ihres Empfängers ein gleichmäßig über alle Frequenzen verteiltes Rauschsignal aus einem Mess-Sender ein (weißes Rauschen). Welche Aussage über die Leistung, die man beim Empfang dieses Signals misst, stimmt?

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

- A** Sie ist proportional zur Bandbreite des Empfängers.
- B** Sie ist umgekehrt proportional zur Bandbreite des Empfängers.
- C** Sie ist proportional zum Signal-Rausch-Abstand des Empfängers
- D** Sie ist umgekehrt proportional zum Eingangswiderstand des Empfängers.

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.4 Nichtsinusförmige Signale

AB409 Wie verhält sich der Pegel des thermischen Rauschens am Empfängerausgang, wenn von einem Quarzfilter mit einer Bandbreite von 2,5 kHz auf ein Quarzfilter mit einer Bandbreite von 0,5 kHz mit gleicher Durchlassdämpfung und Flankensteilheit umgeschaltet wird?
Der Rauschleistungspegel ...

A verringert sich um etwa 7 dB.

B erhöht sich um etwa 7 dB.

C verringert sich um etwa 14 dB.

D erhöht sich um etwa 14 dB.

Thermische Rauschen = Johnson-Rauschen = Nyquist-Rauschen

- ist ein fundamentales Phänomen in elektronischen Systemen
- Die Rauschleistung ist direkt proportional zur Bandbreite des Systems.

Rechenweg / Lösung:

$$\frac{\text{Bandbreite neu}}{\text{Bandbreite alt}} = \frac{0,5 \text{ kHz}}{2,5 \text{ kHz}} = \frac{1}{5} = 0,2$$

Neue Bandbreite beträgt 20% der ursprünglichen Bandbreite.

Rauschleistung \sim Bandbreite

D.h. der Rauschleistungspegel wird ebenfalls auf 20% (0,2) des ursprünglichen Wertes verringert.

In Dezibel:

$$\text{Verringerung} = 10 \log_{10}(0,2) \approx 7 \text{ dB}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.5 Ladung und Energie

**AB501 Ein 12 V Akku hat eine Kapazität von 5 A h.
Welcher speicherbaren Energie entspricht das?**

- A 60,0 W h
- B 12,0 W h
- C 2,4 W h
- D 5,0 W h

Rechenweg / Lösung:

Für die Energie gilt:

$$E = U \cdot Q$$

E = Energie in Wattstunden (Wh)

U = Spannung in Volt (V)

Q = Kapazität in Amperestunden (Ah)

Aufgabenstellung:

$$U = 12 V, Q = 5 Ah$$

Einsetzen:

$$E = 12 V \cdot 5 Ah = 60 Wh$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.5 Ladung und Energie

AB502 Eine Stromversorgung nimmt bei einer Spannung von 230 V einen Strom von 0,63 A auf. Wieviel Energie wird bei einer Betriebsdauer von 7 Stunden umgesetzt?

A 1,01 kWh

B 0,14 kWh

C 2,56 kWh

D 20,7 kWh

Rechenweg / Lösung:

Für die Leistung P gilt:

$$P = U \cdot I$$

$$P = 230 \text{ V} \cdot 0,63 \text{ A} = 144,9 \text{ W}$$

Für die elektrische Energie E gilt:

$$E = P \cdot t$$

E = Energie in Wattstunden (Wh)

P = Leistung in Watt (W)

t = Zeit in Stunden (h)

$$E = 144,9 \text{ W} \cdot 7 \text{ h} = 1014,3 \text{ Wh}$$

$$E \approx 1,01 \text{ kWh}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.5 Ladung und Energie

AB503 Wie viel Energie wird vom Widerstand innerhalb einer Stunde in Wärme umgewandelt?



- A 1 Wh bzw. 3600 J
- B 2 Wh bzw. 7200 J
- C 0,1 Wh bzw. 360 J
- D 0,5 Wh bzw. 1800 J

Rechenweg / Lösung:

Berechnung des Stroms:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{10 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,1 \text{ A}$$

Berechnung der Leistung:

$$P = U \cdot I = 10 \text{ V} \cdot 0,1 \text{ A} = 1 \text{ W}$$

Berechnung der Energie:

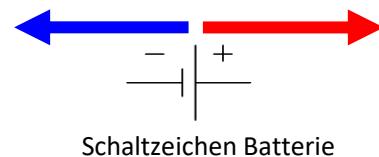
$$E = P \cdot t = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ Wh}$$

5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.6 Der Stromkreis – Physikalische und technische Stromrichtung

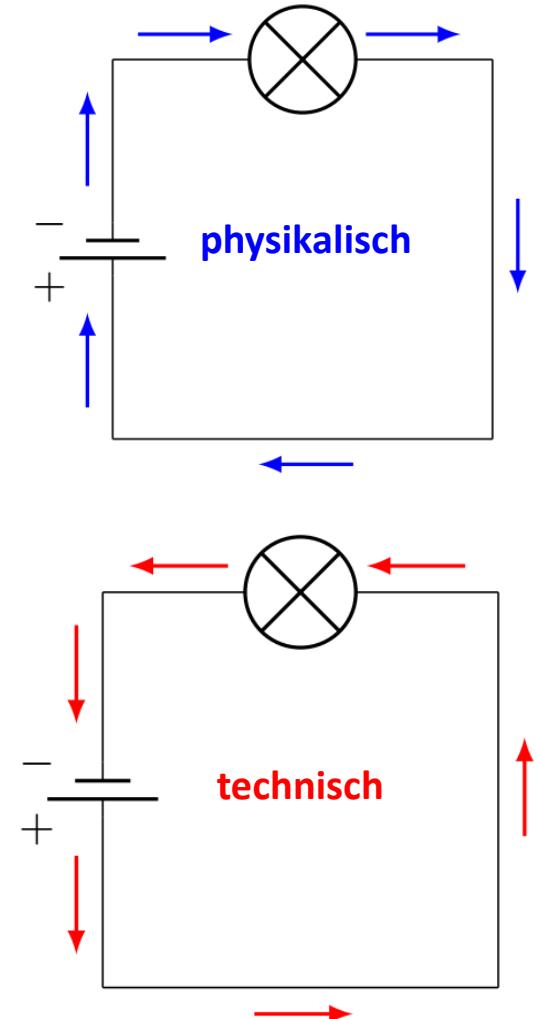
Physikalische Stromrichtung

- Beschreibt die tatsächliche Bewegung der Elektronen / negativer Ladungen
- Fließt vom Minuspol (-) zum Pluspol (+)
- Entspricht dem realen Elektronenfluss in einem Leiter



Technische Stromrichtung

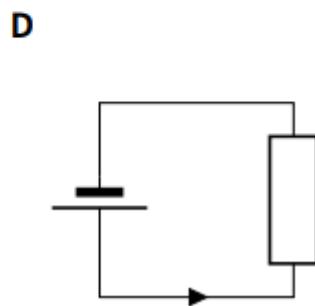
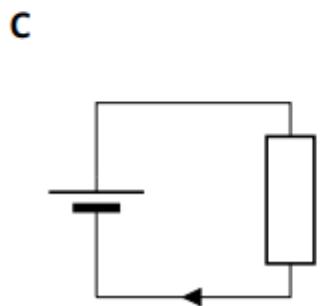
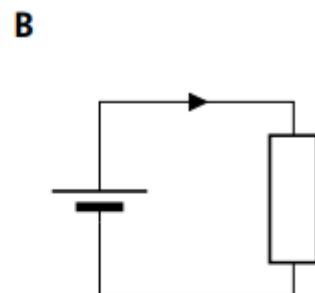
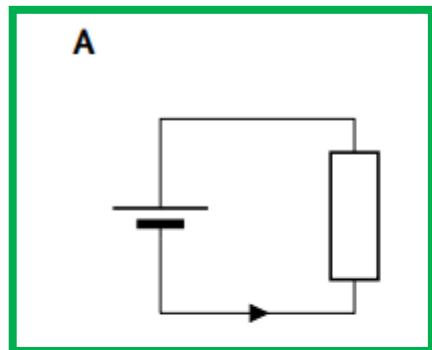
- Konventionelle Definition in der Elektrotechnik
- Fließt vom Pluspol (+) zum Minuspol (-)
- Wird in Schaltplänen, Berechnungen und bei Messgeräten verwendet
- Die technische Stromrichtung wurde historisch festgelegt, bevor der tatsächliche Elektronenfluss bekannt war
- Obwohl sie der physikalischen Realität widerspricht, wird sie aus Konventionsgründen in der Praxis weiterhin verwendet
- Für Berechnungen und das Verständnis elektrischer Schaltungen ist es wichtig, sich an die technische Stromrichtung zu halten, auch wenn sie nicht dem tatsächlichen Elektronenfluss entspricht



5.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

5.2.6 Der Stromkreis

AB601 Welches Bild zeigt die physikalische Stromrichtung korrekt an?



Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

A:

Der Pfeil zeigt nur bei A vom Minuspol der Batterie, d.h. vom kleinen Balken des Schaltzeichens weg. A ist korrekt.

B, C, D:

Der Pfeil zeigt vom Pluspol der Batterie weg, d.h. technische Stromrichtung – B, C und D scheiden aus.