DISCLAIMER

Diese Zusammenfassung basiert auf der Vorlesung «Elektrizitätslehre I» von M. Loeser.

Ich übernehme keine Haftung für mögliche Fehler in der Zusammenfassung. Bitte beachten Sie, dass diese Zusammenfassung unter Zuhilfenahme von Gemini Notebook erstellt wurde. Obwohl KI ein leistungsstarkes Werkzeug ist, kann sie technische Ungenauigkeiten oder sogenannte „Halluzinationen“ erzeugen. Darüber hinaus habe ich Abschnitte paraphrasiert und eigene Beobachtungen hinzugefügt, was weitere Fehlerquellen darstellen kann.

Urheberrecht & Inhaltlicher Hinweis: Dies ist eine inoffizielle Ressource; sie steht in keiner Verbindung zur ZHAW und wird von dieser nicht unterstützt. Da diese Notizen mit Hilfe von KI erstellt wurden, kann ich nicht garantieren, dass alle Inhalte ausreichend umformuliert wurden. Einige Abschnitte können den ursprünglichen Präsentationsfolien oder Skripten stark ähneln oder diese direkt zitieren. Alle geistigen Eigentumsrechte am ursprünglichen Kursinhalt verbleiben bei den jeweiligen Autoren der ZHAW.

Hinweis für Rechteinhaber: Dieses Dokument wird ausschliesslich zu Bildungszwecken geteilt. Wenn Sie Rechteinhaber sind und der Aufnahme bestimmter Inhalte widersprechen, kontaktieren Sie mich bitte, und ich werde diese umgehend entfernen.

Sofern nicht anders angegeben, wurden alle Grafiken persönlich erstellt.

Fehler können per E-Mail an ruhjir01@students.zhaw.ch gemeldet werden.

Jirayu Ruh

04. November 2026

ZP Elektrizitätslehre I

von J. Ruh, Fehler bitte an ruhjir01@students.zhaw.ch

Grundlagen

SI-Basiseinheiten

Die 7 SI-Basiseinheiten bilden das Fundament. In der Elektrotechnik relevant: Meter (m), Masse (kg), Zeit (s), Stromstärke (A).

- **Ladung** $[Q] = C = A \cdot s$
- **Kraft** $[F] = N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$
- **Energie/Arbeit** $[W] = J = N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
- **Leistung** $[P] = W = \frac{J}{s} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$
- **Spannung** $[U] = V = \frac{J}{C} = \frac{kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}}{A \cdot s} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
- **Widerstand** $[R] = \Omega = \frac{V}{A} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$

Wichtige Umrechnungen & Formeln

- **Driftgeschwindigkeit:** $v_D = 1\frac{mm}{s} = 1 \cdot 10^{-3}\frac{m}{s} \quad v_D = 1\frac{cm}{s} = 3600\frac{cm}{h}$
- **Drehzahl & Umlaufdauer:** $f = \frac{n}{60}\ \text{Hz} \quad T = \frac{1}{f} = \frac{60}{n} \quad [s]$
- **Dichte-Umrechnung:** $1\frac{g}{cm^3} = 1000\frac{kg}{m^3} = 1\frac{t}{m^3}$
- Energie Umrechnung: $1kWh = 3.6MJ$

Akkumulator & Ladungsspeicher

Kapazität, Entladung & Ladung

Die Kapazität von Akkumulatoren: $1\ \text{Ah} = 1\ \text{A}\ c \cdot 3600\ \text{s} = 3600\ \text{As} = 3600\ \text{C}$

Kernformeln Akkumulator

- **Gleichförmiger Strom:** $Q = I \cdot t \Rightarrow t = \frac{Q}{I}$
- **Gespeicherte Energie:** $W = Q \cdot U = P \cdot t \quad [J = \text{Ws}]$
- **Leistung an Last:** $P = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$
- **Ohm'sches Gesetz:** $R = \frac{U}{I}$

Beispielaufgabe: Akku-Bilanz

Gegeben: Akku mit $Q_{\text{ges}} = 40\ \text{Ah}$, $U = 12\ \text{V}$ (konstant).

1. **Entladung auf 90% Restentladung:** $Q_{\text{entladen}} = 0.90 \cdot 40\ \text{Ah} = 36\ \text{Ah}$.
   - Phase 1: $I_1 = 4\ \text{A}$ für $t_1 = 3\ \text{h} \Rightarrow Q_1 = 12\ \text{Ah}$.
   - Phase 2: Rest $Q_2 = 36 - 12 = 24\ \text{Ah}$ bei $I_2 = 3\ \text{A}$: $t_2 = \frac{Q_2}{I_2} = \frac{24}{3} = 8\ \text{h}$.
   - **Gesamtzeit Entladung:** $t_{\text{ges}} = 3\ \text{h} + 8\ \text{h} = 11\ \text{h}$.
2. **Wiederaufladen:** Mit $I_{\text{lade}} = 2\ \text{A} \Rightarrow t_{\text{lade}} = 36\frac{\text{Ah}}{2}\ \text{A} = 18\ \text{h}$.
3. **Gespeicherte Energie im vollen Akku:** $W = 40\ \text{Ah} \cdot 12\ \text{V} = 480\ \text{Wh} = 480 \cdot 3600\ \text{J} = 1.728\ \text{MJ}$.
4. **Lastbetrieb (6 A):** $P = 12\ \text{V} \cdot 6\ \text{A} = 72\ \text{W}$, $R = 12\frac{\text{V}}{6}\ \text{A} = 2\Omega$.

Elektrischer Strom & Mikroskopie

Makroskopische & Mikroskopische Beschreibung

- **Makroskopischer Strom:** $I(t) = \frac{dQ}{dt} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
- **Elektronenanzahl:** $N_e = \frac{Q}{e}$
- **Elektronenstrom pro Sekunde:** $\dot{N}_e = \frac{I}{e}$

Mikroskopisches Strommodell

Stromdichte j und v_D: $j = \frac{I}{A} = n \cdot e \cdot v_D \Rightarrow v_D = \frac{I}{n \cdot e \cdot A}$

- n: Ladungsträgerdichte (Anzahl freier e^- pro m^3)
- A: Querschnittsfläche

Berechnungsbeispiele Driftgeschwindigkeit

1. **Kupferdraht** $(A = 1.5\text{mm}^2 = 1.5 \cdot 10^{-6}\text{m}^2,\ I = 10\ \text{A})$: Ladungsdichte $n_{\text{Cu}} \approx 8 \cdot 10^{28}\text{m}^{-3}$. $v_D = \frac{10}{8 \cdot 10^{28} \cdot 1.6022 \cdot 10^{-19} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}} \approx 5.20 \cdot 10^{-4}\ \text{m/s} \Rightarrow v_D \approx 0.520\ \text{mm/s} \approx 1.87\ \text{m/h}$.
2. **Platindraht** $(d = 0.4\ \text{mm} \Rightarrow r = 0.2\ \text{mm},\ I = 6\ \text{A})$: $A = pi \cdot (0.2 \cdot 10^{-3})^2 \approx 1.257 \cdot 10^{-7}\text{m}^2$. $n_{\text{Pt}} = 6.6 \cdot 10^{22}\text{cm}^{-3} = 6.6 \cdot 10^{28}\text{m}^{-3}$. $v_D = \frac{6}{6.6 \cdot 10^{28} \cdot 1.6022 \cdot 10^{-19} \cdot 1.257 \cdot 10^{-7}} \approx 4.51 \cdot 10^{-3}\ \text{m/s} \quad \Rightarrow v_D \approx 4.51\ \text{mm/s} \approx 16.2\ \text{m/h}$.

Energieerhaltung & Teilchenbeschleunigung

Beschleunigung im elektrischen Feld

Ein Ladungsträger (z. B. Elektron) im E-Feld wandelt elektrische potentielle Energie vollständig in kinetische Energie um (ohne Stöße im Vakuum).

Energiebilanz im Feld

$$W_{\text{el}} = e \cdot U = W_k = \frac{1}{2}m_e v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot U}{m_e}}$$

- m_e: (Elektronenmasse)
- e: (Elementarladung)
- U: Beschleunigungsspannung in Volt (V)

Beispielaufgabe: Elektronenkanone

Gegeben: $U = 1.0\ \text{kV} = 1000\ \text{V}$, Start aus Ruhe. $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6022 \cdot 10^{-19} \cdot 1000}{9.1094 \cdot 10^{-31}}} \approx 1.876 \cdot 10^7\ \text{m/s}$

- **Relativitäts-Check:** $c \approx 3 \cdot 10^8\ \text{m/s} \Rightarrow \frac{v}{c} \approx 6.25\% < 10\%$.
- **Ergebnis:** Nicht-relativistische Rechnung ist exakt gültig!

Ohm'sches Gesetz & Kennlinien

Widerstandsbestimmung aus $U - I$-Kennlinien

Das Ohm'sche Gesetz lautet $U = R \cdot I \Rightarrow R = \frac{U}{I}$.

In einem $U - I$-Diagramm entspricht der Widerstand der reziproken Steigung.

Beispiel

- **Widerstand a:** $R_a = \frac{10\ \text{V}}{0.5\ \text{A}} = 20\Omega$
- **Widerstand b:** $R_b = \frac{50\ \text{V}}{0.5\ \text{A}} = 100\Omega$
- **Widerstand c:** $R_c = \frac{50\ \text{V}}{0.2\ \text{A}} = 250\Omega$

Geometrisches Widerstandsgesetz & Stromdichte

Grundformeln

Der Widerstand eines homogenen Leiters hängt von Länge L, Querschnittsfläche A und Material $\left(\rho \text{ bzw. } \sigma = \frac{1}{\rho}\right)$ ab:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} = \frac{L}{\sigma \cdot A} \quad \text{mit} \quad [\rho] = \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}, [\sigma] = \frac{S}{m}$$

Maximalstrom & Geometrievergleich

Bei maximal zulässiger Stromdichte $j_{\max}$ gilt $I_{\max} = j_{\max} \cdot A$:

- **Quadratischer Leiter (Kante a):** $A_1 = a^2 \Rightarrow I_{\max,1} = j_{\max} \cdot a^2$
- **Kreisförmiger Leiter:** $A_2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 \Rightarrow I_{\max,2} = j_{\max} \cdot \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2$
- **Verhältnis der Ströme:** $\frac{I_{\max,1}}{I_{\max,2}} = \frac{a^2}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{4a^2}{\pi d^2}$

Bedingung für gleiche Widerstände ($R_1 = R_2$)

$$\frac{L}{\sigma_1 a^2} = \frac{L}{\sigma_2 \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2} \Rightarrow \frac{d}{a} = \sqrt{\frac{4\sigma_1}{\pi\sigma_2}}$$

Temperaturabhängigkeit des Widerstands

Lineares Temperaturmodell

Für Metalle steigt der Widerstand mit der Temperatur ϑ:

$$R(\vartheta) = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta - 20^\circ\text{C})] = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T)$$

- R_{20}: Widerstand bei Raumtemperatur ($20^\circ\text{C}\}$)
- α_{20}: Temperaturkoeffizient bei $20^\circ\text{C}\}$

Transformatorwicklung (Kupfer)

- Bei $\vartheta_1 = 15^\circ\text{C}$ ($\Delta T = -5\ \text{K}\}$): $R_{\{15\}} = 18.00\Omega$.

$$R_{\{20\}} = \frac{R_{\{15\}}}{1 + \alpha_{\{20\}} \cdot (-5)} = \frac{18.00}{1 - 0.0195} \approx 18.36\Omega.$$

- Im Betrieb: $R_{\text{warm}} = 23.50\Omega$.

$$\Delta T = \frac{\frac{R_{\text{warm}}}{R_{20}} - 1}{\alpha_{20}} = \frac{\frac{23.50}{18.36} - 1}{3.9 \cdot 10^{-3}} \approx 71.78 \text{ K}.$$

- **Betriebstemperatur:** $\vartheta_W = 20^\circ\text{C} + 71.78^\circ\text{C} = 91.78^\circ\text{C}$.

Magnetspule (Aluminium)

- $R_{20} = 50.0\Omega$, Erwärmung von 20°C auf 70°C ($\Delta T = 50$ K).
- $R_{70} = R_{20} \cdot (1 + \alpha_{20} \cdot 50) = 50.0 \cdot (1 + 0.1885) = 59.4\Omega$.

Allgemeine Kennwerte & Sonderfälle

- **Widerstand bei 0°C:** $R_0 = R_{20} \cdot (1 - 20 \cdot \alpha_{20})$
- **Temperatur für Verdopplung ($R(\vartheta) = 2R_{\{20\}}$):**

$$1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T = 2 \Rightarrow \Delta T = \frac{1}{\alpha_{\{20\}}} \Rightarrow \vartheta = 20^\circ\text{C} + \frac{1}{\alpha_{20}}$$

Reale Spannungsquelle (EZS)

Grundlagen & Ersatzschaltbild

Quellenspannung U_0 in Serie mit Innenwiderstand R_i

Grundgleichungen der Spannungsquelle

- **Klemmenbeziehung:** $U(I) = U_0 - R_i \cdot I$
- **Leerlaufspannung ($I = 0$):** $U_0 = U_{\text{LL}}$
- **Kurzschlussstrom ($U = 0$):** $I_{\text{KS}} = \frac{U_0}{R_i}$
- **Innenwiderstand:** $R_i = \frac{U_0 - U}{I} = \frac{|\Delta U|}{|\Delta I|} = \frac{U_0}{I_{\text{KS}}}$

Beispielaufgabe: Kennlinien-Analyse

Gegeben: $U - I$-Kennlinie verläuft durch die Punkte $(0\text{ A}, 15\text{ V})$ und $(10\text{ A}, 10\text{ V})$.

1. **Leerlaufspannung:** $U_0 = 15$ V (Schnittpunkt mit der U-Achse).
2. **Innenwiderstand:** $R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{15\text{ V} - 10\text{ V}}{10\text{ A} - 0\text{ A}} = \frac{5\text{ V}}{10\text{ A}} = 0.5\Omega$.
3. **Kurzschlussstrom:** $I_{\text{KS}} = \frac{U_0}{R_i} = \frac{15\text{ V}}{0.5\Omega} = 30$ A.

Reale Stromquelle & Quellen-Transformation

Reale Stromquelle (Parallelmodell)

Ideale Stromquelle I_0 und parallelgeschalteten Innenwiderstand R_i:

$$I(U) = I_0 - \frac{U}{R_i} \quad \Leftrightarrow \quad U(I) = (I_0 - I) \cdot R_i$$

Äquivalenz von Spannungs- & Stromquelle

Beide Modelle verhalten sich an den äusseren Klemmen völlig identisch, wenn gilt:

$$R_{i,\text{ Spannung}} = R_{i,\text{ Strom}} = R_i \quad \text{und} \quad U_0 = R_i \cdot I_0$$

Beispielaufgabe: Quell-Charakterisierung

Gegeben: Messung mit 2 verschiedenen Lastwiderständen:

- Last 1: $U_1 = 8$ V, $I_1 = 20$ mA $= 0.02$ A
- Last 2: $U_2 = 1$ V, $I_2 = 90$ mA $= 0.09$ A

1. **Innenwiderstand:**

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{8\text{ V} - 1\text{ V}}{0.09\text{ A} - 0.02\text{ A}} = \frac{7\text{ V}}{0.07\text{ A}} = 100\Omega.$$

2. **Eingeprägter Strom I_0:**

$$I_0 = I_1 + \frac{U_1}{R_i} = 20\text{ mA} + \frac{8\text{ V}}{100\Omega} = 20\text{ mA} + 80\text{ mA} = 100\text{ mA}.$$

3. **Leerlaufspannung U_0:**

$$U_0 = R_i \cdot I_0 = 100\Omega \cdot 0.1\text{ A} = 10\text{ V}.$$

Arbeitspunkt von Ladeschaltungen

Zusammenschaltung zweier aktiver Zweipole

Bei der Verbindung zweier Quellen (z. B. Ladegerät lädt Akkumulator) stellt sich ein eindeutiger **Arbeitspunkt (AP)** an den Klemmen ein.

Systemgleichungen beim Ladevorgang«)[

- **Ladegerät (Quelle im EZS):** $U_{\text{LG}}(I) = U_1 - R_1 \cdot I$
- **Akkumulator (Last im VZS):** $U_{\text{Akku}}(I) = U_2 + R_2 \cdot I$
- **Analytischer Arbeitspunkt:**

$$I_{\text{AP}} = \frac{U_1 - U_2}{R_1 + R_2}, \quad U_{\text{AP}} = U_1 - R_1 \cdot I_{\text{AP}} = U_2 + R_2 \cdot I_{\text{AP}}$$

Beispielaufgabe: Akku am Ladegerät

Gegeben:

- Ladegerät: $U_1 = 4.2$ V, $R_1 = 10\Omega$
- Akkumulator: $U_2 = 3.7$ V, $R_2 = 100$ m$\Omega = 0.1\Omega$

1. **Berechnung des Ladestroms I_{AP}:**

$$I_{\text{AP}} = \frac{4.2\text{ V} - 3.7\text{ V}}{10\Omega + 0.1\Omega} = \frac{0.5\text{ V}}{10.1\Omega} \approx 0.0495\text{ A} = 49.5\text{ mA}.$$

2. **Berechnung der Klemmenspannung U_{AP}:**

$$U_{\text{AP}} = 4.2\text{ V} - 10\Omega \cdot 0.0495\text{ A} = 4.2\text{ V} - 0.495\text{ V} = 3.705\text{ V}.$$

(Kontrolle über Akku: $3.7\text{ V} + 0.1\Omega \cdot 0.0495\text{ A} = 3.705$ V).

Grafische Arbeitspunktbestimmung

Im $U - I$-Diagramm wird die fallende Quellengerade des Ladegeräts mit der ansteigenden Kennlinie des Akkumulators überlagert. Der Schnittpunkt beider Geraden liefert exakt $(I_{\text{AP}}, U_{\text{AP}})$.

Energetik & Wirkungsgrad realer Quellen

Leistungsbilanz im Stromkreis

- **Gesamtleistung der Urspannung:** $P_{\text{ges}} = U_0 \cdot I$
- **Innere Verlustleistung (Serienmodell):** $P_v = R_i \cdot I^2$
- **Innere Verlustleistung (Parallelmodell):** $P_v = \frac{U^2}{R_i}$
- **Nutzleistung an Last R_L:** $P_L = U \cdot I = R_L \cdot I^2$

Wirkungsgrad einer belasteten Quelle

$$\eta = \frac{P_L}{P_{\text{ges}}} = \frac{U \cdot I}{U_0 \cdot I} = \frac{U}{U_0} = \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

- Bei **Leistungsanpassung** ($R_L = R_i$) ist $P_L = P_{L,\text{ max}}$, aber $\eta = 50\%$.
- Für hohen Wirkungsgrad ($\eta \approx 100\%$) muss $R_L \geq R_i$ gewählt werden.

Prüfungstipps & Typische Stolperfallen

- **Zählpfeilsysteme beachten:** Die Quelle speist Strom ab ($U = U_0 - R_i I$), der Akkumulator nimmt Strom auf ($U = U_2 + R_2 I$).
- **Vorzeichen bei Innenwiderstand:** Der Steigungswert im Diagramm ist negative Steigung $\Rightarrow R_i = -\left(\frac{\Delta U}{\Delta I}\right)$.
- **Interne Verlustleistung:** Serienschaltung und Parallelleitung verhalten sich nach aussen identisch, haben intern aber unterschiedliche Verlustleistungen!

Nichtlineare Eintore & ZPS-Vergleich

Verbraucher- vs. Erzeugersystem

Ob ein Bauteil aktiv oder passiv ist, wird im $I - U$-Diagramm durch das Zählpfeilsystem definiert. Die Leistung berechnet sich stets über $P = U \cdot I$.

Verbraucher-Zählpfeilsystem (VZS)

Strom- und Spannungspfeil weisen in **gleiche Richtung** ($P = U \cdot I =$ aufgenommene Leistung).

- **Passiv ($P \geq 0$):** Kennlinie verläuft im **1. & 3. Quadranten** (Leistungsaufnahme).
- **Aktiv ($P < 0$):** Kennlinie verläuft im **2. & 4. Quadranten** (Leistungsabgabe / Generator).

Erzeuger-Zählpfeilsystem (EZS)

Strompfeil weist **entgegen** dem Spannungspfeil ($P = U \cdot I =$ abgegebene Leistung).

- **Aktiv ($P > 0$):** Kennlinie verläuft im **1. & 3. Quadranten** (Leistungsabgabe / Erzeuger).
- **Passiv ($P \leq 0$):** Kennlinie verläuft im **2. & 4. Quadranten** (Leistungsaufnahme / Ladebetrieb).

Elementare Zweipol-Schaltungen

Grundlegende Zweipolbeziehungen

Die Analyse von Grundzweipolen basiert auf der korrekten Anwendung der Kirchhoff'schen Gesetze (Maschensätze und Knotensätze) unter Beachtung der Zählpfeilrichtungen.

Zweipol-Grundfälle (Aufgabe 1)

- **Fall 1 (Gegeneinander geschaltete Spannungsquellen mit R):**

$$U_1 - RI - U_2 = 0 \Rightarrow I = \frac{U_1 - U_2}{R}$$

- **Fall 2 (Gleichgerichtete Serienquellen mit R):**

$$U_1 - RI + U_2 = 0 \Rightarrow I = \frac{U_1 + U_2}{R}$$

- **Fall 3 (Parallelschaltung idealer Quellen):**

$$U = U_q \quad I = -I_q$$

- **Fall 4 (Spannung steuernde Senke):**

$$U = U_q - RI_R$$

- **Fall 5 (Knoten mit Widerstand & Quellen):**

$$I_1 + I_R + I_2 = 0$$

Ersatzwiderstände in Netzwerken

Elementare Zusammenfassungsregeln

- **Serienschaltung:** $R_{\text{ges}} = \sum_k R_k$
- **Parallelschaltung:** $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \sum_k \frac{1}{R_k} \Rightarrow R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
- **Drei parallele Widerstände:**

$$R_e = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}$$

Serien-Parallelschaltung & Belastungsanalyse

Systemanalyse einer kombinierten Schaltung

Gegeben sei eine gemischte Serien-Parallelschaltung (Aufgabe 3) aus zwei parallelen Blöcken in Reihe: $R_{AB} = (R_1 \parallel R_2) + (R_3 \parallel R_4)$.

- **Bauelemente:** $R_1 = R_3 = R_4 = 12\Omega$, $R_2 = 6\Omega$.
- **Maximalleistungen:** $P_{1,\max} = P_{3,\max} = 1.5$ W, $P_{2,\max} = P_{4,\max} = 3.0$ W.

Schritt 1: Gesamtwiderstand R_{AB}

- Teilblock 1: $R_{p1} = R_1 \parallel R_2 = \frac{12 \cdot 6}{12 + 6} = \frac{72}{18} = 4\Omega$
- Teilblock 2: $R_{p2} = R_3 \parallel R_4 = \frac{12 \cdot 12}{12 + 12} = \frac{144}{24} = 6\Omega$
- **Gesamtwiderstand:** $R_{AB} = 4\Omega + 6\Omega = 10\Omega$

Schritt 2: Spannungs- & Leistungsverteilung bei $U_{AB} = 10$ V

1. **Gesamtstrom:** $I_{\text{ges}} = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{10\text{ V}}{10\Omega} = 1.0$ A.
2. **Teilspannungen über den Blöcken:**
   - $U_{g1} = I_{\text{ges}} \cdot R_{p1} = 1.0\text{ A} \cdot 4\Omega = 4.0$ V
   - $U_{g2} = I_{\text{ges}} \cdot R_{p2} = 1.0\text{ A} \cdot 6\Omega = 6.0$ V
3. **Verlustleistungen der einzelnen Widerstände ($P = \frac{U^2}{R}$):**
   - $P_1 = \frac{U_{g1}^2}{R_1} = \frac{4^2}{12} = \frac{16}{12} = 1.33$ W $\quad (< 1.5$ W $\Rightarrow$ **OK**$)$
   - $P_2 = \frac{U_{g1}^2}{R_2} = \frac{4^2}{6} = \frac{16}{6} = 2.67$ W $\quad (< 3.0$ W $\Rightarrow$ **OK**$)$
   - $P_3 = \frac{U_{g2}^2}{R_3} = \frac{6^2}{12} = \frac{36}{12} = 3.00$ W $\quad (> 1.5$ W $\Rightarrow$ **Überlastet!**$)$
   - $P_4 = \frac{U_{g2}^2}{R_4} = \frac{6^2}{12} = \frac{36}{12} = 3.00$ W $\quad (= 3.0$ W $\Rightarrow$ **Belastungsgrenze**$)$

Ergebnis der Überlastungsprüfung

Widerstand $\boldsymbol{R_3}$ **wird thermisch überlastet** ($P_3 = 3.0$ W $> P_{3,\max} = 1.5$ W). Widerstand R_4 erreicht exakt seine maximale Belastungsgrenze. Die Schaltung ist bei 10 V nicht dauerbetriebsfest.

Spannungsteiler & Stromteiler

Unbelasteter Spannungsteiler (Serienschaltung)

Teilt eine Spannung U_0 im Verhältnis der Widerstände auf:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_0, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_0 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Unbelasteter Stromteiler (Parallelschaltung)

Teilt einen Gesamtstrom I_0 umgekehrt proportional zum Widerstand auf:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_0, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I_0 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{G_1}{G_2}$$

Prüfungstipps

- **Zählpfeile kontrollieren:** Vorzeichen bei zweipoligen Maschenumläufen genau prüfen. Gegeneinander geschaltete Spannungsquellen subtrahieren sich $(U_1 - U_2)$, gleichgerichtete addieren sich $(U_1 + U_2)$.
- **Leistungsgrenzen prüfen:** Leistung stets über die Effektiv- bzw. Teilspannung berechnen $\left(P = \frac{U_i^2}{R_i} \text{ oder } P = R_i I_i^2\right)$. Niemals die Gesamtspannung U_{AB} direkt zur Leistungsberechnung eines Einzelwiderstands nutzen!
- **Parallelschaltungen vereinfachen:** Gleiche Widerstände in parallel halbieren ihren Wert $\left(R \parallel R = \frac{R}{2}\right)$.

Appendix

Fundamentale Naturkonstanten

Bezeichnung	Symbol	Exakter / Examen-Wert	SI-Einheit
Elementarladung	e	$1.602176634 \cdot 10^{-19}$	$C = Ac \cdot s$
Elektronenmasse	m_e	$9.10938356 \cdot 10^{-31}$	kg
Lichtgeschwindigkeit	c	$299.79245 \cdot 10^6 \approx 3 \cdot 10^8$	$\frac{m}{s}$
Avogadro-Konstante	N_A	$6.02214076 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Boltzmann-Konstante	k_B	$1.380649 \cdot 10^{-23}$	$\frac{J}{K}$
Elektrische Feldkonstante	ε	$8.8541878 \cdot 10^{-12}$	$\frac{F}{m} = \frac{A \cdot s}{V \cdot m}$
Temperaturspannung (27° C)	U_T	$k_B \frac{T}{e} \approx 25.87 \cdot 10^{-3}$	V (mV)

Materialeigenschaften von Metallen & Legierungen (bei 20° C})

Metall / Legierung	Freie e^- Dichte n $[10^{19} mm^{-3}]$	Spez. Widerstand ρ_{20} $\left[\Omega \cdot \frac{mm^2}{m}\right]$	Temp.-Koeff. α_{20} $[10^{-3}\text{K}^{-1}]$	Quad. Koeff. $b\eta_{20}$ $[10^{-6}\text{K}^{-2}]$
Silber (Ag)	5.86	0.01600	3.80	0.70
Kupfer (Cu)	8.46	0.01786	3.92	0.60
Gold (Au)	5.90	0.02300	4.00	0.50
Aluminium (Al)	18.10	0.02857	3.77	1.30
Magnesium (Mg)	8.61	0.04500	3.90	1.00
Wolfram (W)	6.28	0.05500	4.10	1.00
Platin (Pt)	6.62	0.10500	3.91	−0.58
Eisen (Fe)	17.00	0.12000	5.00	6.00
Blei (Pb)	13.20	0.21000	4.20	–
Manganin	8.74	0.43000	$pm0.020$	–
Konstantan	12.80	0.49000	$pm0.040$	–
Chromnickel	–	1.00000	–	–