

## Verständnisfragen

Für jede Teilfrage ist genau **eine** Antwort richtig. Markieren Sie diese **eindeutig** auf dem Antwortblatt. Bei Single-Choice Fragen (SC) ist genau eine Antwort richtig, ist mehr als eine oder keine Antwort markiert gibt es Null Punkte. Bei kPrime Fragen (kP) ist in jedem Fall richtig oder falsch zu markieren. Die volle Punktzahl gibt es dabei bei 4 korrekten Aussagen, bei 3 korrekten Aussagen gibt es die halbe Punktzahl und bei 2 oder weniger Null Punkte.

(2 P.) *kP* – Welche der folgenden Aussagen zum Begriff Elektrolyse stimmen?

1. Es wird eine elektrische Spannung an eine Flüssigkeiten angelegt und die Ionen sammeln sich zwischen den Elektroden.  
 (A) Richtig  (B) Falsch
2. Mit Elektrolyse können Metalle aus geeigneten Flüssigkeiten gewonnen werden.  
 (A) Richtig  (B) Falsch
3. Die Menge des gewonnenen Materials ist proportional zur Elektrodengröße.  
 (A) Richtig  (B) Falsch
4. Die Menge des gewonnenen Materials ist proportional zur Stromstärke.  
 (A) Richtig  (B) Falsch

(3 P.) *SC* – Ein Kupferquader 100 mm x 150 mm x 20 mm soll 0.15 mm dick vernickelt werden. Berechnen Sie wie lange das Vernickeln dauert, wenn der Strom  $I = 2 \text{ A}$  beträgt. (Daten für Nickel: Dichte:  $\rho = 8.9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , Atomgewicht  $A_r = 58.69$ , Wertigkeit  $z = 2$ , Schmelzpunkt:  $1455^\circ\text{C}$ , spez. Wärmekapazität:  $444 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$  und elektrische Leitfähigkeit:  $\kappa = 139 \frac{\text{mS}}{\text{cm}}$ )

5. Das Vernickeln dauert:

$$m = \rho \cdot \Delta V = \rho (V_2 - V_1)$$

(A) 12.2 h      (B) 24.4 h      (C) 122 h      (D) 244 h

1. Faraday'sches Gesetz

$$V_2 = (100 \cdot 150 \cdot 20) \text{ mm}^3$$

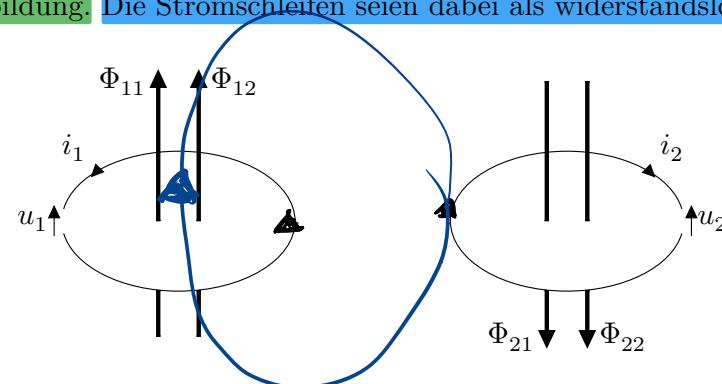
↑  
jede Länge + 2 · 0.15 mm

$$m = \frac{A_r u}{z e} I t \rightarrow t = \frac{\rho \Delta V}{I} \frac{z e}{A_r u}$$

$$= \frac{1}{2A} (V_2 - V_1) \cdot 8.9 \frac{\text{kg} \cdot 10^{-3}}{\text{m}^3 \cdot 10^{-6}} \frac{2}{58.69} \frac{\text{e}}{\text{u}} = 88,1 \cdot 10^3 \text{ s}$$

→ 24,4 h

(3 P.) SC – Gegeben seien zwei gekoppelte Stromschleifen in einer Ebene und ihre Flüsse gemäss der folgenden Abbildung. Die Stromschleifen seien dabei als widerstandslos anzunehmen.

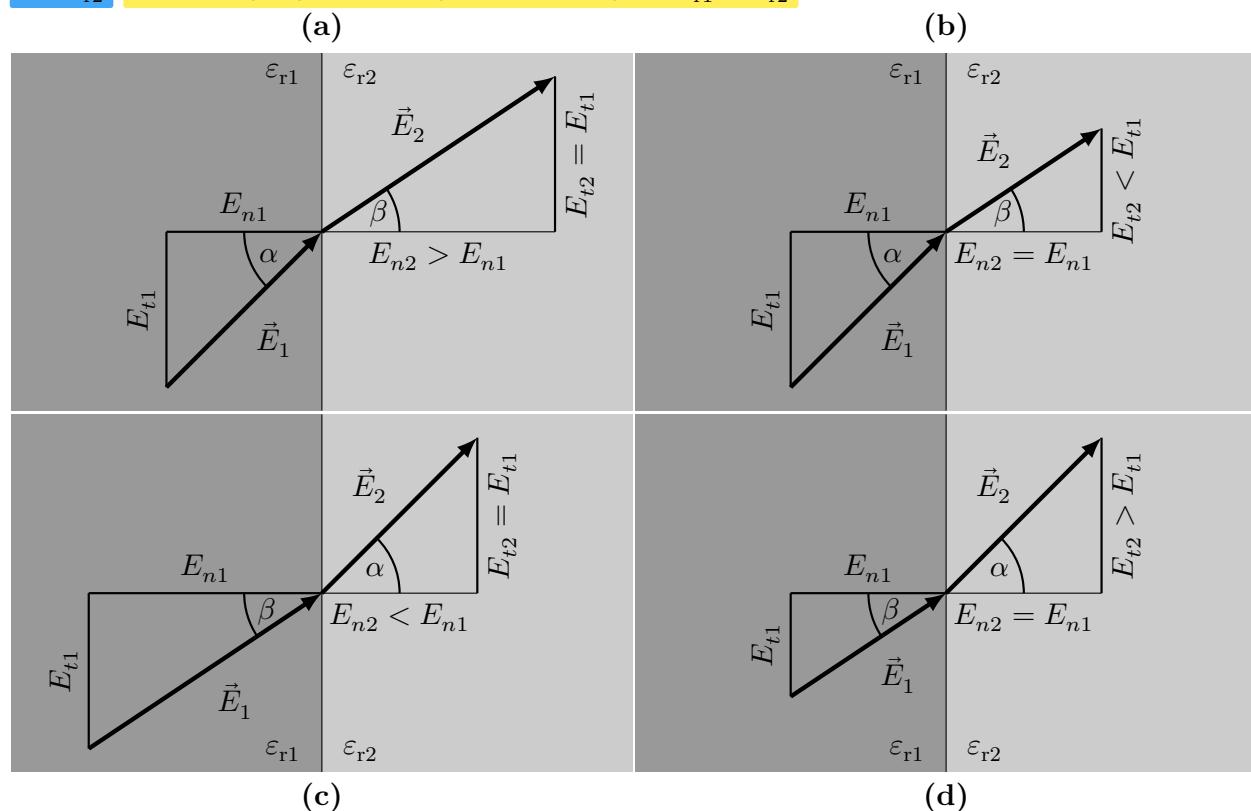


6. Welches Gleichungssystem beschreibt die gegebene Anordnung?

- (A)  $u_1 = +L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = -L_{21} \frac{di_1}{dt} - L_{22} \frac{di_2}{dt}$   
**(B)**  $u_1 = +L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = +L_{21} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt}$   
(C)  $u_1 = -L_{11} \frac{di_1}{dt} - L_{12} \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = +L_{21} \frac{di_1}{dt} + L_{22} \frac{di_2}{dt}$   
(D)  $u_1 = +L_{11} \frac{di_1}{dt} - L_{12} \frac{di_2}{dt}, \quad u_2 = +L_{21} \frac{di_1}{dt} - L_{22} \frac{di_2}{dt}$

Alle Flüsse rechtshändig mit dem erzeugenden Strom verknüpft

(2 P.) SC – Gegeben seien zwei Materialien mit unterschiedlichen relativen Permittivitäten  $\epsilon_{r1}$  und  $\epsilon_{r2}$ . Der Übergang sei ladungsfrei und es gelte  $\epsilon_{r1} > \epsilon_{r2}$ .



7. Welcher Feldverlauf ist korrekt gezeichnet?

(A)

(B)

(C)

(D)

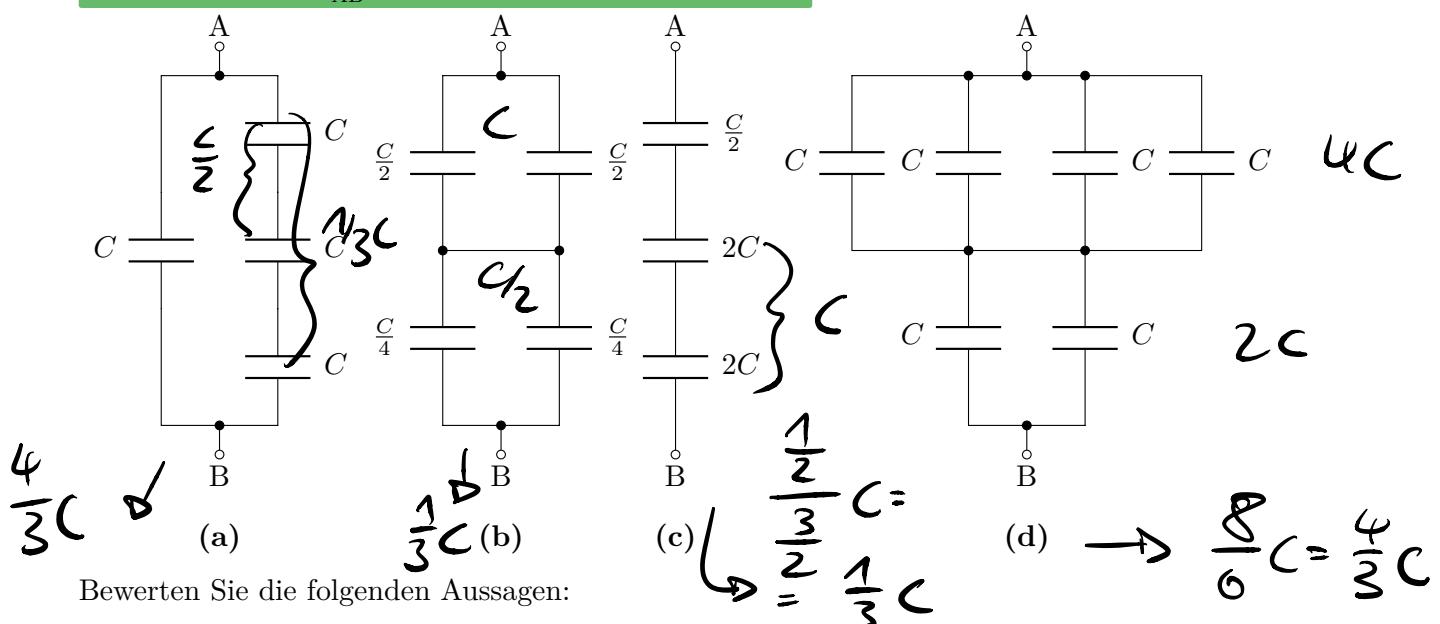
$$\bar{E}_{t1} = \bar{E}_{t2}$$

$$D_{n1} = D_{n2}$$

$$\epsilon_r \cdot E_{n1} = \epsilon_r \cdot E_{n2}$$

$$E_{n1} = \underbrace{\frac{\epsilon_r}{\epsilon_r + 1}}_{<1} E_{n2} \rightarrow E_{n1} < E_{n2}$$

(3 P.)  $kP$  – Gegeben seien die folgenden Kondensatornetzwerke. Betrachtet wird hierbei die Gesamtkapazität  $C_{AB}$  zwischen den Klemmen A und B.



Bewerten Sie die folgenden Aussagen:

8. Die Netzwerke (a) und (c) weisen die gleiche Gesamtkapazität  $C_{AB}$  auf

- (A) Richtig  (B) Falsch

9. Die Netzwerke (c) und (d) weisen die gleiche Gesamtkapazität  $C_{AB}$  auf

- (A) Richtig  (B) Falsch

10. Die Netzwerke (a) und (b) weisen die gleiche Gesamtkapazität  $C_{AB}$  auf

- (A) Richtig  (B) Falsch

11. Die Netzwerke (b) und (d) weisen die gleiche Gesamtkapazität  $C_{AB}$  auf

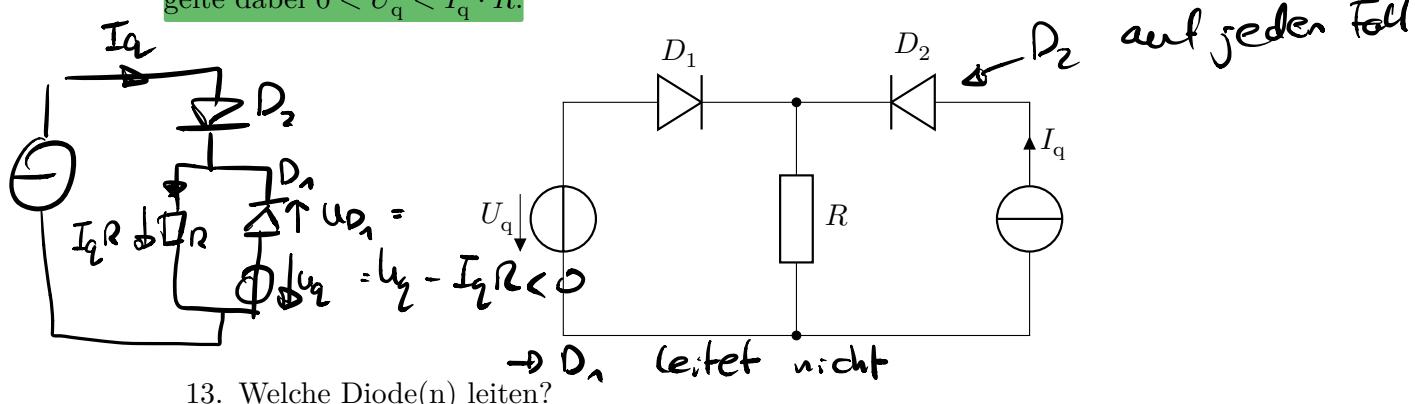
- (A) Richtig  (B) Falsch

(2 P.)  $SC$  – Zwei identische und ideal leitende Kugeln, eine mit einer Anfangsladung  $+q$  und die andere anfangs ungeladen, werden in Kontakt gebracht.

12. Wie gross ist die Ladung anschliessend auf jeder der beiden Kugeln?

- (A) Die Ladungsverteilung ändert sich nicht.  
 (B) Die Kugel mit der Anfangsladung  $+q$  behält diese Ladung und die andere Kugel hat die Ladung  $-q$ .  
 (C) Beide besitzen eine Ladung von  $\frac{q}{2}$   
 (D) Die Kugel mit der Anfangsladung  $+q$  hat die Ladung  $\frac{q}{2}$  und die andere Kugel hat die Ladung  $-\frac{q}{2}$ .

(3 P.) SC – Gegeben sei das folgende Diodennetzwerk mit den idealen Dioden  $D_1$  und  $D_2$ . Es gelte dabei  $0 < U_q < I_q \cdot R$ .



13. Welche Diode(n) leiten?

- (A) Keine      (B) Nur  $D_1$       (C) Nur  $D_2$       (D) Beide

(3 P.) kP – Welche Aussagen zum Reluktanzmodell sind zutreffend:

14. Kupfer hat im Vergleich mit Eisen einen hohen magnetischen Widerstand.

- (A) Richtig      (B) Falsch

15. Der magnetische Widerstand ist umgekehrt proportional zur Permeabilität.

- (A) Richtig      (B) Falsch

$$R_m = \frac{C}{\mu A}$$

16. Das Reluktanzmodell gilt nicht für Transformatoren mit mehr als zwei Windungskörpern.

- (A) Richtig      (B) Falsch

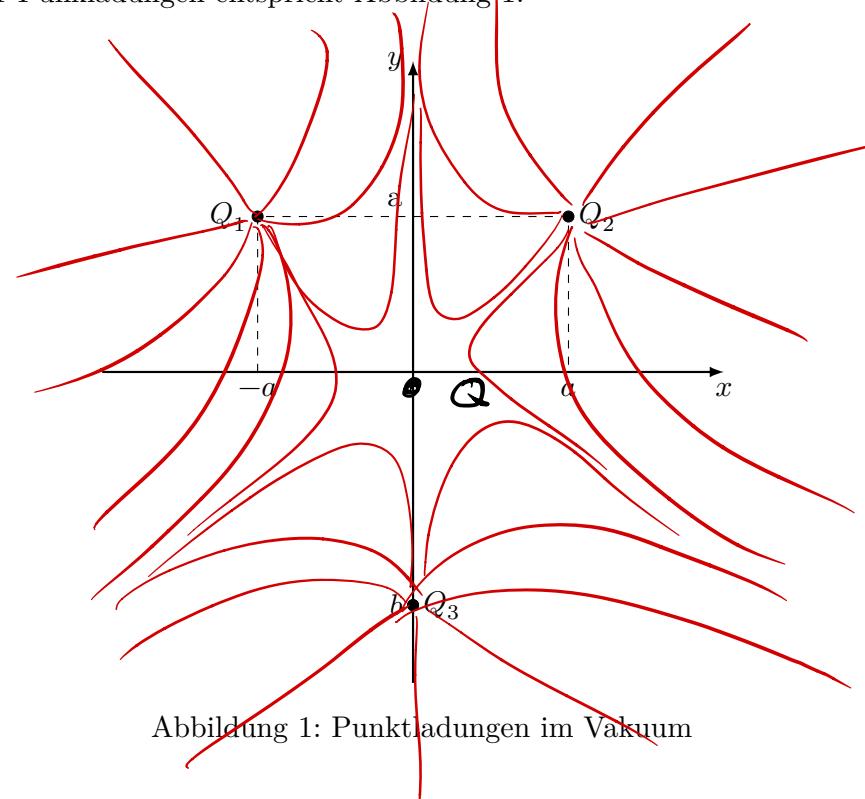
17. Das magnetische Reluktanzmodell ist grundsätzlich verschieden zum elektrischen Stromkreis.

- (A) Richtig      (B) Falsch

## Aufgabe 2: Elektrisches Feld um Punktladungen

(18 P.) Gegeben sind drei gleiche, positive Punktladungen ( $Q_1 = Q_2 = Q_3$ ) im Vakuum. Die Anordnung der Punktladungen entspricht Abbildung 1.

Alle Feldlinien  
zeigen nach  
außen



- Keine Schnittpunkte
- Abstossung  
▷ alle positiv
- Fernfeld verhält sich wie Feld einer Punktladung

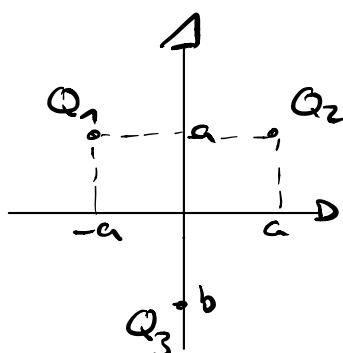
a)✓ (3 P.) Skizzieren Sie in Abbildung 1 die elektrischen Feldlinien (Nah- und Fernfeld).



- b)✓ (2 P.) Zeichnen Sie in Abbildung 1 eine Ersatzladung ein, welche ein identisches Fernfeld zu der gegebenen Anordnung hat. Gebe Sie die Ladung der Ersatzladung in Abhängigkeit von  $Q_1$  an.

$$Q = 3Q_1$$

- c)✓ (9 P.) Bestimmen Sie die elektrische Feldstärke  $\vec{E}$  entlang der x-Achse. Geben Sie die x- und y-Komponente an. Die Terme müssen nicht vereinfacht werden.



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

→ wir gehen davon aus, dass  $b \gg a$ .  
 Das ist hier leider nicht klar  
 verdeutlicht

$$\vec{E}(x, y=0) = \frac{Q_1}{\epsilon_0 4\pi} \left[ \frac{\vec{r}_1}{|\vec{r}_1|^3} + \frac{\vec{r}_2}{|\vec{r}_2|^3} + \frac{\vec{r}_3}{|\vec{r}_3|^3} \right] =$$

$$= \frac{Q_1}{\epsilon_0 4\pi} \left[ \frac{\vec{e}_x(x+a) + \vec{e}_y(y-a)|_{y=0}}{((x+a)^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{\vec{e}_x(x-a) - \vec{e}_y a}{((x-a)^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{\vec{e}_x \cdot x - \vec{e}_y b}{(x^2 + b^2)^{3/2}} \right]$$

$$= \vec{e}_x \cdot \frac{Q_1}{\epsilon_0 4\pi} \left[ \frac{x+a}{((x+a)^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{x-a}{((x-a)^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{x}{(x^2 + b^2)^{3/2}} \right]$$

$$- \vec{e}_y \frac{Q_1}{\epsilon_0 4\pi} \cdot \left[ \frac{a}{((x+a)^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{a}{((x-a)^2 + a^2)^{3/2}} + \frac{b}{(x^2 + b^2)^{3/2}} \right]$$

d)✓ (4 P.) Bestimmen sie das Verhältnis  $a/b$ , sodass im Ursprung  $(0,0)$  die  $y$ -Komponente der elektrischen Feldstärke  $\vec{E}$  verschwindet. Verwenden sie

$$E_y(y) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{y-a}{(a^2 + (y+a)^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{y-a}{(a^2 + (y-a)^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{b}{b^3} \right] \quad (1)$$

$$E_y(0) \stackrel{!}{=} 0 \Leftrightarrow \cancel{\frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{-a}{(a^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{-a}{(a^2 + a^2)^{\frac{3}{2}}} + \frac{b}{b^3} \right]} = 0$$

$$\frac{-2a}{2\sqrt{2}a^3} + \frac{1}{b^2} = 0$$

$$\frac{1}{b^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} a^2$$

$$\frac{a}{b} = \left(\frac{1}{2}\right)^{1/4}$$

### Aufgabe 3: Halbkugelförmiger, geschichteter Widerstand

(17 P.) Zwischen zwei konzentrisch angeordneten, ideal leitenden halbkugelförmigen Elektroden ( $\kappa \rightarrow \infty$ ) befinden sich zwei in sich homogene Schichten mit Material unterschiedlicher Leitfähigkeit ( $\kappa_1$  und  $\kappa_2$ ). Die Anordnung sei dabei gemäss Abbildung 2 vom Strom  $I$  durchflossen.

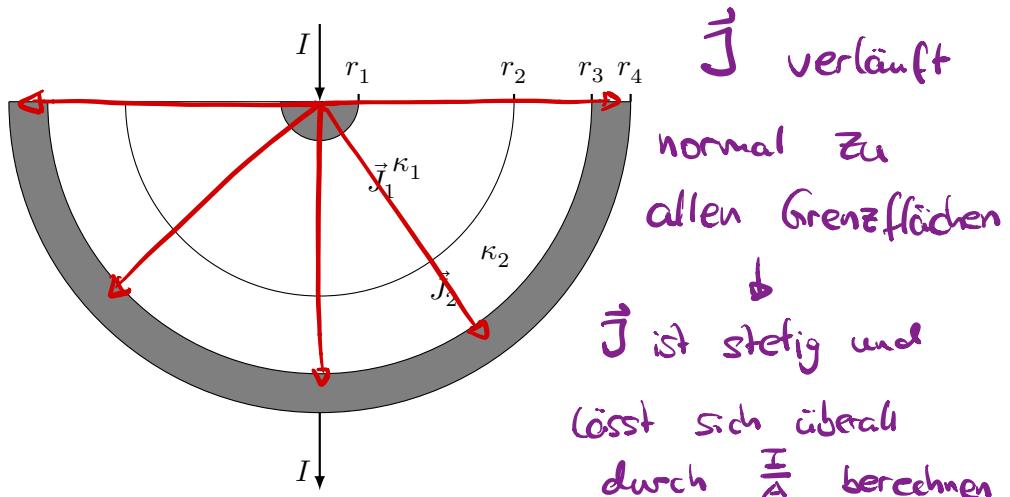


Abbildung 2: Halbkugelförmige Elektroden mit geschichtetem Widerstand

- a) ✓ (7 P.) Berechnen und Skizzieren Sie (in Abbildung 2) die Stromdichten  $\vec{J}_1$  und  $\vec{J}_2$  in beiden Schichten. Skizzieren Sie zusätzlich in Abbildung 3 den Verlauf der Stromdichte als Funktion des Radius und geben Sie die Stromdichten bei  $r_1, r_2$  und  $r_3$  in der Tabelle an.

$$\bullet \quad I = \iint_A \vec{J} d\vec{A} = \iint_A J(r) \cdot \vec{e}_r \cdot \vec{e}_r dA = \int_{\text{Oberfläche}} J(r) \cdot \frac{1}{2} (4\pi r^2) dr$$

beliebige Hüllefläche bei fixem  $r$   
 $\rightarrow$  Integral nicht von  $r$  abhängig, können  $J(r)$  herausnehmen

$$= J(r) \cdot 2\pi r^2 \rightarrow \vec{J}(r) = \frac{I}{2\pi r^2} \vec{e}_r$$

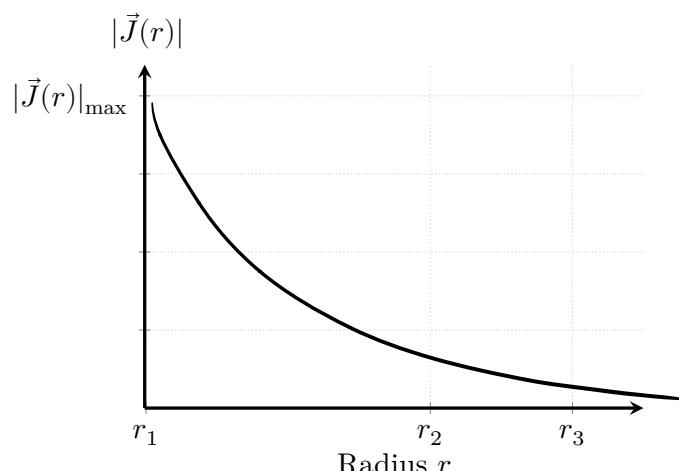


•  $\vec{J}$  tritt senkrecht aus perfekt leitender Bereich heraus

- $\vec{J}$  verläuft nur normal zur Grenzfläche:

$$\Rightarrow J = J_n \quad \text{und} \quad \text{da} \quad J_{n1} = J_{n2} \quad \begin{array}{c} J_{n1} \\ \downarrow \\ J_{n2} \end{array}$$

$$\text{folgt} \quad \vec{J} = \vec{J}_1 = \vec{J}_2 = \vec{e}_r \frac{I}{2\pi r^2}$$



Radius	Stromdichte $ \vec{J}(r) $
$r_1$	$ J(r) _{\max} = I/2\pi r_1^2$
$r_2$	$I/2\pi r_2^2$
$r_3$	$I/2\pi r_3^2$

Abbildung 3: Stromdichte als Funktion des Radius

b) (7 P.) Welche Spannungen  $U_{12}$ ,  $U_{23}$  und  $U_{34}$  fallen jeweils über den Schichten ab?

c) (3 P.) Bestimmen sie das Verhältnis  $\kappa_1/\kappa_2$ , sodass der Spannungsabfall über beide Schich-



entwurf für b)

$$U = \int \vec{E} d\vec{s} \rightarrow E_1 = E_{n_1} + E_{n_2} = E_2$$

$$\vec{E}_1 = \frac{1}{k_1} \vec{j}_1 = \vec{e}_r \frac{I}{k_1 2\pi r^2}$$

$$\vec{E}_2 = \frac{1}{k_2} \vec{j}_2 = \vec{e}_r \frac{I}{k_2 2\pi r^2}$$

$$U_{n_2} = \int_{n_1}^{n_2} \vec{E}_1 d\vec{s} = \int_{n_1}^{n_2} \vec{e}_r \frac{I}{k_1 2\pi r^2} \cancel{\vec{e}_r} dr =$$

$$= \frac{I}{k_1 2\pi} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{n_1}^{n_2} =$$

$$= \frac{I}{k_1 2\pi} \left( \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) = \frac{I}{k_1 2\pi} \frac{n_2 - n_1}{n_1 n_2}$$

$$U_{23} = \int_{n_2}^{n_3} \vec{E}_2 d\vec{s} = \int_{n_2}^{n_3} \vec{e}_r \frac{I}{k_2 2\pi r^2} \vec{e}_r dr =$$

$$= \frac{I}{k_2 2\pi} \left[ -\frac{1}{r} \right]_{n_2}^{n_3} =$$

ten gleichgross ist.

$$= \frac{I}{k_2 2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{I}{k_2 2\pi} \frac{r_3 - r_2}{r_3 r_2}$$

$U_{34} = 0 \rightarrow$  Potentialunterschiede gleichen sich  
in perfekt leitenden Bereichen sofort  
aus

Antwort für c)

$$\frac{U_{12}}{U_{23}} = \underbrace{\frac{I}{k_1 2\pi} \frac{r_2 - r_1}{r_2 r_1}}_{U_{12}} \quad \underbrace{\frac{k_2 2\pi}{I} \frac{r_3 r_2}{r_3 - r_2}}_{1/U_{23}} = \\ = \frac{k_2}{k_1} \frac{r_2 - r_1}{r_3 - r_2} \frac{1}{m} \stackrel{!}{=} 1$$

$$\Rightarrow \frac{k_1}{k_2} = \frac{r_1}{r_3} \cdot \frac{r_3 - r_2}{r_2 - r_1}$$

## Aufgabe 4: Netzwerkanalyse

(16 P.) Ein tragbares Messgerät, ersatzweise dargestellt durch den Widerstand  $R_L = 250 \Omega$ , wird durch die skizzierte Spannungsversorgung gespeist. Sie besteht aus einem Netzgerät (Quellenspannung  $U_{q1} = 7.5 \text{ V}$ , Innenwiderstand  $R_{i1} = 5 \Omega$ ) sowie aus einem parallelgeschaltetem Akkumulator (Quellenspannung  $U_{q2} = 5.6 \text{ V}$ , Innenwiderstand  $R_{i2} = 20 \Omega$ ). Es gibt drei Betriebsarten:

Ladebetrieb: S1 geschlossen, S2 geöffnet, das Netzgerät lädt den Akku.

Akku: S1 ist geöffnet, S2 geschlossen, der Akku speist den Verbraucher.

Pufferbetrieb: beide Schalter S1 und S2 sind geschlossen, das Netzgerät speist den Verbraucher und lädt den Akku.

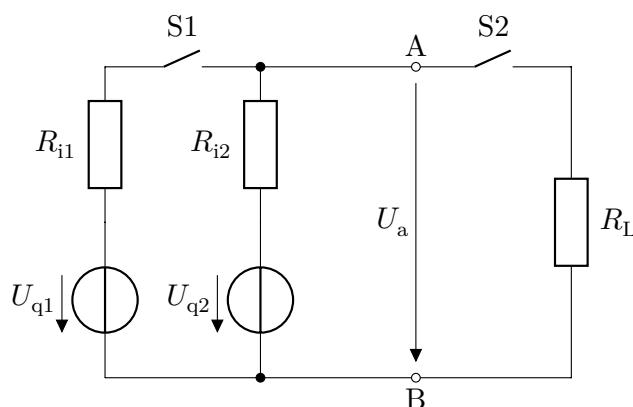
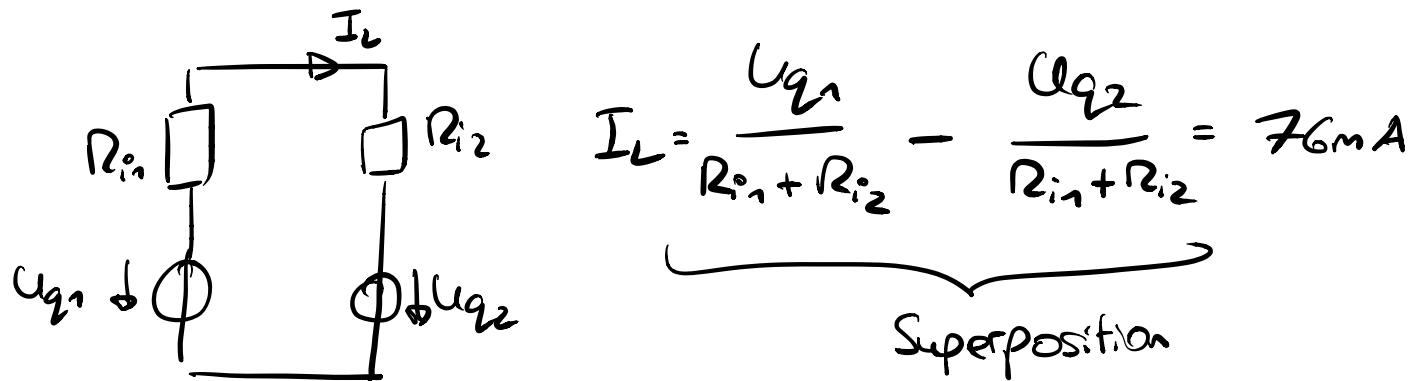
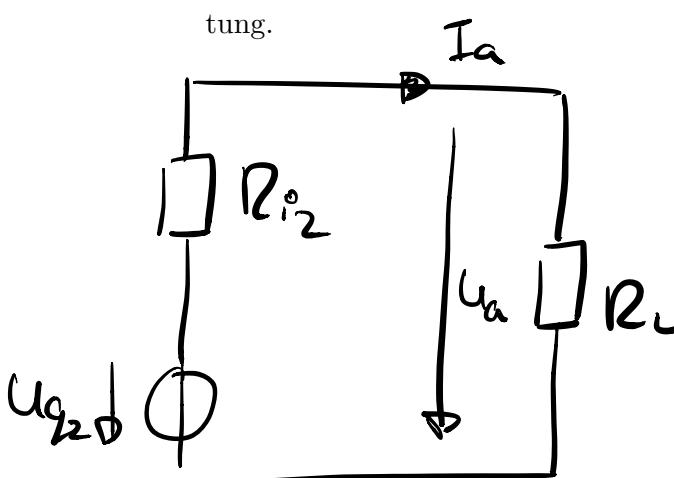


Abbildung 4: Netzwerk aus zwei Spannungsquellen

a)✓ (3 P.) Mit welcher Stromstärke  $I_L$  wird der Akku im Ladebetrieb geladen? Zeichnen Sie die vereinfachte Schaltung.



b)✓ (4 P.) Wie hoch ist im Akkubetrieb der Strom  $I_a$  durch den Verbraucher und welche Klemmenspannung  $U_a$  stellt sich ein? Zeichnen Sie die dazugehörige vereinfachte Schal-



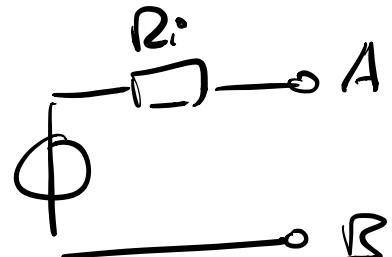
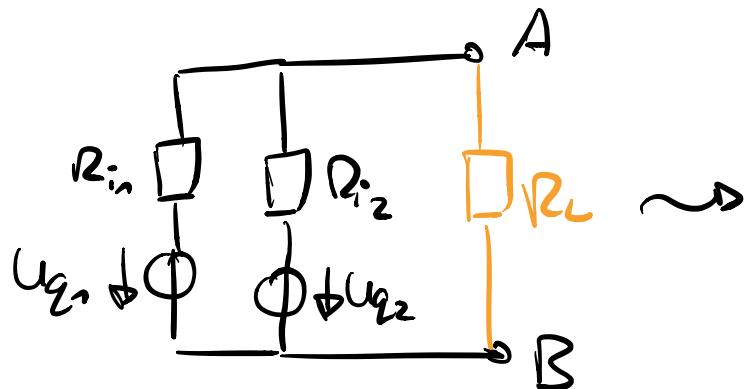
$$I_a = \frac{U_{q2}}{R_{i2} + R_L} = 20,7 \text{ mA}$$

$$U_a = U_{q2} \cdot \frac{R_L}{R_{i2} + R_L} = 5,19 \text{ V}$$

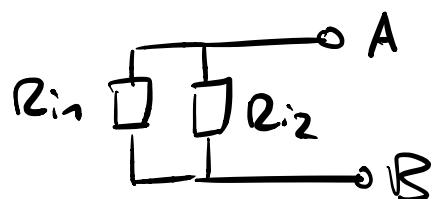
- c)✓ (5 P.) Die gesamte Spannungsversorgung soll im Pufferbetrieb durch ein Spannungsquellen-Ersatzschaltbild dargestellt werden. Ermitteln Sie die Ersatzquellenspannung  $U_{q0}$  und den Ersatzzonenwiderstand  $R_{i0}$  einer äquivalenten Spannungsquelle. Zeichnen Sie die Schaltung mit Ersatzspannungsquelle.

- d) (2 P.) Wie hoch ist der Verbraucherstrom  $I_a$  im Pufferbetrieb und welche Klemmenspannung  $U_a$  stellt sich ein?

Antwort für c)

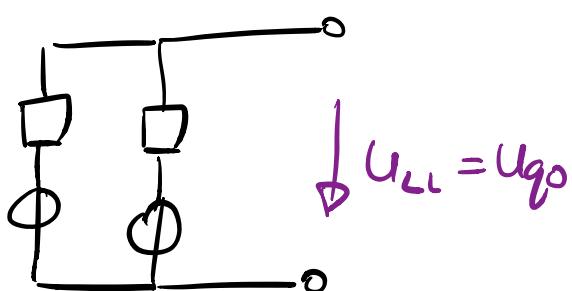


1)  $R_i$ : bestimmen  $\rightarrow$  alle Quellen ausschalten:



$$R_i = R_{i1} \parallel R_{i2} = \frac{R_{i1} R_{i2}}{R_{i1} + R_{i2}} = 4\Omega$$

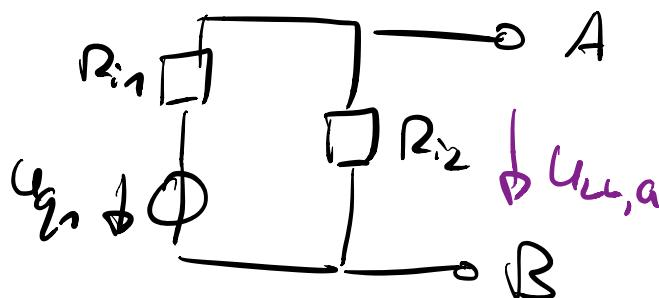
2)  $U_{q0}$  bestimmen  $\rightarrow$  Leerlaufspannung zwischen den Klemmen bestimmen:



$\rightarrow$  Superpositionsprinzip

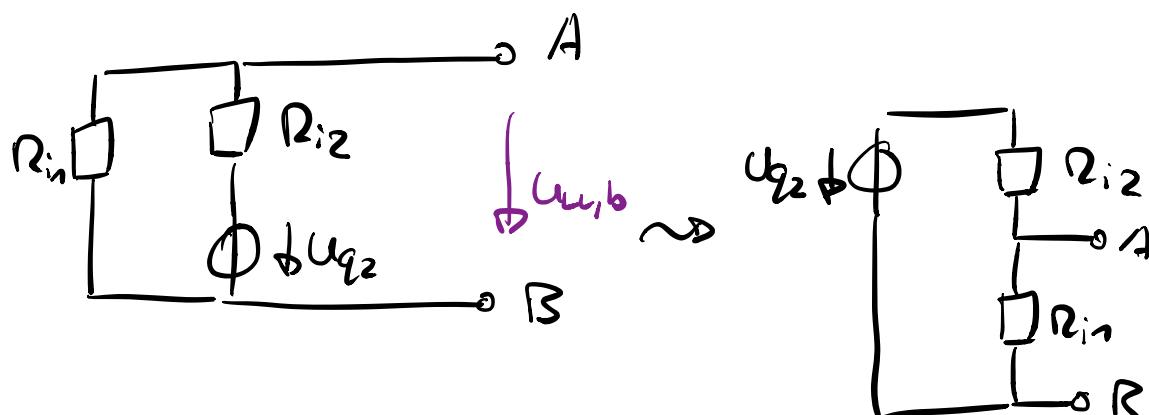


$$U_{Q_2} = 0$$



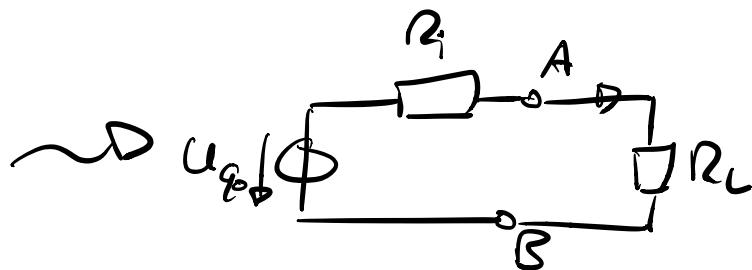
$$U_{U,a} = U_{Q_2} \cdot \frac{R_{i2}}{R_{i1} + R_{i2}} = 6V$$

$$U_{Q_1} = 0$$



$$U_{U,b} = U_{Q_2} \cdot \frac{R_{i1}}{R_{i1} + R_{i2}} = 1,12$$

$$U_{Q_0} = U_{Ua} = U_{U,a} + U_{U,b} = 7,12V$$



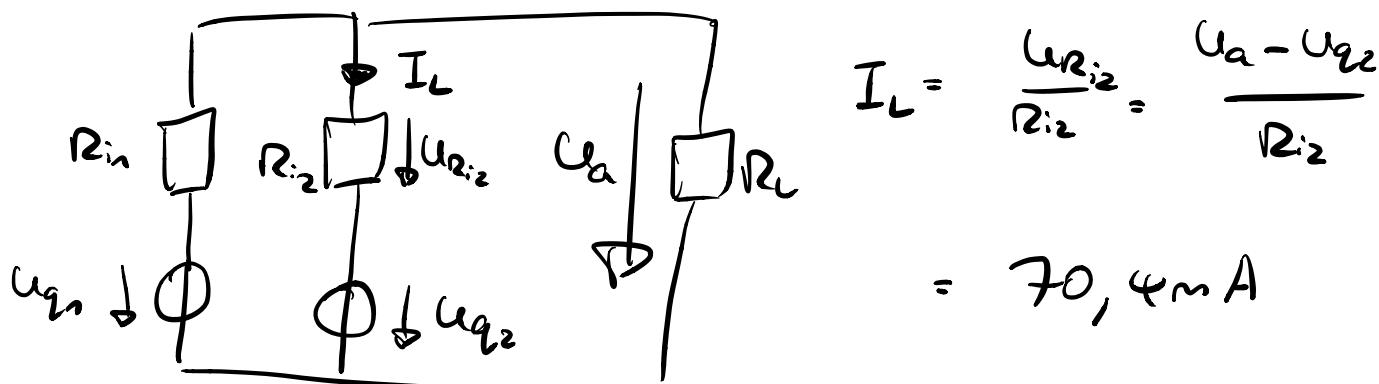


Antwort für d)

$$I_a = \frac{U_{QD}}{R_i + R_C} = 28 \text{ mA}$$

$$U_a = I_a \cdot R_L = 7 \text{ V}$$

e) (2 P.) Mit welcher Stromstärke  $I_L$  wird der Akku im Pufferbetrieb geladen?



## Aufgabe 5: Kraft im inhomogenen Magnetfeld

(10 P.) Die Fläche einer Rechteckleiterschleife wird senkrecht von einem inhomogenen Magnetfeld durchsetzt (Abbildung 5). Das Magnetfeld sei in x- und z-Richtung konstant und nehme in positiver y-Richtung zu.

$$\vec{B} = B_z(x, y) = \frac{B_0}{y_0} \cdot y \quad (2)$$

wobei  $B_0 > 0 \text{ T}$  und  $y_0 > 0 \text{ m}$ . Die Leiterschleife wird vom Strom  $I$  durchflossen und liegt in der positiven xy-Ebene ( $x \geq 0, y \geq 0, z = 0$ ) mit einer Ecke im Koordinatenursprung.

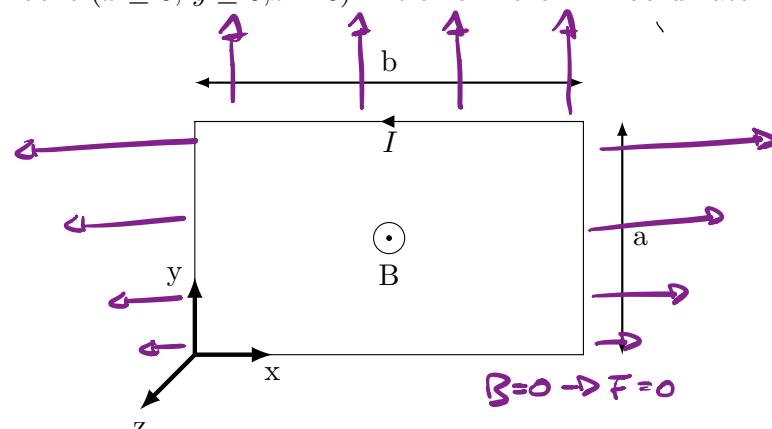


Abbildung 5: Rechteckleiterschleife im Magnetfeld

- a)✓ (3 P.) Zeichnen sie die Kräfte ein, welche auf die Rechteckleiterschleife wirken. Achten sie hierbei auf Richtung und Amplitude. In welche Richtung würde sich die Leiterschleife bewegen?

$$\vec{F} = I \cdot \int_a^b (\vec{dr} \times \vec{B})$$

Kräfte in x-Richtung gleichen sich aus

→ Leiterschleife würde sich nach oben bewegen



b) (5 P.) Berechnen Sie nun die verschiedenen Teilkräfte und geben Sie diese vektoriell an.

c) (2 P.) Wie gross ist die resultierende Kraft auf die Rechteckleiterschleife?



Antwort für b)

$$\text{Für } y=0 : \quad B=0 \rightarrow \vec{F}_{\text{unten}} = 0$$

$$\text{Für } y=a : \quad \vec{B}(y) = \frac{\mu_0}{y} \cdot a \cdot \vec{e}_z ; \quad d\vec{r} = -\vec{e}_x dx$$

$$\triangleright \vec{F}_{\text{oben}} = I \cdot \int_0^b d\vec{r}_x \vec{B}(a) =$$

$$= I \cdot \int_0^b (-\vec{e}_x) \times \vec{e}_z \frac{\mu_0}{y} a \cdot dx =$$

$$= \vec{e}_y \cdot I \cdot \frac{\mu_0}{\lambda_0} a \cdot b$$

$$\text{Für } x=0 \quad 0 \leq y \leq a : \quad \vec{B}(y) = \frac{\mu_0}{y} \cdot y \cdot \vec{e}_z$$

$$d\vec{r} = -\vec{e}_y dy$$

$$\triangleright \vec{F}_{\text{links}} = I \cdot \int_0^a d\vec{r}_x \times \vec{B}(y) =$$

$$= I \int_0^a (-\vec{e}_y) \times \vec{e}_z \frac{\mu_0}{y} \cdot y \cdot dy = (-\vec{e}_x) I \frac{\mu_0}{\lambda_0} \left[ \frac{1}{2} y^2 \right]_0^a =$$

$$= (-\vec{e}_x) \frac{\mu_0}{2\lambda_0} a^2$$



für  $x = b$ ,  $0 \leq y \leq a$

→ Aus Symmetrie gleich gross aber in  $\vec{e}_x$ -Richtung

$$\Rightarrow \vec{F}_{\text{rechts}} = \vec{e}_x \frac{\beta_0}{2y} a^2$$

Antwort für c)

$$\vec{F}_{\text{tot}} = \vec{F}_{\text{rechts}} + \vec{F}_{\text{links}} + \underbrace{\vec{F}_{\text{unten}}}_{=0} + \vec{F}_{\text{oben}} =$$

$$= \vec{F}_{\text{oben}} = \vec{e}_y I \frac{\beta_0}{y_0} \cdot a \cdot b$$

## Aufgabe 6: Induktion

(8 P.) Eine rechteckig gewickelte Spule mit der Breite  $b = 25 \text{ mm}$  und der Windungszahl  $N = 100$  wird mit der konstanten Geschwindigkeit  $v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  durch ein homogenes Magnetfeld bewegt. Wenn sich die Spule vollständig im Magnetfeld befindet, wird sie vom Fluss  $\Phi_{\max} = 0.625 \text{ mWb}$  durchsetzt. Welche Spannung wird im zeitlichen Verlauf in der Spule induziert? Stellen sie den zeitlichen Verlauf der Spannung und des Flusses grafisch in Abbildung 7 dar.

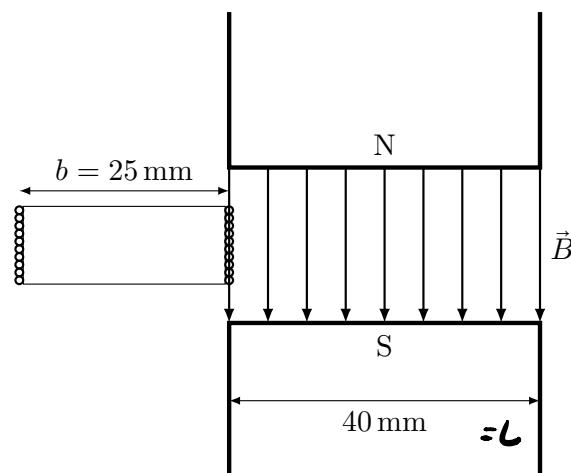


Abbildung 6: Spule zum Zeitpunkt  $t_0 = 0 \text{ s}$

Alle Phasen unterteilen:

$0 < t < t_1 = \frac{b}{v} = 25 \text{ ms} \rightarrow$  Einführen in das Magnetfeld

$$\Phi(t) = \Phi_{\max} \cdot \frac{t}{t_1}$$

$$u(t) = - \frac{d\Phi}{dt} = - \Phi_{\max} \frac{v}{b} = -25 \text{ mV}$$

$t_1 < t < t_2 = t_1 + \frac{L-b}{v} = 40 \text{ ms} \rightarrow$  Wandern durch Magnetfeld

$$\Phi(t) = \Phi_{\max}, \quad u(t) = - \frac{d\Phi}{dt} = 0 \text{ V}$$

$$t_2 < t < t_3 = t_2 + \frac{b}{V} = 65\text{ms} \rightarrow \text{Herausführen aus Magnetfeld}$$

$$\Phi(t) = \Phi_{\max} \left( 1 - \frac{t-t_2}{t_3-t_2} \right)$$

$$u(t) = - \frac{d\Phi}{dt} = \Phi_{\max} \frac{1}{t_3-t_2} = \Phi_{\max} \frac{V}{b} = 2.5\text{mV}$$

$t > t_3 \rightarrow$  Außerhalb des Magnetfeldes

$$\Phi(t)=0 \rightarrow u(t)=0$$

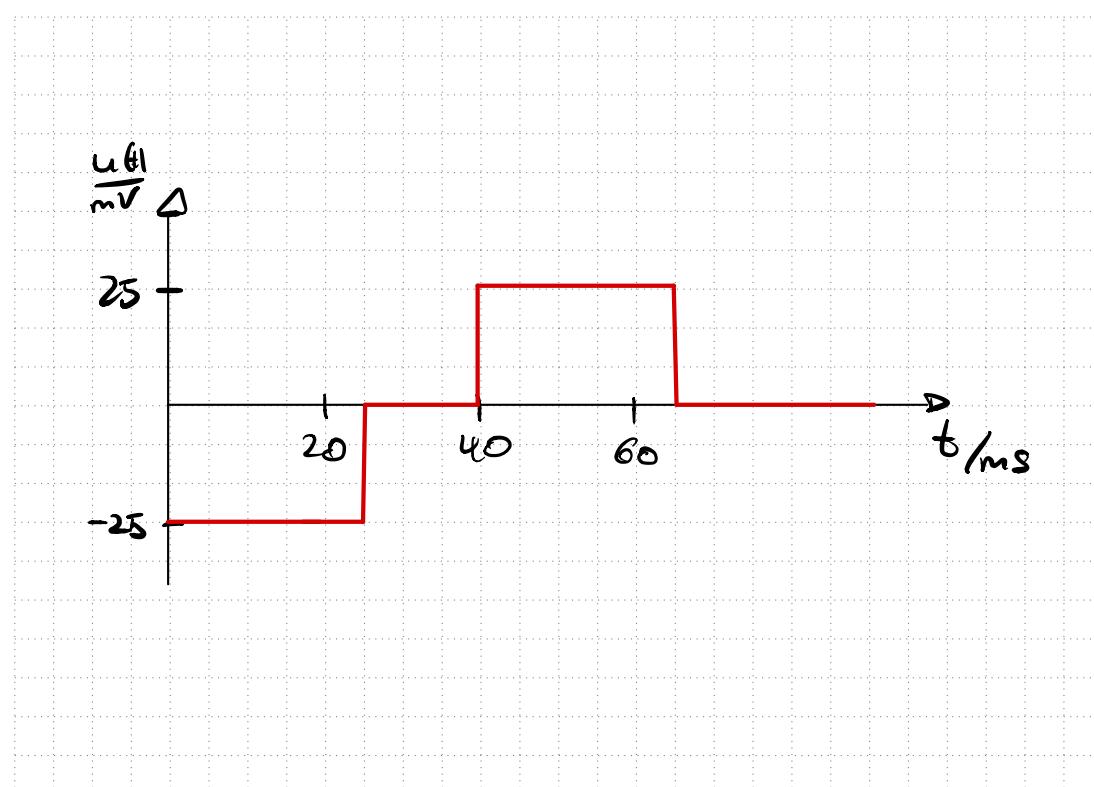


Abbildung 7: Zeichenfläche für den zeitlichen Verlauf der Spannung und des Flusses