

# Musterlösung

## Klausur im Modul Grundgebiete der Elektrotechnik I

am 25.02.2009, 8:00 – 9:30 Uhr

|       |          |           |
|-------|----------|-----------|
| Name: | Vorname: | Matr.Nr.: |
|-------|----------|-----------|

|                 |
|-----------------|
| E-Mail-Adresse: |
|-----------------|

|              |
|--------------|
| Studiengang: |
|--------------|

Prüfungsdauer: 90 Minuten

- Zur Prüfung sind folgende Hilfsmittel zugelassen: Schreibgerät, Geodreieck/Lineal, nicht programmierbarer Taschenrechner sowie 3 DIN A4-Seiten **handschriftliche** Formelsammlung. Die Verwendung von eigenem Konzeptpapier ist nicht gestattet. Das Koordinatenhilfsblatt finden Sie am Ende der Klausur.
- Tragen Sie Name und Vorname auf dem Deckblatt und auch auf **jedem** Aufgabenblatt ein.
- Prüfen Sie die Anzahl der Aufgabenblätter (6 Aufgaben / 14 Seiten) auf Vollständigkeit.
- Die Aufgabenblätter sollen zusammengeheftet bleiben. Die Lösungswege und Lösungen zu den Aufgaben sind in die dafür vorgesehenen Zwischenräume einzutragen. Verwenden Sie für Zwischenrechnungen die linke leere Seite. Zwischenrechnungen auf der linken Seite werden nicht bewertet.
- Bei Abgabe: Bleiben Sie bitte an Ihrem Platz. Die bearbeiteten Aufgabenblätter werden bei Ihnen abgeholt.
- Der Aushang der Prüfungsergebnisse wird auf der Webseite von „Grundgebiete der Elektrotechnik I“ bekannt gegeben.
- Bitte nichts in die folgenden Tabellen eintragen! Diese werden von uns ausgefüllt.

|          |    |    |    |    |    |          |
|----------|----|----|----|----|----|----------|
| Übung    | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | $\Sigma$ |
| Punkte   | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 200      |
| erreicht |    |    |    |    |    |          |

|          |    |    |    |    |    |    |          |
|----------|----|----|----|----|----|----|----------|
| Aufgabe  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | $\Sigma$ |
| Punkte   | 10 | 25 | 15 | 18 | 12 | 20 | 100      |
| erreicht |    |    |    |    |    |    |          |

|                        |                          |        |           |
|------------------------|--------------------------|--------|-----------|
| Übung<br>(Gewicht 25%) | Klausur<br>(Gewicht 75%) | Gesamt | Modulnote |
|                        |                          |        |           |

Name:

Vorname:

### Aufgabe 1: Konzepte (10 Punkte)

Erläutern Sie die folgenden Begriffe in ganzen Sätzen. In der Erläuterung dürfen keine Formeln oder Formelzeichen auftauchen!

(a) Spannung

Die Potenzialdifferenz zwischen zwei Punkten wird als Spannung bezeichnet.

(b) Lineare Quelle

Eine lineare Quelle ist eine Quelle, deren Strom-Spannungs-Kennlinie eine Gerade ist.

(c) Zweitor

Ein Zweitor ist ein Netz mit vier Klemmen, von denen jeweils zwei funktionell zusammengehören und die Strombedingung erfüllen, d.h. der Strom der an der einen Klemme eines Tors hineinfließt, fließt aus der anderen Klemme desselben Tors heraus.

(d) Kapazitiver Zweipol

Einen Zweipol, der als Ladungsspeicher und damit als Speicher elektrischer Energie wirkt, bezeichnet man als kapazitiven Zweipol.

(e) Lorentz-Kraft

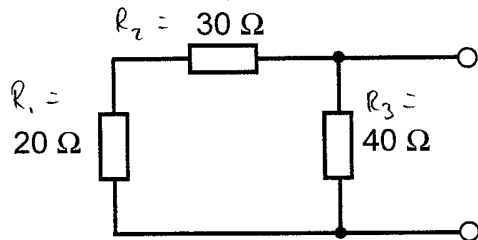
Die Kraft auf eine bewegte Ladung im Magnetfeld wird als Lorentz-Kraft bezeichnet.

Name:

Vorname:

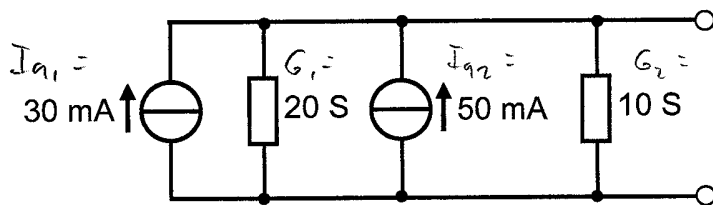
**Aufgabe 2: Ersatzzweipole (25 Punkte)**

(a) Berechnen Sie den Ersatzwiderstand für folgende Schaltung.



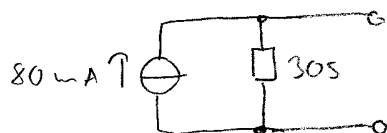
$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_1 + R_2}} = \underline{22,2 \Omega}$$

(b) Berechnen und zeichnen Sie die Ersatzstromquelle für folgende Schaltung.



$$G_{ec} = G_1 + G_2 = \underline{30 S}$$

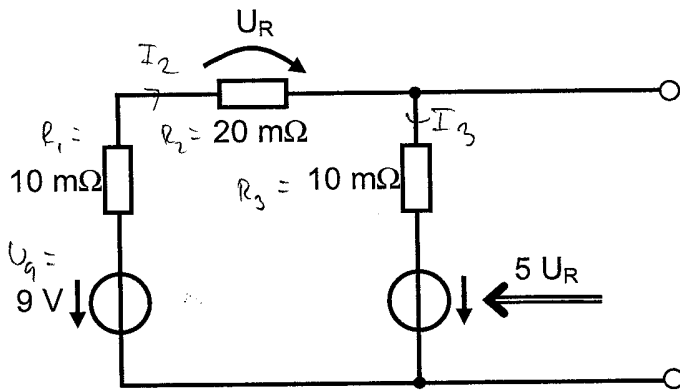
$$I_{qe} = I_{q1} + I_{q2} = \underline{80 mA}$$



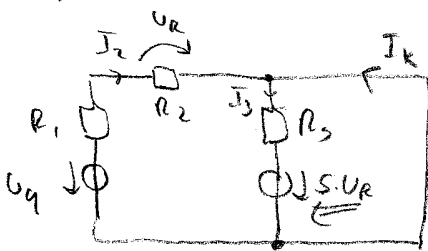
Name:

Vorname:

(c) Berechnen und zeichnen Sie die Ersatzspannungsquelle für folgende Schaltung.



Berechnung des Kurzschlussstromes:



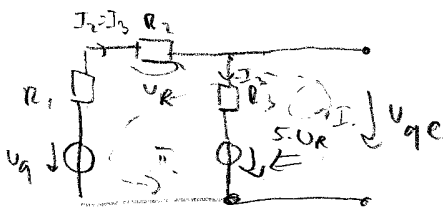
$$I_2 = \frac{U_q}{R_1 + R_2} = 300 \text{ A}$$

$$U_R = I_2 \cdot R_2 = 6 \text{ V}$$

$$I_3 = \frac{-5 \cdot U_R}{R_3} = -3000 \text{ A}$$

$$I_k = I_3 - I_2 = -3300 \text{ A}$$

Berechnung der Leerlaufspannung:



$$\text{I. } U_{qe} = R_3 I_3 + 5 \cdot R_2 \cdot I_3 \rightarrow I_3 = \frac{U_{qe}}{R_3 + 5 \cdot R_2}$$

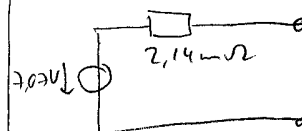
$$\text{II. } U_{qe} = U_q - (R_1 + R_2) \cdot I_3 = U_q - \frac{R_1 + R_2}{R_3 + 5 \cdot R_2} \cdot U_{qe}$$

$$\Rightarrow U_{qe} = \frac{U_q}{1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3 + 5 \cdot R_2}} = 7,07 \text{ V}$$

Berechnung des Innenwiderstandes:

$$R_{ie} = \frac{U_{qe}}{-I_k} = 2,14 \text{ m}\Omega$$

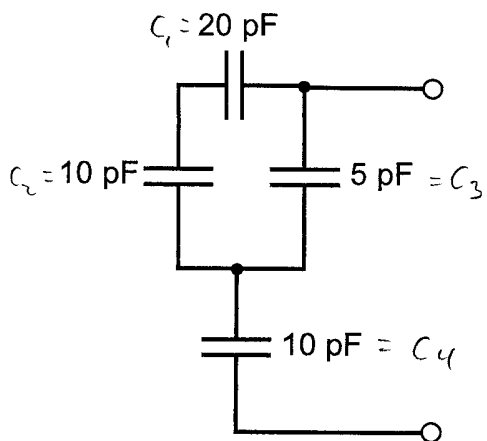
Zeichnung:



Name:

Vorname:

(d) Berechnen Sie die Ersatzkapazität für folgende Schaltung.



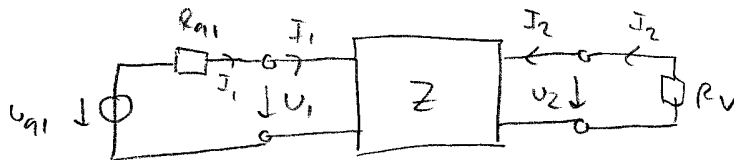
$$C_e = \frac{1}{\frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_3 + \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}}} = 5,38 \text{ pF}$$

Name:

Vorname:

### Aufgabe 3: Zweitore (15 Punkte)

Ein Zweitor habe die folgenden Elemente der Z-Matrix:  $Z_{11} = 100 \Omega$ ,  $Z_{12} = 60 \Omega$ ,  $Z_{21} = 50 \Omega$ ,  $Z_{22} = 120 \Omega$ . Es ist am Tor 1 mit der linearen Spannungsquelle  $U_{q1} = 10 \text{ V}$ ;  $R_{q1} = 1 \Omega$  und am Tor 2 mit einem Verbraucher mit Ersatzwiderstand  $R_V = 1 \text{ k}\Omega$  verbunden. Berechnen Sie die Ströme, Spannungen und Leistungen an den Toren.



$$Z\text{-Matrix: } \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

Aufstellen des LGS:

$$\text{I} \quad U_1 = z_{11} \cdot I_1 + z_{12} \cdot I_2$$

$$\text{II} \quad U_2 = z_{21} \cdot I_1 + z_{22} \cdot I_2$$

$$\text{III} \quad U_1 = U_{q1} - R_{q1} \cdot I_1$$

$$\text{IV} \quad U_2 = -I_2 \cdot R_V$$

Lösen des LGS:

$$\text{III in I} \quad U_{q1} - R_{q1} \cdot I_1 = z_{11} \cdot I_1 + z_{12} \cdot I_2$$

$$\text{I}' \quad U_{q1} = (z_{11} + R_{q1}) \cdot I_1 + z_{12} \cdot I_2$$

$$\text{IV in II} \quad -I_2 \cdot R_V = z_{21} \cdot I_1 + z_{22} \cdot I_2$$

$$\text{II}' \quad 0 = z_{21} \cdot I_1 + (z_{22} \cdot R_V) \cdot I_2$$

$$\text{I}' - \text{II}' \cdot \frac{z_{12}}{z_{22} + R_V} \quad U_{q1} = \left( z_{11} + R_{q1} - \frac{z_{12} \cdot z_{21}}{z_{22} + R_V} \right) \cdot I_1$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{U_{q1}}{z_{11} + R_{q1} - \frac{z_{12} \cdot z_{21}}{z_{22} + R_V}} = \underline{0,102 \text{ A}}$$

$$\text{I}_1 \text{ in II}' \quad I_2 = -\frac{z_{21}}{z_{22} + R_V} \cdot I_1 = \underline{-4,54 \text{ mA}}$$

Name:

Vorname:

$$I_1 \text{ in III} \quad U_1 = U_{q1} - R_{q1} \cdot I_1 = \underline{9,890 \text{ V}}$$

$$I_2 \text{ in IV} \quad U_2 = -I_2 \cdot R_V = \underline{4,54 \text{ V}}$$

$$P_1 = I_1 \cdot U_1 = \underline{1,01 \text{ W}}$$

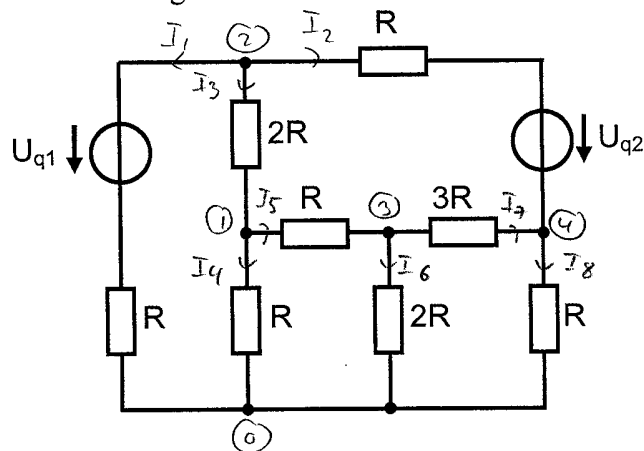
$$P_2 = I_2 \cdot U_2 = \underline{-0,02 \text{ W}}$$

Name:

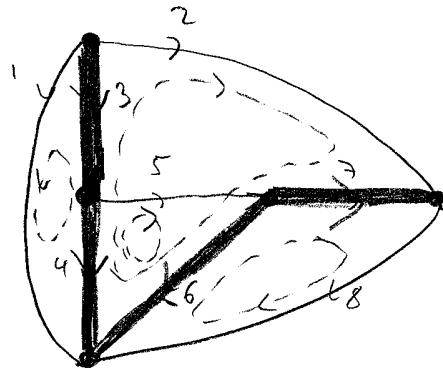
Vorname:

### Aufgabe 4: Maschenstromverfahren (18 Punkte)

Gegeben sei die folgende Schaltung.



(a) Zeichnen Sie den Graph der Schaltung. Markieren Sie einen vollständigen Baum in dem Graph. Markieren Sie die Wege der Maschenströme.



(b) Stellen Sie das Gleichungssystem des Maschenstromverfahrens in Matrixform auf.

$$\begin{pmatrix} 4R & 3R & R & 0 \\ 3R & 3R & 3R & -5R \\ R & 3R & 4R & -2R \\ 0 & -5R & -2R & 6R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_5 \\ I_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -U_{q1} \\ -U_{q2} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



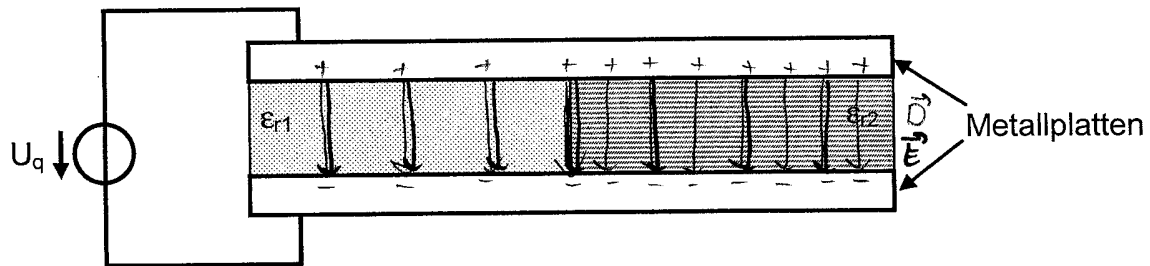
|       |          |
|-------|----------|
| Name: | Vorname: |
|-------|----------|

Name:

Vorname:

### Aufgabe 5: Kondensatoren (12 Punkte)

(a) Gegeben sei folgender an eine Spannungsquelle angeschlossener Plattenkondensator. Der Plattenkondensator sei jeweils zur Hälfte gefüllt mit einem Dielektrikum mit  $\epsilon_{r1} = 2$  und einem Dielektrikum mit  $\epsilon_{r2} = 4$ . Zeichnen Sie qualitativ Flächenladungen, E-Feldlinien und D-Feldlinien im Inneren des Plattenkondensators in die Skizze ein. Randeffekte können vernachlässigt werden.



$$\vec{D} = \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad D = |\sigma|$$

(b) Berechnen Sie die Kapazität des in (a) abgebildeten Kondensators für eine Plattenfläche von  $1 \text{ cm}^2$  und einen Plattenabstand von  $100 \mu\text{m}$ . Randeffekte können vernachlässigt werden.

$$C_1 = \frac{\epsilon_{r1} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{2}}{L}$$

$$C_2 = \frac{\epsilon_{r2} \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{2}}{L}$$

$$A = 1 \text{ cm}^2$$

$$L = 100 \mu\text{m}$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 \frac{A}{2}}{L} (\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2}) = \underline{26,56 \text{ pF}}$$

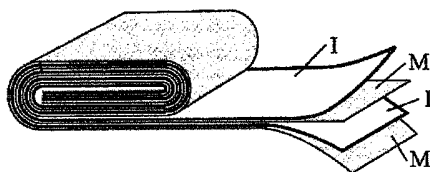
Name:

Vorname:

(c) Ist die Kapazität des Kondensators bei Berücksichtigung der Randeffekte größer oder kleiner?

$$C = \frac{Q}{U}; Q \text{ größer} \rightarrow C \text{ ist größer}$$

(d) Gegeben sei nun ein Wickelkondensator bestehend aus zwei Metallfolien M von je 10 m Länge und 3 cm Breite und zwei Isolierstofffolien I derselben Größe, die wie schematisch abgebildet aufgewickelt sind. Die Isolierstofffolien sind 20  $\mu\text{m}$  dicke, paraffinierte Papierstreifen mit der Permittivitätszahl 2,2. Berechnen Sie die Kapazität dieses Wickelkondensators bei Vernachlässigung von Randeffekten.



Auf jeder Metallfolie ist Vorder- und Rückseite geladen:

$$C = 2 \cdot \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{L}$$

$$A = 10 \text{ m} \cdot 3 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}^2$$

$$L = 20 \mu\text{m}$$

$$\epsilon_r = 2,2$$

$$C = \underline{\underline{584,4 \text{ nF}}}$$

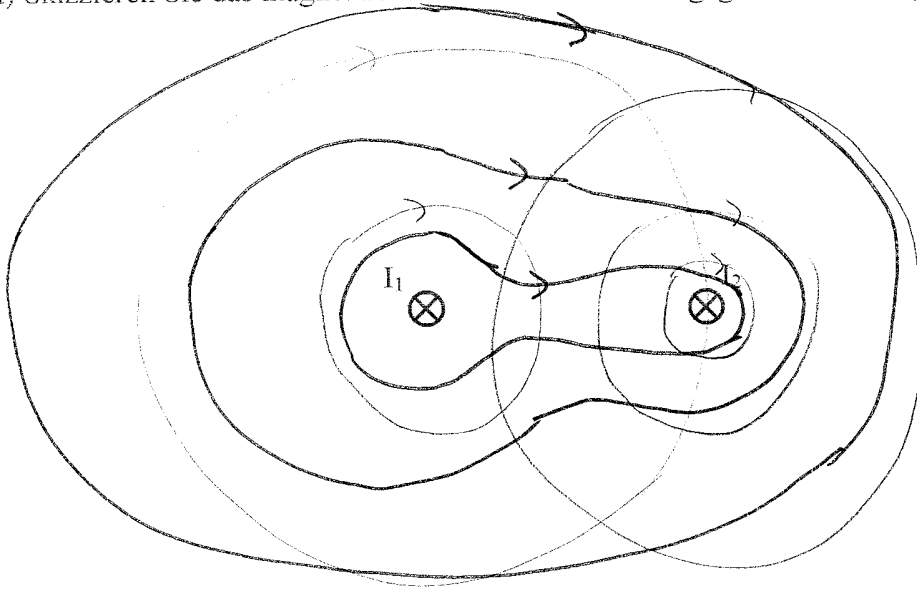
Name:

Vorname:

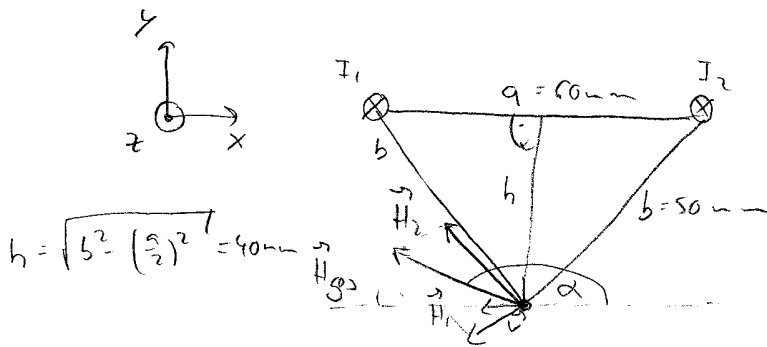
### Aufgabe 6: Magnetfeld zweier Leiter (20 Punkte)

Zwei lange, gerade parallel verlaufende Leiter in Luft mit einem gegenseitigen Abstand von  $a = 60 \text{ mm}$  führen die gleichsinnigen Ströme  $I_1 = 10 \text{ A}$  und  $I_2 = 20 \text{ A}$ .

(a) Skizzieren Sie das magnetische Feldlinienbild in die gegebene Skizze (Draufsicht).



(b) Berechnen Sie den Betrag der magnetischen Feldstärke im Punkt P, der von Leiter 1  $50 \text{ mm}$  und Leiter 2  $50 \text{ mm}$  entfernt ist. Welcher Winkel besteht zwischen der Verbindungslinie a und dem magnetischen Feldstärkevektor im Punkt P?



Betrachtung der Leiter einzeln  
und anschließende Superposition.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\rightarrow H_1 \cdot 2\pi b = I_1 \rightarrow H_1 = \frac{I_1}{2\pi b}$$

$$\rightarrow H_2 = \frac{I_2}{2\pi b}$$

$$\vec{I}_1 \cdot \vec{P} = \begin{pmatrix} 30 \\ -40 \end{pmatrix} \rightarrow \vec{H}_1 = \frac{I_1}{2\pi b} \cdot \begin{pmatrix} -40 \\ -30 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{50} = \frac{I_1}{2\pi b} \begin{pmatrix} -0,8 \\ -0,6 \end{pmatrix}$$

$$\vec{I}_2 \cdot \vec{P} = \begin{pmatrix} -30 \\ -40 \end{pmatrix} \rightarrow \vec{H}_2 = \frac{I_2}{2\pi b} \begin{pmatrix} -40 \\ 30 \end{pmatrix} \cdot \frac{1}{50} = \frac{I_2}{2\pi b} \begin{pmatrix} -0,8 \\ 0,6 \end{pmatrix}$$

$$\vec{H}_{\text{ges}} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 = \frac{1}{2\pi b} \begin{pmatrix} -0,8 (I_1 + I_2) \\ 0,6 (I_2 - I_1) \end{pmatrix} = 3,18 \cdot \begin{pmatrix} -24 \\ 6 \end{pmatrix} \frac{\text{A}}{\text{m}} = \begin{pmatrix} -76,32 \\ 19,08 \end{pmatrix} \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$|\vec{H}_{\text{ges}}| = 78,7 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad \alpha = 166^\circ$$

Name:

Vorname:

Name:

Vorname:

(c) Welche Lorentz-Kraft wirkt auf eine ruhende Ladung  $Q_1 = 1 \text{ nC}$  am Punkt P?

$$\vec{F} = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$\vec{v} = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \rightarrow \vec{F} = 0 \text{ N}$$

Es wirkt keine Kraft.

(d) Welche Lorentz-Kraft wirkt auf eine Ladung  $Q_2 = 1 \text{ nC}$  am Punkt P, die sich mit einer Geschwindigkeit von  $100 \text{ km/s}$  parallel zu der Verbindungslinie a bewegt?

$$\vec{F} = Q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

$$Q = Q_2 = 1 \text{ nC}$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot \vec{H} = \mu_0 \cdot I_{\text{ges}} \vec{e}_z$$

$$\vec{v} = 100 \frac{\text{km}}{\text{s}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$|\vec{F}| = Q_2 \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = 9,89 \text{ nN} \cdot \sin \alpha = 2,39 \text{ nN}$$

Richtung senkrecht zur gezeichneten Ebene in Stromflussrichtung