

# Klausur im Modul Grundgebiete der Elektrotechnik I

am 12.03.2014, 9:00 – 10:30 Uhr

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

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

Studiengang:
--------------

Vorleistung aus Vorjahr berücksichtigen?	<input type="checkbox"/> Ja	<input type="checkbox"/> Nein
--	-----------------------------	-------------------------------

Prüfungsdauer: 90 Minuten

- Zur Prüfung sind folgende Hilfsmittel zugelassen: Schreibgerät, Geodreieck/Lineal, nicht programmierbarer Taschenrechner sowie ein DIN A4-Blatt Formelsammlung (beidseitig selbst **handschriftlich** beschrieben, nicht kopiert). Die Verwendung von eigenem Papier ist nicht gestattet.
- Tragen Sie Name und Vorname auf dem Deckblatt und auch auf **jedem** Aufgabenblatt ein.
- Prüfen Sie die Anzahl der Aufgabenblätter (6 Aufgaben / 16 Seiten) auf Vollständigkeit.
- Die Aufgabenblätter sollen zusammengeheftet bleiben. Die Lösungswege und Lösungen zu den Aufgaben sind in die dafür vorgesehenen Zwischenräume einzutragen. Falls Sie mehr Platz benötigen, verwenden Sie die linken leeren Seiten.
- Bei Abgabe: Bleiben Sie bitte an Ihrem Platz. Die bearbeiteten Aufgabenblätter werden bei Ihnen abgeholt.
- Bitte nichts in die folgenden Tabellen eintragen! Diese werden von uns ausgefüllt.

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	$\Sigma$
Punkte	11	22	16	18	20	13	100
erreicht							

Übungen (Gewicht 25%)	Klausur (Gewicht 75%)	Gesamt %	Modulnote

Auszufüllen bei der Klausureinsicht:

Klausur eingesehen

\_\_\_\_\_ Datum

\_\_\_\_\_ Unterschrift

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

### Aufgabe 1: Konzepte und Quas (~~1~~ Punkte)

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

(a) Coulomb-Kraft

Die Kräfte, die Ladungen aufeinander ausüben, werden Coulomb-Kräfte genannt. Ladungen mit gleichen Vorzeichen stoßen einander ab, Ladungen mit ungleichen Vorzeichen ziehen einander an. Die Kraft ist proportional zum Quadrat des Abstandes der Ladungen.

(b) Kurzschlussstrom

Kurzschlussstrom heißt der Strom, der fließt, wenn die Klemmen eines Zweipols ideal leitend verbunden sind.

(c) Arbeitspunkt

Der Arbeitspunkt ist derjenige Betriebszustand, der sich einstellt, nachdem zwei Zweipole miteinander verbunden werden.

Name:

Vorname:

(d) In die folgende QUCS-Messbrückenschaltung zur Bestimmung des unbekannten Widerstandes  $R\_TEST$  wurden nachträglich fünf Fehler eingebaut, so dass diese Schaltung nicht mehr simulierbar ist und eine erneute Bestimmung der korrekten Ergebnisse nicht möglich ist. Finden und markieren Sie alle fehlerhaften Punkte in der Schaltung gut erkennbar und eindeutig mit einem Kreis. Schreiben oder zeichnen Sie die nötige Korrektur kurz, skizzenhaft daneben.

### DC-Simulation

DC1

### Parameterdurchlauf

SW1

Sim=DC1

Type=lin

Param=p

Start=0

Stop=1

Points=1000

### Gleichung

Eqn1

$R=1000000$

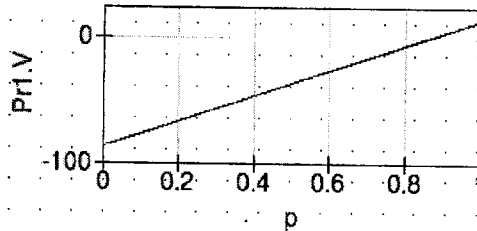
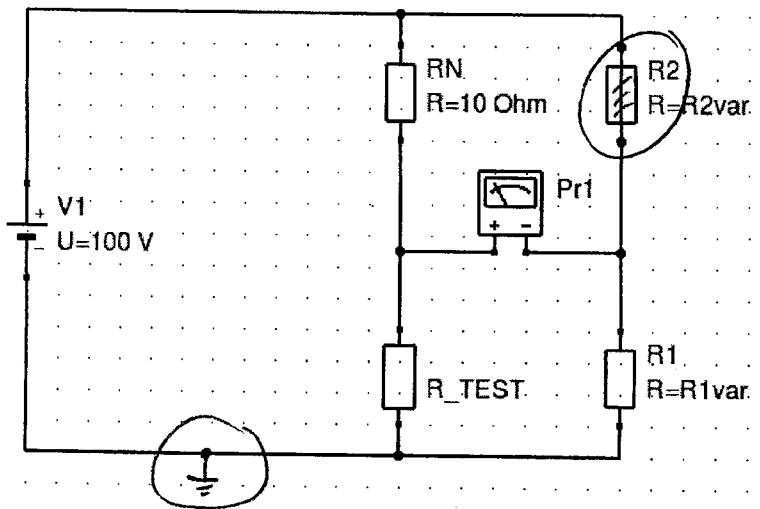
$R1var=(1-p)*R$

$R2var=p*R$

$px=xvalue(Pr1.V,0)$

$RX=((1-px)*R)/(px*R)*RN.R$

$p=1$



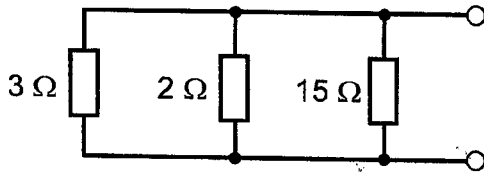
number	RX
1	1.58933

Name:

Vorname:

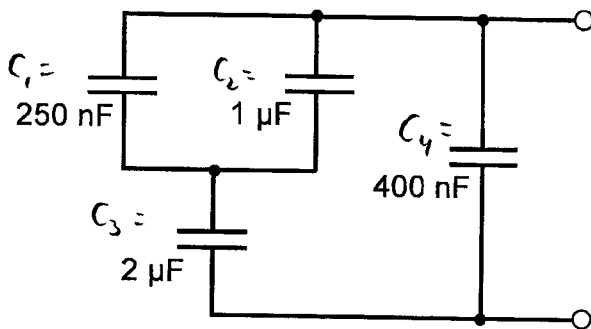
## Aufgabe 2: Ersatzzweipole <sup>22</sup> (16 Punkte)

(a) Berechnen Sie den Ersatzwiderstand für die folgende Schaltung.



$$R = \frac{1}{\frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{2\Omega} + \frac{1}{15\Omega}} = 1,11\Omega$$

(b) Berechnen Sie die Ersatzkapazität für die folgende Schaltung.

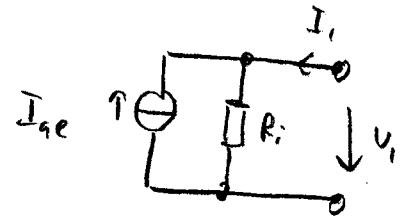
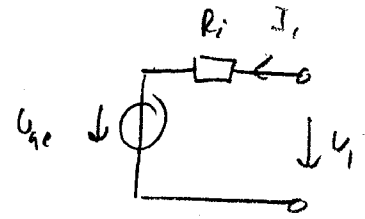
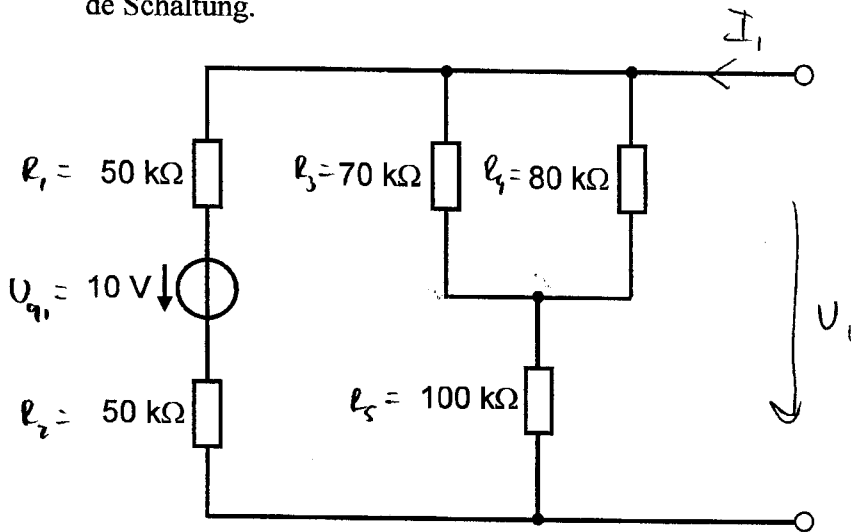


$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_1 + C_2}} + C_4 = 1,17\mu\text{F}$$

Name:

Vorname:

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



Berechnung von  $R_i$  für  $U_{q1} = 0V$

$$R_i = \frac{1}{\frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{\frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + R_5}} = \frac{1}{\frac{1}{100k\Omega} + \frac{1}{137k\Omega}} = \underline{57,9k\Omega}$$

Berechnung von  $I_{qe}$  für  $U_1 = 0V$  (Kurzschluss)

$$I_1 = - \frac{U_{q1}}{R_1 + R_2} = \underline{-100\mu A}$$

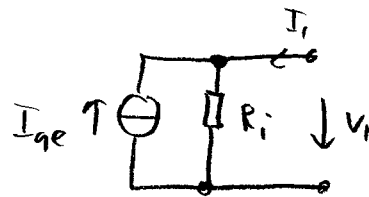
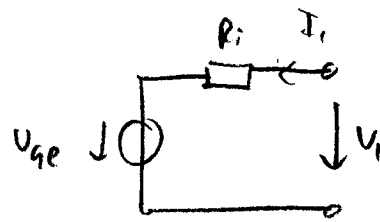
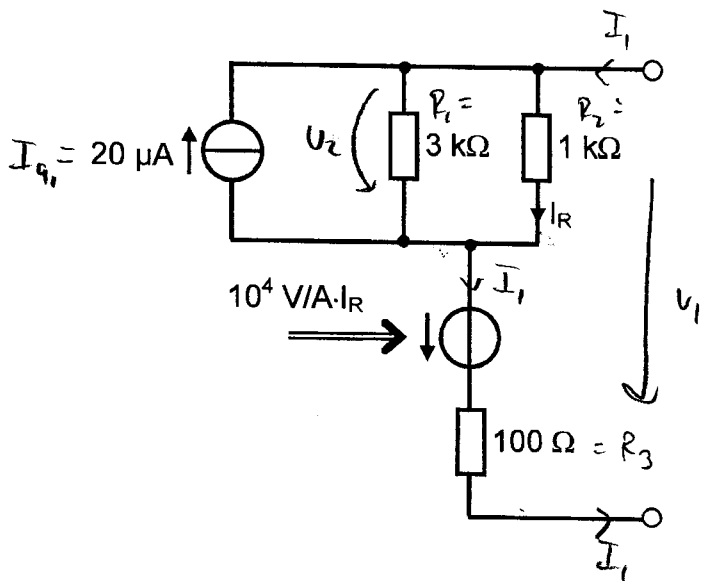
$$\rightarrow I_{qe} = -I_1 = \underline{100\mu A}$$

$$\rightarrow U_{qe} = I_{qe} \cdot R_i = \underline{5,79V}$$

Name:

Vorname:

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



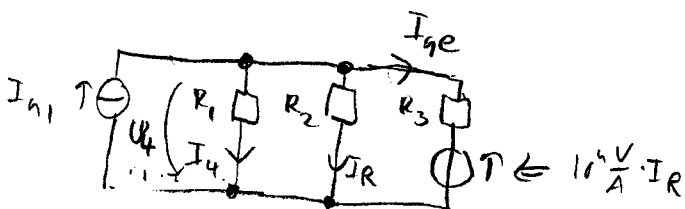
Berechnung der Leerlaufspannung  $U_{qe}$

$$I_1 = 0 \rightarrow I_{q1} = \frac{U_2}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} \rightarrow U_2 = I_{q1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = 15 \text{ mV}$$

$$I_R = \frac{U_2}{R_2} = 15 \text{ } \mu\text{A}$$

$$U_{qe} = U_1 = U_2 + 10^4 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot I_R = 15 \text{ mV} + 150 \text{ mV} = \underline{165 \text{ mV}}$$

Berechnung des Kurzschlussstromes  $I_{qe}$



$$\text{I. } I_{q1} = I_R + I_{qe}$$

$$\text{II. } I_{q1} \cdot R_1 = I_R \cdot R_2$$

$$\text{III. } I_R \cdot R_2 = I_{qe} \cdot R_3 - 10^4 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot I_R$$

$$\text{II. in I. } I_{q1} = I_R \cdot \frac{R_2}{R_1} + I_{qe} \rightarrow I_R = \frac{I_{q1} - I_{qe}}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

$$I_R \text{ in III. } I_{qe} \cdot R_3 = I_R \cdot (R_2 + 10^4 \frac{\text{V}}{\text{A}}) = \frac{I_{q1} - I_{qe}}{1 + \frac{R_2}{R_1}} (R_2 + 10^4 \frac{\text{V}}{\text{A}}) = (I_{q1} - I_{qe}) \cdot 8,25 \text{ k}\Omega$$

$$\rightarrow I_{qe} = \frac{I_{q1} \cdot 8,25 \text{ k}\Omega}{R_3 + 8,25 \text{ k}\Omega} = \underline{13,76 \text{ } \mu\text{A}}$$

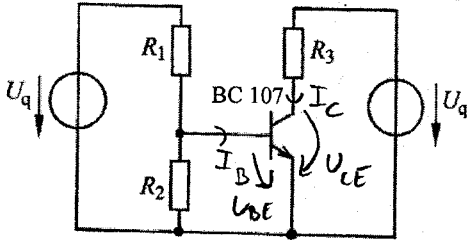
$$R_i = \frac{U_{qe}}{I_{qe}} = \underline{8,35 \text{ k}\Omega}$$

Name:

Vorname:

### Aufgabe 3: Transistoren (16 Punkte)

(a) Ein Bipolartransistor BC 107 soll in der folgenden Schaltung im Arbeitspunkt  $I_B = 250 \mu A$ ,  $U_{CE} = 5 V$  an einer Quelle mit der Quellenspannung  $U_q = 9 V$  betrieben werden. Der Widerstand  $R_1 = 3,3 k\Omega$  ist vorgegeben. Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_2$  und  $R_3$ . Nutzen Sie dazu die gegebenen Kennlinienfelder des Bipolartransistors.



$$I_B = 250 \mu A ; U_{CE} = 5 V$$

$$\text{aus Bild 4.21 : } I_C = 55 \text{ mA}$$

$$\text{aus Bild 4.20 : } U_{BE} = 0,78 V$$

$$R_3 = \frac{U_q - U_{CE}}{I_C} = 73 \Omega$$

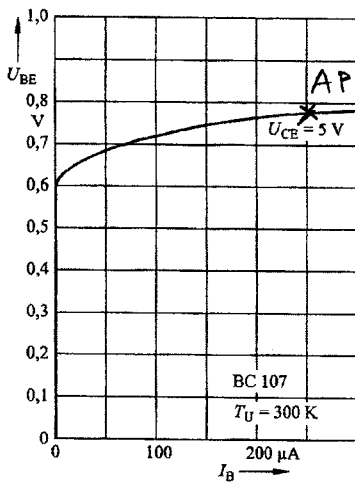


Bild 4.20 Eingangskennlinienfeld

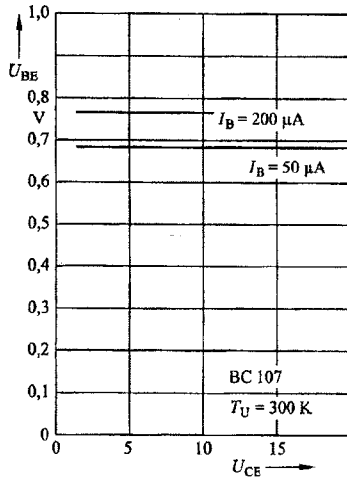


Bild 4.22 Rückwirkungskennlinienfeld

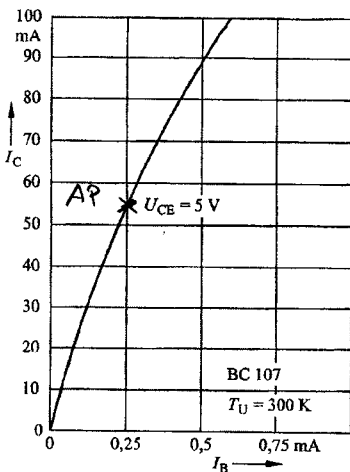


Bild 4.21 Stromverstärkungskennlinienfeld

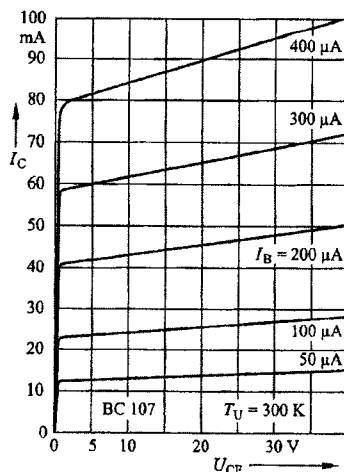


Bild 4.23 Ausgangskennlinienfeld

$$U_q = R_1 \cdot (I_2 + I_B) + R_2 \cdot I_2$$

$$U_{BE} = R_2 \cdot I_2 \rightarrow I_2 = \frac{U_{BE}}{R_2}$$

$$U_q = (R_1 + R_2) \cdot \frac{U_{BE}}{R_2} + R_1 \cdot I_B$$

$$U_q = \frac{R_1}{R_2} \cdot U_{BE} + U_{BE} + R_1 \cdot I_B$$

$$\frac{1}{R_2} = \frac{U_q - U_{BE} - R_1 \cdot I_B}{R_1 \cdot U_{BE}}$$

$$\rightarrow R_2 = \frac{R_1 \cdot U_{BE}}{U_q - U_{BE} - R_1 \cdot I_B} = 350 \Omega$$

Name:

Vorname:

(b) Im aktiven Bereich soll der Transistor BC 107 mit den unten gezeigten Kennlinienfeldern durch die gegebene Ersatzschaltung ersetzt werden. Bestimmen Sie graphisch die Parameter  $R_{BE}$ ,  $U_{qBE}$ ,  $h$ , und  $G_{CE}$  für den Arbeitspunkt  $I_C=42\text{ mA}$  und  $U_{CE}=5\text{ V}$ .

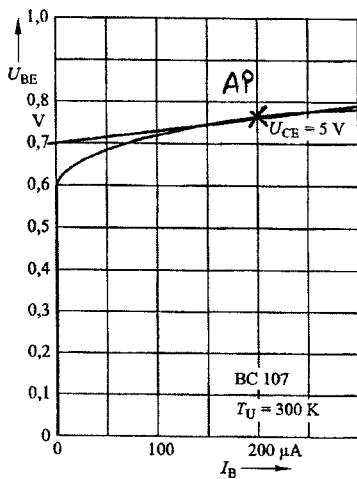
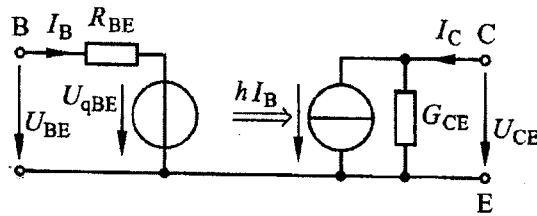
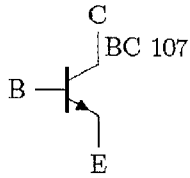


Bild 4.20 Eingangskennlinienfeld

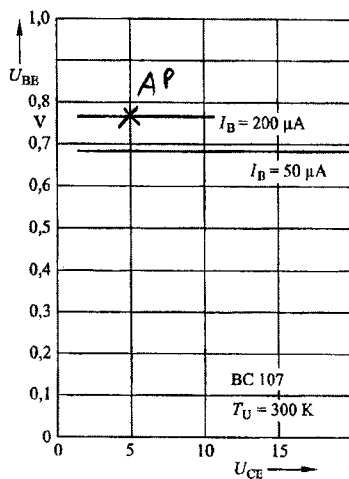


Bild 4.22 Rückwirkungskennlinienfeld

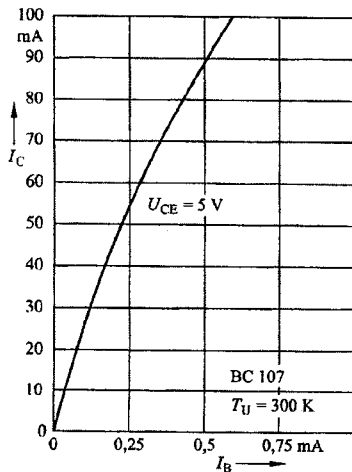


Bild 4.21 Stromverstärkungskennlinienfeld

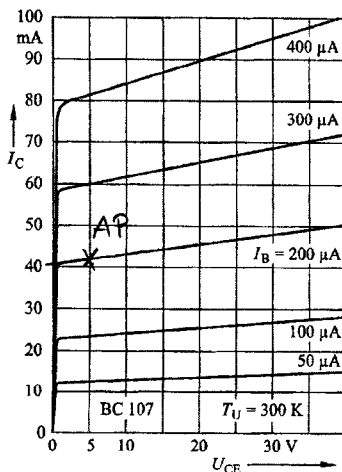


Bild 4.23 Ausgangskennlinienfeld

$$U_{qBE} = U_{BE} \Big|_{I_0=0A} = 0,70V$$

$$R_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} = \frac{0,73V - 0,70V}{300\mu A}$$

$$R_{BE} \approx 300\Omega$$

$$h = \frac{I_C}{I_B} \Big|_{U_{CE}=0V} = \frac{41\mu A}{200\mu A}$$

$$h \approx 200$$

$$G_{CE} = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{CE}} = \frac{51mA - 41mA}{40V}$$

$$G_{CE} \approx 250\mu S$$

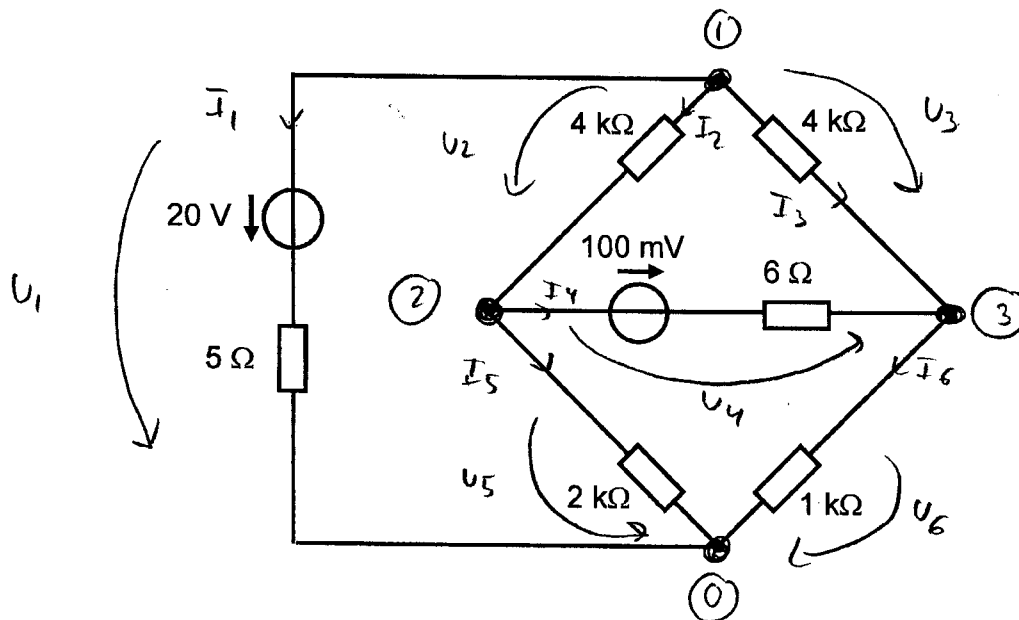


Name:

Vorname:

### Aufgabe 4: Netzwerkanalyse (18 Punkte)

Gegeben sei die folgende Schaltung. Es sollen die linear unabhängigen Zweig-, Knoten- und Maschengleichungen aufgestellt werden, die zur Bestimmung sämtlicher Zweigströme und Zweigspannungen notwendig sind.



(a) Beschriften Sie die Zweigströme und Zweigspannungen in der Schaltung. Stellen Sie die linear unabhängigen Zweiggleichungen auf.

$$z1) \quad U_1 = 20\text{V} + 5\Omega \cdot I_1$$

$$z2) \quad U_2 = 4\text{k}\Omega \cdot I_2$$

$$z3) \quad U_3 = 4\text{k}\Omega \cdot I_3$$

$$z4) \quad U_4 = 100\text{mV} + 6\Omega \cdot I_4$$

$$z5) \quad U_5 = 2\text{k}\Omega \cdot I_5$$

$$z6) \quad U_6 = 1\text{k}\Omega \cdot I_6$$

Name:

Vorname:

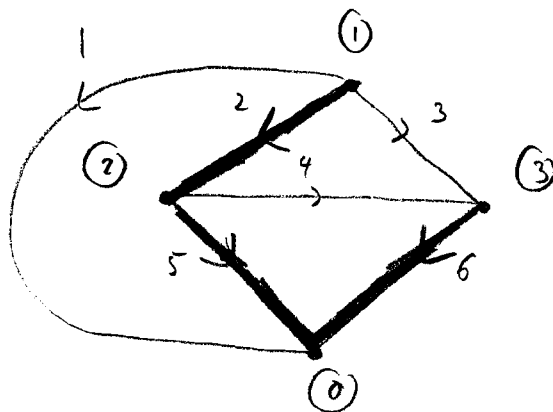
(b) Markieren Sie die Knoten in der Schaltung und stellen Sie die linear unabhängigen Knotengleichungen auf.

$$K1) \quad 0 = I_1 + I_2 + I_3$$

$$K2) \quad I_2 = I_4 + I_5$$

$$K3) \quad I_3 + I_4 = I_6$$

(c) Zeichnen Sie den Graph der Schaltung inklusive der Pfeile für den Bezugssinn. Markieren Sie einen vollständigen Baum in dem Graph. Stellen Sie die linear unabhängigen Maschengleichungen auf und zeichnen Sie die dazugehörigen Maschenumläufe in den Graph ein.



$$M1) \quad U_1 - U_5 - U_2 = 0$$

$$M3) \quad U_3 + U_6 - U_5 - U_2 = 0$$

$$M4) \quad U_4 + U_6 - U_5 = 0$$

(d) Geben Sie jeweils die Anzahl für Ihr resultierendes Gleichungssystem an.

Anzahl an unbekanntem Zweigströmen und Zweigspannungen: 12

Anzahl an linear unabhängigen Zweiggleichungen aus (a): 6

Anzahl an linear unabhängigen Knotengleichungen aus (b): 3

Anzahl an linear unabhängigen Maschengleichungen aus (c): 3

Name:

Vorname:

### Aufgabe 5: Stromdichte (20 Punkte)

(a) Ein Kupferdraht hat einen Querschnitt von  $1 \text{ mm}^2$  und wird von einem Strom der Stärke  $0,2 \text{ A}$  durchflossen. Welche Stromdichte liegt in dem Leiter vor?

$$j = \frac{I}{A} = \frac{0,2 \text{ A}}{1 \text{ mm}^2} = 0,2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

(b) Bestimmen Sie die mittlere Driftgeschwindigkeit der Elektronen für den Draht aus (a). Pro  $1 \text{ mm}^3$  Volumen enthält Kupfer  $8,5 \cdot 10^{19}$  Atome, von denen jedes ein Elektron zum Ladungstransport beisteuert.

$$|j| = |n \cdot e \cdot v| \quad \rightarrow |v| = \frac{|j|}{|n \cdot e|} = 0,0147 \frac{\text{mm}}{\text{s}} = \underline{14,7 \frac{\mu\text{m}}{\text{s}}}$$

$$n = 8,5 \cdot 10^{19} \text{ mm}^{-3}$$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

(c) Wird ein Stromkreis geschlossen, beginnt der Strom trotz der relativ geringen Driftgeschwindigkeit überall gleichzeitig zu fließen. Kreuzen Sie die Ursache an:

Die Lorentz-Kraft setzt die Ladungsträger sofort in Bewegung.

Die mechanische Kraft wirkt durch Impulsübertragung sofort.

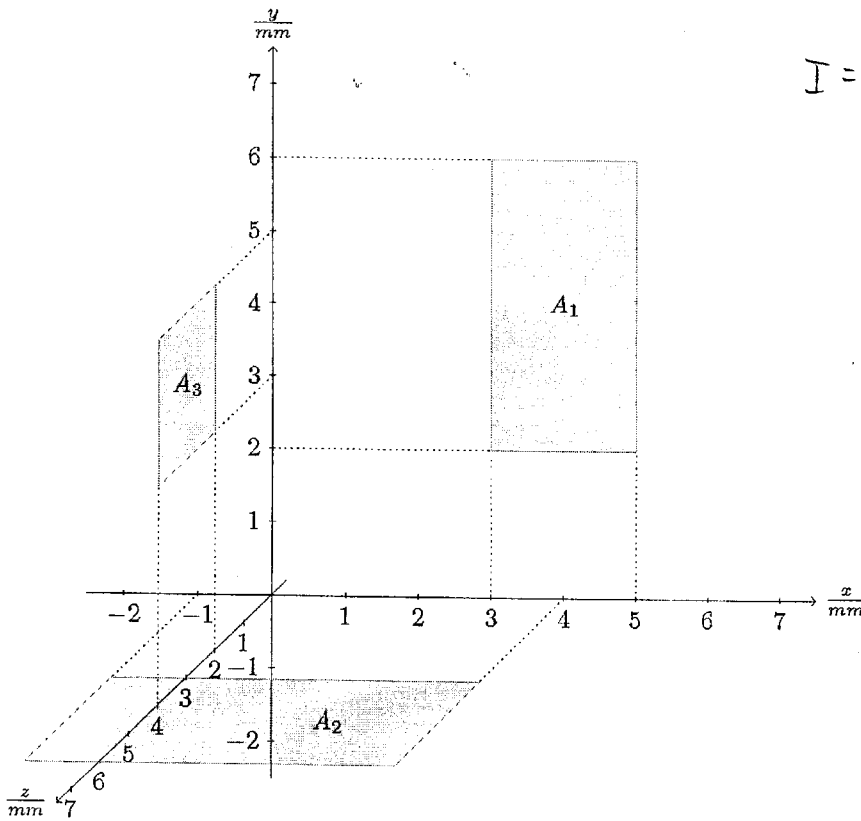
Die elektrische Feldstärke breitet sich annähernd mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Name:

Vorname:

(d) Gegeben sei die folgende Stromdichte im Raum:

$$\vec{j} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{mm}^2} \vec{e}_x + y \frac{\text{mA}}{\text{mm}^3} \vec{e}_z$$

Berechnen Sie die Stromstärken  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I_3$  durch die drei unten gezeigten Flächen  $A_1$ ,  $A_2$  und  $A_3$ .

$$I = \iint_A \vec{j} \cdot d\vec{A}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_{3\text{mm}}^{5\text{mm}} \int_{2\text{mm}}^{6\text{mm}} \left( 2 \frac{\text{mA}}{\text{mm}^2} \vec{e}_x + y \frac{\text{mA}}{\text{mm}^3} \vec{e}_z \right) \cdot dy \cdot dx \cdot \vec{e}_z \\ &= \int_{3\text{mm}}^{5\text{mm}} \int_{2\text{mm}}^{6\text{mm}} y \cdot \frac{\text{mA}}{\text{mm}^3} dy \cdot dx = \frac{\text{mA}}{\text{mm}^3} \left[ \frac{1}{2} y^2 \right]_{2\text{mm}}^{6\text{mm}} \cdot (5\text{mm} - 3\text{mm}) \\ &= \frac{\text{mA}}{\text{mm}^3} \cdot \frac{1}{2} \cdot (36\text{mm}^2 - 4\text{mm}^2) \cdot 2\text{mm} = \underline{32 \text{ mA}} \end{aligned}$$

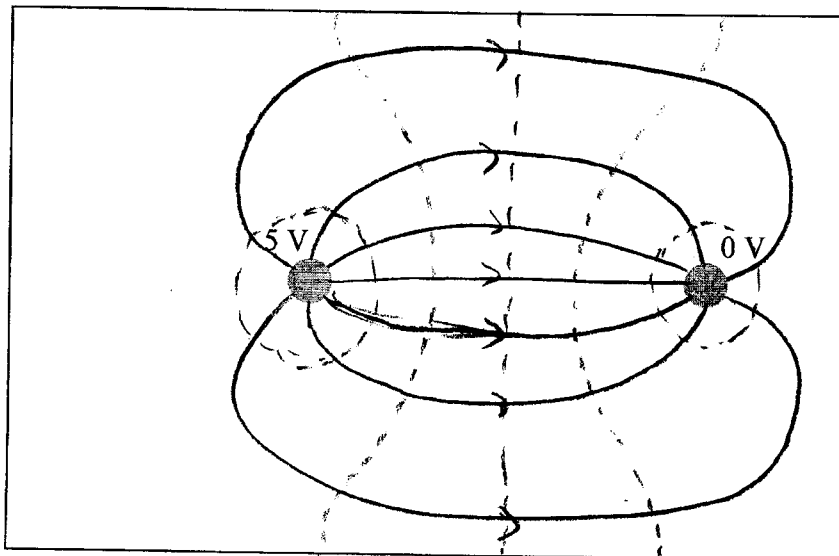
$$I_2 = \int \int \vec{j} \cdot dx \cdot dz \cdot \vec{e}_y = \underline{0}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= \int_{3\text{mm}}^{5\text{mm}} \int_{2\text{mm}}^{6\text{mm}} \left( 2 \frac{\text{mA}}{\text{mm}^2} \vec{e}_x + y \frac{\text{mA}}{\text{mm}^3} \vec{e}_z \right) \cdot dz \cdot dy \cdot \vec{e}_y = 2 \frac{\text{mA}}{\text{mm}^2} \cdot 2\text{mm} \cdot 2\text{mm} \\ &= \underline{8 \text{ mA}} \end{aligned}$$

Name:

Vorname:

(e) Ein dünnes, leitfähiges Plättchen in Vakuum werde mit zwei Elektroden mit kreisförmigem Querschnitt und wesentlich höherer Leitfähigkeit kontaktiert. Die eine Elektrode habe ein elektrisches Potential von 5 V und die andere Elektrode von 0 V. Die Abbildung unten zeigt die Anordnung von oben gesehen. Zeichnen Sie in die Abbildung mindestens 7 Feldlinien der Stromdichte sowie mindestens 4 Äquipotentiallinien ein.



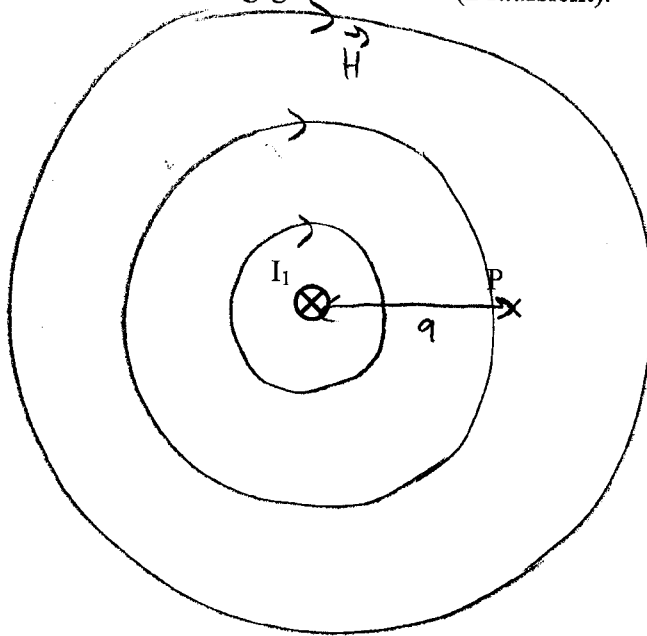
—  $\vec{E}$   
- - -  $\rho$

Name:

Vorname:

### Aufgabe 6: Magnetfeld eines Leiters (<sup>13</sup>15 Punkte)

(a) Ein langer, gerade verlaufender Leiter in Luft führe den Strom  $I_1 = 10 \text{ A}$ . Skizzieren Sie das magnetische Feldlinienbild in die gegebene Skizze (Draufsicht).



(b) Berechnen Sie den Betrag der magnetischen Feldstärke im Punkt P, der von Leiter 50 mm entfernt ist.

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{s} = I_1$$

$$a = 50 \text{ mm} ; I_1 = 10 \text{ A}$$

$$\rightarrow H_P \cdot 2\pi a = I_1 \quad \rightarrow H_P = \frac{I_1}{2\pi a} = \underline{\underline{31,8 \frac{\text{A}}{\text{m}}}}$$

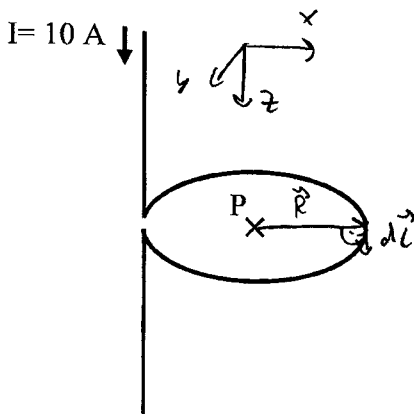
Name:

Vorname:

(c) Der lange, gerade verlaufende Leiter aus (a) werde nun kreisförmig mit einem Radius von 5 cm um den Punkt P gebogen. Dabei bildet der Punkt P den Mittelpunkt der Leiterschleife. Die Ebene aus Leiterschleife und Punkt P stehe wie unten skizziert senkrecht zum langen Leiter. Berechnen Sie den Magnetfeldvektor im Punkt P für einen Strom  $I_1 = 10$  A. Definieren Sie dazu ein Koordinatensystem.

$$\vec{H}_{\text{ges}} = H_P \cdot \vec{e}_y + H_2 \vec{e}_z \quad ; H_P \text{ aus (b) und } H_2 \text{ durch Schleife}$$

$$\vec{H}_2 = \frac{I}{4\pi} \int_L \frac{d\vec{l} \times \vec{e}_R}{r^2} = \frac{I}{4\pi} \cdot \frac{2\pi a \vec{e}_z}{a^2} = \frac{I}{2a} \vec{e}_z$$



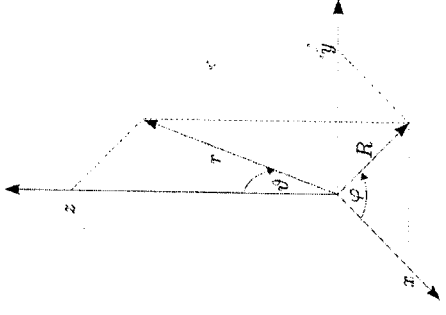
$$|\vec{R}| = a = 5 \text{ cm}$$

$$\vec{H}_2 = 100 \frac{\text{A}}{\text{m}} \vec{e}_z$$

$$\vec{H}_{\text{ges}} = 31,8 \frac{\text{A}}{\text{m}} \vec{e}_y + 100 \frac{\text{A}}{\text{m}} \vec{e}_z$$

Der Zusammenhang zwischen kartesischen, Kreiszyylinder- und Kugelkoordinaten

Kartesische Koordinaten	Zylinderkoordinaten	Kugelkoordinaten
$x$	$R \cos \varphi$	$r \sin \vartheta \cos \varphi$
$y$	$R \sin \varphi$	$r \sin \vartheta \sin \varphi$
$z$	$z$	$r \cos \vartheta$
$\sqrt{x^2 + y^2}$	$R$	$r \sin \vartheta$
$\arctan \frac{y}{x}$	$\varphi$	$\varphi$
$z$	$z$	$r \cos \vartheta$
$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$	$\sqrt{R^2 + z^2}$	$r$
$\arctan \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z}$	$\arctan \frac{R}{z}$	$\vartheta$
$\arctan \frac{y}{x}$	$\varphi$	$\varphi$



Linien-, Flächen- und Volumenelemente in den verschiedenen Koordinatensystemen

	Kartesische Koordinaten	Zylinderkoordinaten	Kugelkoordinaten
$d\vec{s}$	$\vec{e}_x dx + \vec{e}_y dy + \vec{e}_z dz$	$\vec{e}_R dR + \vec{e}_\varphi R d\varphi + \vec{e}_z dz$	$\vec{e}_r dr + \vec{e}_\vartheta r d\vartheta + \vec{e}_\varphi r \sin \vartheta d\varphi$
$d\vec{f}$	$\vec{e}_x df_x + \vec{e}_y df_y + \vec{e}_z df_z$ $df_x = dy dz$ $df_y = dx dz$ $df_z = dx dy$	$\vec{e}_R df_R + \vec{e}_\varphi df_\varphi + \vec{e}_z df_z$ $df_R = R d\varphi dz$ $df_\varphi = dR dz$ $df_z = R dR d\varphi$	$\vec{e}_r df_r + \vec{e}_\vartheta df_\vartheta + \vec{e}_\varphi df_\varphi$ $df_r = r^2 \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$ $df_\vartheta = r \sin \vartheta dr d\varphi$ $df_\varphi = r dr d\vartheta$
$dv$	$dx dy dz$	$R dR d\varphi dz$	$r^2 \sin \vartheta dr d\vartheta d\varphi$
grad $\Phi$	$\vec{e}_x \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \vec{e}_y \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \vec{e}_z \frac{\partial \Phi}{\partial z}$	$\vec{e}_R \frac{\partial \Phi}{\partial R} + \vec{e}_\varphi \frac{1}{R} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} + \vec{e}_z \frac{\partial \Phi}{\partial z}$	$\vec{e}_r \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \vec{e}_\vartheta \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \vartheta} + \vec{e}_\varphi \frac{1}{r \sin \vartheta} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi}$