Vorname: Name: Matrikelnummer: Tutor:

Semester-Klausur – Physik II (Elektrodynamik) – SS 2003 18.7.2003

Beachten sie bitte die Punkteverteilung

Aufgabe	Punkte
Anwesenheit	1
1	28
2	15
3	17
4	15
5	24
Gesamt	100

Bei Aufgabe 1 und 5 ist die Punkteverteilung der einzelnen Teilaufgaben angegeben!

Nützliche Formeln und Konstanten:

Volumenelement Kugelkoordinaten:

$$dV = r^2 \cdot \sin\theta \cdot dr \cdot d\theta \cdot d\phi; \quad \text{Integration über Kugeloberfläche} : 4\pi$$

$$log_b a = \frac{\ln a}{\ln b}$$

Lichtgeschwindigkeit: $c = 3 \cdot 10^8 m/s$

Permeabilität des Vakuums $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} T^2 m^3/J$

Dielektrizitätskonstante des Vakuums $\epsilon_0 = 8.854187817 \cdot 10^{-12} C^2/Jm$

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

1. Kurze Fragen und Multiple Choice – **mehrere Antworten möglich**

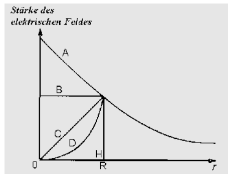
(a) (8P) Nennen sie die 4 Maxwellgleichungen in differentieller **und** integraler Form.

(b) (1P) Die elektrische Ladung auf je zwei geladenen Partikeln wird verdoppelt.
Die elektrische Kraft zwischen ihnen (a) wird verdoppelt; (b) wird vervierfacht; (c) bleibt gleich; (d) keine der obigen Aussagen.

(c) (2P) Wir betrachten statische B- und E-Felder.
Welche Aussage trifft zu? Das elektrische Feld:
(a) gehorcht dem Superpositionsprinzip; (b) wird durch ein statisches B-Feld erzeugt; (c) besitzt ein zugehöriges Potential, dessen Differenz einer Spannung entspricht; (d) ist im Plattenkondensator U/d; (e) ist im Plattenkondensator $U \cdot d$!

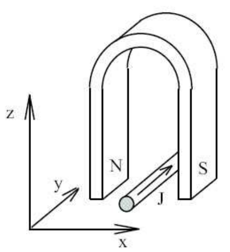
(d) (2P) Eine isolierte Vollkugel

vom Radius R mit homogener Ladungsdichte wird betrachtet. Welche Kurve beschreibt die Abhängigkeit der Feldstärke E vom Abstand zum Kugelmittelpunkt?
(A),(B),(C),(D),(H)



(e) (2P) Hufeisenmagnet!

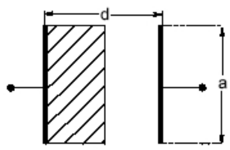
Betrachten sie die skizzierte Anordnung aus Hufeisenmagnet und Draht. Im Draht fließt ein Strom I in der gezeichneten Richtung (technische Stromrichtung). Kreuzen sie die richtige(n) Antwort(en) an:
Die Kraft auf den Draht wirkt



(a) in positiver x-Richtung.
(b) in negativer x-Richtung.
(c) in positiver y-Richtung.
(d) in negativer y-Richtung.
(e) in positiver z-Richtung.
(f) in negativer z-Richtung.
(g) Es wirkt keine Kraft auf den Draht.

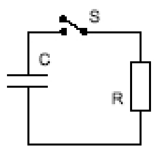
(f) (2P) E- und B-Feld: Ein positiv geladenes Teilchen befindet sich in einem homogenen elektrischen und homogenen magnetischen Feld. Beide Feldrichtungen sind parallel. Weitere Felder sind nicht vorhanden. Das Teilchen wird zunächst festgehalten und dann plötzlich losgelassen. Das Teilchen bewegt sich (a) auf einem Kreis; (b) auf einer Parabel; (c) auf einer Geraden; (d) auf einer Spiralbahn; (e) gar nicht.

(g) (3P) Dielektrikum im Kondensator!
Gegeben ist ein idealer Plattenkondensator mit quadratischen Platten der Seitenlänge $a = d$. Ein Dielektrikum mit der Dielektrizitätskonstanten ϵ wird so in den Kondensator geschoben, dass es das Volumen zwischen den Platten zur Hälfte ausfüllt (s. Skizze).



Gesucht ist das Verhältnis $\frac{C_D}{C}$ der Kapazitäten mit (C_D) und ohne (C) Dielektrikum.
(a) $\frac{C_D}{C} = 1 + 2\epsilon$; (b) $\frac{C_D}{C} = \frac{1+\epsilon}{2}$; (c) $\frac{C_D}{C} = 2\epsilon$; (d) $\frac{C_D}{C} = \frac{2\epsilon}{1+\epsilon}$; (e) $\frac{C_D}{C} = \frac{1}{2(1+\epsilon)}$

(h) (3P) Energieverbrauch
Der Kondensator in der Zeichnung mit der Kapazität C ist aufgeladen. Sie schließen den Schalter S. Nach welcher Zeit $t_{\frac{1}{2}}$ ist die Energie im Plattenkondensator auf die Hälfte ihres Anfangswertes abgeklungen?
(a) RC; (b) $\frac{1}{2}RC$; (c) $\frac{1}{4}RC$; (d) $3RCln2$ (e) $\frac{1}{2}RCln2$



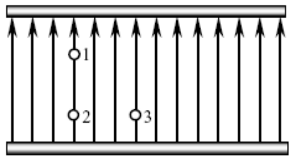
(i) (2P) Glühbirne: Sie wechseln eine 75W-Lampe mit einer 100W-Lampe aus. Was ist richtig? Der Widerstand der 100W-Lampe ist im Vergleich zur 75W-Lampe
(a) größer. (b) kleiner. (c) genauso groß. (d) $R = 0$. (e) $R = \infty$

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

(j) **(2P)** Feld im Plattenkondensator

Nebenstehend ist die Feldverteilung eines aufgeladenen Plattenkondensators skizziert. Die drei Punkte 1, 2 und 3 sollen alle im homogenen Bereich des elektrischen Feldes liegen. Dann gilt für die elektrischen Feldstärken E_1, E_2, E_3 in diesen Punkten:

(a) $E_1 = E_2 < E_3$;
(b) $E_1 = E_3 < E_2$;
(c) $E_3 = E_2 < E_1$;
(d) $E_2 = E_3 > E_1$;
(e) $E_1 = E_2 = E_3$



(k) **(1P)** Welche Aussage trifft zu? Die Permeabilitätszahl paramagnetischer Stoffe ist (a) negativ; (b) positiv, aber sehr klein gegen 1; (c) etwas kleiner als 1; (d) etwas größer als 1; (e) groß gegen 1;

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

2. Maxwellgleichungen ANGEWANDT – *kartesisch* $(x, y, z; r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2})$

Betrachten sie ein zeitlich konstantes elektrisches Feld $\vec{E}$ von folgender Beschaffenheit!

$$\vec{E} = \alpha(z \cdot x,\ z \cdot y,\ z^2 - 2 \cdot r^2); \quad \alpha \neq 0;$$

(a) Bestimmen sie durch die Anwendung der Maxwellgleichungen die zur Erzeugung notwendigen Felder, bzw. Ladungsverteilungen, welche sind
ϱ (Ladungsdichte), $\vec{B}$ und zugehörige Stromdichte $\vec{j}$!

$$\text{Hinweis}: \quad rot\ \vec{K} = \nabla \times (K_x, K_y, K_z) = \left(\frac{\partial K_z}{\partial y} - \frac{\partial K_y}{\partial z}, \frac{\partial K_x}{\partial z} - \frac{\partial K_z}{\partial x}, \frac{\partial K_y}{\partial x} - \frac{\partial K_x}{\partial y} \right)$$

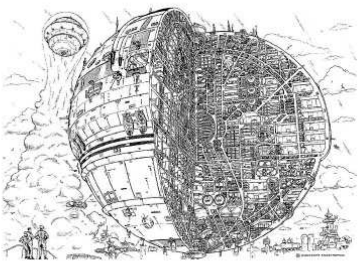
(b) Welchen Wert (incl. Einheiten) muss α annehmen, damit $\vec{E}$ zur Zeit $t = 1s$ durch eine Stromdichte von 1 A/m^2 in z-Richtung erzeugt wird?

(c) Ist obiges $\vec{E}$ ein konservatives Feld? Begründung!

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

3. Bemannter Flug zum Mars

Nach der Lösung der Energieprobleme der Menschheit durch den Schwarzschild-Generator ist es gelungen, das erste Großraumschiff für interplanetare Forschungsflüge zu konstruieren. Der aus 40 Mitgliedern bestehenden Besatzung obliegt es unter ihrem Kommando in wenigen Tagen den ersten bemannten Raumflug zum Mars anzutreten. Eine Woche vor dem Start tritt jedoch ein Physiker des aus der Mode gekommenen Fachgebietes 'Weltraumwetter' an sie heran, um auf die Gefahr hochenergetischer Ionen hinzuweisen, die bei solaren Stürmen von der Sonne ausgestoßen werden. Als eine Abwehrmaßnahme schlägt er ihnen vor, die äußere Hülle Ihres d durchmessenden kugelförmigen Raumschiffes in einem solchen Fall elektrostatisch aufzuladen. Sie ziehen sich für eigene Berechnungen (der **Formeln**) in Ihre Kabine zurück:



(a) Mit der gerechtfertigten Annahme, dass die Form des Raumschiffes als eine leitende Hohlkugel genähert werden kann, müssen sie zuerst das elektrische Feld **berechnen**, das bei einer homogenen Aufladung der Außenhülle erzeugt wird. (Hinweis: Gaußscher Satz)

(b) Skizzieren sie den Feldverlauf vom Mittelpunkt des Schiffes bis $r = \infty$. *(qualitativ)*

(c) Damit stellt sich die wichtige Frage, welche Gesamtladung vorgesehen werden muss, damit alle Ionen (Protonen) bis zu einer Energie von 10 MeV aus dem Unendlichen noch vor der Hülle des Schiffes gestoppt werden können - also ihre gesamte Energie bei radialem Einfall bis zur Oberfläche des Schiffes verloren haben.

(d) Um den Fragen der Bordingenieure zuvor zu kommen, sollten sie auch gleich die resultierende Oberflächenladungsdichte σ_O auf der Außenhülle berechnen.

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

4. Definition von 1 Ampere (A) — Auszug aus dem Gesetzestext:

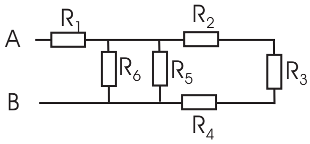
```
2. Gesetzliche Maßeinheiten sind:
(1) Basiseinheiten:
. . . . . . . . . . . . . . . . . . .
4. für die elektrische Stromstärke das Ampere (A), das gleich ist der Stärke des
elektrischen Stromes, der durch zwei geradlinige, dünne, unendlich lange Leiter,
die in einer Entfernung von 1 Meter parallel zueinander im leeren Raum angeordnet
sind, unveränderlich fließend bewirken würde, daß diese beiden Leiter aufeinander
eine Kraft von 0,0000002 Newton (2x10 hoch -7 N) je 1 Meter Länge ausüben;
Bundesgesetz vom 13. Dezember 1988, mit dem das Maß- und Eichgesetz geändert wird.
```

(a) Skizzieren sie diese Anordnung und **berechnen** sie mit diesem Wissen μ_0 und mit der "bekannten Relation" via Lichtgeschwindigkeit c die Größe ϵ_0.

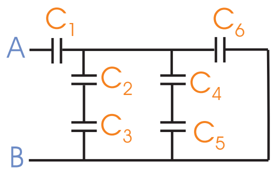
(b) Ein Elektron e^- fliegt parallel zwischen den beiden Leitern, 10 cm von einem der beiden entfernt in konventionelle Stromrichtung! Wird das e^- zur Mitte der beiden Leiter oder außen abgelenkt (**mit Begründung, keine Rechnung!**)?

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

5. Widerstands-, Kapazitäts-, Stromkreise



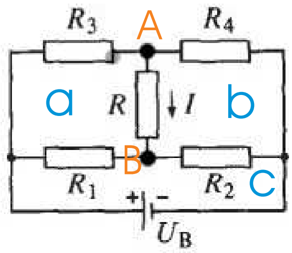
(a) **(3P)** *Widerstandsnetzwerk*
Geben sie den Widerstand zwischen Punkt A und B an!



(b) **(3P)** *Kapazitätsnetzwerk*
Geben sie die Kapazität zwischen Punkt A und B an!

(c) **(10P)** *Widerstandsmessung (spannungs- und stromrichtige Schaltung)*
Angenommen, es stehen ihnen ein Amperemeter und ein Voltmeter mit den Innenwiderständen $R_{iA} = 10\Omega$ und $R_{iV} = 1k\Omega$ zur Verfügung.
Zeichnen sie die Diagramm**e** zur spannungs- und stromrichtigen Messung an! Wie groß ist **jeweils** der relative Fehler $\frac{\Delta R}{R} = \frac{R - R_{mess}}{R}$ bei der Messung eines Widerstandes $R = 1k\Omega$, wenn die Innenwiderstände unberücksichtigt bleiben?

(d) **(6P)** *Kirchhoffsche Gesetze und WHEATSTONEsche Brückenschaltung!*



Geben sie 5 linear unabhängige Gleichungen für die Knoten (A,B), bzw. Maschen (a,b,c) dieses Stromkreises an!
Welche Beziehung muss für $R1, ...R_4$ für die abgeglichene ($I = 0$) Brücke gelten? (*Rechnung nicht erforderlich!*)

(e) Wozu wird die WHEATSTONEsche Brückenschaltung genutzt (Anwendung)?

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

Vorname: **Name:** **Matrikelnummer:**

Vorname: Name: Matrikelnummer: Tutor:

Semester-Klausur – Physik II (Elektrodynamik) – SS 2003 18.7.2003

1. Kurze Fragen und Multiple Choice – mehrere Antworten möglich

(a) **Maxwellgleichungen in integraler Form:** $\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E}$; $\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$ ist ok, auf die Größen $\vec{P}$ und $\vec{M}$ lege ich hier keinen großen Wert, aber die Vektorpfeile sind nötig, und die Richtige Zuordnung von ϵ_0 und μ_0. (auch die Abhängigkeiten von $\vec{r}$ und t müssen hier nicht explizit stehen, die sind selbstverständlich!

$$\oint_{\partial F} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int\int_F \vec{J} \cdot d\vec{F} + \frac{d}{dt} \int\int_F \vec{D} \cdot d\vec{F} \quad (1)$$

$$\oint_{\partial F} \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int\int_F \vec{B} \cdot d\vec{F} \quad (2)$$

$$\int\int_{\partial V} \vec{D} \cdot d\vec{F} = \int\int\int_V \varrho dV \quad (3)$$

$$\int\int_{\partial V} \vec{B} \cdot d\vec{F} = 0 \quad (4)$$

Maxwellgleichungen in differentieller Form: Übergang mittels Gauss'schen bzw. Stoke'schem Satz!!!

$$\begin{aligned}
\nabla \times \vec{H}(\vec{r},t) = rot\ \vec{H}(\vec{r},t) &= \vec{J}(\vec{r},t) + \frac{\partial}{\partial t}\vec{D}(\vec{r},t) \\
\nabla \times \vec{E}(\vec{r},t) = rot\ \vec{E}(\vec{r},t) &= -\frac{\partial}{\partial t}\vec{B}(\vec{r},r) \\
\nabla \cdot \vec{D}(\vec{r},t) = div\ \vec{D}(\vec{r},t) &= \varrho(\vec{r},t) \\
\nabla \cdot \vec{B}(\vec{r},t) = div\ \vec{B}(\vec{r},t) &= 0
\end{aligned}$$

(b) b (vervierfacht Qq)

(c) a,c,d

(d) C

(e) f (Rechte-Hand-Regel)

(f) c

(g) d

(h) e) (Achtung: es wurde nach der Energie gefragt, die geht mit U^2)
$Q \sim e^{-\frac{t}{RC}}$; $E = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2}\frac{C}{C^2}Q^2 \sim e^{-\frac{2t}{RC}}$
$Q_0 e^{-\frac{2t}{RC}} = Q_0 \frac{1}{2} \Rightarrow \ln 2 = \frac{2t}{RC} \Rightarrow t = \frac{1}{2}RC \ln 2$

(i) b) ($U = const, P = U \cdot I \ \Uparrow \ \rightarrow I \Uparrow \Rightarrow R \Downarrow (U = R \cdot I)$)

(j) e ($\vec{E} = konst.$)

(k) d) **Zusatz** (nicht gefragt): Die Magnetisierung von paramagnetischen Stoffen ist im Allgemeinen nur schwach, das heißt μ_r ist nur wenig größer als eins. Allerdings reicht diese Magnetisierung, um den gleichzeitig vorhandenen Diamagnetismus aus den induzierten bahnmagnetischen Dipolmomenten zu überdecken. Auch in paramagnetischen Stoffen verschwindet beim Abschalten von $\vec{B}_{ext}$ die Magnetisierung.

2. Maxwellgleichungen ANGEWANDT – kartesisch

(a)

$$div\ \vec{E} = \frac{\varrho}{\epsilon_0};$$

$$div\ \vec{E} = \alpha(z + z + 2z - 4z) = 0 \Rightarrow \varrho = 0$$

$$rot\ \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt};$$

$$rot\ \vec{E} = \alpha(-4y - y, x + 4x, 0) = 5\alpha(-y, x, 0)$$

Integration nach t

$$-\vec{B} = 5\alpha(-y, x, 0) \int dt = 5\alpha(-y, x, 0) \cdot t + \vec{k}(\text{konst.})$$

$$rot\ \vec{B} = \mu_0 \vec{j}$$

$$rot\ \vec{B} = 5\alpha t(0, 0, -1 - 1) \quad \Rightarrow \vec{j} = -10\frac{\alpha t}{\mu_0}(0, 0, 1)$$

(b) in z-Richtung zur Zeit $t = 1s$:
$j = 1A/m^2 = -10\frac{\alpha}{\mu_0} \Rightarrow \alpha = -\frac{\mu_0 A}{10m^2} = -\frac{4\pi 10^{-8} T^2 m^3}{m^2 J} = -\frac{4\pi 10^{-8} T^2 m}{J} =$
mit $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}\frac{T^2 m^3}{J}$ und $1T = 1N/Am = 1Vs/m^2$

(c) NEIN, es ist NICHT konservativ, da $rot\vec{E} \neq 0$.

3. Bemannter Flug zum Mars

Gefragt: elektrisches Feld:

(a) Berechnung der Hohlkugel:

Hohlkugel $\Rightarrow$ Kugel-(bzw. Rotations)symmetrie $\Rightarrow$ reine r-Abhängigkeit!
Achtung: Innenfeld ist in Teil a) nicht gefragt! Trotzdem: Innen: Feldfrei: $E = 0$ – bekannt! Oder für $r \leq R$ gilt $\int \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$ für jede beliebige geschlossene Fläche, da es keine Ladungsträger im "inneren" jedes $r \leq R$ gibt. $\Rightarrow$

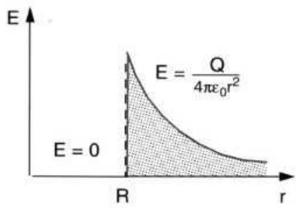
$$\vec{E} = 0 \Rightarrow \phi = const.$$

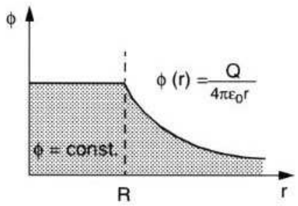
Aussenraum: GAUSS: Für $r \geq R$ gilt

$$\frac{Q}{\epsilon_0} \overset{Gauss}{=} \Phi = \int \vec{E} \cdot d\vec{S} \overset{integriert}{=} 4\pi r^2 E \Rightarrow \vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r} \tag{1}$$

mit $d\vec{S}$ als Oberflächenintegral über die Kugelschale mit $4\pi r^2$ als Ergebnis!

(b) Skizze:





(nur E gefragt, oberer Teil)

(c) Teilchen mit der Energie 10 MeV aus dem unendlichen bis $r = 80m$!
Mache aus $E \Rightarrow \phi$ via Integration:

$$10MeV = q\phi(r) = q\int_r^\infty E \cdot dr = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r} \tag{2}$$

$$\Rightarrow Q = \frac{4\pi\epsilon_0 \cdot r \cdot 10MeV}{q} \overset{Protonenladung\ e}{=} 4\pi\epsilon_0 \cdot r \cdot 10MV \tag{3}$$

(d) Oberflächenladungsdichte

$$\sigma_0 = \frac{Q}{O} = \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{10MV \cdot \epsilon_0}{r} \tag{4}$$

4. Definition von 1 Ampere (A)

(a) Skizze!
Magnetfeld um einen Leiter: (geht auch via Biot-Savart)

$$\oint_{\partial F} \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int\int_F \vec{J} \cdot d\vec{F}; \qquad \vec{D} = 0 \tag{5}$$

Flächenstromdichte über die Fläche integriert ergibt den Gesamtstrom I
Magnetfeld Linienintegral geht *um* den Leiter ((Kreis) radialsymmetrisch, d.h. nur von r abhängig)

$$\int_0^{2\pi} r \cdot H \cdot d\varphi = 2\pi \cdot r \cdot H = I \tag{6}$$

Magnetfeld um Leiter ($\vec{B} = \mu_0 \vec{H}$)

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot r}; \quad B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r} \tag{7}$$

Kraft des B-Felds auf einen Leiter:

$$d\vec{F} = I d\vec{l} \times \vec{B} \tag{8}$$

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \stackrel{l \perp B}{=} \frac{\mu_0 I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2\pi r} \frac{\vec{r}}{r} \tag{9}$$

A la Newton 3 erfahren beide Leiter diese Kraft.

Hier: mit $I_1 = I_2 = 1A;\ r = 1m;\ l = 1m\ F = 2 \cdot 10^{-7} N$ aufgelöst nach μ_0:

$$\mu_0 = \frac{2N \cdot 2\pi \cdot 10^{-7}}{A^2} \stackrel{exakt}{=} 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} \tag{10}$$

$$\mu_0 \epsilon_0 c^2 = 1 \quad \rightarrow \quad \epsilon_0 = \frac{1 \cdot 10^7}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^{16}} \frac{A^2 s^2}{N m^2} = \frac{1 \cdot 10^{-9}}{4\pi \cdot 9} \frac{A^2 s^2}{N m^2} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Jm} \tag{11}$$

(b) Nach Innen

5. Widerstands-, Kapizitäts-, Stromkreise

(a) Widerstände: $R_6 \mid\mid R_5 \mid\mid (R_2 + R_3 + R_4)$ in Reihe zu R_1 Parreleler Teil:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{R_5 \cdot R_6 + (R_5 + R_6) \cdot (R_2 + R_3 + R_4)}{R_5 \cdot R_6 \cdot (R_2 + R_3 + R_4)} \tag{12}$$

$$R_{ges} = R_1 + R_{Ersatz} = R_1 + \frac{R_5 \cdot R_6 \cdot (R_2 + R_3 + R_4)}{R_5 \cdot R_6 + (R_5 + R_6) \cdot (R_2 + R_3 + R_4)} \tag{13}$$

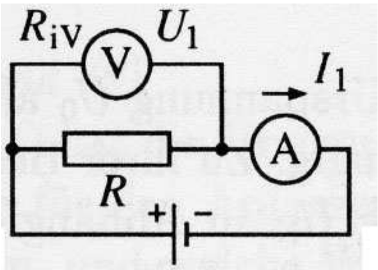
(b) Kapazitäten: $C_2, C_3 \mid\mid C_4, C_5 \mid\mid C6$ in Reihe zu C_1, $C2$ *reihe* C_3 $C4$ *reihe* C_5

$$\frac{1}{C_{23}} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C3} \Rightarrow C_{23} = \frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3}; \text{analog} \quad C_{45} = \frac{C_4 \cdot C_5}{C_4 + C_5} \tag{14}$$

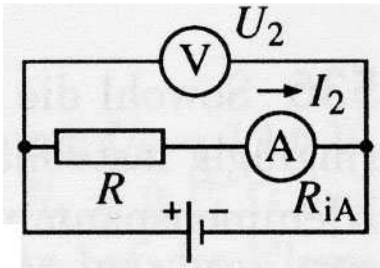
$$C_E = C_{23} + C_{45} + C_6 \tag{15}$$

$$\frac{1}{C_{ges}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_E} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{23} + C_{45} + C_6} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{\frac{C_2 \cdot C_3}{C_2 + C_3} + \frac{C_4 \cdot C_5}{C_4 + C_5} + C_6} \tag{16}$$

(c) Strom- und Spannungsrichtige Schaltungen:



(a) Spannungsrichtige Schaltung



(b) Stromrichtige Schaltung

Ausgangspunkt: $\Delta R = R - R_{mess}$
Ohmsches Gesetz $U = RI \Rightarrow R = \frac{U}{I}$
$R = 1k\Omega$; $\quad R_{iV} = 1k\Omega$; $\quad R_{iA} = 10\Omega$

- Spannungsrichtig:
  In Schaltung (a) fließt durch die Parallelschaltung aus den Widerständen R und R_{iV} an denen die Spannung U_1 abfällt, der Strom:
  Fehler: es wird der Strom durch den Widerstand, als auch der Strom durch das Voltmeter gemessen!

$$U = U_{mess}; \quad I_{mess} = I_R + I_{iV} = \frac{U}{R} + \frac{U}{R_{iV}} \Rightarrow R_{mess} = \frac{U}{\frac{U}{R} + \frac{U}{R_{iV}}} = \frac{R \cdot R_{iV}}{R + R_{iV}} = 0.5k\Omega \tag{17}$$

  Hier:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R - \frac{R \cdot R_{iV}}{R + R_{iV}}}{R} = \frac{1 - 0,5}{1} = 0.5 = 50\% \tag{18}$$

- Stromrichtig:
  Fehler: die gemessene Spannung fällt am Widerstand, als auch am Amp-meter ab!

$$I = I_{mess}; \quad U_{mess} = I \cdot R + I \cdot R_{iA} = I(R + R_{iA}) \Rightarrow R_{mess} = \frac{I(R + R_{iA})}{I} = R + R_{iA} = 1,01k\Omega \tag{19}$$

Hier:

$$\frac{\Delta R}{R} = |\frac{R-(R-R_{iA})}{R}| = \frac{0.01}{1} = 0.01 = 1\% \tag{20}$$

(d) WHEATSTON
2 Knoten, 3 Maschen!

$$\begin{array}{ccc} A & I_3 - I_4 - I & = 0 \\ B & I_1 + I - I_2 & = 0 \\ c & R_1 I_1 + R_2 I_2 & = U_B \\ a & -R_1 I_1 + R_3 I_3 + RI = 0 & \\ b & R_4 I_4 + R_2 I_2 - RI & = 0 \end{array}$$

$(I = 0)$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

(e) Zur genauen Widerstandsmessung! Aus dem Verhältnis bekannter Widerstände läßt sich der gefragte Widerstand ausrechnen, bei einem bekannten Strom (im Standardfall NULL, Stromabgleichung auf NULL sehr genau!)