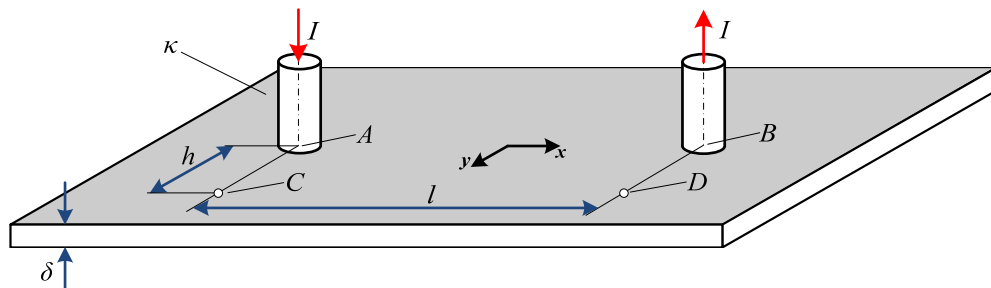


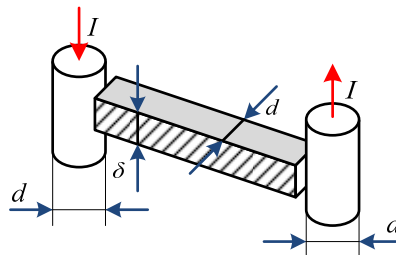
| Name, Vorname | Testat | |
|---------------|--------|--|
| | | |

Aufgabe 1: Stromführung über eine Metallplatte

In zwei Kreisbohrungen einer grossen, dünnen Metallplatte mit elektrischer Leitfähigkeit κ ist je ein Kontaktbolzen eingeschweisst (siehe **Fig. 1i**). Die Platte kann näherungsweise als unendlich weit ausgedehnt betrachtet werden. Die Kontaktbolzen können als ideal leitfähig angenommen werden.



i)



ii)

Fig. 1: Metallplatte mit Kontaktbolzen

- a) Es ist der elektrische Widerstand R zwischen den Bolzen zu bestimmen. Gehen Sie dazu wie folgt vor:
- 1) Berechnen Sie mit Hilfe des Überlagerungsprinzips für einen angenommenen Strom I allgemein die Stromdichte \vec{J} in der Platte. Nehmen Sie dabei an, dass $l \gg d$ gilt, d.h. der Einfluss des Bolzendurchmessers d auf die Stromdichte \vec{J} kann vernachlässigt werden.
 - 2) Mit 1) können Sie nun die Spannung U_{AB} zwischen den Bolzen berechnen, woraus der gesuchte Widerstand R über das ohmsche Gesetz ermittelt werden kann. Der Bolzendurchmesser d soll dabei nicht vernachlässigt werden.
- b) Berechnen Sie im Sinne einer Näherung der exakten Rechnung nach a) den elektrischen Widerstand R^* des in **Fig. 1ii** eingezeichneten Plattenbereichs zwischen den Bolzen mit Breite d .
- c) Vergleichen Sie die Lösungen aus a) und b). Wie gross ist der relative Fehler der Lösung aus b) wenn folgende Werte gegeben sind: $d = 1\text{mm}$, $\delta = 0.5\text{mm}$, $l = 10\text{mm}$ und $\kappa = 56 \cdot 10^6 \text{ S/m}$.
- d) Geben Sie an, wie gross die Spannung U_{CD} zwischen den beiden in **Fig. 1i** eingezeichneten Punkten C und D ist.
- Hinweis:* Ausgehend von der Stromdichte \vec{J} können die Potentiale an den beiden Punkten C und D berechnet werden.

Aufgabe 2: Glühlampe

Die Glühwendel einer Glühlampe ist durch einen Wolframdraht mit dem Durchmesser $d = 24 \mu\text{m}$ und der Länge $l = 62 \text{ cm}$ realisiert.

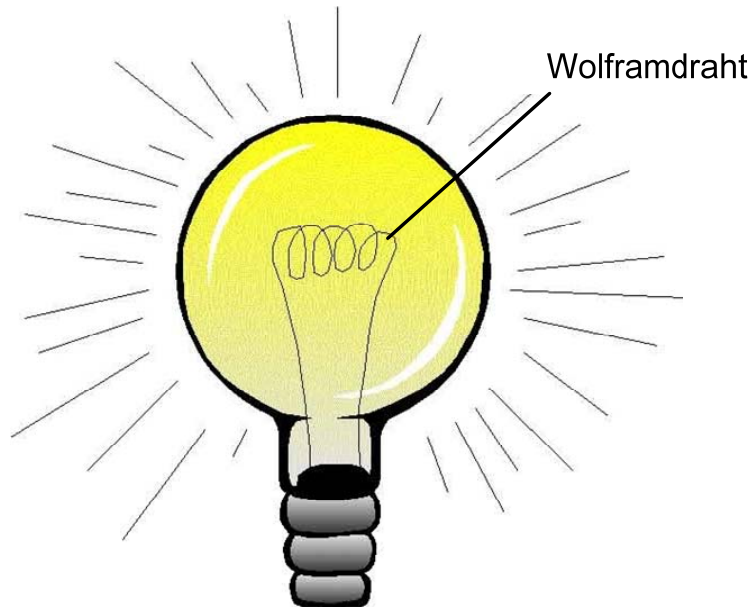


Fig. 2: Glühlampe

- a) Ermitteln Sie den Widerstand R des Drahtes in Abhängigkeit der Temperatur T . Zeichnen Sie ein R - T -Diagramm für Temperaturen zwischen $T_k = 20^\circ\text{C}$ (Einschaltzustand) und $T_w = 2200^\circ\text{C}$ (Betriebstemperatur). Um die Aufgabe zu lösen, benutzen Sie die folgenden Materialwerte für Wolfram:

Elektrische Leitfähigkeit: $\kappa_{20} = 18.2 \cdot 10^6 \text{ S/m}$

Temperaturbeiwerte: $\alpha = 4.1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$

$$\beta = 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-2}$$

Für die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes gelte: $R_w = R_k \left(1 + \alpha(T_w - T_k) + \beta(T_w - T_k)^2 \right)$

- b) Welche Ströme I werden von der Glühlampe im kalten Zustand (Einschaltzustand) und im warmen Zustand (Betriebszustand) an einer Spannung $U = 230\text{V}$ aufgenommen?

Aufgabe 3: Abgleich eines SMD-Widerstandes

Bei der SMD-Technologie (Surface Mounted Device) werden elektronische Bauelemente (z.B. Kondensatoren, Widerstände, usw.) mittels lötfähiger Anschlussflächen direkt auf die Leiterplattenoberfläche gelötet; im Gegensatz zur klassischen Durchsteckmontage, welche Bohrungen in der Leiterplatte erfordert, wird dadurch die Bestückung wesentlich vereinfacht.

Nach Auflöten der SMD Widerstände bzw. Realisierung einer Schaltung kann ggf. noch ein Abgleich erforderlich sein, um eine definierte Schaltungsfunktion zu erreichen. Dieser Abgleich erfolgt mittels eines Lasereinschnitts. In **Fig. 3** sind der prinzipielle Aufbau eines SMD-Metallschichtwiderstands mit möglichem Schnittverlauf gezeigt. Das Material der Metallschicht ist eine sog. Widerstandspaste (Ag-Pd-Pd-Oxid) mit $\rho = 6000 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Höhe, Breite und Länge der Schicht seien $h = 2\mu\text{m}$, $b = 1\text{mm}$ und $l = 2.5\text{mm}$. Die Breite des Schnitts sei $d = b/5$.

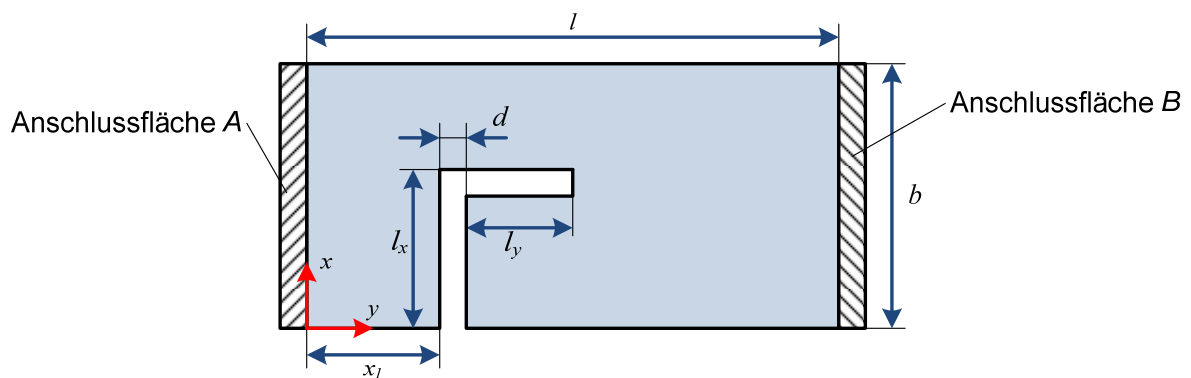


Fig. 3: SMD-Metallschichtwiderstand

- a) Berechnen Sie den Widerstand R der Metallschicht zwischen den (ideal leitfähigen) Anschlussflächen A und B ohne den in **Fig. 3** eingezeichneten Abgleichsschlitz.

Es soll nun mittels eines x-Einschnittes der Länge l_x und eines y-Einschnittes der Länge l_y einen Widerstand von $R = 10\text{k}\Omega$ realisiert werden (vgl. **Fig. 3**).

- b) Geben Sie R in Abhängigkeit von l_x und l_y an.
- c) Zeichnen Sie in einem Graphen den Widerstandswert R in Abhängigkeit von l_x und l_y wenn zuerst in x-Richtung ein Schnitt von $l_x = 0$ bis $b/2$ und anschliessend in y-Richtung ein Schnitt von $l_y = 0$ bis $l/2$ durchgeführt wird. Es gilt $x_l = l/4$. Was stellen Sie bezüglich der Widerstandsänderung in Abhängigkeit der Schnitttrichtung fest?
- d) Wie gross muss l_y sein, wenn bei $l_x = b/3$ ein Widerstand von $R = 10\text{k}\Omega$ realisiert werden soll?

Aufgabe 4: Auslegung eines Koaxialkabels

(Nicht testatpflichtig)

Ein Koaxialkabel (Aussendurchmesser D , Innendurchmesser d) mit Polyäthylenisolation ($\epsilon_r = 2.26$) soll so ausgelegt werden, dass für eine gegebene Betriebsspannung die Maximalfeldstärke möglichst klein wird.

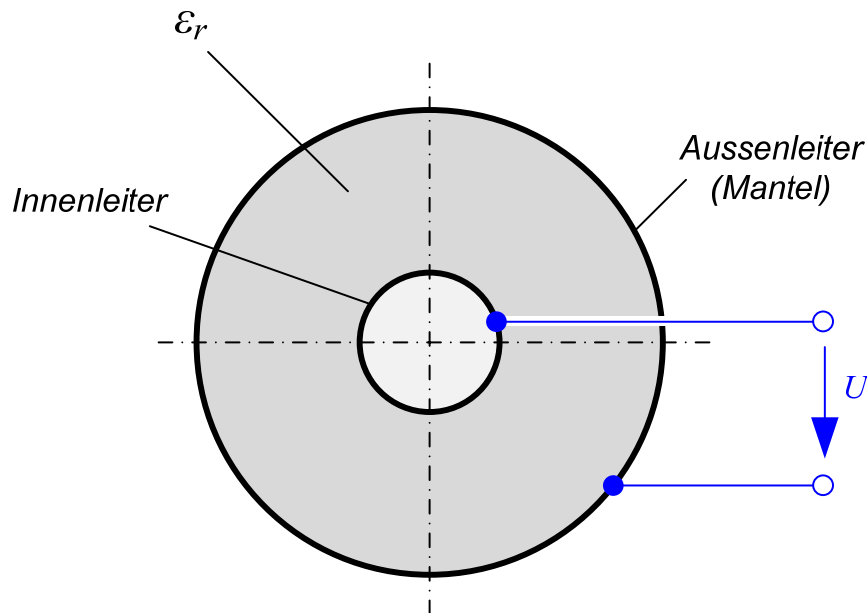


Fig. 4: Koaxialkabel

- Vorerst betrachten wir nur den Innenleiter, der Aussenleiter sei nicht vorhanden. Berechnen Sie das radial nach aussen gerichtete elektrische Feld \vec{E}_r des positiv geladenen Innenleiters mit Durchmesser d . Wo tritt die maximale Feldstärke E_{\max} auf?
- Was fällt Ihnen bei der in Aufgabe **a)** hergeleiteten Formel im Vergleich zur Formel für das elektrische Feld einer geladenen Kugel auf?
- Nun wird der Aussenleiter mit entgegengesetzter, gleich grosser Ladung über den Innenleiter gelegt. Berechnen Sie das resultierende elektrische Feld \vec{E}_r im ganzen Bereich $r > 0$. Wo tritt jetzt die maximale Feldstärke E_{\max} auf?
- Geben Sie die maximale Feldstärke E_{\max} im Innenraum des Koaxialkabels in Abhängigkeit der Spannung U (vgl. **Fig. 4**) an.
- Zeichnen Sie den Graph von E_{\max} in Abhängigkeit von d für die festen Werte $U = 200\text{kV}$ und $D = 80\text{mm}$.
- Bei welchem Innenleiterdurchmesser d wird E_{\max} minimal ($D = 80\text{mm}$)? Wie gross ist dann der Kapazitätsbelag C' [F/m]?