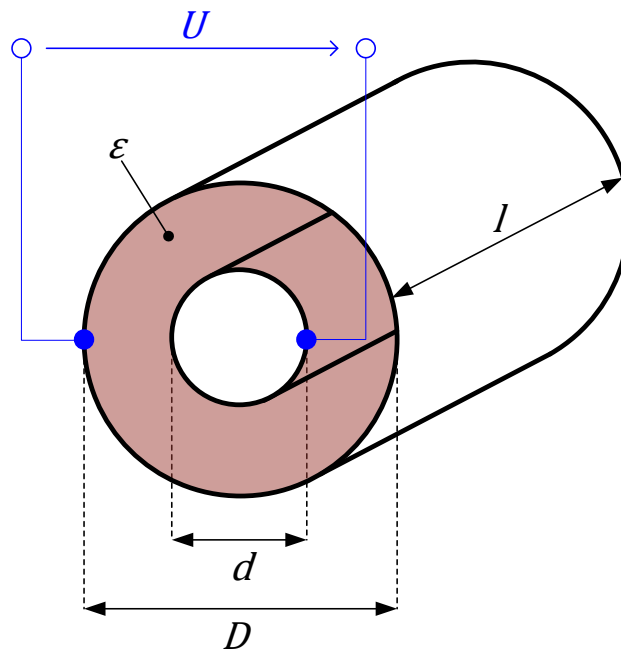


Name, Vorname	Testat	

### Aufgabe 1: Entwurf eines Hochspannungskondensator

Entwerfen Sie einen Hochspannungszyylinderkondensator (Innendurchmesser  $d$ , Aussendurchmesser  $D$ ) mit der Kapazität  $C = 30\text{pF}$  für eine Maximalspannung  $U_{\text{max}} = 140\text{kV}$ . In **Fig. 1** ist die Geometrie des Kondensators gezeigt.



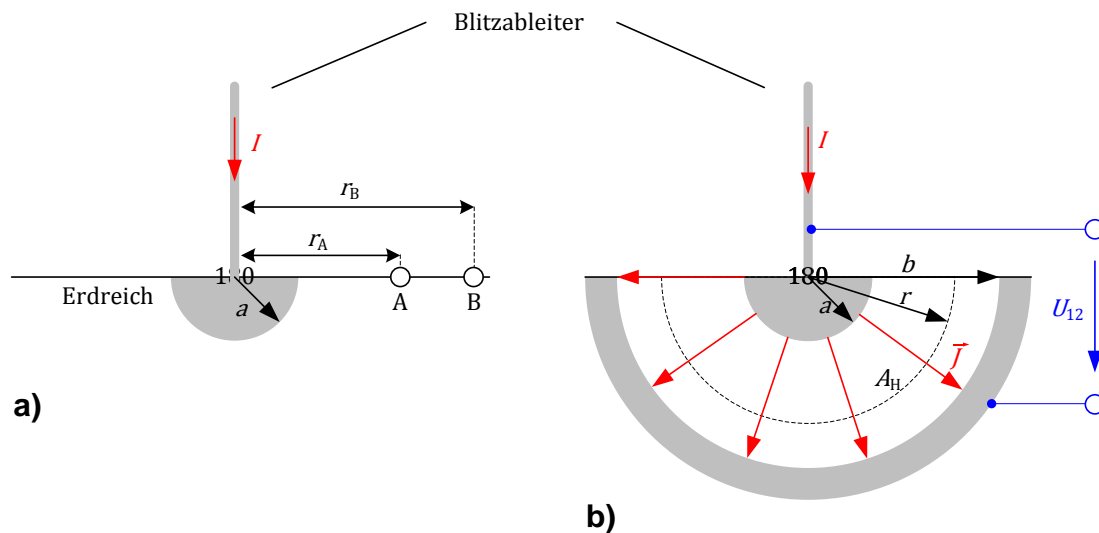
**Fig. 1:** Geometrie des Hochspannungszyylinderkondensator

Für die wirksame axiale Länge stehen  $l = 450\text{mm}$  zur Verfügung. Der Raum zwischen den beiden Elektroden sei mit  $\text{SF}_6$ -Gas gefüllt.  $\text{SF}_6$ -Gas wird in der Mittel- und Hochspannungstechnik als Isoliergas eingesetzt, da es bei Atmosphärendruck eine etwa dreimal höhere Durchschlagsfestigkeit als Luft aufweist. Die relative Permittivität von  $\text{SF}_6$ -Gas beträgt  $\epsilon_r \approx 1$ .

Berechnen Sie die kleinstmöglichen Elektrodendurchmesser  $d$  und  $D$  des Kondensators derart, dass die maximale elektrische Feldstärke  $E_{\text{max}}$  unter der Ionisationsfeldstärke des  $\text{SF}_6$ -Gases,  $E_{\text{max}} = 60\text{kV/cm}$ , bleibt. Vernachlässigen Sie Randstörungen.

## Aufgabe 2: Blitzeinschlag

Ein Blitzableiter wird gemäß **Fig. 2a** mit Hilfe einer halbkugelförmigen Elektrode mit Radius  $a$  mit dem Erdreich verbunden. Das Erdreich besitze die homogene Leitfähigkeit  $\kappa_E$ . Die halbkugelförmige Elektrode wird als ideal leitend angenommen. Im Folgenden gilt es den Erdungswiderstand  $R_E$  dieser Anordnung zu bestimmen.



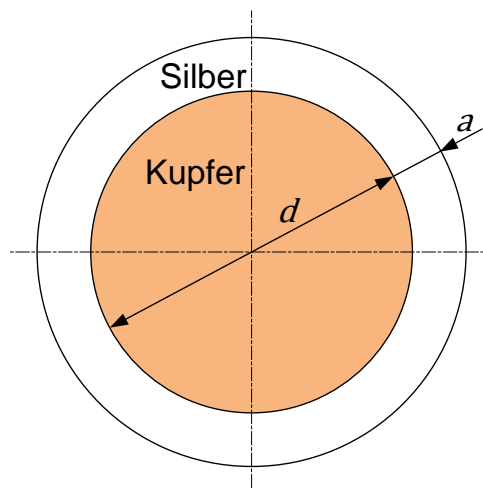
**Fig. 2: a) Blitzableiter b) mit Modellierung des Erdreichs**

Für die Berechnung von  $R_E$  wird das Erdreich zunächst mit einer zusätzlichen ideal leitenden halbkugelförmigen Elektrode mit dem Innenradius  $b$  modelliert (siehe **Fig. 2b**).

- Bestimmen Sie die Stromdichte  $\vec{J}$  im Erdreich in Abhängigkeit des Stromes  $I$  und des Abstands  $r$  vom Ursprung (Übergangsstelle zwischen dem Blitzableiter und der Elektrode). Welche Richtung hat die Stromdichte? Was sind die Randbedingungen an den Übergängen von Leiter zu Erde bzw. von Erde zum Leiter?
- Berechnen Sie die elektrische Feldstärke  $\vec{E}$  im Erdreich, sowie hieraus die Spannung  $U_{12}$  in Abhängigkeit des Stromes  $I$ .
- Geben Sie den Ersatzwiderstand  $R$  zwischen den beiden Elektroden an. Ermitteln Sie danach durch den Grenzübergang  $b \rightarrow \infty$  den Erdungswiderstand  $R_E$  des ursprünglichen Blitzableiters.
- Welcher Spannung ist ein Wanderer ausgesetzt, der den Boden an den Punkten A und B gleichzeitig berührt. Verwenden Sie für diese Teilaufgabe  $a = 0.6\text{m}$ ,  $r_A = 1.5\text{m}$ ,  $r_B = 1.8\text{m}$ ,  $I = 25\text{kA}$  und  $\kappa_E = 10^{-2}\text{S/m}$ .

### Aufgabe 3: Kupferdraht mit Silberüberzug

Ein dünner Kupferdraht mit Leitfähigkeit  $\kappa = 56 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  und Durchmesser  $d = 0.2 \text{ mm}$  wird, wie in **Fig. 3** gezeigt, mit einer Silberschicht der Leitfähigkeit  $\kappa = 60 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  und der Dicke  $a$  überzogen. Wie gross muss  $a$  sein, damit sich der ursprüngliche Gleichstromwiderstand (ohne Silberüberzug) halbiert? Welches Verhältnis der Querschnittsflächen von Silberüberzug und Kupferkern liegt dann vor? Geben Sie ein Ersatzschaltbild der Anordnung an, in dem die Silberschicht und der Kupferkern durch eigene Ersatzwiderstände repräsentiert sind. Welche Werte weisen diese Ersatzwiderstände für eine Leiterlänge von 10m auf?



**Fig. 3** Kupferdraht mit Silberüberzug

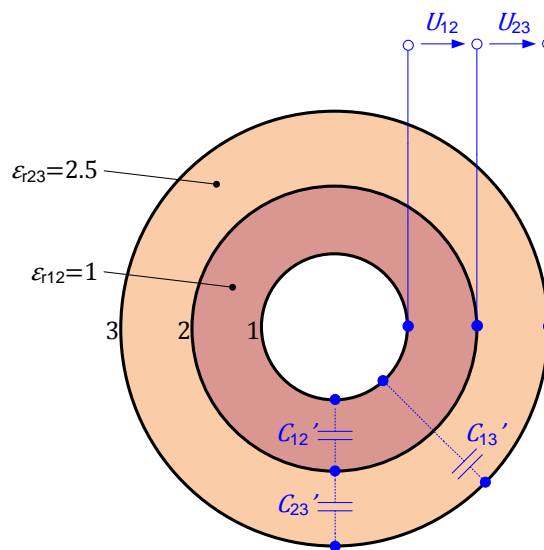
**Anmerkung:**

Hochfrequente Ströme fließen fast nur am äusseren Rand eines Leiters (Skinneffekt). Um den Wechselstromwiderstand bei sehr hohen Frequenzen zu reduzieren werden daher Beschichtungen mit hoher Leitfähigkeit eingesetzt. Da wir hier den Gleichstromwiderstand betrachten ist der Skinneffekt für die Lösung dieser Aufgabe allerdings nicht von Bedeutung.

## Aufgabe 4: Teilkapazitäten dreier coaxialer Rohre

(Nicht testatpflichtig!)

Zwischen drei coaxialen, dünnwandigen Metallrohren (Durchmesser  $D_1=20\text{mm}$ ,  $D_2=40\text{mm}$ ,  $D_3=60\text{mm}$ ) befinden sich Dielektrika unterschiedlicher Permittivität wie in **Fig. 4** dargestellt. Berechnen Sie die Teilkapazitätsbeläge  $C_{12}'$ ,  $C_{23}'$  und  $C_{13}'$  dieses Dreileitersystems. Beachten Sie, dass es sich um Kapazitätsbeläge (Kapazität pro Längeneinheit mit Einheit  $[\text{Fm}^{-1}]$ ) handelt. Geben Sie ein Ersatzschaltbild der Anordnung an, in welches die Werte der Ersatzkapazitäten eingetragen sind.



**Fig. 4:** Querschnitt der coaxialen Rohre

### Teilkapazitäten

Um die Ersatzschaltung einer Dreileiteranordnung zu erhalten, wird zu jedem der Leiter eine Ersatzkapazität definiert. Für die auf den Leitern gespeicherten Ladungen gilt dann

$$Q_1' = C_{12}' U_{12} + C_{13}' U_{13}$$

$$Q_2' = C_{21}' U_{21} + C_{23}' U_{23}$$

$$Q_3' = C_{31}' U_{31} + C_{32}' U_{32}$$

( $C_{ij} = C_{ji}$ ). Für die Berechnung der Teilkapazitäten ist nun wie folgt vorzugehen: Jeweils zwei Leiter werden kurzgeschlossen und zwischen diesem Kurzschluss und dem dritten Leiter eine Spannung  $U$  liegend gedacht (z.B. Leiter 2,3 kurzgeschlossen:  $U_{23} = 0$ ,  $U_{12} = U_{13} = U$ ). Im nächsten Schritt werden die Leiterladungen  $Q_i'$  in Abhängigkeit von  $U$  bestimmt. Mit dem oben beschriebenen Gleichungssystem ergeben sich dann die wirksamen Teilkapazitäten welche aus den geometrischen Abmessungen unmittelbar zu berechnen sind.