

### Versuchsziele

1. Messung der spezifischen Leitfähigkeit  $\kappa$  des Kohlepapierstreifens
2. Messtechnische Überprüfung des Umlaufintegrals
3. Ermittlung der elektrischen Feldstärke
4. Bestimmung der Dicke der Kupferschicht einer Leiterplatte
5. Aufnahme von Feldbildern

### Versuchsgrundlagen und Versuchsvorbereitung

Für die messtechnische Auswertung eines stationären elektrischen Strömungsfeldes ist eine Versuchsanordnung notwendig, bei der sich das Feld in einem Medium mit relativ geringer elektrischer Leitfähigkeit aufbauen kann. Für den Versuchsaufbau soll dabei gelten:

$\kappa_{\text{Elektroden}} \gg \kappa_{\text{Feld}} \gg \kappa_{\text{Umgebung}}$ . Solche Anordnungen werden bei flächenhaften Feldern vorwiegend mit elektrisch leitenden Folien bzw. Papieren erstellt.

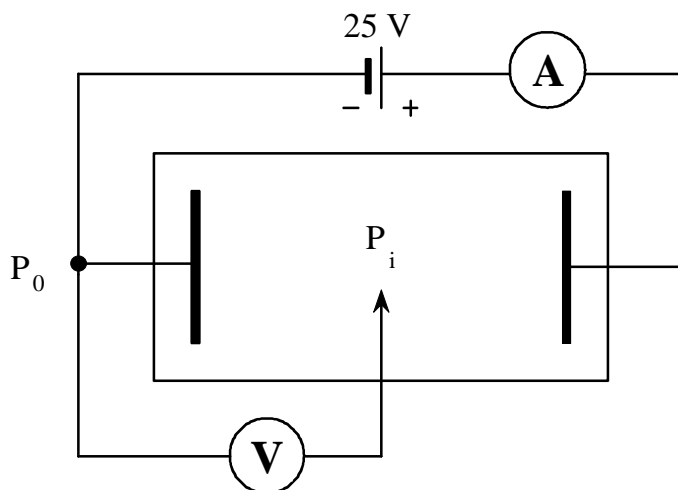
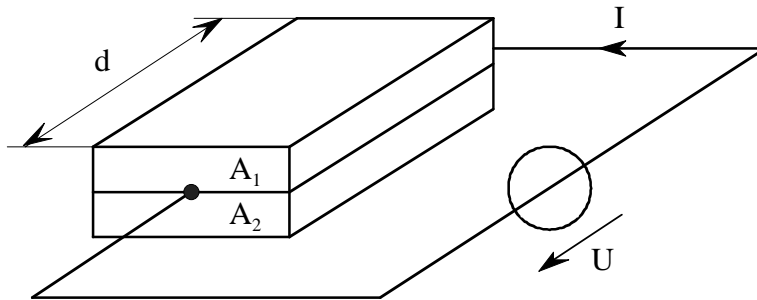


Bild 1

In diesem Versuch wird mit elektrisch leitendem Papier gearbeitet, auf das die Elektroden mit metallhaltiger Farbe aufgetragen werden. Die Begrenzung des Feldes gegen die Umgebung erfolgt durch den geschnittenen Rand. Zur Ausmessung des Feldes wird ein beliebiger Punkt im Feld, vorzugsweise an einer Elektrode, als Bezugspunkt  $P_0$  definiert. Nach Anlegen einer Spannung an die Elektroden lässt sich durch Abtasten verschiedener Punkte  $P_i$  des Feldes mit einer Messsonde die Spannung zwischen den Punkten  $P_i$  und  $P_0$  und damit das Potenzial der Punkte  $P_i$  bezogen auf  $P_0$  bestimmen (Bild 1). Dabei ist es zweckmäßig, Punkte auf den Äquipotenziallinien zu suchen, die die gleiche Potenzialdifferenz zueinander haben. Lösen Sie zur Vorbereitung auf den Versuch die folgenden Aufgaben:

**Aufgabe 1**

An einem Bimetallquader (Bild 2) mit den Querschnitten  $A_1 = 1 \text{ mm}^2$  und  $A_2 = 2 \text{ mm}^2$  liegt eine Spannung von  $U = 12 \text{ mV}$  an.



$$\begin{aligned}
 U &= 12 \text{ mV} \\
 \rho_1 &= 5 \mu\Omega \text{ cm} \\
 \rho_2 &= 20 \mu\Omega \text{ cm} \\
 d &= 20 \text{ mm} \\
 A_1 &= 1 \text{ mm}^2 \\
 A_2 &= 2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

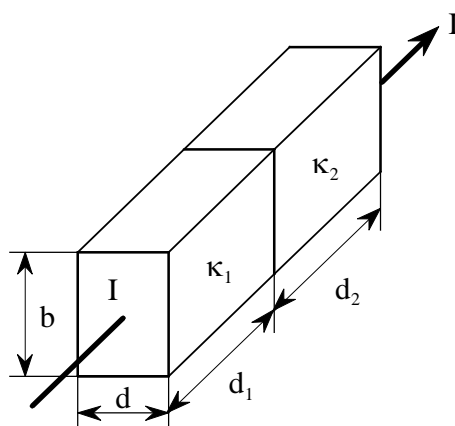
Bild 2

- 1.1. Geben Sie die spezifischen Widerstände  $\rho_1$  und  $\rho_2$  in der Einheit  $\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$  an!
- 1.2. Berechnen Sie  $E$  (in  $\text{V/m}$ ),  $J_1$  und  $J_2$  (in  $\text{A/mm}^2$ ),  $I_1$ ,  $I_2$  und  $I$  sowie  $P_1$  und  $P_2$ !
- 1.3. Berechnen Sie  $\kappa$  in  $\frac{\text{m}}{\Omega \cdot \text{mm}^2}$  und in  $\text{S/m}$ !

**Aufgabe 2**

Ein Körper besteht aus zwei unterschiedlichen Materialien mit den Leitfähigkeiten

$$\kappa_1 = 12 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2} \text{ und } \kappa_2 = 24 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2} \text{ (Bild 3).}$$



$$\begin{aligned}
 d_1 &= 40 \text{ mm} \\
 d_2 &= 60 \text{ mm} \\
 d &= 0,5 \text{ mm} \\
 b &= 10 \text{ mm} \\
 I &= 20 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Bild 3

- 2.1. Geben Sie die spezifischen Leitfähigkeiten  $\kappa_1$  und  $\kappa_2$  in  $\text{S/cm}$  an!
- 2.2. Berechnen Sie die Stromdichte  $J$  (in  $\text{A/mm}^2$ ) und die Feldstärken  $E_1$  und  $E_2$  (in  $\text{V/m}$ )!
- 2.3. Berechnen Sie die Spannungen  $U_1$ ,  $U_2$  und  $U$  sowie  $P_1$  und  $P_2$ !

## Versuchsdurchführung

### 1. Messung der spezifischen Leitfähigkeit $\kappa$ des Kohlepapierstreifens

**A 1.1.** Geben Sie die Berechnungsformel für die spezifische Leitfähigkeit  $\kappa$  an, und entwerfen Sie eine Messanordnung zur Bestimmung von  $\kappa$ ! Das Feld im Kohlepapierstreifen soll dabei als homogenes Feld angenommen werden!

**M 1.2.** Bestimmen Sie messtechnisch die Leitfähigkeit  $\kappa$  der vorgegebenen Kohlepapierstreifen. Die Dicke des Kohlepapiers beträgt  $d = 0,1$  mm. Verwenden Sie eine Gleichspannung von  $U_0 = 25$  V. Geben Sie  $\kappa$  in S/m an!

### 2. Messtechnische Überprüfung des Umlaufintegrals

Für die Versuchsdurchführung erhalten Sie ein vorbereitetes Feldbild. Beachten Sie folgenden Hinweis: Während des Versuches wird das Feldbild auf eine vorgegebene Unterlage geheftet. Das Strömungsfeld wird mit  $U_0 = 25$  V Gleichspannung betrieben. Die Kontaktierung der Elektroden erfolgt mittels Krokodilklemmen und Messingbolzen. Auf dem leitenden Papier darf nicht mit Bleistift gezeichnet werden, sondern nur mit den vorhandenen nichtleitenden Farbstiften! Verwenden Sie für Äquipotenziallinien und Feldlinien unterschiedliche Farben. Vermeiden Sie es, während der Messung die Hände auf das Papier zu legen, da Feuchtigkeit die Leitfähigkeit verändert!

**M 2.1.** Messen Sie die Spannungen  $U_{xy}$  im vorgegebenen Feldbild (Bild 4) längs des folgenden Weges (Koordinatenangabe in cm):

$$P_1 (8,16) \rightarrow P_2 (6,10) \rightarrow P_3 (14,14) \rightarrow P_4 (12,8) \rightarrow P_5 (8,2) \rightarrow P_6 (6,8) \rightarrow P_1 (8,16)$$

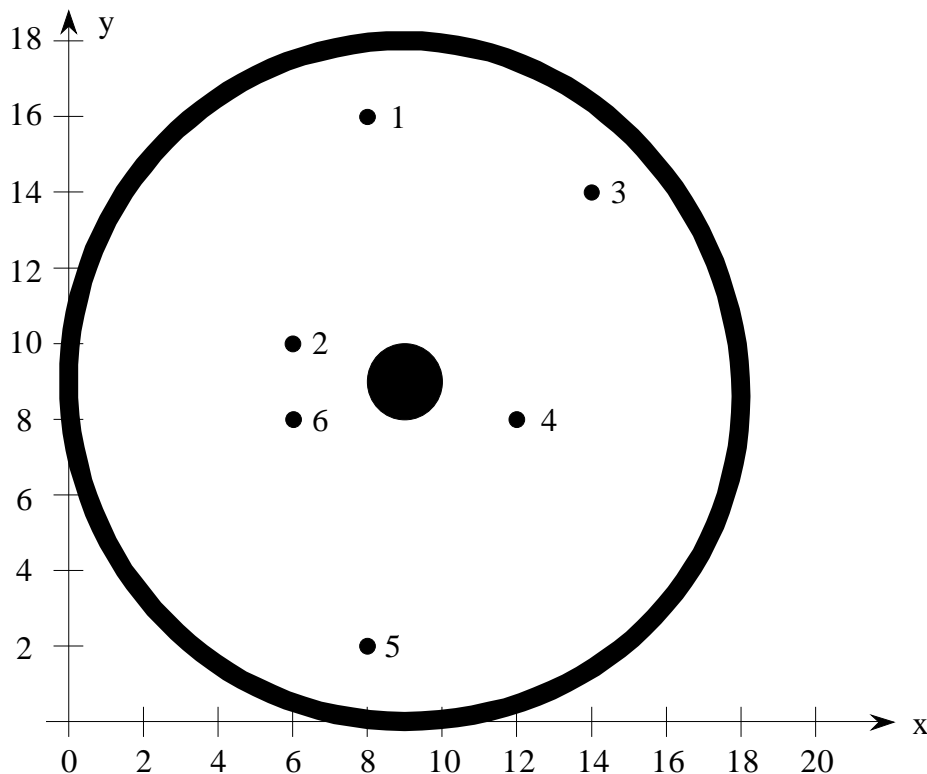


Bild 4

Zylinderanordnung

- M 2.2.** Weisen Sie die Gültigkeit der Gleichung  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$  am gemessenen Beispiel nach!
- A 2.3.** Berechnen Sie allgemein für das Strömungsfeld nach Bild 4 den Widerstand R.
- M 2.4.** Messen Sie Stromstärke und Spannung im Strömungsfeld und ermitteln Sie daraus den tatsächlichen Widerstand R ( $U_0 = 25$  V).
- A 2.5.** Vergleichen Sie Messwert und Rechenwert. Dazu ist in die allgemeine Lösung von Aufgabe 2.3 der Messwert der spezifischen Leitfähigkeit  $\kappa$  aus Aufgabe M 1.2 einzusetzen. Geben Sie den relativen Fehler bezogen auf den Rechenwert in Prozent an!
- A 2.6.** Berechnen Sie den Radius der Äquipotenziallinie, die den Widerstand des Zylinders halbiert!
- M 2.7.** Ermitteln Sie experimentell die Äquipotenziallinie, die den Widerstand des Zylinders halbiert!

### 3. Ermittlung der elektrischen Feldstärke

- M 3.1.** Messen Sie in der vorgegebenen Feldanordnung (Bild 5) die Äquipotenziallinien und zeichnen Sie diese ein ( $U_0 = 25$  V)! Zeichnen Sie sofort nach jeder Messung den wahrscheinlichen Verlauf der Feldlinien in das vermessene Strömungsfeld ein.

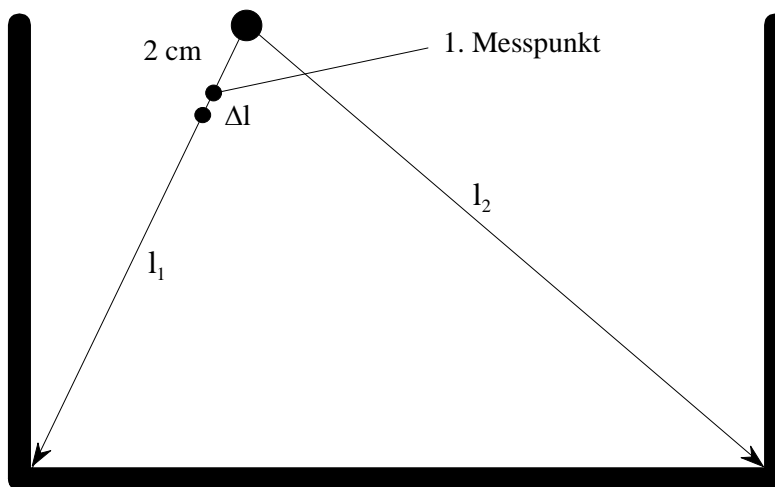


Bild 5

Elektrolytischer  
Trog

- M 3.2.** Messen Sie mit der Schrittspannungssonde die Schrittspannungen über  $\Delta l = 2,5$  mm entlang der Wege  $l_1$  und  $l_2$  in 2 cm Abstand! Beginnen Sie bei  $l = 2$  cm.
- A 3.3.** Berechnen Sie aus den Schrittspannungen den Betrag des Feldstärkeverlaufs  $E = \frac{\Delta U}{\Delta l}$ .  
Zeichnen Sie die beiden Feldstärkeverläufe  $E_1$  und  $E_2$  als Funktion des Weges!

#### 4. Bestimmung der Dicke der Kupferschicht einer Leiterplatte

Die in Bild 6 dargestellte Anordnung dient zur Bestimmung der Dicke der Kupferschicht einer Leiterplatte. Ein Strom von  $I > 15 \text{ A}$  wird der Platte über eine Kontaktierung im Punkt 1 zugeführt und über eine weitere Kontaktierung im Punkt 2 wieder entnommen. Ein Voltmeter, das über zwei Prüfspitzen in den Punkten 3 und 4 mit der Leiterplatte verbunden ist, zeigt hierbei eine Spannung im Millivoltbereich an. Der spezifische Widerstand von Kupfer beträgt:  $\rho_{\text{Cu}} = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$ .

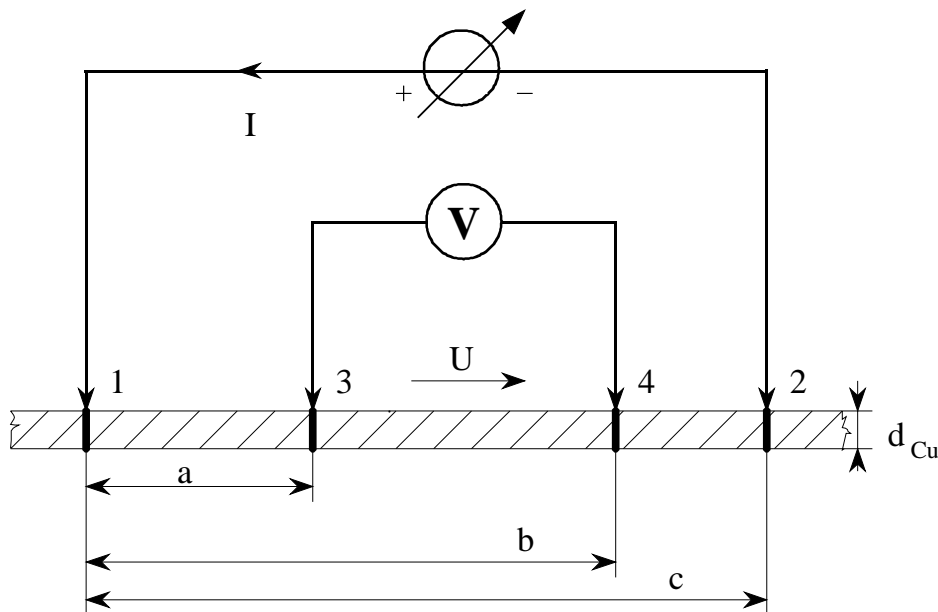


Bild 6

- A 4.1.** Leiten Sie die Berechnungsgrundlagen zur Bestimmung der Dicke  $d_{\text{Cu}}$  der Kupferschicht einer Leiterplatte ab (Bild 6)!
- M 4.2.** Ermitteln Sie die Dicke  $d_{\text{Cu}}$  der Kupferschicht aus der Strom- und Spannungsmessung (16 A - Netzteil).

#### 5. Aufnahme von Feldbildern

- A 5.1.** Zeichnen Sie den vermutlichen Verlauf der Äquipotenziallinien sowie der Feldlinien in die Bilder 7a bis d ein.
- M 5.2.** Messen Sie die Äquipotenziallinien für die vom Versuchsleiter ausgewählten Feldbilder. Wählen Sie eine variable Schrittweite!
- A 5.3.** Zeichnen Sie sofort nach jeder Messung den wahrscheinlichen Verlauf der Feldlinien in das vermessene Strömungsfeld ein.

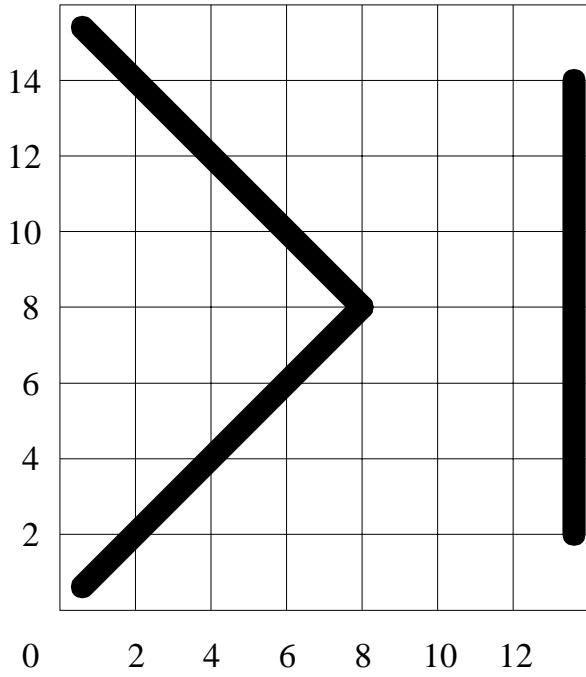


Bild 7 a

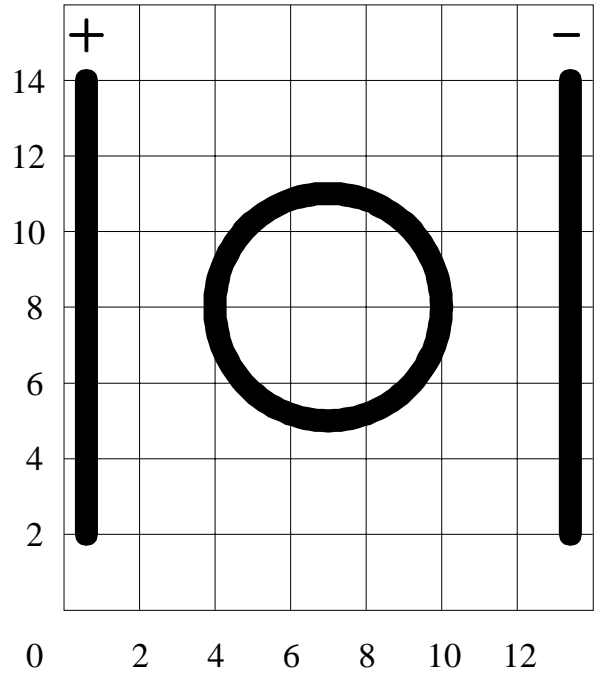


Bild 7 b

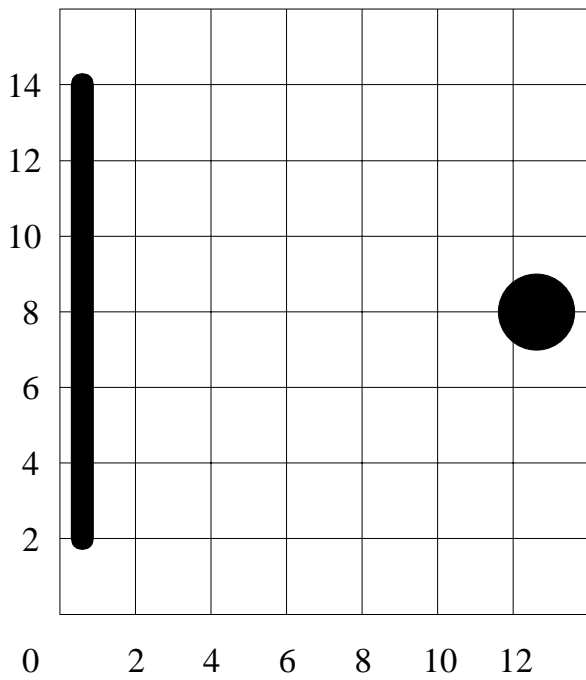


Bild 7 c

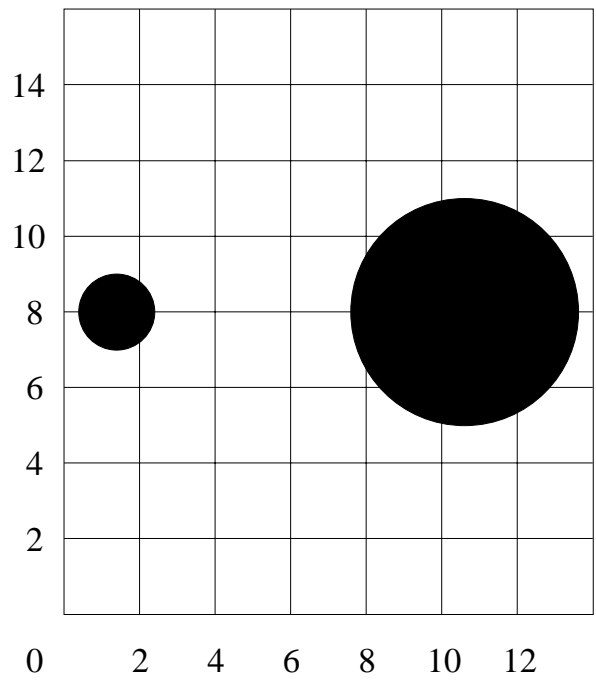


Bild 7 d