

## Übung 9                      Elektrisches Feld Energie, Elektrische Leiter, Stromdichte, Lokales ohm'sches Gesetz

### Lernziele

- wissen und verstehen, dass in einem elektrischen Feld Energie gespeichert ist.
- wissen und verstehen, dass und wie sich die in einem elektrischen Feld gespeicherte Energie ändert, falls ein elektrisch geladener Körper im Feld verschoben wird.
- den Zusammenhang zwischen elektrischer Feldstärke und Spannung in einem homogenen elektrischen Feld verstehen.
- den Zusammenhang zwischen der im homogenen Feld eines Plattenkondensators gespeicherten Energie, der Kapazität des Kondensators und der im Kondensator gespeicherten elektrischen Ladung kennen und anwenden können.
- die quadratische Abhängigkeit zwischen elektrischer Feldstärke und Energiedichte in einem elektrischen Feld kennen, verstehen und anwenden können.
- den Verlauf des elektrischen Potentials im Innern eines elektrischen Leiters kennen und verstehen.
- wissen, dass das hohle Innere eines elektrischen Leiters feldfrei ist.
- den Unterschied zwischen einer Stromstärke und einer Stromdichte verstehen.
- das lokale ohm'sche Gesetz kennen, verstehen und anwenden können.
- einen neuen Sachverhalt analysieren und beurteilen können.

### Aufgaben

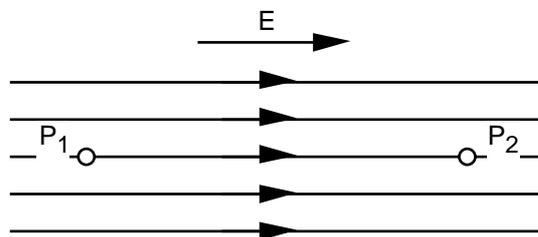
1. Ein elektrisch geladenes Teilchen der Ladung  $Q$  soll in einem elektrischen Feld von einer Stelle mit dem Potential  $\varphi_1$  zu einer anderen Stelle des Feldes mit dem Potential  $\varphi_2$  gebracht werden.

Beurteilen Sie in Abhängigkeit der Ladung  $Q$  und der Potentiale  $\varphi_1$  und  $\varphi_2$ , ob bei diesem Vorgang Energie aus dem elektrischen Feld freigesetzt wird oder ob Energie ans elektrische Feld gebunden wird.

2. In vielen praktischen Anwendungen (z.B. Plattenkondensator) kann das elektrische Feld als annähernd homogen betrachtet werden.

In einem homogenen elektrischen Feld ist die elektrische Feldstärke  $E$  in jedem Punkt gleich, d.h. der Vektor  $E$  hat in jedem Punkt des Feldes die gleiche Richtung und den gleichen Betrag.

Betrachten Sie in einem homogenen elektrischen Feld zwei Punkte  $P_1$  und  $P_2$ , deren Verbindungslinie parallel zu den Feldlinien verläuft:



Es gibt eine einfache Beziehung zwischen der elektrischen Feldstärke  $E$ , der Spannung  $U$  und dem Abstand  $d$  zwischen den beiden Punkten  $P_1$  und  $P_2$ :

$$U = E \cdot d \quad (\text{vgl. KPK 1, Formel (1.2), Seite 31})$$

Leiten Sie diese Beziehung her.

- a) Stellen Sie mit Hilfe der folgenden Hinweise ein vollständiges Gleichungssystem auf:

- Betrachten Sie einen Probekörper mit Masse  $m$  und positiver Ladung  $Q$ , welcher im Punkt  $P_1$  aus der Ruhe losgelassen wird. Unter dem Einfluss des homogenen elektrischen Feldes wird der Probekörper in Richtung des Punktes  $P_2$  gleichmässig beschleunigt.

- Die Energie  $W_{el}$ , die bei der Bewegung der Ladung  $Q$  von  $P_1$  nach  $P_2$  freigesetzt wird, ist gleich gross wie die kinetische Energie  $W_{kin}$  des Probekörpers im Punkt  $P_2$ .
  - Benützen Sie physikalische Grundbeziehungen aus den Bereichen Mechanik und Elektrizität.
- b) Lösen Sie das unter a) aufgestellte Gleichungssystem auf, um die Beziehung  $U = E \cdot d$  zu erhalten.
3. (Metzler: 201/1)  
Bestimmen Sie die Energie, die in einem Plattenkondensator ( $A = 314 \text{ cm}^2$ ,  $d = 0.5 \text{ mm}$ , Dielektrikum mit  $\epsilon_r = 7$ ) bei einer Spannung  $U = 220 \text{ V}$  gespeichert ist.
4. (Metzler: 201/3)  
a) Welche Energiedichte kann ein elektrisches Feld in feuchter Luft höchstens haben, wenn es bei einer Feldstärke  $E = 2.0 \text{ MV/m}$  zum Funkenüberschlag kommt?  
b) Bestimmen Sie die Spannung, die man unter den in a) geschilderten Umständen an einen luftgefüllten Plattenkondensator mit einem Plattenabstand von  $4.0 \text{ mm}$  höchstens legen kann.
5. (Metzler: 201/5)  
Betrachten Sie die folgende Aussage:  
"Verdoppelt man den Plattenabstand eines von der Spannungsquelle getrennten Plattenkondensators, so verdoppelt sich auch der Energieinhalt des Feldes."  
a) Begründen Sie schlüssig, dass die Aussage wahr ist.  
b) Woher kommt die zusätzliche (elektrische) Energie?
6. Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob die folgende Aussage über die Energiedichte im elektrostatischen Feld eines punktförmigen geladenen Körpers wahr oder falsch ist:  
"Wenn man die Ladung des Körpers verdoppelt, so vervierfacht sich die Dichte der im elektrostatischen Feld gespeicherten Energie."
7. Studieren Sie im Buch KPK 1 die folgenden Abschnitte:  
- 1.19 Felder und elektrische Leiter (Seiten 32 und 33)  
- 1.20 Die elektrische Stromdichte (Seite 34)  
- 1.21 Das lokale ohmsche Gesetz (Seiten 34 und 35)  
- 1.22 Die Energie des elektrischen Feldes (Seiten 36 und 37)  
- 1.23 Wie man elektrisch geladene Teilchen mit Energie lädt (Seiten 37 bis 39)

### Lösungen

1.  $Q > 0$   $I_1 > I_2$  Energie wird freigesetzt.  
 $Q > 0$   $I_1 < I_2$  Energie wird gebunden.  
 $Q < 0$   $I_1 > I_2$  Energie wird gebunden.  
 $Q < 0$   $I_1 < I_2$  Energie wird freigesetzt.

2. a) Energiebilanz  $W_{el} = W_{kin}$   
Mechanik  $W_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$   
 $F_{el} = m \cdot a$   
 $v = a \cdot t$   
 $d = \frac{1}{2} a \cdot t^2$   
Elektrizität  $E = \frac{F_{el}}{Q}$   
 $W_{el} = U \cdot Q$

b) ...

3.  $W = 94 \mu J$

4. a)  $w_{el,max} = 18 J/m^3$   
b)  $U_{max} = 8.0 kV$

5. a)  $W = \frac{Q^2}{2C} \sim \frac{1}{C}$   
 $C = \epsilon_0 \cdot r \cdot \frac{A}{d} \sim \frac{1}{d}$   
-----  
 $W \sim d$

b) ...

6.  $w_{el} \sim E^2$   
 $E \sim |Q|$   
-----  
 $w_{el} \sim |Q|^2$   
Aussage wahr

7. ...

Lösungen zu den Aufgaben siehe kopiertes Blatt