

## Aufgaben 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

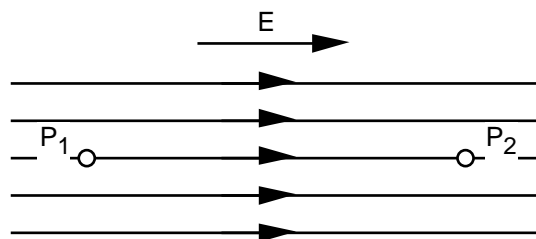
- 9.1 Ein elektrisch geladenes Teilchen der Ladung  $Q$  soll in einem elektrischen Feld von einer Stelle mit dem Potential  $\varphi_1$  zu einer anderen Stelle des Feldes mit dem Potential  $\varphi_2$  gebracht werden.

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.

- 9.2 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.

9.3 (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.

9.4 (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.

Hinweis:

Die Dielektrizitätszahl von feuchter Luft ( $\epsilon_r = 1.01$ ) weicht unwesentlich von jener trockener Luft ( $\epsilon_r = 1.0006$ ) ab.

9.5 (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?

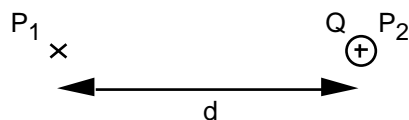
9.6 Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob die folgende Aussage über die Energiedichte im elektrostatischen Feld eines punktförmigen geladenen Körpers wahr oder falsch ist:

"Wenn man die Ladung des Körpers verdoppelt, so vervierfacht sich die Dichte der im elektrostatischen Feld gespeicherten Energie."

9.7 In einem elektrostatischen Feld betrage am Ort  $P_1$  die Energiedichte  $w_{el} = 17.6 \text{ J/m}^3$ . Zudem sei die Richtung der elektrischen Feldstärke  $E$  am Ort  $P_1$  bekannt:



Nun wird ein elektrisch geladener, punktförmiger Körper der Ladung  $Q = +13 \text{ } \mu\text{C}$  an den Ort  $P_2$  gebracht, welcher sich im Abstand  $d = 10 \text{ cm}$  zum Punkt  $P_1$  befindet:



(Fortsetzung auf Seite 3)

Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob sich dadurch die Energiedichte am Ort  $P_1$  verändert.  
Bestimmen Sie gegebenenfalls den neuen Wert der Energiedichte.

Hinweis:

Nehmen Sie an, dass sich das elektrische Feld in Luft befindet ( $\epsilon_r = 1$ ).

9.8 In einem luftgefüllten Raum überlagern sich zwei elektrische Felder 1 und 2.

$w_{,el1}$  sei die Energiedichte an einem bestimmten Ort P im Raum, wenn nur das Feld 1 vorhanden wäre.

$w_{,el2}$  sei die Energiedichte am gleichen Ort P, wenn nur das Feld 2 vorhanden wäre.

$w_{,el}$  sei die Energiedichte des resultierenden Gesamtfeldes am Ort P.

Beurteilen Sie mit schlüssiger Begründung, ob die folgende Aussage wahr oder falsch ist:

$$w_{,el} = w_{,el1} + w_{,el2}$$

9.9 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

- 9.1  $Q > 0$   $l > 2$  Energie wird freigesetzt.  
 $Q > 0$   $l < 2$  Energie wird gebunden.  
 $Q < 0$   $l > 2$  Energie wird gebunden.  
 $Q < 0$   $l < 2$  Energie wird freigesetzt.

- 9.2 a) ...  
b) ...

9.3  $W = 94 \mu\text{J}$

- 9.4 a)  $W_{\text{el,max}} = 18 \text{ J/m}^3$   
b)  $U_{\text{max}} = 8.0 \text{ kV}$

9.5 a)  $W = \frac{Q^2}{2C} \sim \frac{1}{C}$   
 $C = 0 \text{ r } \frac{A}{d} \sim \frac{1}{d}$   
-----  
 $W \sim d$

b) ...

9.6  $W_{\text{el}} \sim E^2$   
 $E \sim |Q|$   
-----  
 $W_{\text{el}} \sim |Q|^2$   
Aussage wahr

- 9.7 Das elektrische Feld verändert sich durch das Hinzufügen des geladenen Körpers.  
Am Ort  $P_1$  beträgt die Energiedichte neu  
 $W_{\text{el}} = 0.62 \text{ kJ/m}^3$

- 9.8 Die Aussage ist im Allgemeinen falsch.  
Sie ist nur dann richtig, wenn am Ort P die Feldvektoren der beiden Einzelfelder senkrecht aufeinander stehen.

- 9.9 ...  
Lösungen zu den Aufgaben siehe kopierte Blätter