

# ÜBUNGSAUFGABEN

ZUR

## PHYSIK

KAPITEL E

## ELEKTRODYNAMIK

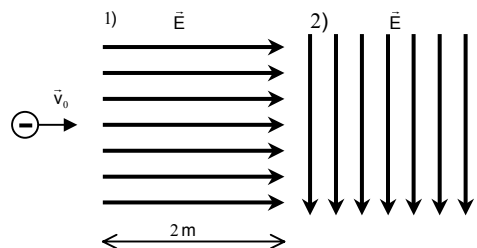


hochschule mannheim

**Institut für Energie- und Umwelttechnik**  
Prof. Dr. Wolfgang Kohl

IEUT  
10/05  
Kohl

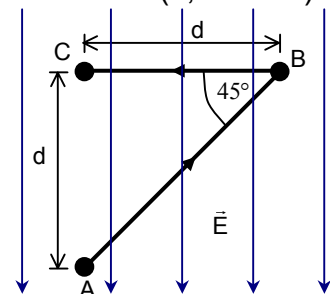
## I Das Elektrostatische Feld

- Um eine Vorstellung von der Größe der Ladungseinheit 1 Coulomb (C) zu erhalten, berechnen Sie
  - die Anzahl der Elektronen, die in 1 Coulomb enthalten sind  $(6,24 \cdot 10^{18})$
  - die Ladung  $Q$  und Masse  $m$  von 1 mol Elektronen  $(96485 \text{ C}; 0,55 \text{ mg})$
  - die Kraft, mit der sich zwei Kugeln der Ladung von je 1 Coulomb in 100 m Entfernung abstoßen  $(0,9 \text{ MN})$
  - das Verhältnis der elektrischen Anziehungskraft zur Gravitationskraft zwischen einem Proton und Elektron in einem Wasserstoffatom?  $(2 \cdot 10^{39})$
- An den Ecken eines Quadrates mit 10 cm Seitenlänge sitzen 4 gleiche Ladungen mit  $Q = 10^{-8} \text{ C}$ .
  - Mit welcher Kraft wird eine der vier Ladungen abgestoßen?  $(1,72 \cdot 10^{-4} \text{ N})$
  - Welche Kräfte wirken auf die einzelnen Ladungen, wenn eine Ladung negativ und alle anderen positiv sind?  $(1,72 \cdot 10^{-4}; 1,348 \cdot 10^{-4}; 0,82 \cdot 10^{-4}; 1,348 \cdot 10^{-4} \text{ N})$
- Es befinde sich die Ladung  $Q_1 = +8 \text{ nC}$  im Ursprung und die Ladung  $Q_2 = +12 \text{ nC}$  auf der x-Achse in  $a = 4 \text{ m}$  Abstand.  
Bestimmen Sie die resultierenden elektrischen Feldstärken  $E$  in den Punkten  $P_1 (7 \text{ m}; 0 \text{ m})$ ,  $P_2 (3 \text{ m}; 0 \text{ m})$  und  $P_3 (0 \text{ m}; 3 \text{ m})$ .  $(13,5 \text{ N/C}; -100 \text{ N/C}; 11,2 \text{ N/C}; 108^\circ)$
- Ein Kügelchen der Masse  $m = 1 \text{ g}$  und der Ladung  $Q = -1 \text{ C}$  werde mit der Geschwindigkeit  $v_0 = 100 \text{ m/s}$  in ein homogenes elektrisches Feld der Stärke  $E = 100 \text{ N/C}$  geschickt. Das Feld sei 1) in Flugrichtung und 2) senkrecht zur Flugrichtung orientiert. Das Feld habe die Abmessungen  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ .
 
  - Wie bewegt sich das Kügelchen in den beiden Feldern?
  - Wie weit bewegt sich das Kügelchen in das Feld 1) hinein?  $(0,05 \text{ m})$
  - Wie weit wäre das Kügelchen am Ende des Feldes 2) abgelenkt?  $(20 \text{ m})$
- Ein elektrisch geladenes Kügelchen der Masse  $m = 10 \text{ g}$  hängt an einem  $l = 10 \text{ m}$  langen Faden in einem homogenen elektrischen Feld der Stärke  $E = 10 \text{ kN/C}$ . Es wirkt als Pendel und ist um  $\varphi = 19^\circ$  ausgelenkt. Wie groß ist die Ladung auf dem Kügelchen?  $(34 \mu\text{C})$
- Eine negative Ladung  $-Q$  befinde sich bei  $x = -a$  und eine positive Ladung  $+Q$  bei  $x = a$ .  
Berechne das elektrische Feld eines Punktes  $P$  auf der x-Achse, der verglichen mit dem Abstand der Ladungen voneinander sehr weit entfernt ist.  
 $(E = 1/4\pi\epsilon_0 \cdot 2q / x^3 \cdot e_x)$
- Berechne den elektrischen Fluss  $\Psi$  und die Flussdichte  $D$  durch eine Halbkugel vom Radius  $r = 1 \text{ m}$ , der durch ein homogenes Feld der Stärke  $E = 1 \text{ kV/m}$  erzeugt wird?  
 $(3,14 \text{ kVm}; 8,854 \cdot 10^{-9} \text{ C/m}^2)$

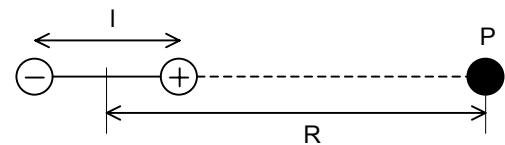
8. Eine Kugelschale mit Radius  $R = 3 \text{ m}$  besitze die Oberflächenladungsdichte  $\sigma = 3 \text{ nC/m}^2$ . Der Mittelpunkt sitze im Ursprung  
Wie groß ist die elektrische Feldstärke bei  
a)  $x = 2 \text{ m}$  (innerhalb der Kugel)  
b)  $x = 4 \text{ m}$  (außerhalb der Kugel)? (190 N/C)  
Zusätzlich befinde sich nun eine Punktladung  $Q = 250 \text{ nC}$  innerhalb der Kugel auf der  $y$ -Achse bei  $y = 2 \text{ m}$ . Wie groß ist nun die elektrische Feldstärke bei  
c)  $x = 2 \text{ m}$  (281 N/C)  
d)  $x = 4 \text{ m}$ ? (290 N/C)

9. In den Punkten  $(0,0)$  und  $(5,0)$  sitzen je eine positive Ladung  $Q = 10^{-10} \text{ As}$ .  
a) Wie groß ist die elektrische Feldstärke an diesen Punkten? (0,036 V/m)  
b) Wie groß ist die Spannung zwischen den Punkten  $(-1,0)$  und  $(4,3)$ ? (0,584 V)  
c) Dasselbe für eine positive Ladung  $Q$  in  $(0,0)$  und eine negative Ladung in  $(5,0)$ ? ( $\pm 0,036 \text{ V/m}$ ; 0,854 V)  
d) Wie groß ist die Arbeit, um ein Elektron von  $(-1,0)$  nach  $(4,3)$  zu bringen? ( $9,4 \cdot 10^{-20} \text{ J}$ )

10. In einem homogenen elektrischen Feld der Feldstärke  $E = 100 \text{ V/m}$  wird eine Ladung  $Q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  mit konstanter Geschwindigkeit vom Punkt A nach B und weiter zum Punkt C bewegt. Der Abstand  $d$  beträgt  $1 \text{ m}$ . Berechnen Sie die auf jeder Strecke erforderliche Arbeit sowie die Gesamtarbeit. (0,1 mJ; 0 J)



11. Zwei Punktladungen unterschiedlichen Vorzeichens  $Q = \pm 20 \text{ nC}$ , die sich in festem Abstand  $l = 1 \text{ cm}$  zueinander befinden, bilden einen elektrischen Dipol.



- a) Wie groß sind das Potential  $\varphi$  und die Feldstärke  $E$  im Punkt P in der Entfernung  $R = 1,50 \text{ m}$  vom Dipol? (0,8V; 1,07V/m)  
b) Wie groß sind  $\varphi$  und  $E$  in P, wenn der Dipol durch eine einzelne Punktladung  $Q = 20 \text{ nC}$  ersetzt wird? (120V; 80V/m)  
c) Welches Drehmoment wirkt auf den Dipol, wenn sich in P eine Ladung  $Q = 100 \text{ nC}$  befindet und die Dipolachse senkrecht zu der im Bild gezeichneten Lage steht? (800  $\mu\text{Nm}$ )

12. Eine elektrisch neutrale Metallkugel vom Radius  $R = 5 \text{ cm}$  soll auf die Ladung  $Q = 10 \mu\text{C}$  aufgeladen werden.  
a) Welche Arbeit ist dazu erforderlich? (9 J)  
b) Welche Spannung liegt dann an der Kugel? (1,8 MV)

13. Ein Ring mit Radius  $R = 4 \text{ cm}$  trage eine homogene Ladung  $Q = 8 \text{ nC}$ . Ein kleines Teilchen der Masse  $m = 6 \text{ mg}$  und der Ladung  $q_0 = 5 \text{ nC}$  werde an die Stelle  $x = 3 \text{ cm}$  gebracht und losgelassen.  
a) Berechne die potentielle Energie bei  $x = 3 \text{ cm}$ . (7,19  $\mu\text{J}$ ) (1,55 m/s)  
b) Berechne die Geschwindigkeit der Ladung in großer Entfernung vom Ring.

14. Ein Elektron mit der Geschwindigkeit  $v_0 = 1,6 \cdot 10^7$  m/s tritt senkrecht zu den elektrischen Feldlinien in den leeren Raum eines Plattenkondensators ( $l = 10$  cm;  $d = 4$  cm) ein, zwischen dessen Platten eine Spannung  $U = 300$  V anliegt; es durchläuft den Kondensator auf einer gekrümmten Bahn.
- Um welche Art von Bahnkurve handelt es sich?
  - Welche Geschwindigkeit und Ablenkung hat das Elektron beim Austritt aus dem Kondensatorfeld? ( $1,8 \cdot 10^7$  m/s; 25,8 mm)
  - Welche Energieänderung erfährt das Elektron beim Durchqueren des Feldes? ( $3,1 \cdot 10^{-17}$  J)
15. Auf welche Spannung darf eine Metallkugel vom Durchmesser  $d = 80$  cm aufgeladen werden, wenn die Feldstärke an ihrer Oberfläche  $E = 20.000$  V/cm nicht übersteigen soll? (800.000 V)  
Welche Ladung befindet sich dann auf der Kugel? ( $3,56 \cdot 10^{-5}$  C)
16. Auf die Oberfläche eines sehr langen, geraden Metalldrahtes von 2 mm Durchmesser werden Ladungen mit dem Ladungsbelag  $Q' = Q/l = 90$  nC/m gebracht.
- Welchen Feldstärke- und Potentialverlauf weist das vom Draht erzeugte Feld in seiner Umgebung (Luft) auf ?
  - Wie groß sind die Feldstärke und Flächenladungsdichte an der Drahtoberfläche? (1,62 MV/m;  $14,3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ )
17. Bei ungestörtem schönem Wetter beträgt das lotrechte elektrische Feld in Bodennähe  $E_1 = 130$  V/m und in  $h = 10$  km Höhe  $E_2 = 4$  V/m.
- Welche Flächenladungsdichte  $\sigma$  der Erdoberfläche und welche (als homogen angenommene) Raumladungsdichte  $\rho$  der Atmosphäre folgt aus diesen Angaben? ( $-1,15 \cdot 10^{-8}$  C/m<sup>2</sup>;  $1,12 \cdot 10^{-13}$  C/m<sup>3</sup>)
  - Welche Potentialdifferenz  $U$  herrscht zwischen der Erdoberfläche und 10 km Höhe ? (670 kV)
18. Zwei runde Metallplatten mit dem Durchmesser 12 cm befinden sich in einem Abstand  $d = 18$  mm und sind auf eine Spannung  $U = 270$  V aufgeladen.
- Wie groß ist die elektrische Feldstärke zwischen den Platten? (150 V/c)
  - Wie groß sind die Verschiebungsdichte und die Gesamtladung auf jeder der beiden Platten? ( $1,33 \cdot 10^{-11}$  As/cm<sup>2</sup>;  $1,5 \cdot 10^{-9}$  C)
  - Welche Kapazität besitzt der von den Platten gebildete Kondensator? (5,56 pF)
19. Auf zwei Metallblechen mit  $A = 10$  cm<sup>2</sup> werden im Plattenkondensator Ladungen influenziert. Nach dem Trennen der Bleche im Feld und Herausnehmen misst man auf jedem der Bleche die Ladung  $Q = 10^{-12}$  As.
- Wie groß ist die elektrische Feldstärke im Kondensator? (113 V/m)
  - Wie groß ist die Spannung, wenn der Plattenabstand  $d = 8,85$  cm ist? (10 V)
  - Wie groß ist die Energie im Kondensator, wenn die Plattenfläche  $A = 100$  cm<sup>2</sup> ist? ( $5 \cdot 10^{-11}$  J)
  - Wie groß ist die elektrische Energiedichte im Kondensator? ( $56,5 \cdot 10^{-9}$  J/m<sup>3</sup>)
  - Mit welcher Kraft ziehen sich die Kondensatorplatten an? ( $5,65 \cdot 10^{-10}$  N)
20. Ein Wickelkondensator besteht aus zwei 5 cm breiten Bändern aus Alu-Folie, die durch Paraffinpapier ( $d = 0,03$  mm,  $\epsilon_r = 2,4$ ) isoliert sind.  
Wie lang müssen die Bänder sein, damit die Kapazität  $4 \mu\text{F}$  beträgt? (56,4 m)

21. Ein Kondensator besitzt die Kapazität  $80 \mu\text{F}$  und ist auf  $10 \text{ kV}$  Durchschlagfestigkeit geprüft.  
Welche Energie wird in dem Funken frei, wenn der Kondensator bis zur Prüfspannung geladen ist und dann zur Entladung gebracht wird? (4 kWs)

22. Eine Metallkugel mit dem Radius  $R = 4 \text{ cm}$  befindet sich in Luft weit entfernt vom geladenen Körpern und trägt die Ladung  $Q = 2 \cdot 10^{-10} \text{ As}$ .

a) Wie groß ist die Feldstärke an der Oberfläche der Kugel? (-1,123 kV/m)

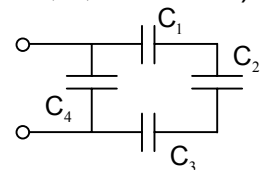
b) Skizzieren Sie den Verlauf der Feldstärke  $E(r)$  von  $r = 0$  bis  $\infty$ .

c) Welche Kraft erfährt ein Elektron an der Oberfläche? ( $1,8 \cdot 10^{-16} \text{ N}$ )

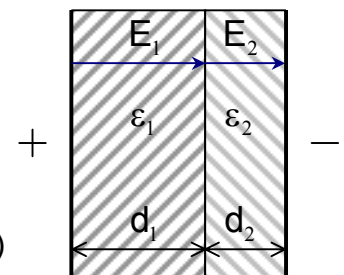
d) In welchem Abstand ist diese Kraft auf die Hälfte abgefallen? (1,66 cm)

e) Welche Energie erhält ein Elektron, das sich von  $r = R$  bis  $r = 2R$  bzw. bis  $r = \infty$  bewegt? ( $3,6 \cdot 10^{-18} \text{ Ws}$ ;  $7,2 \cdot 10^{-18} \text{ Ws}$ )

23. Berechnen Sie die Gesamtkapazität von vier gleichen Kondensatoren mit je  $C = 3 \mu\text{F}$  in der nebenstehenden Schaltung. (4  $\mu\text{F}$ )



24. Das Innere eines Plattenkondensators ist mit zwei parallel zu den Platten verlaufenden Schichten aus unterschiedlichen Isolierstoffen mit den Dielektrizitätszahlen  $\epsilon_1 = 7,5$  (Glas) und  $\epsilon_2 = 150$  (Keramik) voll ausgefüllt. Die Schichtdicken seien  $d_1 = 2,5 \text{ mm}$  und  $d_2 = 1 \text{ mm}$ . Am Kondensator liege die Spannung  $U = 2500 \text{ V}$  an.



a) Wie groß sind die Feldstärken  $E_1, E_2$ ? (980 kV/m; 49 kV/m)

b) Wie groß sind die Spannungsabfälle in den beiden Schichten? (2451 V; 49 V)

c) Welche „effektive“ Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  müsste ein Stoff haben, der bei voller Ausfüllung des Kondensators mit diesem Stoff die gleiche elektrische Polarisation erzeugt wie das geschichtete Dielektrikum? (10,3)

25. Ein Luftkondensator der Kapazität  $C_0 = 80 \text{ pF}$  wird auf die Spannung  $U_0 = 220 \text{ V}$  aufgeladen und danach

a) von der Spannungsquelle getrennt,

b) an der Spannungsquelle belassen. Der Kondensator sei mit Öl gefüllt ( $\epsilon_r = 2,75$ ). Wie ändern sich im Fall a) und im Fall b) die Kapazität, Ladung, Spannung und der Energieinhalt des Kondensators? (220 pF; 17,6 nC; 80 V; 704 nJ; 220 pF; 48,4 nC; 220 V; 5,324  $\mu\text{J}$ )

26. Ein Plattenkondensator ( $A = 5 \text{ cm}^2$ ;  $d = 1 \text{ mm}$ ) ist mit Glimmer ( $\epsilon_r = 7$ ) ausgefüllt. Er wird auf die Spannung  $U = 500 \text{ V}$  aufgeladen. Berechnen Sie

a) die Feldstärke  $E$  (500 kV)

b) die Flußdichte  $D$  im Kondensatorraum (31  $\mu\text{C}/\text{m}^2$ )

c) die Ladung  $Q$  auf einer Kondensatorplatte (15,5 nC)

d) die Energiedichte  $w_e$  (7,75  $\text{J}/\text{m}^3$ )

e) die Energie  $W_e$  des elektrischen Feldes im Kondensator (3,87  $\mu\text{J}$ )

f) die Polarisation  $P$  des Dielektrikums (Glimmer) und (26,6  $\mu\text{C}/\text{m}^2$ )

g) die freien Oberflächenladungen  $Q_P$ , die auf dem Dielektrikum infolge der Polarisation entstanden sind. (13,3 nC)

27. Ein Koaxialkabel (Radius des Leiters  $R_1 = 2 \text{ mm}$ ; Radius der Abschirmung  $R_3 = 6 \text{ mm}$ ) hat ein geschichtetes Dielektrikum. Zwischen  $R_1$  und  $R_2 = 4 \text{ mm}$  beträgt die Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r = 4$ , zwischen  $R_2$  und  $R_3$   $\epsilon_r = 2$ .
- a) Wie groß ist die längenbezogene Kapazität? (148 pF/m)
- b) Berechnen Sie die Feldstärken bei  $U_{13} = 1 \text{ kV}$  für die Radien  $R_1, R_2, R_3$  und skizzieren Sie  $E(r)$  von  $r < R_1$  bis  $r > R_3$ .  
(332 kV/m; 166,2 kV/m; 332 kV/m; 222 kV/m)
28. An den Platten eines Plattenkondensators mit einem Abstand  $d = 3 \text{ cm}$  liegt die Spannung  $U = 1000 \text{ V}$ . Der Raum zwischen den Platten ist mit einem Dielektrikum ( $\epsilon_r = 7$ ) ausgefüllt.
- a) Wie groß ist die Flächendichte der gebundenen (polarisierten) Ladungen?
- b) Wie groß ist die Änderung der Flächendichte der Ladung auf den Platten beim Einbringen des Dielektrikums in den Kondensator?
- Die Aufgabe ist zu lösen unter folgenden 2 Bedingungen:
- Das Einbringen des Dielektrikums in den Kondensator erfolgt bei angeschlossener Spannungsquelle. (1,77\*10<sup>-6</sup> C/m<sup>2</sup>; 1,77\*10<sup>-6</sup> C/m<sup>2</sup>)
  - Das Einbringen des Dielektrikums erfolgt nach dem Abtrennen des Kondensators von der Spannungsquelle. (2,53\*10<sup>-7</sup> C/m<sup>2</sup>; 0 )
29. Innerhalb von  $t = 10 \text{ s}$  steigt der Strom durch einen Leiter von  $I = 0$  auf  $5 \text{ A}$  an. Wie groß ist die durch den Leiter geflossene Ladung  $Q$ , wenn der Strom
- a) linear (25 As)
- b) exponentiell entsprechend  $I = I_{\max} (1 - e^{-t/T})$  mit  $T = 5 \text{ s}$  ansteigt? (32,8 As)
30. Ein Kondensator mit der Kapazität  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$  wird über den Widerstand  $R = 2 \text{ M}\Omega$  an eine Gleichspannungsquelle  $U_0 = 1 \text{ V}$  angeschlossen. Welche Zeit nach dem Einschalten vergeht, bis die Spannung am Kondensator den Wert  $U = 0,5 \text{ V}$  erreicht hat? (1,386 s)