



Leseprobe

Heribert Stroppe

PHYSIK - Beispiele und Aufgaben

Band 2: Elektrizität und Magnetismus - Schwingungen und Wellen -  
Atom- und Kernphysik

ISBN: 978-3-446-41726-7

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser.de/978-3-446-41726-7>

sowie im Buchhandel.

# ELEKTRISCHES FELD

## Kraftwirkungen des elektrischen Feldes. Feldstärke, Potential, Spannung

### 471 Coulomb-Gesetz (1)

Um eine Vorstellung von der Größe der Ladungseinheit 1 Coulomb (C) zu bekommen, berechne man die Kraft, mit der sich zwei Kugeln mit Ladungen von je 1 C in 100 m Entfernung anziehen bzw. abstoßen!

### 472 Coulomb-Gesetz (2)

Welche gleich große spezifische Ladung  $q/m$  müssten zwei Himmelskörper mit den Massen  $m_1$  und  $m_2$  haben, damit deren Gravitationswirkung durch die elektrostatische Abstoßung gerade kompensiert wird? Welche Ladungen kämen dann der Erde ( $m_E = 5,976 \cdot 10^{24}$  kg) und dem Mond ( $m_M = 7,347 \cdot 10^{22}$  kg) zu?

### 473 Feldstärke und Potential des kugelsymmetrischen Feldes (Zentralfeld)

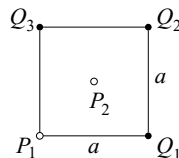
Der Kern des Wasserstoffatoms, das Proton, trägt eine positive Elementarladung. Man bestimme a) die Feldstärke  $E$  und das Potential  $\varphi$  auf der kernnächsten Elektronenbahn (Kreisbahn) mit dem sog. BOHRschen Radius  $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$  m (K-Schale). b) Welche Feldstärke- und Potentialdifferenz besteht zwischen der K- und der darüber liegenden L-Schale mit dem Bahnradius  $r_2 = 2^2 r_1$ ? c) Wie groß ist die potentielle Energie  $W_p$  eines Elektrons auf den beiden Bahnen? Elementarladung  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C.

### 474 Resultierende Feldstärke und Feldkraft zweier Ladungen

Zwei positive Punktladungen  $Q_1 = 400$  nC ( $1 \text{ nC} = 10^{-9}$  C) und  $Q_2 = 150$  nC haben voneinander den Abstand 10 cm. a) Wie groß ist die Kraft auf eine genau in der Mitte zwischen den beiden Ladungen befindliche kleine positive Probeladung  $q = 10$  nC? Wie groß ist die elektrische Feldstärke an dieser Stelle? b) Wie groß sind Feldkraft und Feldstärke, wenn  $Q_2$  negativ ist?

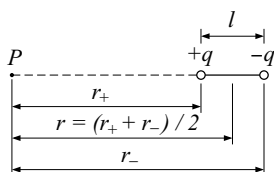
### 475 Potential eines Punktladungssystems. Potentialdifferenz (Spannung)

(Bild) In drei Ecken eines Quadrats mit der Kantenlänge  $a = 4$  cm befinden sich die Punktladungen  $Q_1 = +100$  pC,  $Q_2 = -200$  pC und  $Q_3 = +300$  pC. Man berechne das Potential des Ladungssystems in den Punkten  $P_1$  (Eckpunkt) und  $P_2$  (Mittelpunkt) sowie die Spannung  $U$  zwischen den beiden Punkten!



### 476 Elektrischer Dipol

(Bild) Zwei Punktladungen unterschiedlichen Vorzeichens  $q = \pm 20$  nC, die sich in einem festen Abstand  $l = 1$  cm zueinander befinden, bilden einen elektrischen Dipol. a) Wie groß sind



Potential  $\varphi$  und Feldstärke  $E$  im Punkt  $P$  in der Entfernung  $r = 1,50$  m vom Dipol? Wie groß sind  $\varphi$  und  $E$  im Punkt  $P$ , wenn der Dipol durch eine einzelne Punktladung  $q = 20$  nC ersetzt wird? b) Welches Drehmoment wirkt auf den Dipol, wenn sich in  $P$  eine Ladung  $Q = 100$  nC befindet und die Dipolachse senkrecht zu der im Bild gezeichneten Lage steht?

**477 Arbeit beim elektrischen Aufladen**

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? b) Welche Spannung liegt dann an der Kugel?

**478 Probeladung im homogenen elektrischen Feld**

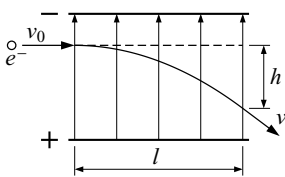
Eine Seifenblase mit dem Durchmesser  $2r = 4 \text{ cm}$  sinkt in Luft mit der Geschwindigkeit  $v = 3 \text{ cm/s}$  zur Erde (dynamische Viskosität von Luft bei  $20^\circ\text{C}$ :  $\eta = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ Pa s}$ ). Wie viele Elementarladungen  $e$  müsste sie tragen, um in einem lotrechten elektrischen Feld der Feldstärke  $E = 130 \text{ V/m}$  gerade in der Schwebe gehalten zu werden?

**479 Freies Elektron im homogenen elektrischen Feld (1)**

In einer Vakuumröhre befinden sich zwei parallele plattenförmige Elektroden im Abstand  $d = 2 \text{ cm}$ , an denen eine Spannung  $U = 300 \text{ V}$  liegt. Man bestimme a) die elektrische Feldstärke  $E$  im Raum zwischen den Platten, b) die Kraft auf ein Elektron im Feld zwischen den Platten, c) die von einem Elektron gewonnene Energie, wenn es sich von der Katode zur Anode bewegt, d) die Geschwindigkeit, mit der es auf die Anode trifft. Masse des Elektrons  $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

**480 Freies Elektron im homogenen elektrischen Feld (2)**

(Bild) Ein Elektron tritt senkrecht zu den elektrischen Feldlinien mit der Geschwindigkeit  $v_0$  in den Vakuumraum eines Plattenkondensators ein und durchläuft ihn auf gekrümmter Bahn. a) Um welche Art von Bahnkurve handelt es sich? b)



Der Kondensator habe einen Plattenabstand von  $d = 4 \text{ cm}$  und eine Plattenlänge von  $l = 10 \text{ cm}$ , die an den Platten anliegende Spannung ist  $U = 300 \text{ V}$ . Mit welcher Geschwindigkeit  $v$  tritt das Elektron aus dem Kondensatorfeld aus, wenn  $v_0 = 1,6 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ ? c) Wie groß ist die Abweichung  $h$  von der ursprünglichen Bewegungsrichtung beim Austritt aus dem

Feld? d) Welche Änderung der Gesamtenergie erfährt das Elektron beim Durchqueren des Feldes? Ladung des Elektrons  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , Masse des Elektrons  $m = 9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

**481 Beschleunigungsspannung**

Welche Spannung muss ein Elektron im Vakuum durchlaufen, um auf 95% der Lichtgeschwindigkeit  $c$  beschleunigt zu werden? Man beachte die relativistische Massenzunahme des Elektrons (Ruhmasse  $m_0 = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ )!

**ZUSATZAUFGABEN**

**482** a) Wie viel Elektronen sind in 1 Coulomb (C) enthalten? b) Welche Ladung  $Q$  und Masse  $m$  hat  $n = 1 \text{ mol}$  Elektronen?

**483** Berechnen Sie a) die Feldstärke, welche durch eine kleine, räumlich konzentrierte Gaswolke, bestehend aus 1 kmol einwertiger Ionen, in 100 km Entfernung hervorgerufen wird, und b) die Potentialänderung, die sich bei Vergrößerung der Entfernung auf 500 km ergibt!

**484** Welche Arbeit wird verrichtet, wenn ein Elektron eine Potentialdifferenz (Spannung) von 1 V durchläuft?

485 Welche größte Annäherung ist beim zentralen Stoß eines  $\alpha$ -Teilchens ( $\text{He}^{++}$ ) der Energie  $E_\alpha = 2 \text{ MeV}$  mit dem Kern eines Aluminiumatoms (Ordnungszahl 13) möglich (RUTHERFORD-Streuung)? Die kinetische Energie geht bei größter Annäherung vollständig in potentielle Energie über.

486 In den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks von  $a = 10 \text{ cm}$  Seitenlänge befinden sich die Ladungen  $Q_1 = +1 \mu\text{C}$ ,  $Q_2 = +2 \mu\text{C}$  und  $Q_3 = -3 \mu\text{C}$ . Man berechne den Betrag der resultierenden Kraft, mit der  $Q_1$  und  $Q_2$  auf  $Q_3$  wirken!

487 Eine Ladung von  $8 \mu\text{C}$  befindet sich in  $1 \text{ m}$  Entfernung von einer zweiten Ladung  $50 \mu\text{C}$  und wird a) auf  $50 \text{ cm}$  an diese angenähert, b) auf einer Kreisbahn um diese herumgeführt. Wie groß ist in den beiden Fällen die dazu notwendige Arbeit?

488 Im Abstand von  $1 \text{ m}$  befinden sich zwei Punktladungen  $Q_1 = 5 \text{ nC}$  und  $Q_2 = -3 \text{ nC}$  ( $Q_1$  links von  $Q_2$ ). Auf der Verbindungsgeraden beider Ladungen liegt rechts von  $Q_1$  in der Entfernung  $25 \text{ cm}$  ein Punkt  $A$  und  $25 \text{ cm}$  links von  $Q_2$  ein Punkt  $B$ . a) Welcher Punkt befindet sich auf dem höheren Potential? b) Welche Arbeit ist zu verrichten, um eine Probeladung  $q = -50 \mu\text{C}$  von  $A$  nach  $B$  zu verschieben?

489 In Aufgabe 488 ist die Lage desjenigen Punktes zu ermitteln, in dem das resultierende Potential null ist.

490 In einem Teilchenbeschleuniger werden Protonen auf eine kinetische Energie von  $10 \text{ GeV}$  gebracht. Wie weit hat sich dadurch die Teilchengeschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit angenähert? Auf das Wievielfache hat die bewegte Masse  $m$  gegenüber ihrer Ruhmasse  $m_0$  zugenommen? Spezifische Ladung des Protons:  $e/m_0 = 9,579 \cdot 10^7 \text{ C/kg}$ .

## Elektrischer Fluss, Flussdichte

### 491 Elektrische Durchflutung

a) Man berechne die elektrische Feldstärke  $E$  in der Entfernung  $r = 50 \text{ cm}$  von einer Punktladung  $Q = 2,7 \cdot 10^{-12} \text{ C}$ ! b) Wie groß ist die Flussdichte  $D$  in dieser Entfernung und der elektrische Fluss  $\Psi$  durch eine um die Ladung herumgelegte, beliebige geschlossene Fläche? Elektrische Feldkonstante  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C/(V m)}$ .

### 492 Zylindersymmetrisches Feld eines langen Drahtes

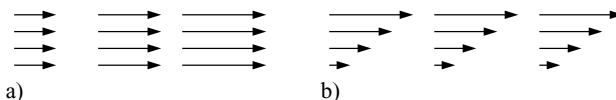
Auf die Oberfläche eines sehr langen, geraden Metalldrahtes von  $2 \text{ mm}$  Durchmesser werden Ladungen mit dem Ladungsbelag  $Q' = Q/l = 90 \text{ nC/m}$  (Ladung je Längeneinheit) gebracht. Welchen Feldstärke- und Potentialverlauf weist das vom Draht erzeugte Feld in seiner Umgebung (Luft) auf? Wie groß sind Feldstärke und Flächenladungsdichte an der Drahtoberfläche?

### 493 Atmosphärisches elektrisches Feld

Bei ungestörtem schönen Wetter beträgt das lotrechte elektrische Feld in Bodennähe  $E_1 = 130 \text{ V/m}$  und in  $h = 10 \text{ km}$  Höhe  $E_2 = 4 \text{ V/m}$ . a) Welche Flächenladungsdichte  $\sigma$  der Erdoberfläche und welche (als homogen angenommene) Raumladungsdichte  $\rho$  der Atmosphäre folgt aus diesen Angaben? b) Welche Potentialdifferenz  $U$  herrscht zwischen Erdoberfläche und  $10 \text{ km}$  Höhe?

494 *Quellen- und Wirbelfeld*

(Bild) Sind die dargestellten Kraftfelder, deren Feldstärke  $E$  a) in Feldlinienrichtung, b) senkrecht zur Feldrichtung linear zunimmt, Quellen- oder Wirbelfelder? – *Anleitung:* Man untersuche den elektrischen Fluss  $\Psi$  durch ein geschlossenes Raumgebiet und prüfe, ob beim Umlauf einer Probeladung auf einem geschlossenen Weg Arbeit verrichtet wird.



## ZUSATZAUFGABEN

495 An einem Plattenkondensator (Plattenfläche  $A = 100 \text{ cm}^2$ , Plattenabstand  $d = 2 \text{ cm}$ ) liegt eine Spannung von  $U = 70 \text{ V}$ . Wie groß ist die Ladung auf einer Platte?

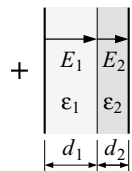
496 Ein elektrisches Feld der Feldstärke  $E = 905 \text{ V/m}$  wird durch eine dazu senkrechte Metallschicht abgeschirmt. Wie viel Elementarladungen werden auf der Oberfläche je Flächeneinheit influenziert, d. h., wie groß ist ihre Flächenladungsdichte  $\sigma$ ?

497 Eine  $4 \text{ cm}$  von einem langen, elektrisch geladenen Draht entfernte Punktladung  $q = 6,69 \cdot 10^{-10} \text{ C}$  wird auf  $2 \text{ cm}$  Entfernung an den Draht herangeführt. Dazu muss die Arbeit  $W = 5 \cdot 10^{-6} \text{ J}$  verrichtet werden. Welchen Ladungsbelag  $Q/l$  hat der Draht?

## Elektrisches Feld in Stoffen. Feldenergie

498 *Geschichtetes Dielektrikum. Effektive Dielektrizitätszahl*

(Bild) Das Innere eines Plattenkondensators ist mit zwei parallel zu den Platten verlaufenden Schichten aus unterschiedlichen Isolierstoffen mit den Dielektrizitätszahlen  $\epsilon_{r1} = 7,5$  (Glas) und  $\epsilon_{r2} = 150$  (Keramik) voll ausgefüllt. Die Schichtdicken sind  $d_1 = 2,5 \text{ mm}$  und  $d_2 = 1 \text{ mm}$ . Am Kondensator liegt die Spannung  $U = 2500 \text{ V}$  an. Wie groß sind a) die Feldstärken  $E_1$  und  $E_2$ , b) die Spannungsabfälle  $U_1$  und  $U_2$  in den beiden Schichten? 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?

499 *Energiedichte des elektrischen Feldes*

Ein Plattenkondensator (Plattengröße  $A = 5 \text{ cm}^2$ , Plattenabstand  $d = 1 \text{ mm}$ ) ist mit Glimmer (Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r = 7$ ) ausgefüllt. Er wird auf eine Spannung von  $500 \text{ V}$  aufgeladen. Man berechne a) die Feldstärke  $E$  und b) die Flussdichte  $D$  im Kondensatorraum, c) die Ladung  $Q$  auf einer Kondensatorplatte, d) die Energiedichte  $w_e$  und e) die Energie  $W_e$  des elektrischen Feldes im Kondensator!

500 *Elektrische Polarisation*

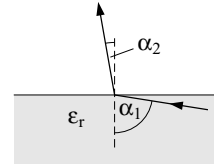
Wie groß ist in Aufgabe 499 die Polarisation  $P$  des im Plattenkondensator befindlichen Dielektrikums (Glimmer)? Wie groß sind die infolge Polarisation auf dem Dielektrikum entstandenen freien Oberflächenladungen  $Q_P$ ?

**501** *Durchgang des E- und D-Feldes durch Grenzflächen*

In einem ausgedehnten Dielektrikum (Sonderkeramik mit  $\varepsilon_r = 500$ ) herrsche ein homogenes elektrisches Feld der Flussdichte  $D = 4 \mu\text{C}/\text{m}^2$ . Gesucht ist die elektrische Feldstärke  $E_L$  in einem darin enthaltenen engen Luftspalt mit  $\varepsilon_{rL} = 1$  a) längs zur Feldrichtung, b) quer zur Feldrichtung, c) in einem kleinen kugelförmigen Hohlraum. Feldstärke im Innern einer Kugel, die sich in einem äußeren Feld  $E_0$  befindet:  $E_i = 3\varepsilon_a E_0 / (\varepsilon_i + 2\varepsilon_a)$  mit  $\varepsilon_i, \varepsilon_a$  Dielektrizitätszahlen im Innen- und Außenraum.

**502** *Brechungsgesetz für Feldlinien*

(Bild) Aus einem Dielektrikum mit hoher Dielektrizitätszahl  $\varepsilon_r$  treten elektrische Feldlinien – auch wenn sie streifend die Oberfläche treffen – nahezu senkrecht aus. Man berechne für Nitrobenzol ( $\varepsilon_r = 36$ ) den maximalen Einfallswinkel  $\alpha_1$  gegen die Grenzflächennormale, für den der Brechungswinkel  $\alpha_2$  nicht mehr als  $10^\circ$  von der Grenzflächennormalen abweicht!

**ZUSATZAUFGABEN**

**503** Ein Plattenkondensator ist mit gleich dicken Schichten zweier Isolierstoffe mit den Dielektrizitätskonstanten  $\varepsilon_1$  und  $\varepsilon_2$  ausgefüllt. Wie groß ist die mittlere (effektive) Dielektrizitätskonstante  $\varepsilon$ ?

**504** Berechnen Sie für den Plattenkondensator in Aufgabe 498 die Anteile der Feldenergie in den beiden mit unterschiedlichen Dielektrika ausgefüllten Kondensatorräumen sowie die Gesamtenergie und die daraus folgende mittlere Energiedichte des Kondensatorfeldes! Plattenfläche  $A = 5 \text{ cm}^2$ .

**505** Im Unterschied zu Aufgabe 499 wird das Dielektrikum (Glimmer,  $\varepsilon_r = 7$ ) erst in den Kondensator eingebracht, wenn dieser bereits an die Spannungsquelle von 500 V angeschlossen ist. Welche Ladung muss von der Spannungsquelle auf den Kondensator nachfließen, wenn sich die Feldstärke im Kondensator nicht ändern soll? Geben Sie die Ladungen  $Q_0$  und  $Q$  vor und nach Einbringen des Dielektrikums an!

**506** Ein Plattenkondensator (Plattenabstand 5 mm) ist mit einem Dielektrikum gefüllt, das eine Suszeptibilität von  $\chi_e = \varepsilon_r - 1 = 1,5$  hat. Am Kondensator liegt eine Spannung von 4 kV. Wie groß ist die Flächendichte der Ladung auf den Kondensatorplatten ( $\sigma_K$ ) und auf dem Dielektrikum ( $\sigma_D$ )?

**Kapazität, Kondensatoren****507** *Leerer Plattenkondensator*

Auf die 1 cm voneinander entfernten Platten eines luftleeren Kondensators der Kapazität  $C_1 = 100 \text{ pF}$  wird aus einer Spannungsquelle die Ladung  $Q = 22 \text{ nC}$  aufgebracht. Danach wird der Kondensator wieder von der Spannungsquelle abgeklemmt. a) Welche Spannung  $U_1$  liegt am Kondensator, und wie groß ist die Feldstärke  $E_1$  im Kondensatorraum? b) Welche Werte nehmen Kapazität, Spannung und Feldstärke an, wenn der Plattenabstand auf  $d_2 = 2 \text{ cm}$  vergrößert wird?

**508 Kondensator ohne und mit Dielektrikum**

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. Wie ändern sich im Fall a) und im Fall b) Kapazität, Ladung, Spannung und Energieinhalt des Kondensators, wenn er mit Öl (Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r = 2,75$ ) gefüllt wird?

**509 Kraft zwischen Kondensatorplatten**

Berechnen Sie die Kraft  $F$ , mit der sich zwei ebene Kondensatorplatten der Fläche  $A = 0,15 \text{ m}^2$  im Abstand  $x = 2 \text{ mm}$  anziehen, wenn zwischen ihnen eine Spannung  $U = 300 \text{ V}$  herrscht! Wie groß muss die Zugspannung  $\sigma$  sein, um die Platten auseinander zu halten?

**510 Kapazität einer Kugel**

a) Man berechne die Kapazität einer freistehenden Metallkugel vom Durchmesser  $2R = 10 \text{ cm}$ ! b) Welche Flächenladungsdichte ist erforderlich, um sie auf eine Spannung von  $10 \text{ kV}$  aufzuladen?

**511 Durchschlagsspannung**

Gesucht ist die Spannung  $U$ , auf die eine Metallkugel vom Durchmesser  $2R = 20 \text{ cm}$  in einer Hochspannungsanlage maximal aufgeladen werden kann, wenn die Durchschlags-Feldstärke in Luft  $E_D = 2 \text{ MV/m}$  beträgt. Es wird vorausgesetzt, dass sich die Kugel in hinreichend großem Abstand von leitenden Wänden befindet.

**512 Koaxialkabel (1)**

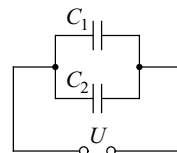
Ein Koaxialkabel besteht aus einer zentralen Ader (Innenleiter vom Radius  $a$ ) und einer sie umgebenden zylindrischen Hülle (Außenleiter mit dem Radius  $b$ ). Dazwischen befindet sich ein Isolator (Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$ ). a) Berechnen Sie allgemein die Kapazität eines solchen Kabels! – *Anleitung:* Man gehe von der Potentialdifferenz zwischen  $r = a$  und  $r = b$  aus (vgl. Aufgabe 492). b) Wie groß ist für ein Koaxialkabel mit  $b/a = 6,667$  und  $\epsilon_r = 2,3$  der Kapazitätsbelag (Kapazität je Längeneinheit)?

**513 Koaxialkabel (2)**

Der Radius der zentralen Ader eines Koaxialkabels beträgt  $a = 1,5 \text{ cm}$ , der Radius der umgebenden zylindrischen Hülle  $b = 3,5 \text{ cm}$ . Zwischen Ader und Hülle besteht ein Potentialunterschied von  $U = 2300 \text{ V}$ . Gesucht ist die elektrische Feldstärke  $E$  in einem Abstand  $r = 2 \text{ cm}$  von der Kabelachse.

**514 Kondensatorschaltung (1)**

(Bild) Zwei Kondensatoren mit den Kapazitäten  $C_1 = 200 \text{ pF}$  und  $C_2 = 600 \text{ pF}$  werden parallel geschaltet und auf  $120 \text{ V}$  aufgeladen. Man bestimme a) die Ladung auf den Kondensatoren und die Gesamtladung der Schaltung, b) die Gesamtkapazität der Schaltung.

**515 Kondensatorschaltung (2)**

(Bild) Zwei Kondensatoren ( $C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 3 \text{ }\mu\text{F}$ ) werden in Reihe geschaltet und dann an  $U = 24 \text{ V}$  Gleichspannung angeschlossen. Man berechne a) die Gesamtkapazität, b) die Gesamtladung und die Einzelladungen auf den Kondensatoren, c) die Spannungen an beiden Kondensatoren, d) die in den Kondensatoren gespeicherte Energie  $W$ . e) Nach dem Laden werden die Kondensatoren von der Spannungsquelle getrennt. Welche Spannung stellt sich ein, wenn sie anschließend mit gleicher/entgegengesetzter Polarität parallel geschaltet werden?

