452.

c) deutlich größer

Die Induktivität einer Spule wird durch ihre Materialeigenschaften festgelegt: Windungszahl, Fläche, Länge und Stoff in der Spule.



Der Stoff in der Spule ist Weicheisen. Dessen Permeabilität gibt an, um wie viel die Induktivität der Spule im Vergleich zu einer luftgefüllten Spule verstärkt wird.

Die Permeabilität von Weicheisen ist aber keine konstante Größe, sondern hängt davon ab, wie stark das Magnetfeld, das das Eisen durchsetzt, ist. Bei der kleinen Spannung fließt ein kleiner Strom und das Magnetfeld der Spule ist schwach. Bei der großen Spannung fließt mehr Strom, das Magnetfeld ist stärker und damit ist auch die Permeabilität des Kernes größer.

Damit wird die Induktivität der Spule mit steigender Spannung auch größer.

In Zahlen sieht das so aus:

Gleichspannung:



Wechselspannung:



Es ist schon zu sehen, dass bei der Gleichspannung der Strom proportional zu Spannung ist. Der ohmsche Widerstand der Spule ändert sich nicht.

Bei Wechselspannung steigt der Strom nicht proportional mit der Spannung. Das bedeutet, dass der induktive Widerstand der Spule, also die Induktivität, größer geworden ist.

Berechnet man die Induktivitäten für die beiden Spannungen, erhält man 0,7 H und 1,8 H

453.

a) [Anwendungen Hall-Sensor](https://de.wikipedia.org/wiki/Hall-Sensor#Anwendungen)

**b)**

Die Hallspannung berechnet sich mit



UH Hallspannung

V Volumen des Hallelements

N Anzahl der freien Ladungsträger

I Stromstärke

B mag. Flussdichte

s Dicke des Hallelements

e Elementarladung

Entscheidend ist der Quotient aus Volumen und freien Ladungsträgern. Die Anzahl der freien Ladungsträger ist in einem metallischen Leiter je Volumen viel größer als in einem Halbleiter. Damit ist der Quotient aus V und N für einen Halbleiter größer als bei einem metallischen Leiter.

Das bedeutet, dass bei sonst gleichen Bedingungen in einem Halbleiter eine höhere Hallspannung entsteht als in einem metallischen Leiter.

454.

**a)** Wenn sich die gesamte Spule im Magnetfeld bewegt, kommt es in den beiden senkrechten Teilen der Spule zur Entstehung von Induktionsspannungen, die sich aber aufheben, so dass an den Anschlüssen keine Spannung zu messen ist.

Wenn der rechte Teil der Spule das Magnetfeld verlassen hat, wird nur noch im linken Teil eine Spannung induziert. Die ist dann



|  |  |
| --- | --- |
| **b)** In der ersten Sekunde bewegt sich die Spule komplett im Magnetfeld, so dass keine Spannung gemessen werden kann. In den darauf folgenden beiden Sekunden ist der rechte Teil bereits aus dem Magnetfeld heraus und der linke Teil noch drin. Es werden jetzt die in Aufgaben a) berechneten 25 mV gemessen.  In der letzten Sekunde ist die Spule komplett aus dem Magnetfeld heraus, so dass nichts mehr gemessen werden kann. |  |

**c)** Die Kraft wirkt nur, wenn in der Spule eine Spannung induziert wird, da nur dann ein Strom fließt.

Nach der Lenzschen Regel ist dieser Strom immer so gerichtet, dass er der Ursache der Induktion entgegen wirkt.

Das heißt, die Kraft wirkt der Bewegung entgegen nach links.

Diese Kraft ist die Lorentzkraft, die sich auf einen Leiter durch



berechnen lässt.

Die Stärke des Stroms wird durch die Spannung und den Widerstand bestimmt:



Da die Spule 100 Windungen hat, sich also 100 Leitungen im Magnetfeld befinden, müssen diese ebenfalls noch berücksichtigt werden.



455.

**a)** Mit der Linke-Hand-Regel erhält man einen Stromfluss von links nach rechts. Demnach müssen links der Minuspol und rechts der Pluspol sein.

**b)** Es soll gezeigt werden, dass



gilt. Das kann gezeigt werden, indem die beiden Proportionalitäten



und



einzeln untersucht werden. Gelten die beiden Proportionalitäten, so ist die Kraft auch zum Produkt aus den beiden Werten Strom und Breite proportional.

Eine Proportionalität kann entweder durch die Quotientengleichheit oder eine Diagramm gezeigt werden. Im Diagramm müssen die Messpunkte alle etwa auf einer Geraden liegen und die Gerade durch den Koordinatenursprung gehen.

1. Quotientengleichheit

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| I in A | 2,0 | 4,0 | 6,0 | 8,0 |
| F in 10-4 N | 3,4 | 6,8 | 10,3 | 13,7 |
|  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| b in mm | 80 | 40 | 20 |
| F in 10-4 N | 17,1 | 8,6 | 4,2 |
|  |  |  |  |

2. Diagramme

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

In allen Fällen zeigt sich eine direkte Proportionalität.

Der Proportionalitätsfaktor lässt sich dann über die Proportionalität berechnen:



Als Werte kann man die vom ersten als auch vom zweiten Experiment nehmen.



oder



**c)** In einem stärkeren Magnetfeld wird der Proportionalitätsfaktor größer. Damit kann dieser Wert zur Beschreibung der Stärke des Magnetfeldes (magnetische Flussdichte) benutzt werden.

**d)** Das Induktionsgesetzt lautet allgemein



Da sich das Magnetfeld gleichmäßig ändert und die Richtung der magnetischen Feldlinien senkrecht zur Fläche steht, kann man schreiben:



In diesem Experiment ändert sich nur B und die Fläche bleibt gleich. Deshalb wird daraus



Mit dieser Gleichung lässt sich die Induktionsspannung berechnen:



**456.**

|  |  |
| --- | --- |
| a) Da die Protonen nach dem Durchfliegen des Kondensators allein durch das magnetische Feld nach unten abgelenkt werden, muss das Magnetfeld so gerichtet sein, dass es auf die Protonen eine nach unten gerichtete Kraft ausübt. |  |
| Mit der Linke-Hand-Regel bestimmt man die Kraft auf ein Elektron im Magnetfeld. Da das Proton die entgegen gesetzte Ladung trägt, wirkt die Lorentzkraft auch in die entgegen gesetzte Richtung wie bei einem Elektron.  Das Magnetfeld muss dann so wirken, das es senkrecht zur Flugrichtung von hinten nach vorn zeigt.  Damit die Protonen geradlinig durch den Kondensator kommen, muss eine zusätzliche Kraft nach oben wirken. Dazu wird die obere Platte negativ und die untere Platte positiv. |  |

Die Protonen fliegen nur dann geradlinig durch den Kondensator, wenn die Summe aller Kräfte, die auf sie wirken, Null ist. Die nach unten wirkende Lorentzkraft muss also genau so groß sein wie die nach oben wirkende elektrische Kraft.



Die beiden Ladungen kürzen sich raus und man erhält



Das bedeutet, dass der Quotient aus der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Flussdichte genau eine Geschwindigkeit liefert. Für diese eine Geschwindigkeit sind entsprechend dem Ansatz die beiden Kräfte, die durch die Felder wirken, gleich groß.

Es spüren also nur Protonen mit dieser Geschwindigkeit keine resultierende Kraft und fliegen geradlinig durch den Kondensator.

b) Mit der Gleichung für die Geschwindigkeit kann die Feldstärke im Kondensator berechnet werden:



c) Wenn die Protonen den Kondensator verlassen, wirkt nur noch die Lorentzkraft. Da diese immer senkrecht zur Richtung der Geschwindigkeit steht, lenkt sie die Protonen auf eine Kreisbahn: sie ist die Radialkraft.

Damit kann man schreiben:



und ausgeschrieben



Kennt man den Radius der Kreisbahn, kann man daraus leicht den Durchmesser und damit den gesuchten Abstand berechnen.



d) Eine Verringerung der Spannung im Kondensator bedeutet eine kleinere elektrische Feldstärke E. Damit wird auch die elektrische Kraft auf die Protonen im Kondensator kleiner.

Wie oben gezeigt wurde, bestimmen die elektrische Feldstärke E und die magnetische Flussdichte B die Geschwindigkeit der Protonen, die gerade durch den Kondensator hindurch fliegen und damit durch die Blende L3 kommen.

Wie ändert sich die Geschwindigkeit der gerade durchfliegenden Protonen?

Es gilt



Wird E kleiner, werden Protonen das Loch in der Blende treffen, die eine kleinere Geschwindigkeit haben.

Begründung: Da die elektrische Kraft kleiner wird, kommen nur die Protonen durch, für die auch die magnetische Kraft kleiner wurde; es muss ja wieder Kräftegleichgewicht herrschen.

Die magnetische Kraft ist aber direkt proportional zur Geschwindigkeit. Also spüren jetzt langsamere Protonen eine kleinere elektrische und gleichzeitig eine kleinere magnetische Kraft und fliegen auf geradem Wege.

Da der Durchmesser wie in Aufgaben b) gezeigt proportional zur Geschwindigkeit der Protonen ist, wird für die langsameren Protonen auch der Durchmesser kleiner. Damit rückt der Auftreffpunkt näher an die Blendenöffnung heran.

**457.**

|  |  |
| --- | --- |
| Wie üblich muss die Schaltung schrittweise analysiert werden. Als erstes werden die offensichtlichen Reihenschaltungen von je zwei Widerständen zu einem 20Ohm-Widerstand zusammengefasst. |  |
| Nun wird es schwieriger, da keine einfachen Reihen- oder Parallelschaltungen mehr zu sehen sind. Zeichnet man die Schaltung aber etwas um, erkennt man zwei Dreiecksschaltungen. |  |
| Es gilt:    Mit dem gleichen Schema erhält man |  |
| Damit kann die Schaltung nun weiter vereinfacht werden. Die beiden Reihenschaltungen werden zusammengefasst. Die sich ergebenden Widerstände sind die Summe der Einzelwiderstände. |  |
| Die beiden linken Widerstände sind parallel geschaltet und ergeben einen Gesamtwiderstand von 5,9 Ohm.  Damit bleibt eine einfache Reihenschaltung übrig, die einen Gesamtwiderstand von 15,9 Ohm ergibt. |  |

**458.**

**a)** Die elektrische Leistung ist das Produkt aus der anliegenden Spannung und dem fließenden Strom.



Die Spannung ist bekannt. Die Stromstärke kann aus der Spannung und dem bekannten Widerstand bestimmt werden:



Setzt man das in die Leistungsgleichung ein, erhält man



**b)** Die Leistung im Bad wird wie die Leistung in der Dusche berechnet. Als Widerstand kommt jetzt die Reihenschaltung von zwei 30 Ohm-Widerständen zum Einsatz. Das sind 60 Ohm:



**c)** Zuerst muss man fragen, wie groß der Gesamtwiderstand der Schaltung in der Küche ist. Das lässt sich mit der oben verwendeten Formel bestimmen:



|  |  |
| --- | --- |
| Da dieser Widerstand aus drei parallel geschalteten gleichen Widerständen besteht, muss man überlegen, wie groß ein einzelner Widerstand ist, damit die Parallelschaltung die gewünschten 41 Ohm liefern.  Werden zwei Widerstände parallel geschaltet, kann der Strom beide Wege gleichzeitig nehmen und der Gesamtwiderstand der Schaltung wird kleiner. Sind die beiden Widerstände gleichgroß, ist der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung nur hoch halb so groß.  Werden drei gleiche Widerstände parallel geschaltet, verkleinert sich der Gesamtwiderstand auf ein Drittel des Wertes eines Einzelwiderstandes.  Um also mit drei gleichen Widerständen in Parallelschaltung einen Widerstand von 41 Ohm zu erhalten, muss jeder Einzelwiderstand 123 Ohm groß sein. | Der Strom hat drei Wege vor sich. Damit ist der Gesamtwiderstand kleiner als ein einzelner Widerstand. |

|  |  |
| --- | --- |
| **459.** Eine Kennlinie ist der Zusammenhang zwischen der anliegenden Spannung und dem fließenden Strom.  Man nimmt z.B. einen Widerstand und schließt ihn an einer Spannungsquelle an, die von 0V bis z.B. 6V regelbar ist. Im Schaltungsbeispiel wird das durch das Potentiometer realisiert.  Dann regelt man die Spannung in z.B. 0,5V-Schritten hoch und misst die Spannung und den Strom, der dabei durch den Widerstand fließt. Die Wertepaare trägt man in ein Diagramm ein (waagerechte Achse=Spannung) und hat die Kennlinie eines Widerstandes.  An Stelle der Glühlampe kann man alle möglichen elektrischen Bauteile nehmen: ohmschen Widerstand, Leuchtdiode, Z-Diode... |  |
| Es werden die Kennlinien für drei typische Bauelemente gezeigt:  **ohmscher Widerstand:** Strom und Spannung sind zueinander proportional  **Glühlampe:** Zu Beginn steigt der Strom sehr schnell an, mit steigender Spannung wird der Anstieg kleiner.  Ursache: Der kalte Glühlampendraht hat einen deutlich kleineren Widerstand als der heiße Draht.  **Diode, Leuchtdiode:** Bis zu einer bestimmten Spannung fließt kein Strom. Danach steigt der Strom sehr stark an.  Die Spannung, bei der der Strom zu fließen anfängt, heißt Durchbruchspannung und hängt vom Material der Diode ab. Bei einer roten LED sind das z.B. etwa 1,6V und bei einer blauen LED etwa 3V. |  |

**460.** b ist richtig.

Wie verhält sich das Elektron in der Anordnung?

Es kommt mit einer Anfangsgeschwindigkeit durch das erste Loch geflogen und bewegt sich im ersten Plattenkondensator. Die Platte, aus der es kommt, ist negativ geladen und die gegenüberliegende Platte positiv. Es wird also zur 2. Platte auf Grund seiner negativen Ladung beschleunigt. Damit wird seine kinetische Energie größer. Im zweiten Plattenkondensator ist für das Elektron die Polung umgekehrt, es wird zur mittleren Platte angezogen und von der hinteren Platte abgestoßen.

Damit werden seine Geschwindigkeit und auch seine kinetische Energie wieder kleiner.

Das Diagramm a zeigt das aber nicht und ist deshalb völlig ungeeignet.

Da die Spannungen in beiden Kondensatoren gleich groß sind, wird das Elektron im zweiten Kondensator genau auf die Geschwindigkeit abgebremst, mit der es in den ersten Kondensator hineingeflogen ist.

Im Diagramm d ist die kinetische Energie am Ende aber kleiner als am Anfang und damit müsste es langsamer herausfliegen. Diagramm d ist ungeeignet.

Bleiben noch die beiden Diagramme b und c, in denen die kinetische Energie zu Beginn und am Anfang richtig ist. Wie verhält sich die kinetische Energie des Elektrons auf dem Weg von einer zur anderen Platte.

Zu Beginn hat es die Energie



Dazu kommt die Energie, die es im elektrischen Feld gewinnt. In einem homogenen Feld ist die Spannung



Die Feldstärke ist im homogenen Feld konstant, so dass die Spannung linear mit der Entfernung zur Platte wächst. Die Spannung zwischen der ersten Platte und dem Ort des Elektrons davor ist 0 und wird bis zur anderen Seite immer größer. Die Spannung zwischen den ersten beiden Platten ist dann genau die Spannung der Spannungsquelle.

Die Energie, die das Elektron nach dem Durchlaufen der Spannung hat, ist



Da die Spannung linear wächst, wird auch die Energie des Elektrons linear wachsen. Die Energie des Elektrons ist



Der vordere Summand ist eine konstante Größe, nämlich die Anfangsenergie und der hintere Teil ist eine lineare Funktion.

Damit ist das Diagramm b das einzig richtige Diagramm.

**461.**

Der Gesamtwiderstand der Schaltung lässt sich gegebenen Gesamtspannung und dem Gesamtstrom berechnen:



Die Spannungen über den Widerständen kann man mit der umgestellten Gleichung berechnen:



Die beiden Widerstände R1 und R2 sind gegeben. Der Strom, der durch sie hindurch fließt, ist in beiden Fällen der Gesamtstrom, da der ja keinen anderen Weg hat.



Damit teilt sich die Gesamtspannung auf drei Teilspannungen auf, deren Summe so groß wie die Gesamtspannung sein muss. Über den beiden Widerständen R1 und R2 fallen insgesamt 2,5 V ab, so dass über den beiden Widerständen R3 und R4 jeweils 1,0 V abfallen. Diese beiden Spannungen sind gleich groß, da die beiden Widerstände parallel geschaltet sind.

Da der Strom, der durch den Widerstand R3 fließt, bekannt ist, kann damit der Widerstandswert berechnet werden:



Durch den Widerstand R3 fließen 0,04 A. Insgesamt fließen in die Parallelschaltung der beiden unteren Widerstände aber 0,05 A hinein. Damit fließen durch den Widerstand R4 der Rest zu den 0,04 A durch R3, nämlich 0,01 A.

Da die Spannung über R4 bekannt ist, kann zum Schluss dieser Widerstand noch berechnet werden:



|  |  |
| --- | --- |
| **462. a)** Zeichnet man die Schaltung etwas um, sieht man oben und unten jeweils eine Parallelschaltung von zwei Widerständen, die in Reihe geschaltet sind.  Die beiden oberen Widerstände lassen sich durch einen 8-Ohm-Widerstand ersetzen: |  |

Die untere Parallelschaltung ergibt 10 Ohm.

Die Reihenschaltung der beiden Ersatzwiderstände liefert dann 18 Ohm als Gesamtwiderstand der Schaltung.

Über



erhält man den gesuchten Strom.

**b)** Der Strom wird kleiner.

Wenn der 10-Ohm-Widerstand durch einen 100 Ohm-Widerstand ersetzt wird, erhöht sich der Gesamtwiderstand der oberen Parallelschaltung. Damit wird der Gesamtwiderstand der Schaltung größer und der Gesamtstrom kleiner. Der Gesamtstrom muss durch die einzelne Leitung in der Mitte der beiden Parallelschaltungen und teilt sich dann auf die beiden unteren Widerstände gleichmäßig auf.

Da der Gesamtstrom aber kleiner geworden ist, ist auch der Teilstrom durch einen der beiden 20-Ohm-Widerstände kleiner geworden.

**463.**

c) Er zeigt eine größere Kraft an.

|  |  |
| --- | --- |
| Die Kraft auf eine Platte im Kondensator berechnet sich mit    A ist die Fläche einer Platte und im konkreten Fall 0,018 m² groß. Der Abstand beträgt 7 mm und die anliegende Spannung ist 6 kV. Damit ergibt sich eine Kraft von |  |
| Das stimmt mit der gemessenen Kraft ganz gut überein. Da im ersten Versuch der Kondensator nur mit Luft gefüllt war, konnte für  der Wert 1 genommen werden.  Kommt nun die PCV-Platte in den Kondensator, wird das  größer als 1 und die Kraft verstärkt sich.  Wie lässt sich das erklären? |  |

Durch die PVC-Platte wird die Kapazität des Kondensators größer. Damit können bei konstanter Spannung mehr Ladungen auf den Platten sein. Durch das Einbringen der PVC-Platte fließen also aus der Spannungsquelle weitere Ladungen auf die Platten, was die Kraft zwischen den Platten verstärkt.

**464.**

**a)** Die Elektronen bekommen ihre kinetische Energie aus der Energie des elektrischen Feldes, dass durch die Beschleunigungsspannung erzeugt wird.



Stellt man diese Gleichung nach der Spannung U um, kann die gesuchte Größe berechnet werden.



**b)** Die Elektronen bewegen sich auf einer Kreisbahn. Das bedeutet, auf sie muss eine Kraft zum Mittelpunkt der Kreisbahn wirken, die Radialkraft. Diese Radialkraft wird von der Lorentzkraft aufgebracht. Das ist die Kraft, die im Magnetfeld auf bewegte Ladungsträger wirkt.

Die Lorentzkraft steht immer senkrecht zur Bewegungsrichtung des geladenen Teilchens und zur Richtung des Magnetfeldes. Zur Bestimmung der Richtung des Magnetfeldes wird die Linke-Hand-Regel verwendet.

Daumen: physikalische Richtung des Stromes, das ist hier direkt die Flugrichtung der Elektronen nach oben.

Mittelfinger: Kraftrichtung auf die Elektronen, hier nach rechts.

Der Zeigefinger zeigt dann in die Ebene des Blattes hinein.

Das Magnetfeld hat auf der Seite des Betrachters den Südpol und in der Blatteben den Nordpol.

Für die Größe der Kraft wird die Lorentzkraft gleich der Radialkraft gesetzt.



**c)** Die Elektronen treten in den Kondensator mit der gleichen Geschwindigkeit ein, mit der sie nach der Beschleunigungsstrecke in das Magnetfeld hineinfliegen, sie sind also weder schneller noch langsamer geworden.

Die Kraft, die die Elektronen beim Flug durch das Magnetfeld spüren, wirkt immer senkrecht zur Bewegungsrichtung. Damit ändert diese Kraft zwar die Richtung der Geschwindigkeit, kann aber den Betrag nicht ändern. Das würde nur gehen, wenn eine Kraftkomponente in Bewegungsrichtung wirkt.

**d)** Die Lorentzkraft wirkt auch im Kondensator auf die Elektronen und zieht sie weiter auf die Kreisbahn. Da sie im Kondensator geradlinig fliegen sollen, muss eine entgegengesetzt gerichtete Kraft wirken. Diese muss in diesem Fall noch oben zeigen. Demnach muss die obere Kondensatorplatte positiv geladen sein und die untere negativ.

Für einen geraden Durchflug müssen sich alle Kräfte, die auf das Elektron wirken aufheben und die resultierende Kraft muss Null sein.

Beim Einflug wirkt die Lorentzkraft nach unten. Die Kraft durch das elektrische Feld im Kondensator muss mit der gleichen Größe nach oben wirken.



Die gesuchte Spannung steckt in der elektrischen Feldstärke E:



Damit kann die gesuchte Spannung berechnet werden:



**e)**

Wenn der Plattenabstand vergrößert wird, bleibt die Lorentzkraft unverändert. Wie ändert sich die elektrische Kraft?

Die Kraft durch das elektrische Feld ist



e ist die Ladung des Elektrons und unveränderbar. Wie ändert sich die elektrische Feldstärke? Sie ist im homogenen Feld des Plattenkondensators



Damit ist die Kraft



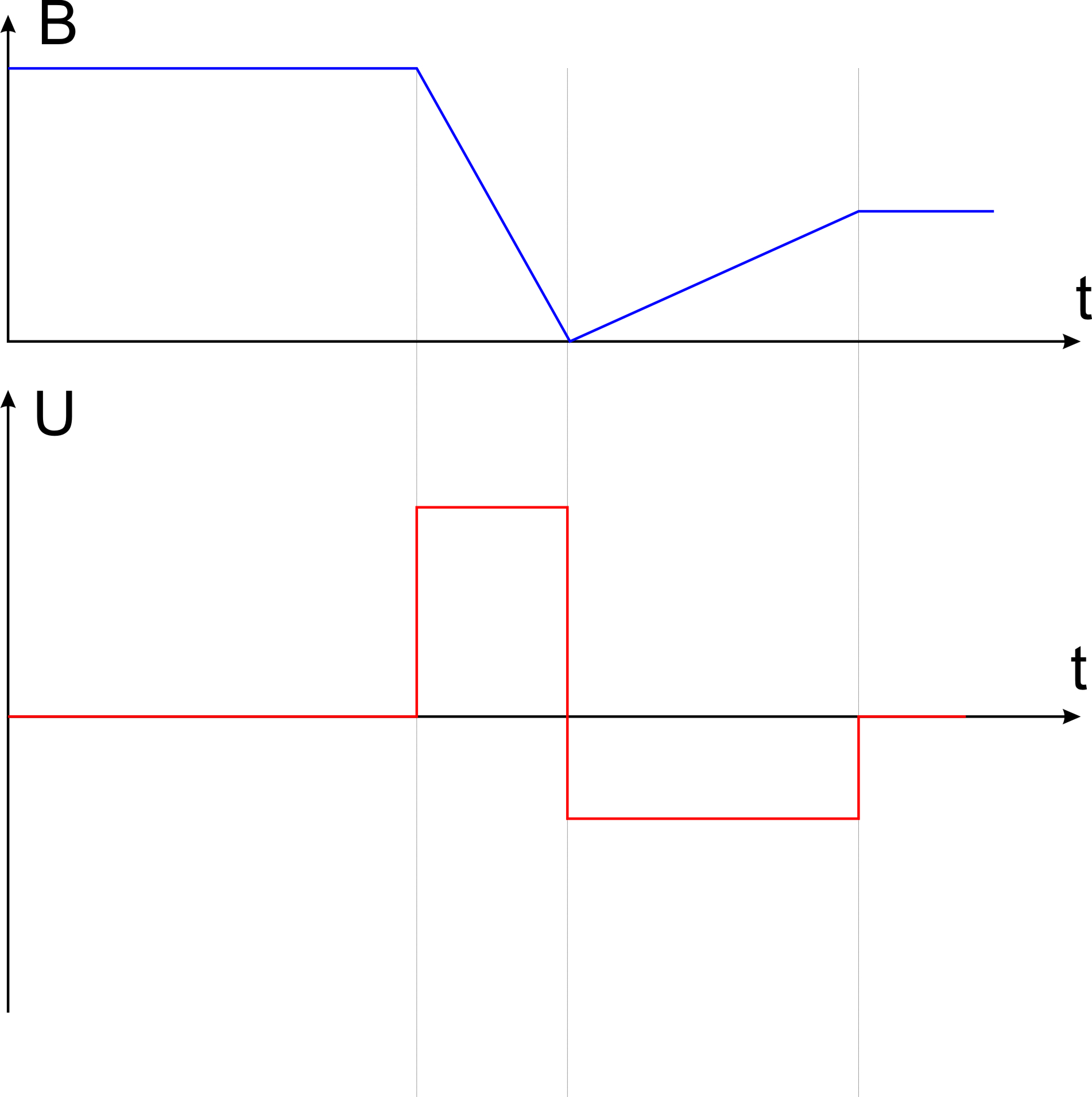
Da der Kondensator während der Vergrößerung des Plattenabstandes an der Spannungsquelle bleibt, ist die Spannung ebenfalls unverändert. Es gilt also



Die elektrische Kraft ist bei konstanter Spannung umgekehrt proportional zum Plattenabstand. Wird der Abstand also vergrößert, wird die Kraft auf die Elektronen kleiner.

Da die Lorentzkraft aber immer noch mit gleicher Stärke wirkt, fliegen die Elektronen in Richtung der unteren Platte.

**465.**



Eine Induktionsspannung entsteht, wenn sich die Stärke des Magnetfeldes ändert. Im ersten Abschnitt ist das Magnetfeld konstant, so dass keine Spannung induziert wird.

Im zweiten Abschnitt verringert sich das Magnetfeld gleichmäßig bis auf null, so dass eine konstante Spannung induziert wird.

Im dritten Abschnitt steigt das Magnetfeld wieder an. Damit entsteht eine umgekehrt gepolte Spannung. Da der Anstieg aber langsamer erfolgt, erreicht der Betrag der Spannung nicht den Wert aus dem zweiten Abschnitt.

Im letzten Abschnitt ist das Magnetfeld wieder konstant, so dass keine Spannung induziert wird.

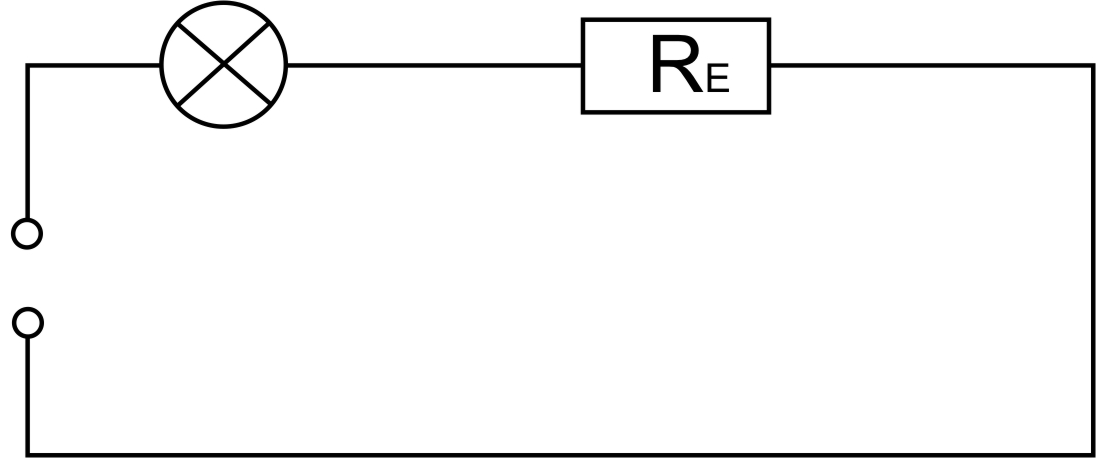
**466.**

**a)** Die Spannungsquelle muss so eingestellt werden, dass die Spannung über dem Lämpchen 6,0 V beträgt. Die Spannung teilt sich auf die beiden in Reihe geschalteten Widerstände auf. Das ist einmal das allein stehende Glühlämpchen und das ist die Parallelschaltung der beiden Widerstände, die als Einzelwiderstand aufgefasst werden können.

Der Ersatzwiderstand dieser beiden Widerstände lässt sich berechnen:



Die beiden parallel geschalteten Widerstände lassen sich also durch einen Widerstand mit  ersetzen.



In einer Reihenschaltung ist der Strom an allen Stellen gleich groß. Wenn an der Lampe eine Spannung von 6 V anliegt, dann fließt durch sie ein bestimmter Strom. Der ist an allen Stellen der Schaltung genau so groß, muss also auch durch den Widerstand hindurch.

Wie groß ist der Strom durch die Lampe?

Da die Leistung bekannt ist, lässt sich der Lampenstrom berechnen.



Dieser Strom muss also auch durch den Widerstand. Dazu ist dort eine bestimmte Spannung notwendig. Auch die lässt sich berechnen.



Damit liegt über der Lampe eine Spannung von 6,0 V und über dem Widerstand eine Spannung von 6,6 V an. In einer Reihenschaltung addieren sich die Teilspannungen zur Gesamtspannung, die demnach 12,6 V groß ist.

**b)** Wenn der Schalter geöffnet wird, leuchtet das Lämpchen dunkler.

Begründung: Durch das Öffnen des Schalters ist der Widerstand an dieser Stelle  groß. das ist mehr, als der Widerstand vorher an dieser Stelle war.

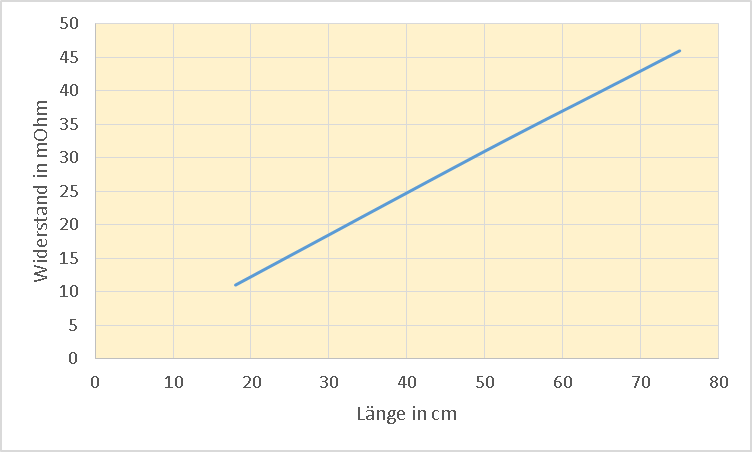
Damit steigt aber auch der Gesamtwiderstand der Schaltung, sie setzt dem Strom einen größeren Widerstand entgegen.

Ein größerer Widerstand bedeutet aber einen kleineren Strom. Durch die Lampe fließt damit ein kleinerer Strom und sie leuchtet dunkler.

Oder: Nach der Spannungsteilerregel verhalten sich die Teilspannungen wie die Teilwiderstände: am großen Widerstand liegt immer die große Spannung an.

Da der Widerstand an dieser Stelle größer wird, liegt jetzt auch dort eine größere Spannung als vor dem Öffnen des Schalters an. Da die Gesamtspannung gleich bleibt, wird die Spannung über der Lampe kleiner. Damit leuchtet sie schwächer.

**467.**



Die Messwerte stellen im Diagramm eine Gerade dar, die in der linken Verlängerung durch den Nullpunkt geht. Das heßt, der Widerstand des Drahtes ist proportional zur Länge des Drahtes.

**b)** Der spezifische Widerstand stellt die Proportionalitätskonstante zwischen dem Widerstand und der Länge sowie dem Querschnitt des Drahtes dar.

Experimentell kann ermittelt werden, dass



Die Proportionalitätskonstante ist materialabhängig und wird spezifischer Widerstand bezeichnet.



Umgestellt ergibt da



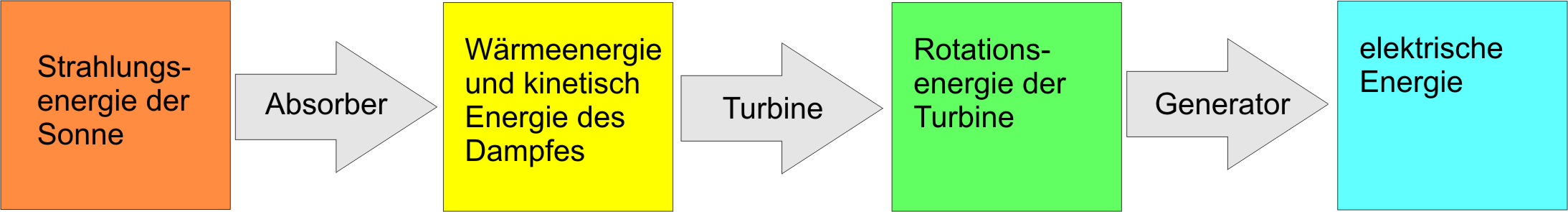
Damit kann der Wert berechnet werden:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 18 | 26 | 50 | 65 | 75 |
|  | 11 | 16 | 31 | 40 | 46 |
|  | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,017 | 0,017 |

Der spezifische Widerstand ist für jede Messung gleich, was ja auch zu erwarten war.

**468.**

**a)**



**b)** Wenn der Absorber einen Wirkungsgrad von 92% hat, dann bedeutet dass, das von 100% eingestrahlter Sonnenenergie immerhin 92% genutzt werden, um den Wasser in Wasserdampf umzuwandeln. Nur 8% gehen dabei z.B. durch Wärmestrahlung wieder an die Umgebung zurück.

Dieser hohe Wirkungsgrad ist nur durch eine ausgefeilte Konstruktion zu erreichen.

**c)** Da das Kraftwerk im Jahr eine Energie von 23,4⋅109 Wh bereitstellt und ein Haushalt 3800 ⋅103 Wh benötigt, können rund 6000 Haushalte mit Energie versorgt werden.

Das Problem sind die Nachtstunden. Da ein Solarkraftwerk ja nur bei Sonne arbeitet und der eingebaute Energiespeicher nur 50 min Bewölkung überbrücken kann, können die Haushalte nicht direkt angeschlossen werden.

Das Solarkraftwerk kann nur die Grundversorgung mit elektrischer Energie unterstützen. Die Grundversorgung muss z.B. immer noch durch Kohle- oder Gaskraftwerke gesichert werden.

**d)** Wie viele Euros kann man mit dem Solarkraftwerk im Jahr verdienen?

Das Kraftwerk stelle 23,4 GWh zur Verfügung. Für eine kWh bekommt es 0,27 Euro. Das sind insgesamt



Da das Kraftwerk jedes Jahr 0,70 Millionen € laufende Kosten hat, bleiben von dem erwirtschafteten Gewinn nur 5,6 Millionen € übrig.

Mit diesem Betrag dauert es 6,3 Jahre, bis auch die Investition von 35 Millionen € abgezahlt sind.

e) Die Anlage stellt im Jahr 23,4 GWh Energie zur Verfügung. Die wird durch die Sonne als Strahlungsenergie in die Anlage hineingesteckt.

Da sie aber einen Wirkungsgrad von nur 18% hat, gehen bei der Energieumwandlung ein großer Teil der Energie als wertlose Energie verloren.

Es müssen insgesamt



zugeführt werden.

Die Sonne liefert im Jahr auf jeden Quadratmeter Fläche 1,7 MWh. Damit sind

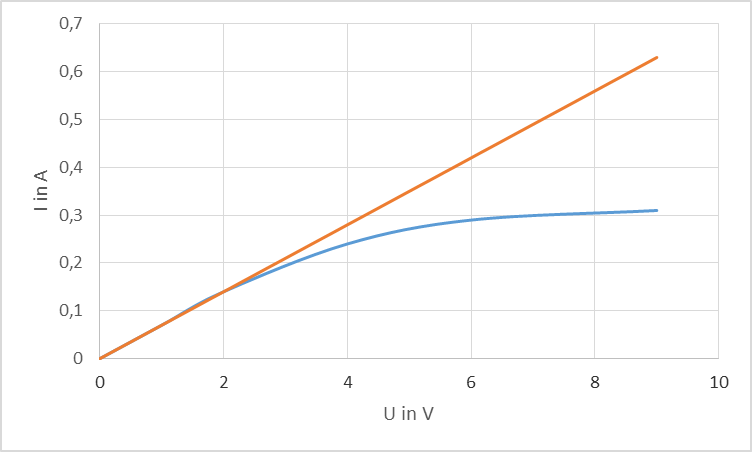


Spiegelfläche notwendig.

Da es 624 Spiegel sind, hat ein Spiegel eine Fläche von 123 m². Das entspricht einem Quadrat von 11m!

**469.**

**a)**



[Diagrammquelle](e469.xls)

Die blaue Kurve stellt das I(U)-Diagramm für die Messwerte dar.

Der Anstieg der Kurve gibt an, wie gut der Stoff leitet. Da der Anstieg immer kleiner wird, leitet der Stoff mit zunehmender Stromstärke immer schlechter. Das heißt, der Widerstand des Leiters wird immer größer.

Ursache wird die zunehmende Erwärmung sein.

b) Da der Draht bei Erwärmung immer schlechter leitet, ist er ein Kaltleiter. Metalle sind Kaltleiter, so dass er z.B. aus Kupfer, Aluminium oder Eisen bestehen könnte.

c) Wird der Draht gekühlt, sind Spannung und Stromstärke zueinander proportional. Das stellt die orange Kurve dar.

**470.**

**a)** Man muss als erstes Fragen, wie groß die Leitung ist, die am Sekundärteil des Trafos herauskommt. Die Leistung ist Spannung man Stromstärke:



Die Spannung beträgt 380 kV und der Strom 0,90 kA. Damit kann die Leistung berechnet werden:



Da der Trafo von der Energie, die man in ihn auf der Primärseite hineinsteckt, 2% in unnötige Wärme verpulvert, sind die eben berechneten 342 MW nur 98% der Leistung, die das Kraftwerk bringt.

Es gilt also



**b)** Über die Gleichung



erhält man



Das ist sehr viel und erfordert sehr dicke Leitungen. Damit wäre eine Energieübertragung über eine Fernleitung nicht möglich und die Spannung wird hochtransformiert.

**c)** Die Leistung ist allgemein



Der Strom in der Leitung ist aus der Aufgabenstellung bekannt: er ist 0,90 kA groß.

Wie groß ist die Spannung, die über der Leitung abfällt?

Es gilt:



Diese Spannung kann in die Leistungsgleichung eingesetzt werden:



Die Verlustleistung in der Leitung ist proportional zur Stromstärke ins Quadrat. Da die Verlustleistung eben wirklich ein Verlust ist und nur die Leitung erwärmt, ist man bestrebt, den Strom möglichst gering zu halten. Das gelingt durch die hohe Spannung, die ja hier extra auf 380 kV hochtransformiert wurde.

Wie groß sind nun die Verluste?



Mit dieser riesigen Leistung werden die Drähte der Fernleitung erwärmt und bringen den Vögeln vielleicht warme Füße.

**d)** Der Wirkungsgrad ist ja das Verhältnis von der nutzbaren Leistung im Verhältnis zur vom Kraftwerk aufgebrachten Leistung.

Durch die Umwandlung von elektrischer Energie in Wärme kommt von der reingesteckten Leistung weniger an. Wärme wird in den beiden Trafos und in der Leitung erzeugt.

Von den beiden Trafos ist der Wirkungsgrad mit jeweils 98% bekannt. Damit ist der Gesamtwirkungsgrad der beiden Trafos insgesamt 96% (0,98\*0,98=0,96)

Wie groß ist der Wirkungsgrad der Fernleitung.

Es wird eine Leistung von 342 WW nach dem ersten Trafo hineingesteckt. Durch die 16 WM Verlust kommen aber nur 326 MW am anderen Ende heraus.

Damit der Wirkungsgrad



Damit ergibt sich ein Gesamtwirkungsgrad von 91% (0,96\*0,95), was so schlecht nicht ist.

**471.**

**a)** Wird die Batterie kurzgeschlossen, heißt das, dass die Kontakte durch einen Leiter verbunden werden, deren Widerstand vernachlässigt wird.

Damit wird der Strom von der Quellenspannung der Batterie und deren Innenwiderstand bestimmt. Es gilt dann



Damit kann der fließende Strom berechnet werden:



An der Gleichung ist schön zu sehen, dass der Kurzschlossstrom durch den Innenwiderstand der Batterie bestimmt wird. Je kleiner dieser ist, umso mehr Strom kann die Batterie liefern. Das merkt man recht beeindruckend, wenn man z.B. die Anschlüsse eines LiPo-Akkus aus dem Modellsport zusammenschließt.

**b)** Schließt man einen Widerstand an die Batterie an, liegt eine Reihenschaltung von zwei Widerständen vor. Die beiden Widerstandswerte werden addiert und ergeben einen Gesamtwiderstand von 17,5 Ohm.

Durch diesen Widerstand treibt die 30 V Quellenspannung den Strom hindurch. Wie groß ist dieser Strom?



Die Quellenspannung teilt sich auf die beiden Widerstände auf.

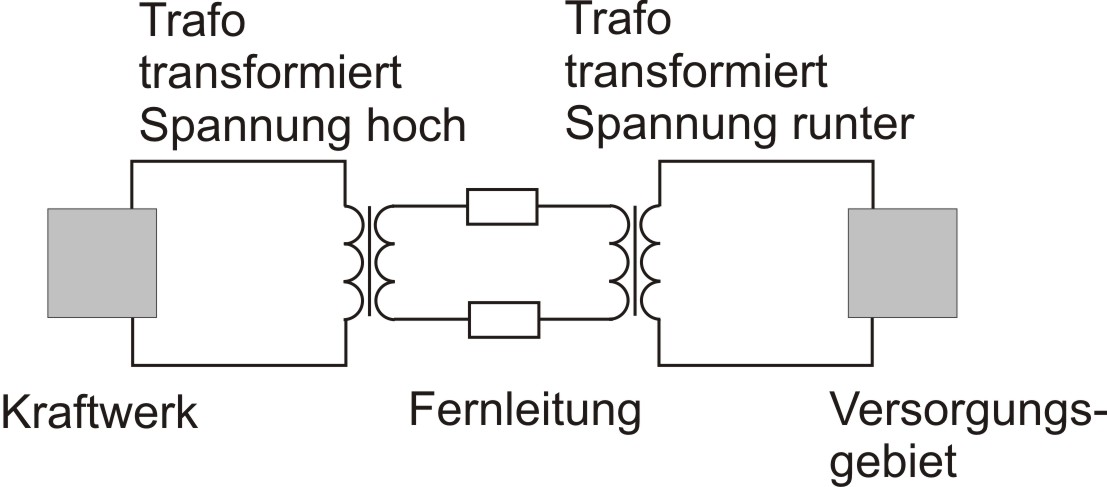
Die gesuchte Betriebsspannung ist die Spannung, die an dem 15-Ohm-Widerstand anliegt. Diese Spannung kann berechnet werden:



Die restliche Spannung fällt über dem Innenwiderstand der Batterie ab.

**472.**

**a)**



b) Die von Kraftwerk gelieferte Leistung wird über die Fernleitung zum Versorgungsgebiet übertragen. Dabei tritt am ersten Trafo ein Verlust von 5% an. Das sind von den gelieferten 15 MW 0,75 MW. Durch die Fernleitung werden also nur noch 14,25 MW transportiert.

Die Leistung berechnet sich mit



Nach I umgestellt kann der gesuchte Strom berechnet werden:



Der Spannungsabfall über der Fernleitung berechnet sich mit



Damit kann die Verlustleistung über der Fernleitung berechnet werden:



Diese Verlustleistung erwärmt die Leitung und beschert den Vögeln im Winter warme Füße.

c) Der erste Trafo gibt eine Leistung von 14,25 MW ab. Davon verschwinden durch den Widerstand der Leitung weitere 22,5 kW.



Davon werden im zweiten Trafo nochmals 5% in Wärme umgewandelt. Damit bleiben von den eingespeisten 15 MW insgesamt 13,5 MW übrig.

d) Der Wirkungsgrad ist der Quotient aus der genutzten Leistung durch die hineingesteckte Leistung:



**473.** Der kluge Satz, der zur Lösung dieser Aufgabe notwendig ist, lautet:

In einer Reihenschaltung von Kondensatoren tragen alle Kondensatoren die gleiche Ladung.

Das heißt, die beiden Kondensatoren der unteren Reihe haben die gleichen Ladungen gespeichert.

Weiterhin gilt, dass sich die Gesamtspannung bei einer Reihenschaltung als Summe der einzelnen Teilspannungen ergibt.

Da alle Kondensatoren einer Reihe die gleiche Ladung tragen, ergeben sich auf Grund der unterschiedlichen Kapazitäten auch unterschiedliche Spannungen.

Für einen Kondensator gilt ja, dass die Spannung über den Platten proportional zur Ladung auf den Platten ist. Der Proportionalitätsfaktor ist die Kapazität.



Stellt man die letzte Gleichung nach U um, erhält man



Das heißt, wenn alle Kondensatoren die gleiche Ladung tragen, ist die Spannung über einem Kondensator mit kleiner Kapazität größer als bei einem Kondensator mit großer Kapazität.

Das kann man vielleicht so erklären, dass z.B. bei dem kleinen Kondensator die Plattenflächen kleiner sind und sich die Ladungen auf einer kleineren Fläche verteilen müssen als bei einem großen Kondensator. Da sich gleiche Ladungen abstoßen, ist auf der kleinen Fläche der Drang der Ladungen größer, zur anderen Seite zu gelangen. Wenn man die Spannung als ein Maß für den Antrieb des Stromes ansieht, ist klar, dass dieser Antrieb umso größer wird, je kleiner die Kapazität wird.

Zurück zur Aufgabe1 Als erstes lässt sich die Spannung an der Spannungsquelle berechnen. Es gilt, wie oben beschrieben:



Die Ladungen können mit den Spannungen und Kapazitäten beschrieben werden:



Damit ist die an der Schaltung anliegende Gesamtspannung die Summe der beiden Teilspannungen über die unteren Kondensatoren und 8,1 V groß.

Diese Spannung liegt auch über dem oberen Strang aus Kondensatoren. Die gesuchte Spannung über dem rechten Kondensator ist

Die Kapazität ist bekannt, aber die Ladung des Kondensators fehlt. Da in einer Reihenschaltung aber alle Ladungen gleich sind, kann man die 3 Kondensatoren durch Ersatzkondensator ersetzen, der die

gleiche Ladung wie die drei Kondensatoren trägt.

Der Ersatzkondensator berechnet sich über die Reziproken der Kapazitäten:



Es gilt dann



und durch die Kapazitäten und Spannungen ersetzt

**

Da oben die Gesamtspannung berechnet wurde, kann nun die gesuchte Spannung errechnet werden:



**474.** Bei einer Frequenz von 594 Hz ist der Scheinwiderstand dieser Spule doppelt so groß wie ihr ohmscher Widerstand?

[vollständige Lösung](vlsgeleh2.docx#e474)

**475.** Wenn sich der Basisstrom um einen kleinen Betrag ändert, ändert sich proportional dazu der Kollektorstrom um einen großen Betrag.

Ein kleines Signal (Basisstrom) kann einen großen Strom steuern.

Im konkreten Beispiel beträgt die Stromverstärkung



**476.** Beim Ausschalten entsteht in der Spule eine Spannung von 0,27 V.

[vollständige Lösung](vlsgeleh2.docx#e476)

**477.**

Die Selbstinduktionsspannung berechnet sich mit



Die Zeitspanne  ist die gesuchte Größe, alles andere ist gegeben.



Das Minus sagt etwas über die Polung der Spannung aus und kann weggelassen werden.



Der Strom muss in 2,5 ms abgeschaltet werden, damit die gewünschte Spannung entsteht.

**478.**

**a)** Die Gewitter192 bildet die eine Platte des Kondensators und die Erde die andere Platte. Ein solcher Kondensator hat eine bestimmte Kapazität:



Zwischen den beiden Platten des Wolke-Erde-Kondensators besteht ein elektrisches Feld, dessen Stärke mit der elektrischen Feldstärke angegeben wird.

Bei einem Plattenkondensator ist das elektrische Feld homogen. Das heißt, es hat an allen Stellen des Feldes die gleiche Stärke. Diese Stärke wird mit



angegeben. U ist die Spannung zwischen den Platten und d der Plattenabstand, die berechnet werden kann:



Das sind 48 Millionen Volt!

**b)** Stellt man die erste Gleichung nach der gesuchten Ladung um und ersetzt die Spannung durch Feldstärke und Abstand, erhält man:



Die Kapazität kann aus den gegebenen geometrischen Größen der Wolke berechnet werden:



Da der Stoff zwischen Platten Luft ist, kann die relative Permeabilität 1 gesetzt werden.

Wenn man die Gleichungen zusammenfasst, erhält man



c) Das Wassertröpfchen schwebt, wenn die nach unten ziehende Gewichtskraft durch die Kraft des elektrischen Feldes genau ausgeglichen ist:



Die Gewichtskraft erhält man aus der Masse des Tröpfchens und der Fallbeschleunigung:



Die Masse wiederum kann aus dem Volumen und der Wasserdichte bestimmt werden:



Da das Tröpfchen kugelförmig ist, erhält man sein Volumen über



Nun kann man das alles zusammenfassen und erhält eine Gleichung für die Gewichtskraft, in der nur bekannte Größen enthalten sind:



Die elektrische Kraft ist über die Definition der elektrischen Feldstärke zu bestimmen:



Nun kann die erste Gleichung mit Leben gefüllt werden:



Q ist die gesuchte Größe, die berechnet werden kann. Es muss streng auf die Grundeinheiten geachtet werden!



Zur Kontrolle vielleicht noch eine Einheitenbetrachtung.



Und das soll Coulomb ergeben? Man weiß:



Weiterhin ist bekannt, das gilt:



Wie bekommt man das Watt in die Gleichung? Über



und



Also kann man schreiben:



**d)**

Bei der Entladung fließen die Ladungen der Wolke als Strom zur Erde (oder andersrum). Die Stromstärke ist definiert als fließende Ladungen je Zeit. Da Ladung und Stromstärke bekannt sind, lässt sich die Zeit berechnen, die die Ladung zum Abfließen benötigt:



**e)** Man muss fragen, wie die elektrische Feldstärke vom Plattenabstand, also dem Abstand der Wolke zum Erdboden, abhängt. Dabei bleibt die Ladung auf der Wolke konstant.

Die Feldstärke ist



Über den Abstand d weiß man, dass er kleiner wird. Aber über die Spannung U ist keine Aussage gemacht. Man weiß nur, dass die Ladung konstant bleibt.

Da der Wolkenabstand kleiner wird, verändert sich auch die Kapazität des Kondensators. Mal sehen, welchen Einfluss das hat.



Damit kann man die Spannung in der Gleichung für die Feldstärke ersetzen:



Q ist konstant und braucht nicht weiter beachtet zu werden.



Aber die Kapazität ändert sich mit dem Abstand der Wolken. Wie?



Da die Wolkenfläche konstant ist, gilt



Die Kapazität wird also mit kleiner werdendem Abstand größer.

Setzt man das in die Feldstärkebeziehung ein, fliegt der Abstand d einfach raus:



Damit ändert sich die Feldstärke bei kleinerem Abstand gar nicht und ein Überschlag wird nicht wahrscheinlicher.

**479.**

**a)**

B-C Die Geschwindigkeit wird kleiner

C-D Die Geschwindigkeit bleibt gleich

D-E Die Geschwindigkeit wird wieder kleiner

E-F Die Geschwindigkeit bleibt gleich

**b)**

B-C Die Kupferscheibe taucht immer mehr in das Magnetfeld ein. Dabei wird immer mehr Fläche der Scheibe von dem Magnetfeld durchsetzt. Für die Scheibe ändert sich also das Magnetfeld, das sie durchsetzt. Damit werden im ihr Spannungen induziert, die Wirbelströme hervorrufen.

Diese Ströme erzeugen nun selber wieder ein Magnetfeld, das mit dem äußeren Magnetfeld in Wechselwirkung tritt.

Nach der Lenzschen Regel wirken die Magnetfelder so aufeinander, dass sie die Ursache der Induktion behindern.

Da die Ursache der Induktion die Bewegung des Wagens ist, wird dieser abgebremst.

C-D Das Magnetfeld, dass die Spule durchsetzt, ändert sich nicht mehr, sie Platte ist ja mit allen Teilen im Magnetfeld drin. Damit werden auch keine Wirbelströme induziert und die Platte kann kein eigenes Magnetfeld.

D-E Die Platte verlässt das Magnetfeld. Damit treten wieder Wirbelströme auf, die die Induktion behindern. Das geht nur, wenn der Wagen weiter abbremst.

E-F Die Platte spürt kein Magnetfeld mehr, sie ist ja raus. Damit kommt es zu keiner weiteren Induktion und die Geschwindigkeit bleibt konstant.

**480.**

**a)** Die Spule erzeugt ein magnetisches Feld, das durch die anliegende Wechselspannung ständig die Richtung wechselt. Der Boden es Eisentopfes bündelt und verstärkt dieses Magnetfeld. Laut Induktionsgesetz wird durch dieses Magnetfeld, das sich ja ständig ändert, im Topfboden eine Spannung erzeugt.

Diese Spannung lässt in dem Boden Ströme fließen (Wirbelströme), die so stark sind, dass sie den Topfboden ruck zuck erhitzen. Dadurch wird dann auch das Wasser erwärmt.

**b)** Die Induktionsspannung ist umso größer, je schneller sich das Magnetfeld ändert. Durch die hohe Frequenz wird das Magnetfeld sehr schnell umgepolt und die Spannung im Topfboden ist groß. Dadurch fließen auch starke Ströme und der Boden wird schnell heiß.

**c)** Es passiert gar nichts. In dem Glas wird keine Spannung induziert, da es kein Leiter ist. Damit fließen keine Ströme und das Glas bleibt kalt.

**481.**

**a)** Wie zu erkennen ist, wird der Widerstand immer kleiner, wenn die Querschnittsfläche des Drahtes größer wird. Ein solcher Zusammenhang kann durch eine indirekte Proportionalität beschrieben werden.

Zur Überprüfung der indirekten Proportionalität werden die beiden zusammengehörenden Messwerte multipliziert. Wenn in allen Fällen ungefähr der gleiche Wert herauskommt, liegt die indirekte Proportionalität vor.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A in mm² | 0,031 | 0,071 | 0,13 | 0,20 | 0,38 | 0,79 |
| R in Ohm | 31 | 13 | 7,6 | 4,9 | 2,6 | 1,2 |
| A · R | 0,96 | 0,92 | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,95 |

Vermutung bestätigt.

**b)**

|  |  |
| --- | --- |
| Es wird eine einfache Schaltung zur Strom- und Spannungsmessung aufgebaut.  Für verschiedene Drahtlängen werden die Spannung und der Strom gemessen und daraus die Widerstände berechnet.  Wichtig: Alle Drähte müssen aus dem gleichen Material sein und die gleiche Dicke haben.  Über die Quotientengleichheit von Länge und Widerstand kann man zeigen, dass die beiden Größen zueinander proportional sind; also ein doppelt so langer Draht auch einen doppelt so großen Widerstand hat. |  |

c) Das Widerstandsgesetz lautet:



Der spezifische Widerstand ist der Proportionalitätsfaktor zwischen dem elektrischen Widerstand R und den beiden Materialgrößen Länge und Querschnitt.

Er berechnet sich nach



Die Einheit ist



Der Zahlenwert gibt an, wie groß der Widerstand eines Drahtes ist, der 1 m Länge und 1mm² Querschnittsfläche hat.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| A in mm² | 0,031 | 0,071 | 0,13 | 0,20 | 0,38 | 0,79 |
| R in Ohm | 31 | 13 | 7,6 | 4,9 | 2,6 | 1,2 |
|  | 0,48 | 0,46 | 0,50 | 0,49 | 0,50 | 0,48 |

Da Konstantan einen spezifischen Widerstand hat, wird aus den berechneten Werten der Mittelwert gebildet. Man erhält



**482.**

**a)** Der Widerstand eines Leiters wird durch drei Materialgrößen bestimmt:

* Länge
* Querschnitt
* Material

Der Zusammenhang zwischen diesen drei Größen ist



Wird nun der Dehnungsstreifen gestreckt, vergrößert sich die Länge des Leiters und sein Querschnitt wird kleiner. Das Material bleibt gleich.

Wenn der Leiter wie beschrieben seine Geometrie ändert, wird sein Widerstand größer. In der Gleichung ist zu sehen, dass der Widerstand proportional zur Länge ist: längerer Draht = größerer Widerstand.

Es ist auch zu sehen, dass der Widerstand umgekehrt proportional zur Querschnittsfläche ist: kleinerer Querschnitt = größerer Widerstand.

**b)** Wie ändert sich der Widerstand, wenn sich die Länge um 25% vergrößert? Da Länge und Widerstand proportional zueinander sind, vergrößert sich der Widerstand auch um 25%. Er ist dann im Vergleich um ungestreckten Leiter 125% groß. Das entspricht dem 1,25 fachen des Ausgangswertes.

Nun gibt es aber gleichzeitig noch eine Verkleinerung des Querschnitts um 20%. Um wieviel wird der Widerstand dadurch größer? Der Querschnitt ist jetzt nur noch 80% so groß wie der ungestreckte Leiter. Damit ist der Widerstand durch die umgekehrte Proportionalität



größer geworden.

Für die Bestimmung des Endwiderstandes muss man also



rechnen.

Der gestreckte Leiter hat einen Widerstand, der 156% des ursprünglichen Wertes entspricht.

**c)** Die Gleichung für den Widerstand wird nach der gesuchten Querschnittsfläche umgestellt:



Der Widerstand kann aus der anliegenden Spannung und dem dadurch fließenden Strom ersetzt werden:



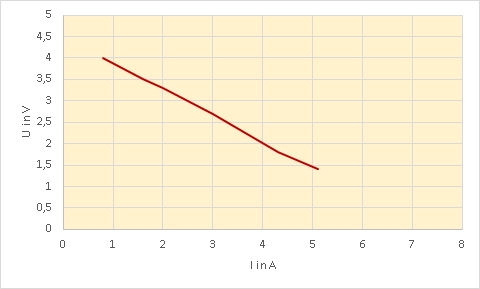
Der spezifische Widerstand von Konstantan kann aus entsprechenden Quellen bestimmt werden Tafelwerk, Internet).

Damit lässt sich der gesuchte Querschnitt berechnen

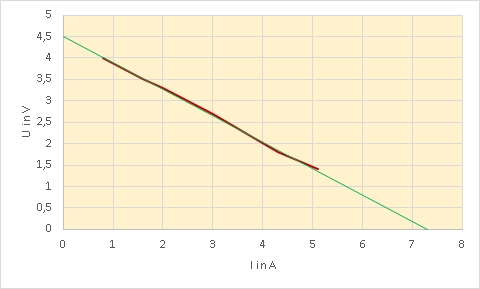


**483.**

**a)**



**b)** Die Linie im Diagramm wird durch eine Gerade nach beiden Seiten verlängert, bis diese die Achsen trifft.



Der Schnittpunkt mit der Spannungsachse liefert die gesuchte Ruhespannung der Batterie. Das ist die Spannung, bei der der Strom 0 ist. An der Batterie ist kein Widerstand angeschlossen, sie steht einfach nur so da.

Im Kurzschluss liefert die Batterie den für sie größten Strom. Das ist dann der Fall, wenn beide Anschlüsse direkt verbunden sind. Da dann die Elektronen ungebremst zum Pluspol fließen können, sinkt die Spannung an den Anschlüssen der Batterie auf 0 Volt.

Bei dieser Batterie ist der Kurzschlussstrom etwa 7,3 A groß.

**c)** Im Kurzschlussfall wird der Strom nicht durch einen äußeren Widerstand gehemmt. Der einzige, der den Strom noch bremst, ist der Innenwiderstand der Batterie.

Da die Ruhespannung der Batterie 4,5 V beträgt und der Kurzschlussstrom 7,3 A, kann aus beiden der Innenwiderstand der Batterie berechnet werden:



**484.**

**a)** In Spule 2 wird immer dann eine Spannung erzeugt (induziert), wenn sie ein Magnetfeld spürt, dass sich ändert.

Das Magnetfeld erzeugt die Spule 1. Fließt durch die Spule ein Strom, der sich nicht ändert, ist das Magnetfeld der Spule 1 auch konstant. Die Spule 2 spürt zwar das Magnetfeld, da es aber immer die gleiche Stärke hat, wird in ihr keine Spannung induziert.

Das ist zwischen der 8. und 16. Sekunde der Fall.

Zwischen der 0. und der 8. Sekunde wird der Strom durch die Spule 1 immer größer. Damit wird das Magnetfeld der Spule immer stärker. Spule 2 spürt das und in ihr wird eine Spannung induziert.

Von der 16. bis zur 20. Sekunde wird der Strom durch die Spule wieder kleiner, die Stärke des Magnetfeldes demnach auch und in der Spule 2 wird wieder eine Spannung erzeugt.

**b)** Die Größe der Induktionsspannung hängt davon ab, wie schnell sich das Magnetfeld ändert. Die Änderung des Magnetfeldes hängt direkt von der Änderung der Stromstärke ab.

Im ersten und im dritten Zeitabschnitt ändert sich der Strom jeweils um die gleiche Stärke. Aber im ersten Zeitabschnitt dauert das 8 Sekunden und im dritten Zeitabschnitt nur 4 Sekunden. Im dritten Zeitabschnitt geht das also doppelt so schnell wie im ersten Zeitabschnitt.

Demnach wird im dritten Zeitabschnitt eine größere Spannung induziert als im ersten Zeitabschnitt.

**c)**

* Erhöhung der Windungszahl von Spule 2
* Die beiden Spulen werden durch einen Eisenkern verbunden

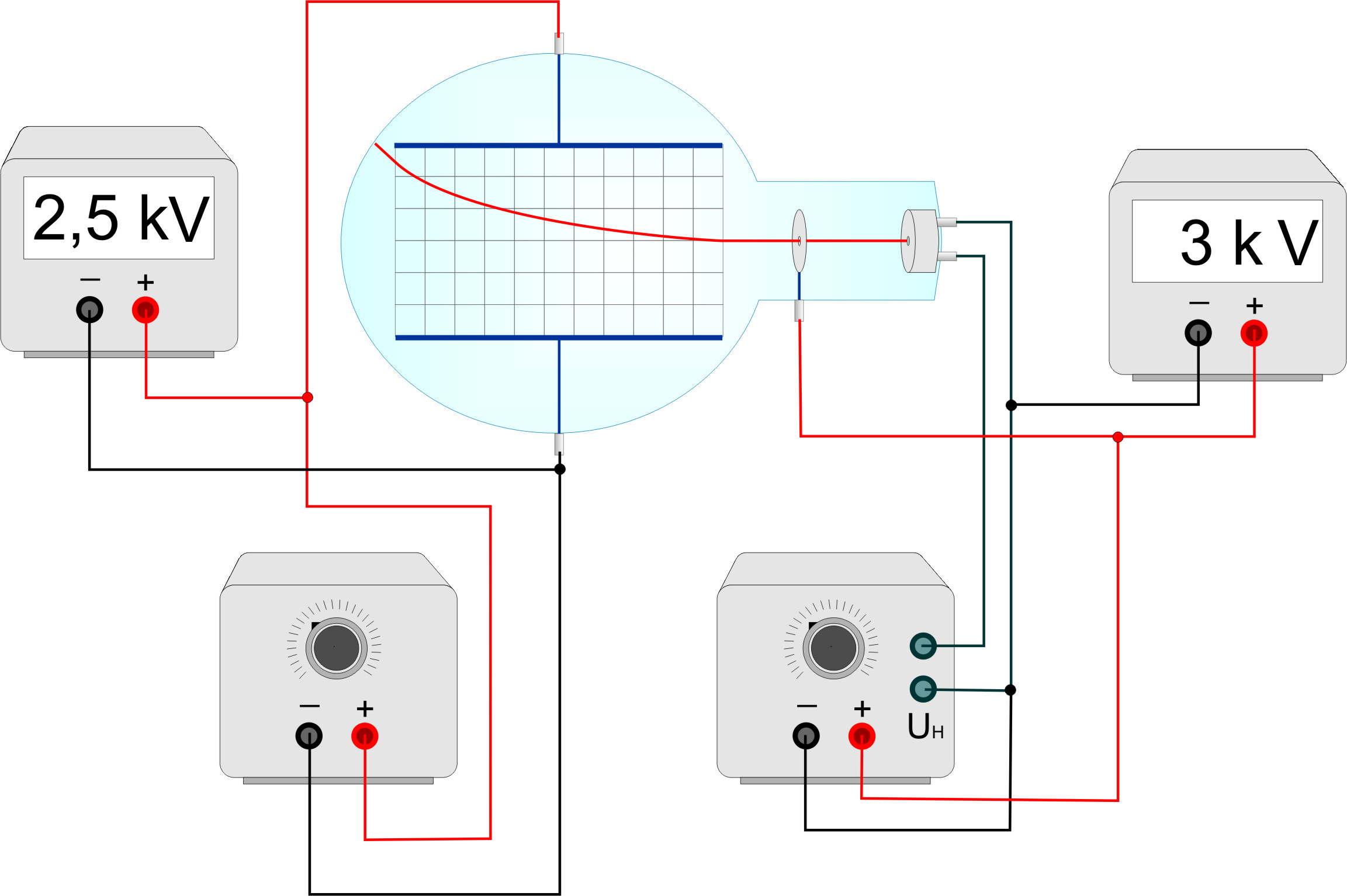
Eine Veränderung der Windungszahl von Spule 1 bringt nichts, da sich damit der Widerstand des Drahtes verändert.

Die Stärke des Magnetfeldes einer Spule hängt von der Windungszahl und von der Stromstärke ab. Wird die Windungszahl verändert, ändert sich auch die Stromstärke. Es lässt sich zeigen, das die Magnetfeldstärke dabei konstant bleibt.

(siehe Aufgabe 263)

|  |  |
| --- | --- |
| **485.** c) nach unten  Zwischen den beiden Polen des Magneten bildet sich ein inhomogenes Magnetfeld aus. Am Nordpol ist das Magnetfeld stärker als am Südpol. Das sieht schön an der Dichte der Magnetfeldlinien. Am Nordpol liegen sie dichter als am Südpol.  Damit ist die abstoßende Kraft zwischen den beiden Nordpolen größer als die abstoßende Kraft zwischen den Südpolen.  In der Summe ergibt sich eine nach unten gerichtete Kraft.  Wenn der Magnet in der Mitte anders herum angebracht wird, bewegt er sich nach oben.  Siehe auch: Stern-Gerlach-Versuch |  |

**486. a)**



**b)** Die Elektronen erhalten auf der Strecke zwischen der Heizung und der Anode aus der Energie des elektrischen Feldes kinetische Energie. Die Energie, die die Elektronen beim Durchlaufen der Strecke erhalten, entspricht der anliegenden Spannung mal der Elementarladung. Nach den 3 kV haben sie eine Energie von 3 keV.



**c)**

Die Elektronen bewegen sich im Kondensator mit einer gleichbleibenden Geschwindigkeit. Der Kondensator ist 11 cm lang. Damit kann die gesuchte Zeit berechnet werden.



**d)** Wird eine Spannung angelegt, ändert sich die Zeit nicht. Die Kraft, die durch das elektrische Feld auf die Elektronen im Kondensator wirkt, zeigt immer senkrecht zur Bewegung horizontaler Richtung. Damit ist die Kraft auf die Elektronen in horizontaler Richtung gleich Null und nach dem Trägheitsgesetz bleibt die Geschwindigkeit in dieser Richtung konstant.

**e)** Die Elektronen werden etwa 2,5 cm nach oben abgelenkt.

**f)** Auf die Elektronen wirkt in senkrechter Richtung eine konstante Kraft nach oben. damit führen sie eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung durch. Will man eine Aussage über ihren Weg machen, braucht man eine Aussage über die Beschleunigung. Damit kann man dann etwas über die Geschwindigkeit und den zurückgelegten Weg sagen.

Ganz allgemein gilt:



Die Kraft ist die Kraft eines elektrischen Feldes auf ein geladenes Teilchen. Aus der Definition der Feldstärke erhält man



Gleichsetzen:



Die Ladung q ist die Elementarladung e und die Feldstärke eines homogenen Feldes zwischen den Platten eines Kondensators ist



mit d als Abstand zwischen den Platten.

Damit erhält man



Der zurückgelegte Weg bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung mit der Anfangsgeschwindigkeit Null berechnet sich mit



Anfangsgeschwindigkeit Null, weil ja in senkrechter Richtung beim Eintritt des Elektrons in den Kondensator keine Geschwindigkeit vorliegt.

Setzt man alles ein, kann man die Ablenkung der Elektronen berechnen:



Die gemessene Größe entspricht 100%. Wie groß ist die Abweichung der berechneten Ablenkung von 4,2 cm?

Der berechnete Wert ist die zu erwartende Größe, also 100 Prozent. Die gemessenen 2,5 cm sind dann weniger als 100 Prozent und die Differenz zu 100 Prozent ist die gesuchte Abweichung.

Man kann schreiben:



x ist prozentuale Wert der Messung.



Der berechnete Wert ist also 68% größer als der gemessene Wert.

**g)** Es muss untersucht werden, welche Veränderung der beiden Spannungen zu der Abweichung führten.

Kondensatorspannung: Bei einer kleineren Spannung werden die Elektronen nicht mehr so stark abgelenkt. Das war aber zu beobachten. Also kann die Kondensatorspannung zu klein sein.

Beschleunigungsspannung: Die Beschleunigungsspannung legt fest, mit welcher Geschwindigkeit die Elektronen durch den Kondensator fliegen. Wird die Geschwindigkeit größer, sind sie nicht mehr so lange im Einfluss des Feldes zwischen den Platten. Damit werden sie aber nicht mehr so weit abgelenkt. Also kann die Beschleunigungsspannung zu groß eingestellt gewesen sein.

**487.**

a) Wenn die Protonen die Beschleunigungsspannung durchlaufen haben, besitzen sie eine Energie von 90 keV.

Dieser Wert ergibt sich, da das Proton wie das Elektron nur eine Elementarladung besitzt.

Die Energie des Protons nach der Beschleunigung ist Bewegungsenergie (kinetische Energie). Damit kann die Geschwindigkeit berechnet werden.



Vor dem Rechnen muss die Energie des Protons in die Grundeinheit Joule umgewandelt werden. Es gilt:



Damit erhält man



Das sind 1,4% der Lichtgeschwindigkeit.

**b)** Die Kraft zwischen zwei geladenen Körpern berechnet sich über das Coulombsche Gesetz:



 ist die Permittivitätszahl und für das Vakuum 1. Da die Versuche alle im Vakuum stattfinden, kann dieser Wert weggelassen werden.

Q1 und Q2 sind die Ladungen der beiden Körper. Die sind gleich groß und entsprechen jeweils einer Elementarladung.

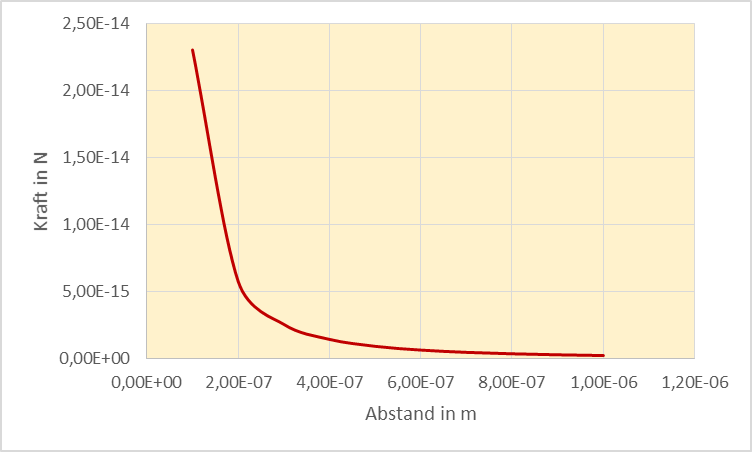
Damit kann man vereinfachen:



und einsetzen:



**c)**



[Excel-Tabelle](e487.xlsx)

Die Coulombkraft ist umgekehrt proportional zum Quadrat des Abstandes:



Das heißt zum Beispiel, wenn der Abstand auf ein Zehntel des ursprünglichen Wertes zurückgeht, steigt die Kraft auf den Hundertfachen Wert an.

**488.**

Schaltung 1

Man geht nach dem Ausschlussverfahren vor: Welche Schaltung liefert nicht das Versuchsergebnis.

Vorüberlegung:

* Ein ohmscher Widerstand ändert seinen Wert nicht.
* Ein Kondensator hat einen unendlich großen Gleichstromwiderstand und einen bestimmten Wechselstromwiderstand.
* Eine Spule hat keinen Gleichstromwiderstand und einen bestimmten Wechselstromwiderstand

Für das erste Experiment mit Gleichspannung wären die Schaltungen 1 und 2 geeignet.

Schaltung 3 geht nicht, da die Spule keinen ohmschen Widerstand hat. Für Gleichspannung würde sie den Strom ungehindert durchlassen, es wäre Kurzschluss.

Schaltung 4 geht auch nicht, da der Kondensator für Gleichstrom einen unendlich hohen Widerstand darstellt. Deshalb würde hier nichts fließen.

Bei Schaltung 1 und 2 würde jeweils ein Strom fließen, der durch den ohmschen Widerstand bestimmt wird.

Im zweiten Experiment wird der Widerstand für Wechselstrom kleiner.

Der Wechselstromwiderstand einer Spule ist aber größer als deren Gleichstromwiderstand. Deshalb geht auch Schaltung 2 nicht.

Es bleibt nur Schaltung 1 übrig. Der Widerstand wird durch den ohmschen Widerstand und dem kapazitiven Widerstand des Kondensators bestimmt. Bei Wechselstrom lässt der Kondensator Strom hindurch und der Gesamtwiderstand der Schaltung wird kleiner.

**489.**

Das gesuchte Bauteil ist eine Spule. Im Diagramm kann man erkennen, dass die Spannung dem Strom vorrauseilt, sie ist auf der t-Achse eher im Ansteigen.

|  |  |
| --- | --- |
| **490.**  **a)** In einer Reihenschaltung ist der Strom an allen Stellen gleich. Das gilt genauso für den Wechselstromkreis wie den Gleichstromkreis.  Bei den Spannungen muss man die Verschiebung zwischen Spannung und Strom beachten. Beim Ohm’schen Widerstand ist sie 0, beim Kondensator -90° und bei der Spule +90°.  Die Zeiger für die Spannung über dem Widerstand und dem Kondensator sind gleich lang, aber stehen im 90°-Winkel. |  |
| Nun kommt noch der Spannungszeiger über der Spule hinzu. Der zeigt nach oben, da zwischen Spannung und Strom die 90°-Phasenverschiebung gilt.  Laut Aufgabenstellung soll die gesamte Phasenverschiebung 45° betragen. Damit muss der Spannungszeiger über der Spule doppelt so lang sein wie der Spannungszeiger über dem Kondensator. |  |

Damit die Spannung über der Spule doppelt so groß ist wie die über dem Kondensator oder dem Ohm’schen Widerstand, muss der induktiver Widerstand doppelt so groß sein wie der Ohm’sche Widerstand.



**b)** Die Aussage

nimmt zunächst zu und abschließend ab

ist richtig.

Begründung: Bei kleiner Frequenz hat der Kondensator einen großen Widerstand, der mit wachsender Frequenz immer kleiner wird. Das heißt, der Strom wird größer.

Gleichzeitig steigt aber auch der Widerstand der Spule. Durch die Phasenverschiebung wird der Gesamtwiderstand aber insgesamt kleiner.

Wenn der kapazitive Widerstand und der induktive Widerstand gleich groß sind, heben sie sich gegenseitig auf und der Strom ist am größten (Resonanzfall)

Wird die Frequenz dann noch größer, steigt der induktive Widerstand stark an und die Stromstärke wird wieder kleiner.

**491.**

Es gilt die Gleichung



Dabei ist  der magnetische Fluss und es gilt



Da die Fläche A, die vom Magnetfeld durchsetzt wird, konstant ist, kann man für die Induktionsspannung schreiben:



Das Magnetfeld ändert sich von



auf



Damit ist die Magnetfeldänderung



|  |  |
| --- | --- |
| Da sich die Stromstärke gleichmäßig ändert, ändert sich auch das Magnetfeld gleichmäßig und man kann schreiben:    Damit lässt sich die Induktionsspannung berechnen: |  |

**492.**

Werden die beiden Bauteile an die Wechselspannungsquelle angeschlossen, wird der Wechselstromwiderstand Z gemeinsam durch die beiden Widerstände bestimmt: der kapazitive Widerstand des Kondensators und der ohmsche Widerstand.

Der kapazitive Widerstand berechnet sich mit



und der ohmsche Widerstand mit



In der Parallelschaltung sind die beiden Spannungen UC und UR gleich groß und entsprechen der Spannung der Spannungsquelle.

Da an beiden Widerständen die gleiche Spannung anliegt, verhalten sich die Widerstände umgekehrt proportional zum fließenden Strom: durch einen kleineren Widerstand fließt ein größerer Strom.

Laut Aufgabenstellung verhalten sich die Ströme



und damit die Widerstände



Das heißt, der ohmsche Widerstand ist doppelt so groß wie der kapazitive Widerstand.

Im Wechselstromkreis gilt für die Parallelschaltung von ohmschen Widerstand und kapazitivem Widerstand



Mit dem bekannten Verhältnis der Widerstände erhält man



Der ohmsche Widerstand ist dann doppelt so groß, also 401 Ohm.

Wie groß ist die Kapazität?

Der kapazitive Widerstand des Kondensators hängt von der gesuchten Kapazität und der Frequenz des Wechselstroms ab:



Mit dieser Gleichung lässt sich die Kapazität berechnen:



**493.**

**a)** Der Kondensator speichert entsprechend seiner Kapazität und der angelegten Spannung Ladungen auf seiner Oberfläche. Der Zusammenhang ist



und nach der gesuchten Ladung umgestellt:



Die Spannung ist bekannt und die Kapazität kann aus den gegebenen Größen berechnet werden. Es gilt:



Da der Kondensator mit Luft gefüllt ist, ist  . Die Fläche ergibt sich aus der Form der Platten. Diese ist quadratisch mit bekannter Kantenlänge:



Damit ist die Kapazität:



und die gesuchte Ladung



Der Abstand und die Kantenlänge müssen noch in Grundeinheiten umgerechnet werden.



Nun kann die Ladung berechnet werden:



Das stimmt mit der Aufgabenstellung überein.

**b)** Wenn der Kondensator von der Spannungsquelle getrennt wird, bleiben die Ladungen auf den Platten erhalten. Es kann ja nichts mehr abfließen oder dazukommen.

Damit kann die Spannung berechnet werden. Es gilt:



Da der Plattenabstand verkleinert wurde, ist die Kapazität des Kondensators größer geworden. Die Berechnung der Spannung sieht jetzt so aus:



**c)** Die Energie, die im Kondensator gespeichert ist, berechnet sich mit



Durch die Verkleinerung des Plattenabstands ändert sich sowohl die Kapazität als auch die Spannung. Die gesuchte Änderung ist die Energie vor dem Zusammenschieben minus die Energie nach dem Zusammenschieben.

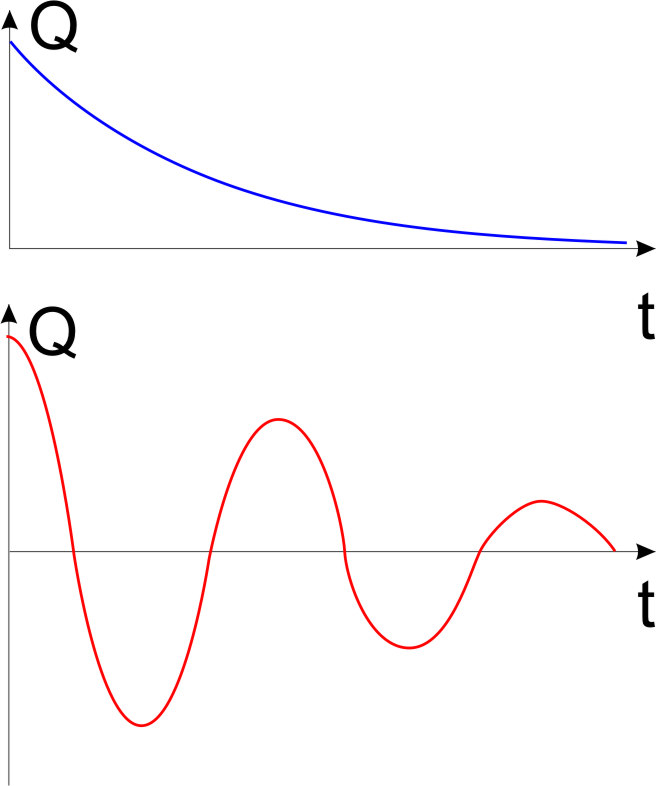


Die Größen sind alle bekannt und die Änderung der Energie kann berechnet werden:



Die Energie im Kondensator ändert sich um -6,9 nJ. Das heißt, die gespeicherte Energie wird weniger. Das lässt sich damit erklären, dass die Platten ja entgegengesetzt geladen sind und sich damit anziehen. Um den Plattenabstand zu verkleinern, ist also keine äußere Kraft notwendig, sondern sie verrichten diese Arbeit selber.

**494.**



Das obere Diagramm zeigt die Entladung über einen ohmschen Widerstand. Die Ladung auf dem Kondensator nimmt exponentiell ab. Die elektrische Energie, die im Kondensator gespeichert war, wird im ohmschen Widerstand in Wärme umgewandelt.

Das untere Bild stellt die Entladung über die reale Spule dar. Kondensator und Spule bilden einen Schwingkreis, in dem die Energie zwischen den beiden Bauteilen hin und her schwingt. Die elektrische Energie im Kondensator wird in magnetische Energie in der Spule umgewandelt, die sich dann wieder in elektrische Energie im Kondensator zurück verwandelt. Damit wird der Kondensator periodisch auf- und abgeladen.

Durch den ohmschen Widerstand der Spule geht ein Teil der Energie in Wärme über, so dass die schwingende Energie immer kleiner wird. Es findet eine gedämpfte Schwingung statt.

**495.**

Der Resonanzfall tritt dann ein, wenn die Erregerfrequenz gleich der Frequenz der Eigenfrequenz des Schwingers ist.

Der Schwingkreis, der mit der festen Frequenz von 1,5 kHz schwingt, stellt den Erreger dar. Im Resonanzfall wird der zweite Schwingreis zu einer Schwingung mit maximaler Amplitude angeregt, wenn er genau mit der gleichen Frequenz wie der Erregerschwingkreis schwingt. Dann wird er nämlich immer im richtigen Augenblick mit neuer Energie versorgt, die er bei der letzten Schwingung durch Wärmeverluste verloren hat.

Die Frequenz, mit der ein Schwingkreis frei schwingt, berechnet sich mit der Thomsonschen Schwingungsgleichung:



Die Induktivität ist durch die Konstruktion der Spule mit 20 mH fest vorgegeben.

Man muss berechnen, in welchem Bereich sich die Frequenz bewegen kann, wenn man die Extremwerte des Kondensators einstellt.

Die maximale Frequenz erhält man mit der kleinsten Kapazität:



Setzt man die größte mögliche Kapazität ein, erhält man 0,99 kHz. Damit liegt die Frequenz von 1,5 kHz in dem Bereich, in dem der zu erregende Schwingreis schwingen kann. Resonanzfall ist möglich.

**496.**

|  |  |
| --- | --- |
| **a)** Berühren sich zwei gleiche Körper, verteilen sich die Ladungen gleichmäßig auf beide Körper. Im ersten Teil geht also die Hälfte der Ladungen von Körper 1 auf den Körper 2 über.  Im zweiten Teil berührt Körper 2 den Körper 3. Zusammen haben sie 1,5 Q. Nach der Berührung hat jeder der beiden Körper davon die Hälfte, also 0,75 Q. |  |

**b)** Auf die mittlere Kugel wirken zwei Kräfte: die abstoßende Kraft zwischen K1 und K3 und die abstoßende Kraft zwischen K3 und K2. Beide Kräfte wirken in entgegengesetzte Richtungen, so dass die resultierende Kraft die Differenz der beiden Teilkräfte ist:



Die Kraft zwischen den beiden linken Kugeln ist nach dem Coulomb-Gesetz



Um eine Größe für die Kraft anzugeben, müssen die beiden Ladungen bekannt sein. Sind sie aber nicht!

Es ist aber bekannt, wie groß die Kraft zwischen den beiden äußeren Kugeln vor dem Experiment ist. s ist der Abstand der beiden äußeren Kugeln.



Da die beiden Ladungen gleich groß sind, kann man auch schreiben:



Für die Kugel K3 sind die beiden Abstände zu den äußeren Kugeln gleich groß und jeweils halb so groß wie der Gesamtabstand s:



Damit kann die Kraft F13 so geschrieben werden:



Das kann vereinfacht werden:



Der hintere Ausdruck entspricht genau der Kraft zwischen den beiden Kugel K1 und K2 vor dem Experiment.

Für die Kraft zwischen der Kugel K3 und K2 kann man ebenso verfahren:



Das kann nun in die Kraftgleichung eingesetzt werden:



Zusammengefasst ergibt das:



Das negative Vorzeichen sagt etwas über die Richtung der Kraft aus. Sie wirkt nach links.

Das ist auch klar, da die abstoßende Kraft zwischen den beiden Kugeln K3 und K2 größer ist als die abstoßende Kraft zwischen K1 und K3.

**497.**

**a)** Ganz allgemein ist die Kraft auf einen geladenen Körper in einem homogenen Feld



E ist die elektrische Feldstärke und Q die Ladung des Körpers.

Die Ladung ist bekannt, die Feldstärke nicht.

Aber die Feldstärke eines homogenen Feldes in einem Plattenkondensator ist



Da die Spannung und der Abstand der Platten bekannt sind, kann die Kraft berechnet werden:



**b)** Zur Berechnung der Gewichtskraft muss die gegebene Masse zuerst in die Grundeinheit kg umgewandelt werden.



Damit kann das Verhältnis aus der Kraft durch das elektrische Feld und der Kraft durch das Gravitationsfeld berechnet werden:



Die elektrische Kraft ist 3 Mal so groß wie die Gewichtskraft. Damit wird das Kügelchen mit seiner doppelten Gewichtskraft nach oben gerissen.

Doppelte Gewichtskraft, weil ja ein Drittel der elektrischen Kraft die nach unten wirkende Gewichtskraft ausgleicht.

**c)** Da die Bewegung des Kügelchens in einem homogenen Feld stattfindet, bleibt die Kraft die gesamte Flugzeit über gleich. Aus den Gesetzen der Mechanik ist bekannt, dass das dann ein gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist.

Für den Zusammenhang zwischen einem Weg und der dazu benötigten Zeit kennt man



oder nach t umgestellt:



Die Beschleunigung lässt sich aus der soeben berechneten Kraft bestimmen, die ja doppelt so groß wie die Gewichtskraft ist.

Die Beschleunigung ergibt sich aus dem Grundgesetz von Newton:



Damit kann nun die Flugzeit bestimmt werden:



**d)** Diese Zeit liefert dann auch die Auftreffgeschwindigkeit



**e)** Der Energieansatz bezieht sich auf die stattfinden Energieumwandlungen.

Das Elektron wird im Schwerefeld der Erde angehoben und gleichzeitig beschleunigt. Es wird also Hubarbeit und Beschleunigungsarbeit verrichtet.



Diese Arbeit wird durch die elektrische Energie des Feldes verrichtet, die ja



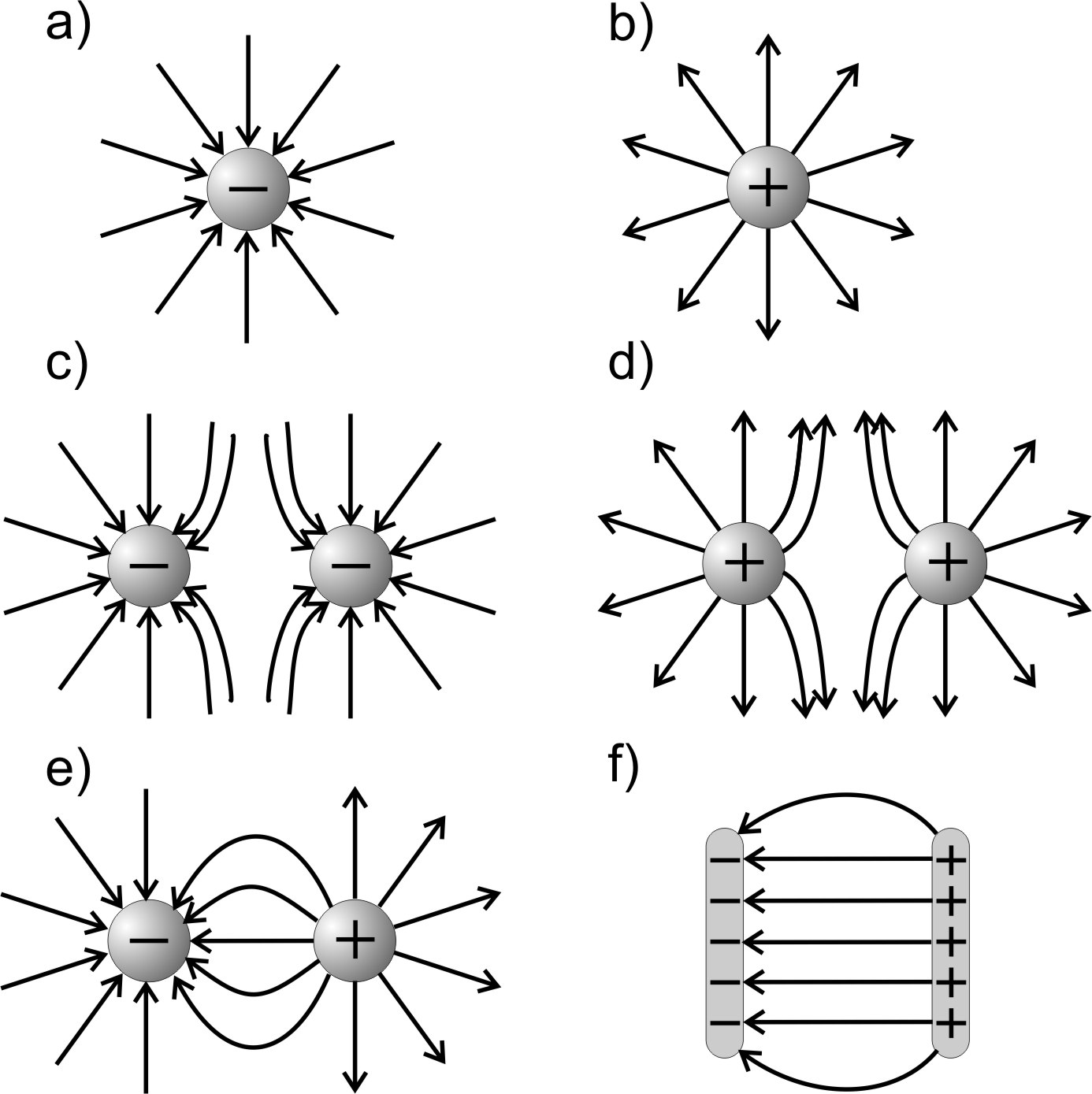
Wenn der Energieerhaltungssatz auch hier gilt, sollte die Energie genau so groß sein wie die Arbeit.





Unter Berücksichtigung der Fehler, die durch das Runden von Ergebnissen entstanden sind, sind beide Ergebnisse praktisch gleich und der Energieerhaltungssatz gilt. ☺

**498.**



**499.**

**a)**

1. Bei den Messungen 1-4 blieb der Abstand der Platten konstant und die Spannung wurde immer kleiner. Die Kraft wurde gemessen.

2. Bei den Messungen 1, 5 und 8 blieb die Spannung konstant und der Abstand wurde vergrößert. Die Kraft wurde gemessen.

3. Bei den Messungen 4-7 blieb die Kraft konstant und Abstand und Spannung wurden verändert.

4. Bei den Messungen 7 und 8 wurde im Vergleich zu den ersten Messungen ein größer Abstand eingestellt, die Spannung verändert und die Kraft gemessen.

**b)**

|  |
| --- |
|  |
|  |

Beim Zeichnen der Diagramme muss man darauf achten, welche Messungen man auswählt. Im ersten Fall bleibt die Kraft konstant, also nur Messung 5-8. Im zweiten Fall bleibt der Abstand konstant, also Messung 1-4.

Die beiden Kurven in den Diagrammen sind Geraden, die durch den Nullpunkt verlängert werden können.

Damit gelten die beiden Proportionalitäten.

[Diagrammquelle](e499.xlsx)

Es gilt also:

U ~ d oder U² ~ d²

und

U² ~ F

Zusammengefasst:



Ist k der Proportionalitätsfaktor, kann man schreiben:



Jetzt können die Werte aus der 5. Messung eingesetzt und k berechnet werden:



Die Einheit lässt sich so bestimmen:



**500.**

Zuerst wird die gegebene Gleichung nach dem Radius umgestellt:



Der Radius soll bei diesem Experiment konstant bleiben, damit bleibt auch das Quadrat konstant. Auf der rechten Seite sind nur U und B veränderlich. Damit gilt



a) richtig, es zeigt 

b) falsch, denn wie aussieht, zeigt ja Diagramm a

c) richtig, wenn  gilt, dann gilt auch  und das Diagramm für eine solche Proportionalität ist eine Gerade

d) falsch, man kann schreiben:



Das Diagramm dazu sieht man in c.

e) Das ist dann richtig, siehe d)

f) ganz falsch, da das eine umgekehrte Proportionalität wäre.

**501.**

Zuerst wird die gegebene Gleichung nach dem Radius umgestellt:



Da über den Radius nur quantitative Aussagen gemacht werden, ist es egal, ob man den Radius oder des Quadrat des Radius betrachtet.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **a** | **b** | **c** | **d** | **e** |
| *r nimmt ab* | x |  |  |  | x |
| *r bleibt konstant* |  | x |  |  |  |
| *r nimmt zu* |  |  | x | x |  |

zu a) wenn B und U verdoppelt werden

Da B quadratisch in die Gleichung eingeht, wirkt sich eine Verdopplung viel mehr aus (vierfach) Damit wird der Ausdruck unter dem Bruchstrich deutlich größer als der Ausdruck über dem Bruchstrich und der Radius verkleinert sich.

Physikalisch: Ein stärkeres Magnetfeld macht den Radius kleiner, da die Lorentzkraft größer wird. Eine größere Geschwindigkeit macht den Radius aber wieder größer, da die Fliehkraft das Elektron nach außen zieht. Die Geschwindigkeit wird aber nur um den Faktor Wurzel 2 größer, so dass insgesamt der Radius kleiner wird.

zu b) wenn v und B halbiert werden.

In der Gleichung steht leider die Geschwindigkeit nicht drin. Seine Geschwindigkeit erhält das Elektron aber von der Beschleunigungsspannung U und es gilt



Wenn die Geschwindigkeit halbiert werden soll, muss die Beschleunigungsspannung auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes sinken. Damit wird in der Gleichung für den Radius nicht bloß die magnetische Flussdichte B quadriert sondern auch die Spannung.

Im Endeffekt bleibt der Radius konstant.

zu c) wenn B abnimmt und v konstant bleibt

Damit die Geschwindigkeit konstant bleibt, muss auch die Beschleunigungsspannung konstant bleiben. B wird kleiner und damit wird der Radius größer.

zu d) wenn U zunimmt und B konstant bleibt

Ganz klar: Der Bruch wird über dem Strich größer, also wird auch der Radius größer.

zu e) wenn B zunimmt und U konstant bleibt.

Der Radius wird kleiner.

**502.**

**a)** Die Elektronen fliegen nach rechts, die Kraft wirkt nach oben. Mit Hilfe der Linke-Hand-Regel kann man zeigen, dass das Magnetfeld aus der Ebene heraustreten. Hinten ist Nord- und vorn ist Südpol.

**b)**

|  |  |
| --- | --- |
| **b)** Die beiden Punkte A und B werden verbunden. Dann wird die Mittelsenkrechte der Strecke AB konstruiert. Der Schnittpunkt mit der linken Seite des Magnetfeldgebietes ist der Radius. |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **c)** Das Elektron fliegt nach dem Austritt aus dem Magnetfeld geradlinig weiter. |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **d)** Wird die magnetische Flussdichte verdoppelt, wird auch die Kraft auf die Elektronen doppelt so groß. Da der Radius einer Kreisbahn umgekehrt proportional zur Radialkraft ist, halbiert sich der Radius. Das Elektron verlässt das Magnetfeld auf der gleichen Seite, auf der es in das Magnetfeld hineingeflogen ist.  Die Radialkraft wird von der Lorentzkraft hervorgerufen. Damit kann man schreiben    und eingesetzt:    Stellt man die Gleichung nach dem Radius um, erhält man    und erkennt |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **e)** Wenn die Geschwindigkeit der Elektronen verdoppelt wird, befindet sich das Elektron nur noch die halbe Zeit im Magnetfeld. Damit wirkt die Lorentzkraft, die ja hier die Radialkraft ist, auch nur die halbe Zeit.    In der Radiusgleichung sieht man |  |

**503.**

Wenn das Elektron in das homogene Feld eintritt, spürt es eine abbremsende Kraft. Die positive Platte zieht es an und die negative Platte stößt es ab. Damit ändert sich beim Durchfliegen des Kondensators seine Geschwindigkeit und seine kinetische Energie wird kleiner.

Am Elektron wird eine Beschleunigungsarbeit verrichtet, die seine Energie ändert:



Da sich die kinetische Energie verringert, wird die Arbeit negativ.

Die Beschleunigungsarbeit kommt aus der Energie des elektrischen Feldes. Die Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen einer Spannung erhält oder abgibt, berechnet sich mit



Das heißt, dass Elektron fliegt in den Kondensator mit einer Energie hinein, die einer Beschleunigung zwischen einer Spannung von 50 V entspricht.

Wie groß muss die Energie des Elektrons sein, damit es am Ende des Kondensators die halbe Geschwindigkeit hat?

Zwischen der kinetischen Energie und der Geschwindigkeit besteht der Zusammenhang



Das heißt, wenn die Geschwindigkeit halbiert werden soll, reduziert sich die kinetische Energie auf ein Viertel. Damit ist die kinetische Energie am Ende des Kondensators 12,5 eV groß.

Die Spannung am Kondensator muss die Energie des Elektrons von 50 eV auf 12,5 eV reduzieren. Dazu muss die Spannung



groß sein.

**504.**

**a)** Auf Grund der Lorentzkraft bewegen sich die Ionen auf einer Kreisbahn. Die Lorentzkraft wirkt senkrecht zur Geschwindigkeit und zwingt die Ionen deshalb auf diese Bahn.

Zur formelmäßigen Beschreibung benutzt man den Kraftansatz: Die Lorentzkraft ist die Radialkraft:



Da die Ionen immer einfach geladen sind, haben sie als Ladung Q immer eine Elementarladung e.



Die Gleichung wird nach dem Radius r umgestellt:



Da die beiden Bahnen am gleichen Ort befinden und die Ionen einen Halbkreis beschreiben, ist der Abstand des Auftreffpunktes vom Startpunkt aus nicht der Radius, sondern der Durchmesser:



Der Abstand der beiden Auftreffpunkte ist dann



Und eingesetzt:



Da die beiden Teile der Differenz sich nur in den Massen unterschieden, kann man die Massen ausklammern:



Der Wert in der Klammer entspricht der Massendifferenz:



**b)** Es wird aus den gegebenen Größen die Abstand der Auftrefforte berechnet:



Ionen mit der kleinsten möglichen Massendifferenz haben zwei Auftrefforte, die 4,2 mm auseinanderliegen. Damit sind sie klar zu trennen.

**505.**

**a)** In der Spule entsteht eine Induktionsspannung, wenn sich die Stärke des magnetischen Feldes ändert, das die Spule selber spürt. Die Stärke des Magnetischen Feldes wird mit der magnetischen Flussdichte B beschrieben.

Das magnetische Feld wird in diesem Beispiel von der Feldspule erzeugt. Da die Feldspule in ihrem Aufbau unverändert bleibt, ist die magnetische Flussdichte nur von der Stärke des Stromes abhängig, der durch die Windungen der Feldspule fließt.

Da der Strom in den ersten 4 s kleiner wird, ändert sich die magnetische Flussdichte und es entsteht eine Induktionsspannung.

In der Zeit von 4s bis 10 s fließt überhaupt kein Strom. Damit ist auch kein Magnetfeld vorhanden und es entsteht keine Induktionsspannung.

Danach steigt der Strom in den nächsten 2 s wieder an und es entsteht eine Induktionsspannung.

Es müssen also nur die beiden Spannungen zwischen 0s und 4 s sowie zwischen 10 s und 12 s berechnet werden.

Allgemein gilt für die Induktionsspannung in der Induktionsspule:



Die magnetische Flussdichte der Feldspule wird mit



berechnet.

Ändert sich der Strom in einer bestimmten Zeit, erhält man



Das kann nun in die Gleichung für die Induktionsspannung eingesetzt werden:



Und schon kann die gesuchte Spannung berechnet werden:



|  |  |
| --- | --- |
| Für die Zeit zwischen der 10. und 12. Sekunde ist die Spannung doppelt so groß, da sich die Stromstärke doppelt so schnell ändert wie im ersten Teil. Da die Stromstärke aber ansteigt, hat die Spannung eine entgegengesetzte Polarität:    **b)** Die in der letzten Lösung hergeleitete Gleichung für die Induktionsspannung wird nach der Zeit t umgestellt und die gesuchte Zeit berechnet: |  |

**c)** Das Induktionsgesetz lautet ja



Das muss nach der Zeit umgestellt werden, in der sich die magnetische Flussdichte ändert:



Setzt man die gegebenen Zahlenwerte ein, erhält man die gesuchte Zeit:



**506.**

Es liegt hier eine Reihenschaltung von drei Widerständen vor, die an der Spannungsquelle angeschlossen sind:

Hinleitung (Kupferdraht), Gerät und Rückleitung (Kupferdraht).

Der Widerstand der beiden Leitungen muss so groß sein, dass durch alle drei Widerstände bei den anliegenden 12 V ein Strom von 5 A fließt. In einer Reihenschaltung ist der Strom an allen Stellen gleich und muss demnach sowohl in den Leitungen als auch im Gerät 5 A betragen.

In einer Reihenschaltung ist der Gesamtwiderstand die Summe der Einzelwiderstände. Dieser Gesamtwiderstand bestimmt auch den Strom in der Schaltung.

Dieser Gesamtwiderstand lässt sich aus den gegebenen Größen berechnen:



Da das Gerät selber einen Widerstand von 2,3 Ohm hat, darf die gesamte Leitung nur noch einen Widerstand von 0,1 Ohm besitzen.

Der Widerstand einer Leitung berechnet sich mit dem Widerstandsgesetz:



Da die Leitung aus Hin- und Rückweg besteht, ist die Länge 18 m groß. Damit kann nun der Querschnitt der Leitung berechnet werden:



Damit sollte die Leitung einen Querschnitt von wenigstens 3,1 mm² haben.

**507.**

**a)** Wie lange braucht die Spule bis zum Vollständigen Eintauchen in das Magnetfeld? Da sie sich gleichförmig bewegt, gilt natürlich



Setzt man die Länge der Spule und die Geschwindigkeit ein, erhält man die Zeit bis zum vollständigen Eintauchen:



Nach dieser Zeit ist die Spule komplett in das Magnetfeld eingetaucht. Eine Änderung des Magnetfeldes spürt sie erst wieder, wenn der rechte Rand der Spule das rechte Ende des Magnetfeldes erreicht.

Wie in der Zeichnung zu sehen ist, ist der Weg bis dahin 14 cm lang. Damit kann die Zeit berechnet werden:



Da die Spule vom Start aus schon 17,5 s unterwegs war, erreicht sie 52,5 s nach dem Start das rechte Ende des Magnetfeldes.

Nun braucht sie weitere 17,5 s, um komplett das Magnetfeld zu verlassen, also bis zur Position 4 zu kommen.

Damit ist der Vorgang nach insgesamt 70 s abgeschlossen, die Spule ist aus dem Magnetfeld raus.

**b)** Die drei Kurven können in ein Diagramm gezeichnet werden. Dann sieht man auch schön den Zusammenhang zwischen den Größen.

Der magnetische Fluss ist allgemein:



Da aber die magnetische Flussdichte B konstant ist und die Fläche senkrecht zu den Feldlinien des Magnetfeldes steht, kann man vereinfacht schreiben:



Die Fläche, die vom Magnetfeld durchsetzt wird, ändert sich beim Eintauchen der Spule gleichmäßig. Zu Beginn ist die Fläche 0 und am Ende ist die Fläche



Damit ist der Magnetische Fluss zu Beginn der Bewegung 0 und nach dem vollständigen Eintauchen



Die Umwandlung der Einheit in Vs lässt sich mit Hilfe eines Tafelwerkes nachvollziehen.

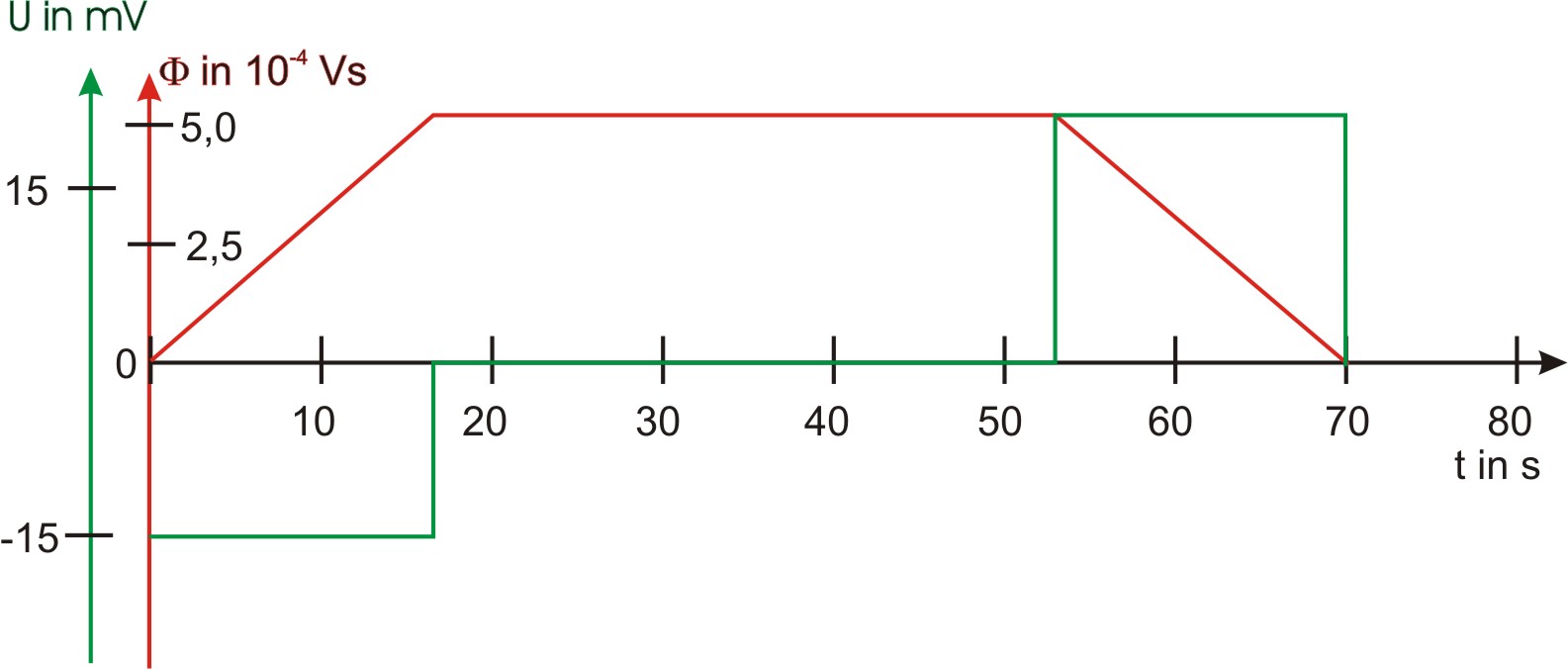
In der Spule wird eine Spannung induziert, wenn sich der magnetische Fluss ändert. Damit erhält man von 0s bis 17,5 s eine Spannung und nochmal am Ende von 52,5 s bis 70 s. Dazwischen ändert sich der magnetische Fluss nicht und die Spannung in der Spule ist 0.

Mit dem Induktionsgesetz kann die Spannung berechnet werden:



Das ist die konstante Spannung beim Eintauchen. Verlässt die Spule das Magnetfeld, wird der magnetische Fluss mit der Zeit kleiner. Damit bekommt die Änderung des magnetischen Flusses ein negatives Vorzeichen und die Spannung liegt im positiven Bereich.

Konkret heißt das, dass die Polung der Spannung beim Eintauchen entgegengesetzt zur Polung der Spannung beim Verlassen ist.



**508.**

|  |
| --- |
|  |
|  |
|  |

**509.**

Durch das Messgerät darf nie mehr als 10µA fließen. Dieser Strom wird durch den Innenwiderstand des Messgerätes und die anliegende Spannung festgelegt. Der Innenwiderstand ist durch den Aufbau des Messgerätes vorgegeben und kann nicht geändert werden.

Welche Spannung darf nun anliegen, damit der maximale Strom nicht überschritten wird?



Es dürfen also unter keinen Umständen am Messgerät mehr als 10 mV anliegen, da es ansonsten zerstört würde.

**Voltmeter**

|  |  |
| --- | --- |
| Nun soll es aber für eine Spannung bis 10 V geeignet sein. Das geht nur, wenn man durch eine geeignete Schaltung erreicht, dass trotz 10 V am eigentlichen Messgerät nur die 10 mV anliegen.  Die anliegende Spannung muss aufgeteilt werden: ein Teil der 10 V liegen am Messgerät und der Rest an einem Vorwiderstand. Man braucht eine Spannungsteilerschaltung, eine Reihenschaltung von Messgerät und Vorwiderstand.  Da sich in einer Spannungsteilerschaltung die an den Widerständen anliegenden Spannung verhalten, kann der Vorwiderstand leicht bestimmt werden. |  |

Die Spannung am Vorwiderstand ist 999 Mal größer als am Messgerät. Deshalb muss der Widerstand auch 999 Mal größer sein als der Widerstand des Messgerätes.

Damit erhält man für den Vorwiderstand einen Wert von .

Der Gesamtwiderstand des Voltmeters ist dann  .

**Amperemeter**

|  |  |
| --- | --- |
| Durch das Amperemeter sollen maximal 50 mA fließen dürfen. Das Messgerät verträgt aber nur 10µA. Also muss ein Teil des Stromes am Messgerät vorbei geleitet werden. Der Strom muss aufgeteilt werden: ein Teil der 50 mA fließen durch das Messgerät und der Rest durch einen Widerstand. Man braucht eine Stromteilerschaltung, eine Parallelschaltung von Messgerät und Widerstand.  Durch den parallel geschalteten Widerstand fließt ein Strom, der 4999 Mal so groß ist, wie der, der durch das Messgerät darf. Das heißt, dass der Widerstand um diesen Faktor kleiner sein muss als der Widerstand des Messgerätes.  Der parallel geschaltete Widerstand muss demnach eine Größe von  haben. |  |

**510.**

**a)** Während der Beschleunigungsphase wird an dem Zug Beschleunigungsarbeit verrichtet. Das bedeutet nichts anderes, als dass er immer schneller wird. Die Folge der Beschleunigungsarbeit ist kinetische Energie.

Gleichzeitig tritt auch noch Reibung auf. Als Folge der Reibung erhöht sich in den reibenden Stoffen die thermische Energie. Das heißt, ihre Temperatur wird größer.

Als einzige Energie wir elektrische Energie zugeführt.

Es wird also elektrische Energie in kinetische Energie und thermische Energie umgewandelt.

Dabei ist die thermische Energie nicht erwünscht. Man spricht von einer Energieentwertung.

**b)** Welche kinetische Energie hat der Zug am Ende der Beschleunigungsphase?

Die kinetische Energie berechnet sich mit



Bevor die Energie berechnet werden kann, muss die Geschwindigkeit in die Grundeinheit umgerechnet werden.



Damit kann die kinetische Energie berechnet werden.



Das sind 90% der gesamten Energie, die zum Anfahren notwendig sind. Wieviel sind dann 100%?



Es müssen also insgesamt 54,1 MJ zugeführt werden. Davon gehen 5,41 MJ für die Reibung drauf.

**c)**

Die elektrische Energie wird in 25 s komplett in andere Energieformen umgewandelt. Dieser Vorgang kann durch die Größe Leistung beschrieben werden. Sie beschreibt, wie effektiv gearbeitet wird und berechnet sich mit

 ,

also Arbeit je Zeit. Je schneller eine Arbeit verrichtet wird, umso größer ist die Leistung.

Die Arbeit ist in diesem Fall die Energie, die umgewandelt wurde. 

Diese Leistung wird von der elektrischen Leitung zur Verfügung gestellt. Die elektrische Leistung ist das Produkt aus der anliegenden Spannung und dem fließenden Strom:



Die beiden Leistungsgleichungen kann man gleich setzen und die gesuchte Stromstärke berechnen.



Durch die Zuleitung muss beim Anfahren der S-Bahn ein Strom von 144 A fließen.

**511.**

|  |  |
| --- | --- |
| Zu Beginn des Versuches müssen beide Kugeln unterschiedlich geladen sein, da sie sich anziehen. Die linke Kugel kann z.B. schwach negativ und die rechte stark positiv geladen sein.  Dann sind die beiden Kugeln nach der Berührung sowohl von der Stärke als auch der Polung gleich geladen. In diesem Fall wäre das positiv, aber sie sind schwächer positiv als die rechte Kugel vor dem Berühren mit dem Draht.  Was passiert beim Berühren? |  |

Als erstes werden in diesem Beispiel die negativen Ladungen benutzt, um die positiven Ladungen auf der rechten Kugel auszugleichen.

Danach verteilen sich die restlichen positiven Ladungen der rechten Kugel gleichmäßig auf beiden Kugeln.

Vereinbarung:

negative Ladung der linken Kugel vor dem Berühren: -Q1

positive Ladung der rechten Kugel vor dem Berühren: Q2

positive Ladung einer Kugel nach der Berührung: Q3

Die Gesamtladung der beiden Kugeln vor dem Berühren ist die Summe der Ladungen



Nach dem Berühren teilt sich diese Ladung auf die beiden Kugeln auf



Weiterhin gilt für beide Anordnungen das Coulombsche Gesetz:



Da sich der Versuch in Luft abspielt, kann man



setzen.

Als erstes lässt sich aus den gegeben Größen die Ladung Q3 berechnen:



Prima, nun fehlen nur noch die beiden gesuchten Ladungen.

Auch da hilft das Coulombsche Gesetz weiter:



In dieser Gleichung sind die beiden Ladungen aber die unbekannten Größen, weshalb sie sich nicht einfach lösen lässt.

Man kennt aber eine weitere Beziehung:



Die kann man z.B. nach Q1 umstellen und in das Coulomsche Gesetz einsetzen.



und eingesetzt:



Diese Gleichung enthält nur noch Q2 als unbekannte Größe und sollte zu knacken sein.

Ausmultiplizieren:



Die gesuchte Größe taucht jetzt zweimal in der Gleichung auf: einmal einfach so und einmal als Quadrat.

Das kann nun auf verschiedene Art gelöst werden. Man kann z.B. einen GTR mit Solver nutzen oder man stellt die quadratische Gleichung in Normalform auf und löst diese. Das soll jetzt gezeigt werden.

Normalform:



Damit kann die Lösungsformel zum Einsatz kommen.



Damit hat man die beiden Ladungen der Kugeln zu Beginn des Versuches.

**Kontrolle:**

**1.** Wie groß ist die Kraft zwischen den beiden Kugel?



**2.** Wie groß ist die Ladung Q3?



**512.**

**a)** An die maximale Geschwindigkeit des Stabes gelangt man über die Energiebetrachtung: beim Start besitzt er potenzielle Energie, die sich beim Runterrollen komplett in kinetische Energie umwandelt.



Schreibt man die Formeln aus, sieht man, dass die Geschwindigkeit aus der gegebenen Höhe berechnet werden kann:



**b)** Wenn der Aluminiumstab herunterrollt, bewegen sich die freien Elektronen in dem Stab senkrecht zu der Richtung des Magnetfeldes. Damit spüren Sie die Lorentzkraft.

Unter der Bedingung, dass die Richtung der Geschwindigkeit und die Richtung des Magnetfeldes senkrecht aufeinander stehen, steht die Richtung der Lorentzkraft ebenfalls senkrecht auf den anderen beiden Vektoren. Damit werden die frei beweglichen Elektronen in dem Aluminiumstab entweder nach rechts oder links, also zu einem Ende gedrückt. Dort ist dann Elektronenüberschuss und der negative Pol der Spannung.

Im konkreten Fall steht der Magnetfeldvektor aber nicht senkrecht auf dem Geschwindigkeitsvektor. Das würde bedeuten, der Stab bewegt sich parallel zur x-y-Ebene.

Da er sich aber schräg nach unten bewegt, ist der Anteil des Magnetfeldes, der senkrecht auf den Leiter wirkt



Wenn der Stab senkrecht nach unten fallen würde, wäre der Winkel 90°, der Kosinus davon 0 und die

Wie groß ist nun die Spannung? Es gilt das Induktionsgesetz für einen bewegten Leiter im Magnetfeld:



 ist die Länge des Leiters und damit der Abstand zwischen den beiden Stäben. Die Geschwindigkeit des Stabes wird laufend größer, so dass die größte Spannung dann am größten ist, wenn die Geschwindigkeit maximal ist. Dieser Geschwindigkeitswert wurde in a berechnet. Damit kann die gesuchte Spannung berechnet werden.



Das Vorzeichen hat hier keine weitere Bedeutung und sagt nur etwas über die Polung aus.

**c)** Werden die beiden Stativstäbe miteinander verbunden, fließt in dem jetzt vorliegenden Stromkreis ein Induktionsstrom. Damit bildet sich um den stromführenden Leiter ein Magnetfeld aus. Dieses Magnetfeld ist mit dem ursprünglichen Magnetfeld in einer Wechselwirkung.

Nach der Lenzschen Regel ist dieses Magnetfeld nun so gepolt, dass es der Ursache der Induktion entgegenwirkt.

Die Ursache der Induktion ist aber das Herunterrollen des Aluminiumstabes.

Das Magnetfeld des Aluminiumstabes ist also so gepolt, dass durch die Wechselwirkung mit dem ursprünglichen Magnetfeld eine bremsende Kraft wirkt.

Durch diese bremsende Kraft rollt der Stab langsamer herunter.

**513.**

**a)** Die Feder hängt ohne Spule mit dem unteren Ende bei x = 0. Wenn die Spule einfach so angehängt wird (ohne Strom und Magnetfeld), dehnt sie die Feder aus. Wie weit würde das gehen? Es gilt:



Damit kann berechnet werden, um welche Strecke sich die Feder durch die Spule ausdehnt:



Die Unterkante der Feder müsste also durch die Spule um 2,5 cm nach unten gezogen werden. Wie man aus der Abbildung entnehmen kann, reicht sie aber nur bis 1,5 cm.

Damit muss auf die Spule durch das Magnetfeld und den fließenden Strom eine entgegen der Gewichtskraft, also nach oben, wirken.

Die verantwortliche Kraft ist die Lorentzkraft, die nur im unteren Stück der Spule nach oben wirken kann. In den beiden senkrechten Teilen der Spule wirkt sie nach rechts oder links und bringt nichts für die Verringerung der Federausdehnung.

Mit Hilfe der Linke-Hand-Regel kann die Richtung der Elektronen im unteren Spulenteil bestimmt werden. Das Magnetfeld zeigt in die Zeichenebene hinein (nach schaut von Süd nach Nord), die Kraft wirkt nach oben, damit bewegen sich die Elektronen von rechts nach links.

Die Stromstärke kann über die Lorentzkraft berechnet werden. Die ist für einen Leiter in einem Magnetfeld



Länge und magnetische Flussdichte sind bekannt. Die Kraft kann aus den ersten Überlegungen berechnet werden.

Da sich die Feder durch die Lorentzkraft um 1 cm weniger ausdehnt, kann man über die Federkonstante die Kraft berechnen.

Da die Feder sich nur 1,5 cm ausdehnt, wirkt auf sie effektiv eine Kraft von



Die Spule hat eine Gewichtskraft von



Damit ist die Lorentzkraft 0,38 N groß.

Nun kann der gesuchte Strom berechnet werden



Aber Stopp: das ist ja die Kraft auf einen Leiter. Die Spule hat aber 100 Windungen, es sind also 100 Leiter, von denen jeder ein Stück zur Lorentzkraft beiträgt. Deshalb muss die Windungszahl in die Gleichung mit hinein.



**514.**

**Hinweis:** Für die Lösung dieser Aufgabe gibt es mehrere Wege. Der folgende Weg ist **ein Vorschlag**.

Das Teilchen, welches natürlich ein Heliumkern (Alpha-Teilchen) ist, besitzt beim Eintritt in das elektrische Feld eine bestimmte kinetische Energie. Durch die Spannung des Feldes wird diese Energie erhöht.

Die Geschwindigkeit des Teilchens soll im Feld verdoppelt werden. Da sich die kinetische Energie ganz allgemein mit



berechnen lässt, wird sich bei einer Geschwindigkeitsverdopplung die kinetische Energie vervierfachen (v² !).

Das elektrische Feld muss dem Teilchen also drei Mal so viel Energie zuführen, wie es beim Einflug hat.

Teilchenenergien werden am Besten in der Einheit eV (Elektronenvolt) angegeben. 1 eV ist die Energie, die ein Elektron nach dem Durchlaufen einer Spannung von 1 V hat.

Welche Energie hat das Teilchen in eV?

Zuerst berechnet man die Energie in J:



Mit der Umrechnung 

erhält man eine Energie von



Das heißt, das Teilchen muss nach dem Durchfliegen des Feldes eine Energie von 560 keV haben.

Die Energie des Teilchens nimmt um 420 keV zu.

Wenn es ein Teilchen mit einer Ladung von 1e wäre, müsste die Spannung zwischen den Platten 420 kV betragen. Da es aber eine doppelte Elementarladung hat, wirkt eine doppelt so große Kraft durch das Feld. Damit reicht aber die halbe Spannung aus, um es auf die vierfache Geschwindigkeit zu beschleunigen. Und das sind dann die gesuchten 210 kV.

**zweiter Weg**

Das Teilchen besitzt beim Eintritt in den Plattenkondensator auf Grund seiner Anfangsgeschwindigkeit eine bestimmte kinetische Energie. Im Kondensator wird durch das elektrische Feld an dem Teilchen Beschleunigungsarbeit verrichtet und es verlässt den Kondensator mit einer größeren kinetischen Energie wie beim Eintritt.

Die kinetische Energie ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit. Das heißt, dass eine Verdopplung der Geschwindigkeit eine Vervierfachung der kinetischen Energie zur Folge hat.

Wenn das Teilchen also mit einer bestimmten kinetischen Energie Hineinfliegt, kommt es mit der Vierfachen Energie wieder heraus.

Im Kondensator ist demnach so viel Beschleunigungsarbeit verrichtet worden wie das Dreifache der Anfangsenergie.



Die Beschleunigungsarbeit wird durch die Energie des elektrischen Feldes aufgebracht. Die Energie des Feldes berechnet sich mit



Damit erhält man



Setzt man die Formel für die kinetische Energie ein, hat man



Aus der Aufgabenstellung kann man alle Größen entnehmen. Die Masse ist in der atomaren Masseneinheit und die Ladung in Elementarladungen angegeben. das muss bei der Eingabe berücksichtigt werden.



**b)** Wenn neben der elektrischen Kraft auch noch die Gravitationskraft betrachtet wird, fliegt das Teilchen nicht geradlinig durch das Feld, sondern wird gleichzeitig nach unten abgelenkt.

Es muss gefragt werden, um welchen Weg das Teilchen während des Durchfluges durch das Feld nach unten abgelenkt wird und ob das eine Rolle spielt.

Der Weg nach unten ist eine freie Fall-Bewegung. Der Weg ist



Um den Weg zu berechnen braucht man noch die Zeit, die das Teilchen zum Durchfliegen des Feldes braucht. Da auf das Teilchen im Feld eine konstante Kraft wirkt (homogenes Feld), ist die Bewegung gleichmäßig beschleunig. Es gilt als auch hier



 ist die gegebene Länge des Feldes von 0,25 m. t ist die Durchflugzeit und a die Beschleunigung. Da das Teilchen schon mit einer Geschwindigkeit in das Feld hineinfliegt, muss die Anfangsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

a ist aber noch nicht bekannt. Man weiß aber, dass



Die Geschwindigkeitsänderung ist bekannt.

Setzt man die Gleichung für die Beschleunigung in die Weggleichung ein, erhält man



Da die Geschwindigkeit verdoppelt werden soll, ist die Geschwindigkeitsänderung genau so groß wie die Anfangsgeschwindigkeit. Damit ergibt sich



Damit ist es möglich, die Ablenkung des Teilchens nach unten zu berechnen:



Das heißt, das Teilchen wird während des Durchfluges durch das Feld um diesen Weg nach unten abgelenkt. Das ist im Vergleich zu den 0,25 m der Feldlänge so klein, dass es nicht beachtet werden muss. Das Teilchen fliegt praktisch geradlinig durch. Es ist so schnell, dass die Ablenkung nach unten keine Rolle spielt.

**zweiter Weg:**

Die Gewichtskraft der Teilchen kann vernachlässigt werden, wenn sie deutlich kleiner als die elektrische Kraft auf die Teilchen ist.

Zuerst wird die Gewichtskraft berechnet:



Und nun die elektrische Kraft. Aus der Definition der elektrischen Feldstärke ergibt sich:



Die Feldstärke in einen Plattenkondensator ist



U ist die berechnete Spannung und d der Abstand der Platten.



Setze man die beiden Kräfte ins Verhältnis, erhält man



Die elektrische Kraft ist um 12 Größenordnungen größer (1 Million mal 1 Million). Damit ist die Gewichtskraft eindeutig vernachlässigbar.