Alfons Reichert

Physikversuche mit cassy

Inhalt

Einleitung **3**
Einführung **4**
Atomphysik **6**
Fluoreszenz 6
Fotoeffekt 10
Franck-Hertz 20
Elektrik **23**
Funkuhr 23
Gleichrichter 28
Glühlampe 51
Handy 58
Induktion 62
Kondensator 72
Lampen 84
Leuchtdioden 91
Leuchtstärke 101
Nachtlicht 106
Oszillatoren 120
Quarzuhr 151
Schaltregler 162
Schwingkreis 178
Schwingquarz 183
Solarzelle 186
Spule 201
Wechselrichter 231
Wechselstrom 254
Widerstand 263
Zahnbürste 269
Mechanik **272**
Bewegungsgesetze 272
Fall mit Luftreibung 293
Federpendel 296
Freier Fall 301
Schiefe Ebene 309
Wasserdruck 321

Zentripetalkraft 324
Kernphysik 327
Absorption 327
Halbwertszeit 335
Reichweite 339
Statistik 345
Literatur 349

Einleitung

Nichts ist in der Physik motivierender für Schülerinnen und Schüler als eigene Versuche. Daher werden in der Literatur zahlreiche qualitative Freihandversuche vorgestellt, die die Schülerinnen und Schüler mit einfachen Hilfsmitteln in kurzer Zeit selbst durchführen können (s. Literaturliste). Aber Physik ist eine exakte Wissenschaft. Daher sind quantitative Versuche in der Oberstufe das Maß aller Dinge, wenn nicht ein Muss. Aber sie werden schnell sehr zeitaufwändig, wenn man mit herkömmlichen Geräten experimentiert. Man denke nur an die Aufnahme einer LED-Kennlinie mit normalen Digital- oder Analogmultimetern, eines v/t-Diagramms auf einer schiefen Ebene mit Lichtschranken oder eines s/t-Diagrammes beim freien Fall mit Elektromagnet und Schnappschalter. Jeder Versuch muss unter leicht abgewandelten Bedingungen mehrfach wiederholt werden, um die Gesetzmäßigkeit zwischen den Messgrößen ableiten zu können. Das kostet Zeit und ist auf Dauer langweilig für die Schülerinnen und Schüler. Anschließend müssen die Messwerte sehr zeitintensiv per Hand in einen Computer eingegeben oder auf Papier übertragen werden. Und das angesichts der Tatsache, dass die Stofffülle immer mehr zunimmt. Die Lehrpersonen stehen vor einem großen Dilemma. Einerseits möchten sie die motivierende Wirkung der Schülerversuche nutzen, um ihren Unterricht spannender zu gestalten, andererseits sind sie verpflichtet, den gesamten Stoff durchzupauken. Ansonsten sind die Schülerinnen und Schüler spätestens im Zentralabitur die Leidtragenden. Einen Ausweg aus diesem Dilemma bieten moderne digitale Messgeräte, die die automatische Aufnahme der Messkurven erlauben und gleichzeitig das mathematische Rüstzeug an Bord haben, sie auszuwerten. Die so gewonnene Zeit kann man sinnvoller nutzen, die Messergebnisse ausführlich zu interpretieren. Das fördert das physikalische Verständnis, das durch die Formalisierung der Physik im letzten Jahrhundert immer mehr in den Hintergrund getreten ist.

Fast jede Firma, die Schulgeräte vertreibt, wie z.B. Leybold, Mekruphy oder Phywe bietet inzwischen solche Systeme nicht nur für Demonstrationsexperimente, sondern auch für Schülerversuche an. Und man bekommt sie zu einem Preis, den die Schulen bezahlen können. Die folgenden Versuchsanleitungen wurden exemplarisch mit dem System cassy der Firma Leybold aufgenommen. Sie zeigen, wie vielseitig man diese modernen, digitalen Geräte inzwischen einsetzen kann. Um die Experimentierzeit weiter zu verkürzen, habe ich zu jedem Versuch eine Datei erstellt, die die benötigte Einstellung des Gerätes enthält und einfach in einen Ordner auf dem Gerät kopiert werden kann. Ich wünsche viel Spaß beim Experimentieren. Bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. Ines Wolf, die mich bei einigen Versuchen tatkräftig unterstützt hat. Mein besonderer Dank gilt außerdem dem Schulleiter Herrn Pipoh und den Kolleginnen und Kollegen der Gesamtschule Stolberg, die mir ihre Sammlung für zahlreiche Versuche zur Verfügung gestellt haben.

Baesweiler/Stolberg, im Oktober 2018 und im März 2020

Alfons Reichert

Einführung

Wenn die Schülerinnen und Schüler cassy mobile nutzen, müssen Sie vor jedem Versuch einige Einstellungen vornehmen, um das Gerät optimal an die jeweiligen Versuchsbedingungen anzupassen. Da diese zum Teil recht komplex sind, würde es sehr viel Zeit in Anspruch nehmen, die für die eigentlichen Versuche verloren ginge. Daher ist es einfacher und zeitsparender, die Datei „Physik.zip“ auf die cassy mobile Geräte zu kopieren. Sie können Sie per Mail bei mir anfordern. Sie enthält für jeden Versuch die nötigen Einstellungen. Extrahieren Sie die Datei zunächst auf einem Computer, z.B. in einen Ordner Physik oder cassy. Schließen Sie anschließend cassy mobile über USB an den Computer an. Im Datei-Explorer wird automatisch ein Ordner „Mobile cassy 2 (E)“ mit einem Unterordner „Examples“ angezeigt. Erstellen Sie in diesem Unterordner einen neuen Unterordner Physik. Kopieren Sie die extrahierten Dateien in diesen Unterordner. Bearbeiten Sie folgende Aufgaben, um sich mit cassy mobile vertraut zu machen. Falls Probleme auftreten, ziehen Sie die Bedienungsanleitung zu Rate. Sie liegt dem Gerät bei. In ihr sind die grundlegenden Bedienungsvorgänge und Schaltpläne von cassy mobile auf nur zwei Seiten zusammengefasst.

Aufgabe 1

1. Starten Sie cassy mobile durch Drücken der roten OK-Taste.
2. Öffnen Sie den Ordner Physik über das Startmenü und das Untermenü „Ordner“.
3. Laden Sie die Datei „Widerstand1“ im Ordner „Physik“.
4. Wählen Sie im Startmenü den Menüpunkt „Beschreibungen anzeigen“. Scrollen Sie durch den Text.
5. Schließen Sie den Menüpunkt durch Drücken der OK-Taste.
6. Laden Sie die Beispielwerte über den entsprechenden Menüpunkt.
7. Zeigen Sie die Werte als Tabelle bzw. Diagramm an, in dem Sie am roten Knopf drehen.
8. Scrollen Sie durch die Tabelle. Schalten Sie dazu vorher im Tabelle-Menü auf manuelles Scrollen um.
9. Markieren Sie das U/I-Diagramm unter „Bereich“ im Diagrammmenü.
10. Legen Sie durch die U/I-Kurve eine Ausgleichsgerade.
11. Testen Sie die Zoom-Funktion im Untermenü „Auswertung“ des Diagramm-Menüs.
12. Markieren Sie die P/I-Kurve.
13. Legen Sie eine Normalparabel durch die Messwerte.
14. Wählen Sie die Menüs der einzelnen Messgrößen und machen Sie sich mit den Einstellungen vertraut.
15. Wiederholen Sie die Aufgaben z.B. mit der Datei „Widerstand2“ m Ordner „Physik“.
16. Schalten Sie cassy mobile aus. Benutzen Sie das Einstellungsmenü oben rechts oder drücken Sie die O.K.-Taste länger als 3 Sekunden.

Aufgabe 2

1. Starten Sie cassy mobile.
2. Schließen Sie an cassy den Temperatursensor an. Achten Sie auf die richtige Polung, da die Stecker unterschiedlich breit sind.
3. Starten Sie die Messung über das Startmenü.
4. Fassen Sie den Sensor mit der Hand an. Achten Sie auf die Anzeige.
5. Schalten Sie auf die graphische Anzeige um.
6. Stoppen Sie die Messung über das Startmenü.
7. Entfernen Sie den Temperatursensor und schalten Sie cassy mobile aus.

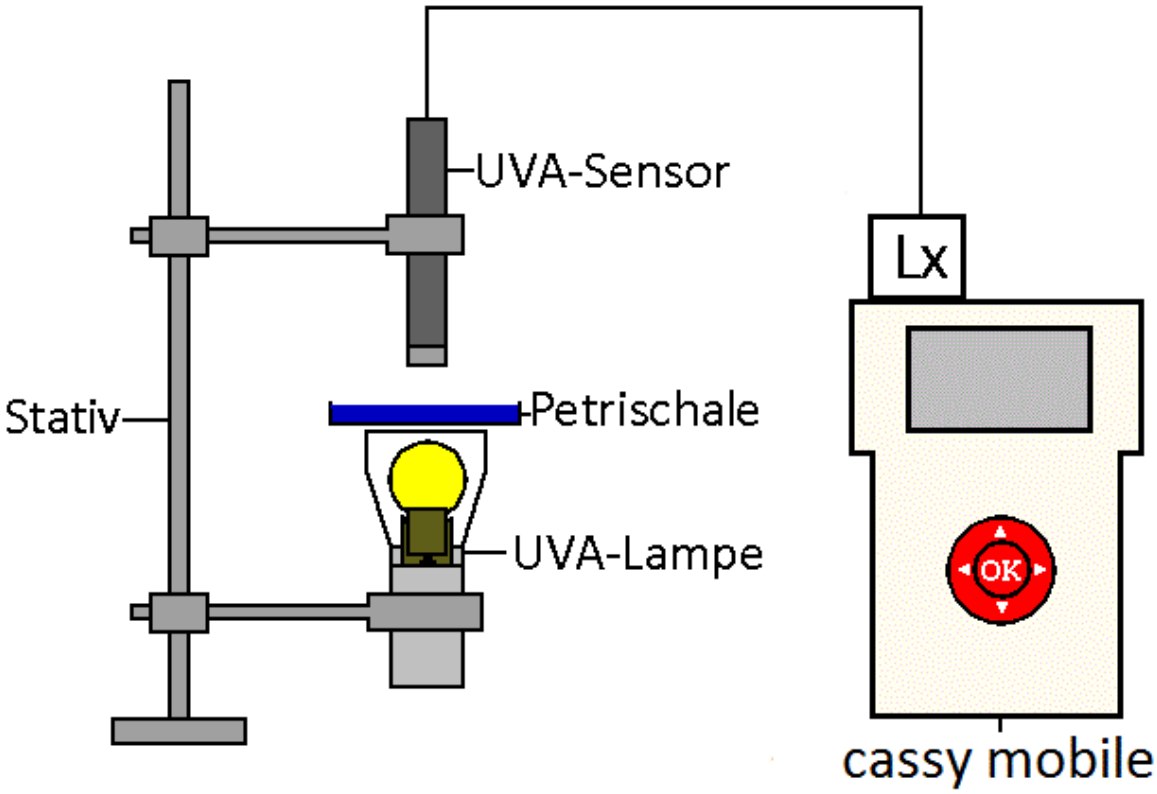
Aufgabe 3

1. Starten Sie cassy mobile.
2. Schalten Sie im U-Menü die Spannung auf Momentanwerte um.
3. Schließen Sie an die rote und schwarze Buchse eine Wechselspannung U = 2 V an.
4. Wählen Sie im Startmenü eine Messzeit t = 100 ms. Starten Sie die Messung.
5. Schalten Sie auf graphische Anzeige der U(t)-Kurve um.
6. Zoomen Sie die Graphik (s. Aufgabe 1, Punkt 11).
7. Speichern Sie die Kurve über das Startmenü.
8. Löschen Sie alle Messwerte und laden Sie sie aus der gesicherten Datei neu.
9. Löschen Sie die Datei im Startmenü.
10. Schalten Sie im U-Menü die Spannung auf Effektivwerte und den Messbereich 7 V um.
11. Schalten Sie im Startmenü auf manuelle Messwertaufnahme um. Erhöhen Sie die Spannung in Schritten von $\Delta U = 1$ V bis auf U = 10 V und speichern Sie jeden neuen Messwert durch Drücken der OK-Taste.
12. Betrachten Sie die Werte als grafische Anzeige.
13. Entfernen Sie die Spannungsquelle und schalten Sie cassy mobile aus.

Atomphysik

Fluoreszenz

Versuch



Durchführung

1. Stellen Sie eine Waschmittellauge und eine Sonnenmilchemulsion her, in dem Sie jeweils einen kleinen Tropfen in V = 20 ml Wasser einrühren. Zerkleinern Sie mit einem Messer oder einer Schere ein paar Stücke Kastanienrinde, Eschenrinde bzw. grüne Blätter. Geben Sie die Stücke in je ein Marmeladenglas. Füllen Sie die Gläser mit der Kastanienrinde und der Eschenrinde mit V = 20 ml Wasser und das Glas mit den grünen Blättern mit V = 20 ml Brennspiritus auf. Verschließen Sie die Gläser, schütteln Sie kräftig durch und lassen die Lösungen 2-3 Stunden stehen. Filtrieren Sie die Lösungen ab.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Sensor und Lampe sollten einen Abstand von ca. s = 5 cm haben.
3. Schalten Sie cassy mobile ein. Laden Sie die Einstellungen der Datei „UVA.labm“ im Ordner Physik. Alternativ können Sie den Sensor auch wie folgt selbst eichen. Wählen Sie im Untermenü Korrektur des Menüs E_A die Option Faktor und Offset. Drücken Sie die O.K. Taste. Stellen Sie den Offset mit dem Touchwheel auf 0,0 klx. Drücken Sie erneut die O.K. Taste. Geben Sie im Bereich Faktor den f-Wert ein, der auf dem UVA-Sensor vermerkt ist und bestätigen Sie Ihre Eingabe durch Drücken der O.K.-Taste. Der Sensor ist damit kalibriert.
4. Schalten Sie die UV-Lampe ein. Notieren Sie sich den Messwert. Gegebenenfalls müssen Sie je nach Leuchtstärke der Lampe den Messbereich im Untermenü Bereich des Menüs E_A anpassen.

5. Halten Sie zwischen die Lampe und den Sensor verschiedene Gegenstände, etwa eine Petrischale aus Glas, eine Plastikfolie, ein Stück Alufolie, ein Blatt Papier, eine entspiegelte Brille usw. Notieren Sie sich jeweils die Intensität der durchgelassenen UVA-Strahlung.
6. Füllen Sie die Petrischale etwa 1 cm hoch mit Wasser und anschließend nacheinander jeweils mit den Emulsionen bzw. Lösungen aus 1. Halten Sie die Petrischale zwischen die Lampe und den Sensor. Notieren Sie sich für alle Teilversuche die Intensität der durchgelassenen UVA-Strahlung und die zusätzlichen Beobachtungen.

Aufgaben

a. Stellen Sie die Messergebnisse in einer Tabelle zusammen. Deuten Sie die Tabelle und die zusätzlichen Beobachtungen in den Teilversuchen 5 und 6.
b. Erklären Sie, welche Stoffe für das besondere Verhalten der Waschmittellauge, der Lösung der Kastanien- und Eschenrinde bzw. des Blattgrüns und der Sonnenmilchemulsion verantwortlich sind.
c. Recherchieren Sie im Internet nach weiteren Anwendungen dieser Stoffe.
d. Erkundigen Sie sich im Buch oder Internet, wie Brillen entspiegelt werden.
e. Beleuchten Sie mit der UV-Lampe in einem abgedunkelten Raum verschiedene Gegenstände und Geldscheine.
f. Erkundigen Sie sich im Internet, welche Arten von UV-Strahlung es gibt, worin sie sich unterscheiden und wie sie sich in Technik und Natur auswirken.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messtabelle.

Gegenstand/Stoff	UVA-Strahlung [Lx]
Luft	66,7
Glas	59,0
Kunststoff	54,1
Wasser	62,3
Waschmittellauge	12,4
Sonnenmilch	10,4
Rindenlösung	7,5
Blattgrünlösung	6,1
entspiegeltes Glas	0,6
Alufolie	0,0
Papier	0,0

Tabelle 1: Messtabelle

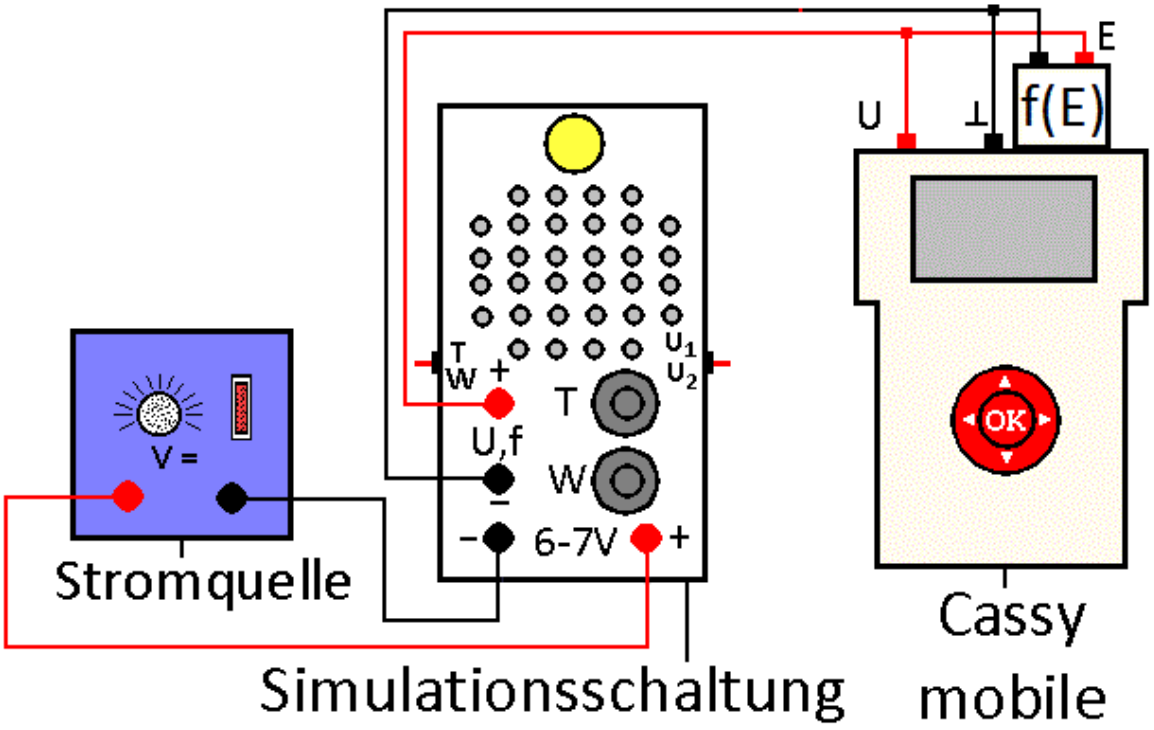
Auswertung

a. Glas und Kunststoff schirmen die UV-Strahlung nur wenig ab. Füllt man Wasser in die Petrischale, so steigt die durchgelassene Intensität sogar ein wenig an. Vermutlich wirkt das Wasser wie eine kleine Linse, die die Strahlung ein wenig bündelt. Waschmittellauge, Sonnenmilch, Rindenlösung und Blattgrünlösung absorbieren die UVA-Strahlung zu 80 - 90%. Dabei leuchtet die Waschmittellösung hellblau, die Rindenlösung grünlich, die Sonnenmilch violett und die Blattgrünlösung rot unter dem Einfluss der UVA-Strahlung. Entspiegeltes Glas, Alufolie und Papier verschlucken die Strahlung fast vollständig.
b. Die Waschmittellauge, die Rindenlösung und die Sonnenmilchemulsion enthalten jeweils einen fluoreszierenden Stoff, der UV-Licht in sichtbares Licht umwandelt. Daher wird die UV-Strahlung geschwächt und die drei Lösungen leuchten im sichtbaren Bereich des Spektrums. Blattgrün oder Chlorophyll absorbiert einerseits rotes und blaues Licht und erscheint daher grün. Andererseits zeigt es im UV-Licht eine rote Fluoreszenz.
c. In Sonnencremes sind fluoreszierende Stoffe enthalten. Sie wandeln das energiereiche UV-Licht, das einen Sonnenbrand verursachen kann, in weniger energiereiches sichtbares Licht um. Früher extrahierte man die Fluoreszenzstoffe Aesculin und Fraxin aus Rosskastanien- oder Eschenrinde. Heute kann man Stoffe mit besserer Wirkung synthetisieren.
d. Die Brillengläser sind mit einer dünnen Schicht des Minerals Kryolith bedampft. Sie lässt das Licht im sichtbaren Bereich durch, reflektiert jedoch das UV-Licht. Entspiegelte Gläser erkennt man an ihren purpurnen Reflexen im weißen Licht. Sie entstehen als Komplementärfarbe zur grünen Mitte des Spektrums, die besonders gut durchgelassen wird.
e. Papier, Gardinen, Bucheinbände, usw. fluoreszieren bei Bestrahlung mit der UV-Lampe. Sie werden dadurch optisch aufgehellt und wirken weniger vergilbt. Das UV-Licht wird in blaues Licht umgewandelt, das zusammen mit dem Gelbton der vergilbten Materialien ein strahlendes Weiß ergibt. Auch Geldscheine leuchten an einigen Punkten. Sie sind so fälschungssicherer. Wenn die Kassiererin oder der Kassierer im Supermarkt einen Geldschein auf seine Echtheit überprüfen will, hält er ihn unter eine UV-Lampe.
f. Man teilt die UV-Strahlung je nach Wellenlänge λ in UVA mit λ = 320-400 nm, UVB mit λ = 280-320 nm und UVC mit λ = 220-280 nm ein. Je kürzer die Wellenlänge, umso

energiereicher sind die Photonen und umso mehr können Sie die Zellen schädigen. Sonnenschutzmittel schützen vor der UVA- und UVB-Strahlung. Alle drei Arten lösen Mutationen im Erbgut der Zellen aus. Sie greifen Kunststoffe an, die dadurch porös werden und zerbröseln.

Fotoeffekt

Versuch 1:



Durchführung

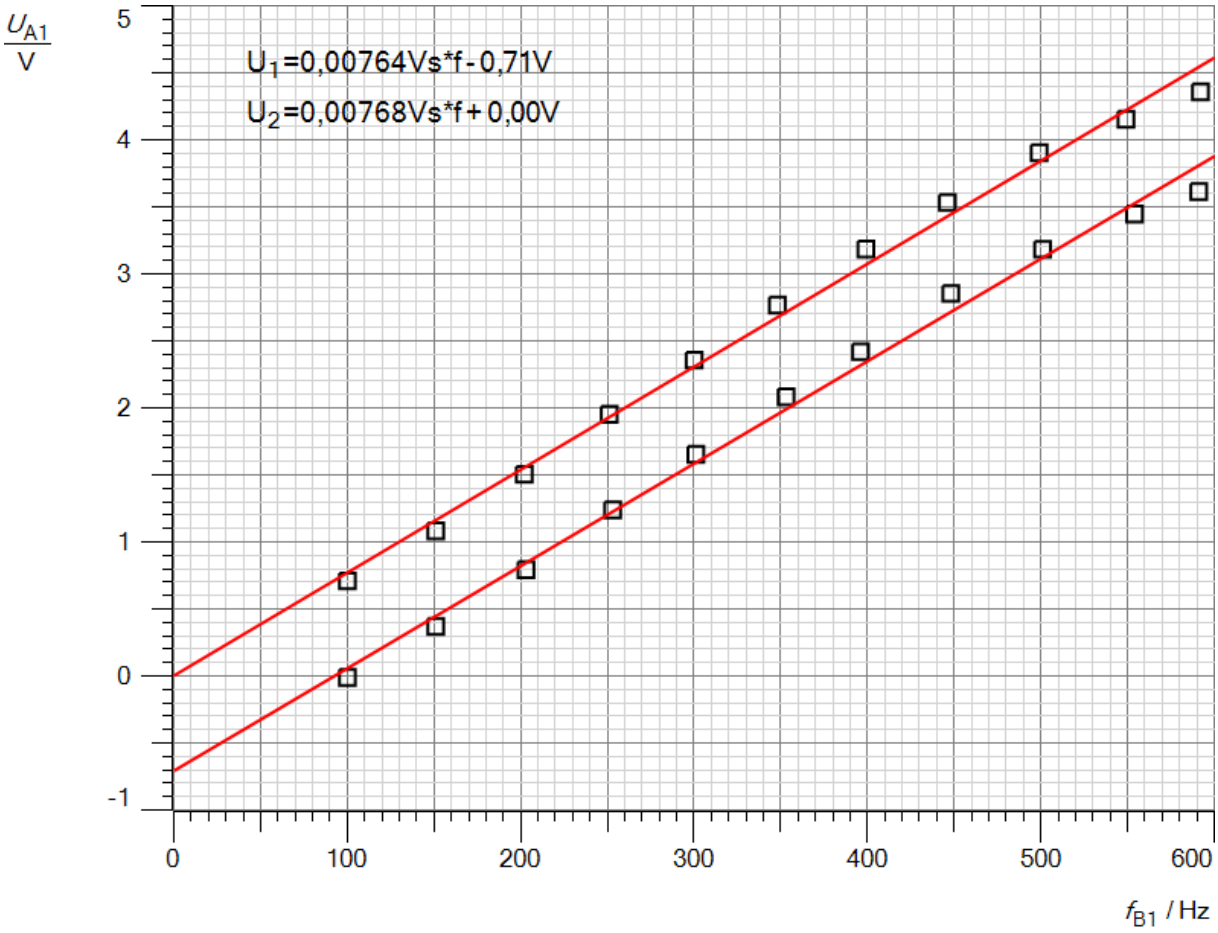
1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Fotoeffekt1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. . Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Spannungsquelle und des Messgerätes. Die Simulationsschaltung wird im Skript Fotoeffekt auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle und die Messgeräte ein. Stellen Sie den Schalter S1 auf T und S2 auf U_2. Drehen Sie das Potentiometer PT ganz zu, so dass der Multivibrator in der höchsten Frequenz schwingt. Wählen Sie die Betriebsspannung so, dass das Voltmeter ungefähr U = 4,5 V anzeigt.
4. Setzen Sie den Schalter S2 wieder in die Position U_1. Drehen Sie das Potentiometer PT ganz zurück und erhöhen Sie mit ihm in etwa gleichen Schritten von 50 Hz die Frequenz von 100 Hz bis auf 550 Hz. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte, in dem Sie die OK-Taste drücken.
5. Stellen Sie den Schalter S2 in die Stellung U_2. Drehen Sie das Potentiometer PT schrittweise wieder zurück bis auf 100 Hz. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Beschreiben Sie das Verhalten der Lampe und des Lautsprechers und erklären Sie. Vergleichen Sie sie mit den Beobachtungen beim Fotoeffekt.
b. Vergleichen Sie die beiden Messkurven miteinander und erklären Sie sie.
c. Werten Sie die Kurven nacheinander grafisch aus. Errechnen Sie aus der U_1-Kurve die Grenzfrequenz f_0. Deuten Sie sie.

Beobachtung:

Die Lampe leuchtet umso heller, je höher der Ton ist. Man erhält folgende Messkurven.



Messkurve: Spannung U_1, U_2 in Abhängigkeit von der Frequenz f

Auswertung:

a. Die Spannung an der Lampe steigt mit der Frequenz. Daher leuchtet sie bei größerer Frequenz heller. Beim Fotoeffekt nimmt die Energie der Photonen ebenfalls mit der Frequenz zu. Die Schaltung simuliert die Vorgänge in einer Fotozelle. Wie sie das macht, kann man im Artikel Fotoeffekt auf der oben angegebenen Webseite nachlesen.

b. Die Spannung U_1 steigt linear mit der Frequenz an. Sie entspricht der Spannung an der Fotozelle beim Fotoeffekt. Die Spannung U_2 ist proportional zur Frequenz f. Sie ist mit der Gesamtenergie der Elektronen bzw. der Energie der Photonen beim Fotoeffekt vergleichbar.

c. Man erhält folgende Ausgleichgeraden:

$$U_1 = 0{,}00764\text{Vs} * f - 0{,}71\text{V}$$

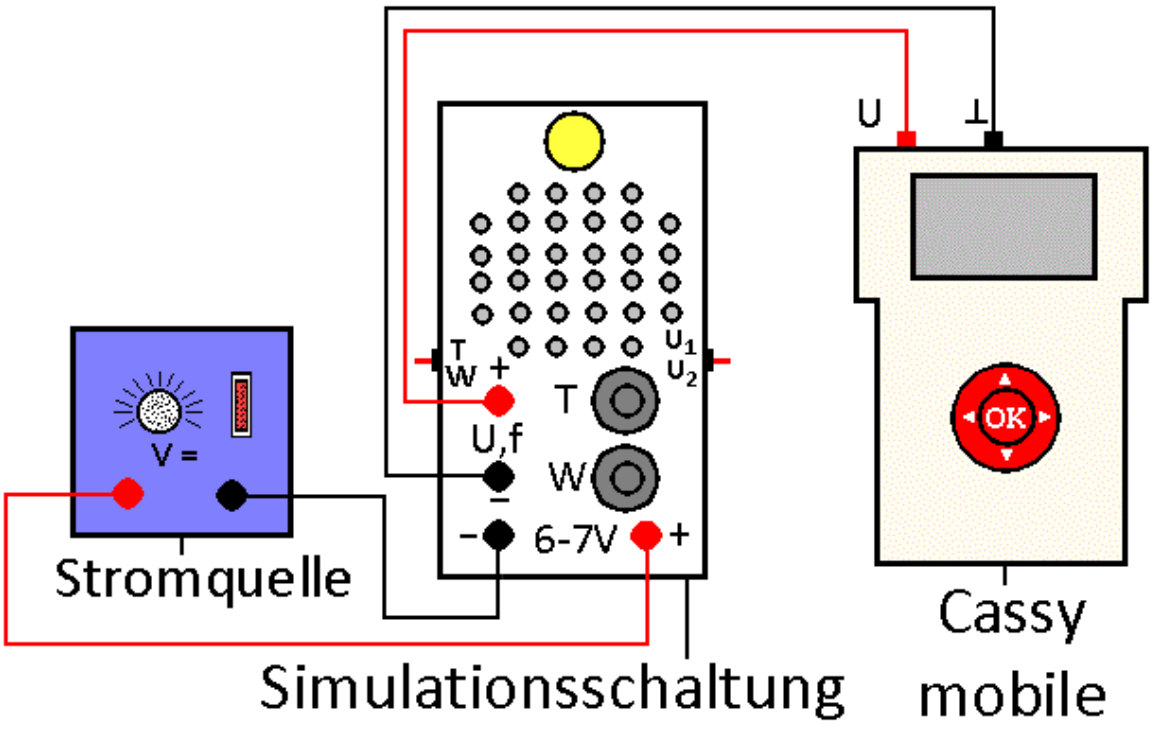
$$U_2 = 0{,}00768\text{Vs} * f + 0{,}00\text{V}$$

Für die Grenzfrequenz f_0 gilt $U_1 = 0$. Damit erhält man aus der Geradengleichung für U_1:

$$f_0 = \frac{0{,}71\text{V}}{0{,}00764\text{Vs}} = 93\ \text{Hz}.$$

Während der Messung wechselt die Spannung U_1 bei etwa 100 Hz das Vorzeichen. Beide Ergebnisse stimmen recht gut überein. Unterhalb dieser Frequenz kann durch den Messwiderstand, der die Fotozelle repräsentiert, kein positiver Strom fließen. Beim Fotoeffekt tritt ab der Grenzfrequenz an der Fotozelle keine Fotospannung auf. Die auf die Elektronen übertragene Energie reicht nicht aus, die benötigte Austrittsarbeit zu überwinden und die Fotozelle zu verlassen.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Fotoeffekt2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Spannungsquelle und des Messgerätes. Die Simulationsschaltung wird im Skript Fotoeffekt auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle und die Messgeräte ein. Stellen Sie den Schalter S1 auf T und S2 auf U_2. Drehen Sie das Potentiometer PT ganz zu, so dass der Multivibrator in der höchsten Frequenz schwingt. Stellen Sie an der Spannungsquelle die Betriebsspannung so ein, dass das Voltmeter ungefähr U = 4,5 V anzeigt.
4. Drehen Sie das Potentiometer PT auf eine mittlere Position und starten Sie die Messung. Sie dauert nur t = 20 ms.
5. Setzen Sie den Schalter S2 auf die Position U_1 und wiederholen Sie die Messung.
6. Nehmen Sie die Kurven auch bei einer anderen Frequenz auf.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven. Benutzen Sie den Artikel Fotoeffekt auf der oben angegebenen Webseite. Vergleichen Sie die Vorgänge mit denen beim Fotoeffekt.
b. Bestimmen Sie die Frequenz und den Mittelwert für U_1 und U_2. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den Messergebnissen aus Versuch 1.

Beobachtung
Man erhält z. B. folgende Messkurven.

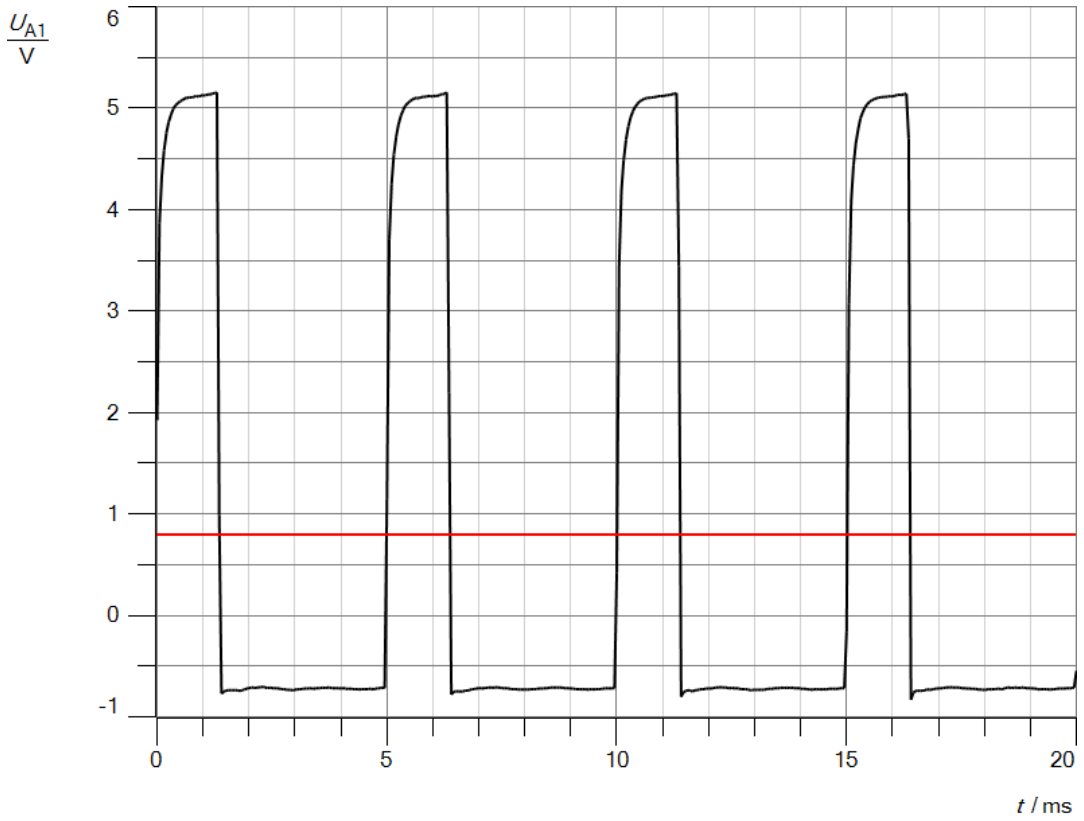


Abb. 1a: Verlauf der Spannung U_1

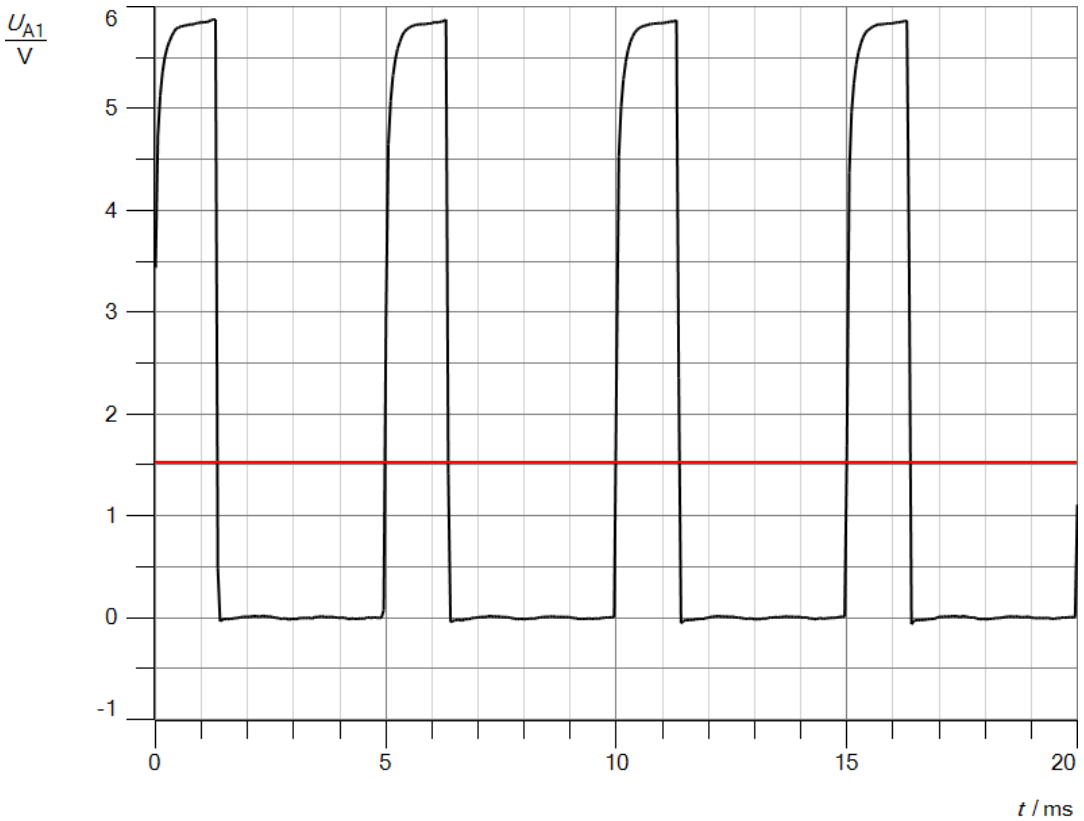


Abb. 1b: Verlauf der Spannung U_2

Auswertung

a. Die Schaltung besteht aus einem Multivibrator. Er erzeugt an seinem Ausgang fast rechteckförmige Spannungsimpulse, wie man den Messkurven entnehmen kann. Verringert man die Frequenz, so nimmt der zeitliche Abstand zwischen den einzelnen Impulsen zu, die Breite der Impulse bleibt gleich. Die Spannung dieser Impulse wird in der Schalterstellung U_2 gegen den Pluspol als Bezugspunkt gemessen, in der Position 1 gegen ein Bezugspotential, das um die Durchlassspannung einer Diode von etwa 0,7 V nach unten versetzt ist. Die Diode repräsentiert die Austrittsarbeit beim Fotoeffekt. Die Spannung U_2 entspricht beim Fotoeffekt der insgesamt von den Photonen auf die Elektronen übertragenen Energie, die Spannung U_1 der Spannung an der Fotozelle. Die Schaltung simuliert die Vorgänge beim Fotoeffekt quasi eins zu eins, nur in einem ganz anderen Frequenzbereich. Auch dort übertragen die Photonen stoßweise Energie auf die Elektronen in einem Metall, wobei jeder Energiestoß dem Planckschen Wirkungsquantum entspricht. Die Elektronen können das Metall verlassen, wenn die Energie ausreicht, die Austrittsarbeit zu überwinden. Mit der Simulationsschaltung kann man die Vorgänge mit der Lampe und dem Lautsprecher unmittelbar sehen und hören.

b. Der Multivibrator schaltet die Lampe und den Lautsprecher für die Zeit t_E = 1,37 ms ein und für die Zeit t_A = 3,63 ms aus. Man erhält für die Frequenz f

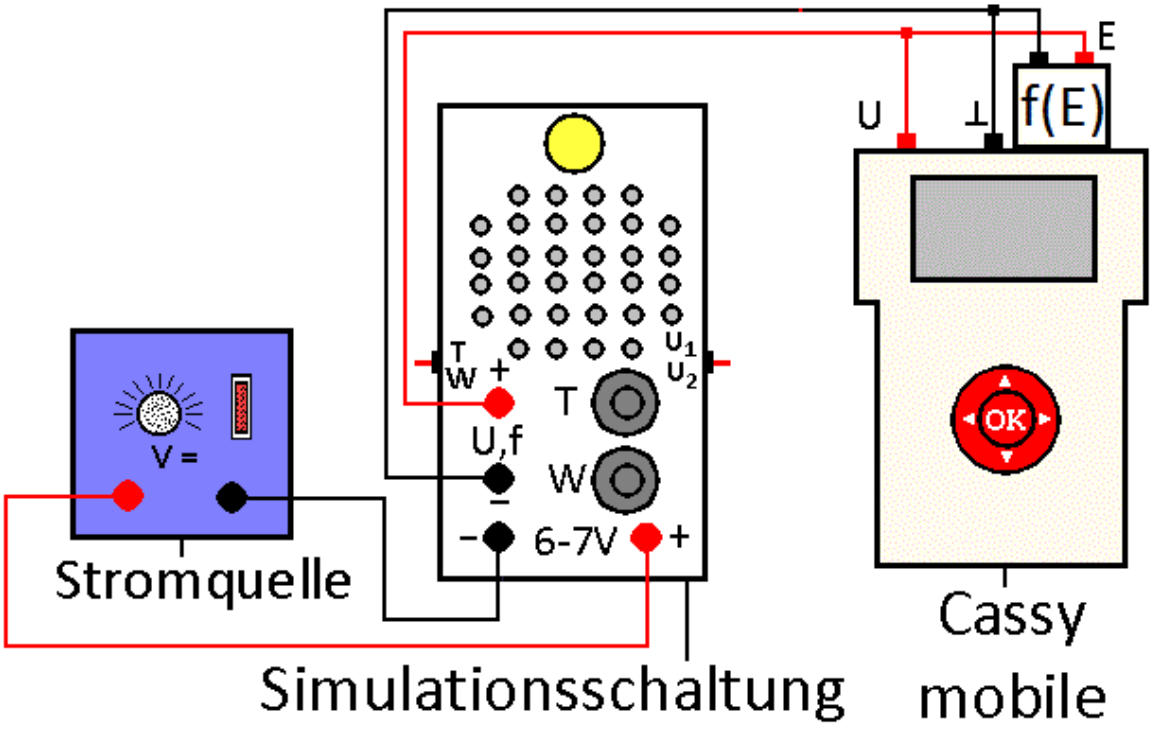
$$\mathrm{f} = \frac{1}{(t_E + t_{A)}} = \frac{1}{(1{,}37 + 3{,}63)\mathrm{ms}} = 200\ \mathrm{Hz}.$$

Die Mittelwerte der Spannungen U_1 und U_2 entsprechen den roten Linien in Abb.1a und Abb.1b. Sie betragen

$$U_1 = 0{,}80\mathrm{V}.$$
$$U_2 = 1{,}52\mathrm{V}.$$

Sie stimmen sehr gut mit den Messwerten in den Diagrammen aus Versuch 1 für diese Frequenz überein.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Fotoeffekt3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Spannungsquelle und des Messgerätes. Die Simulationsschaltung wird im Skript Fotoeffekt auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle und die Messgeräte ein. Stellen Sie den Schalter S1 auf W und S2 auf U_2. Drehen Sie das Potentiometer PW ganz zu, so dass der Multivibrator mit der höchsten Frequenz schwingt. Stellen Sie an der Spannungsquelle die Betriebsspannung so ein, dass das Voltmeter ungefähr U = 3 V anzeigt.
4. Setzen Sie den Schalter S2 wieder in die Position U_1. Drehen Sie das Potentiometer PW ganz zurück und erhöhen Sie mit ihm in etwa gleichen Schritten von 100 Hz die Frequenz von 100 Hz bis auf 500 Hz. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte, in dem Sie die OK-Taste drücken.
5. Stellen Sie den Schalter S2 in die Stellung U_2. Drehen Sie das Potentiometer PW schrittweise wieder zurück bis auf 100 Hz. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Beschreiben Sie das Verhalten der Lampe und des Lautsprechers und erklären Sie. Vergleichen Sie sie mit den Beobachtungen beim Fotoeffekt und beim Versuch 1.
b. Vergleichen Sie die beiden Spannungswerte miteinander und erklären Sie sie.

Beobachtung:
Die Lampe leuchtet stets gleich hell unabhängig von der Frequenz des Tones. Man erhält mit den Digitalmultimetern folgende Messtabelle

f[Hz]	502	401	300	200	100
U_1[V]	2,33	2,38	2,45	2,42	2,47
U_2[V]	3,06	3,11	3,18	3,16	3,19

und mit cassy mobile folgende Messkurve.

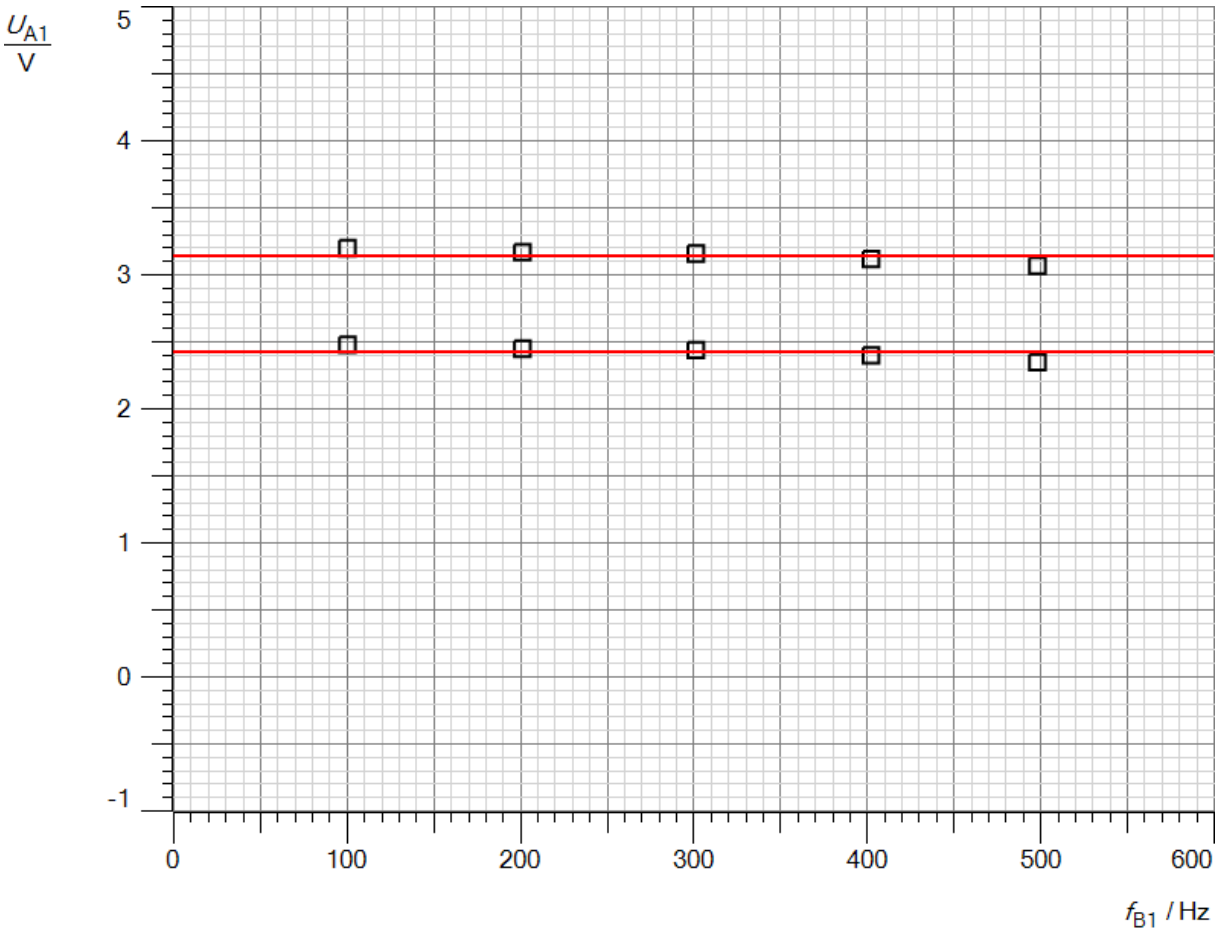


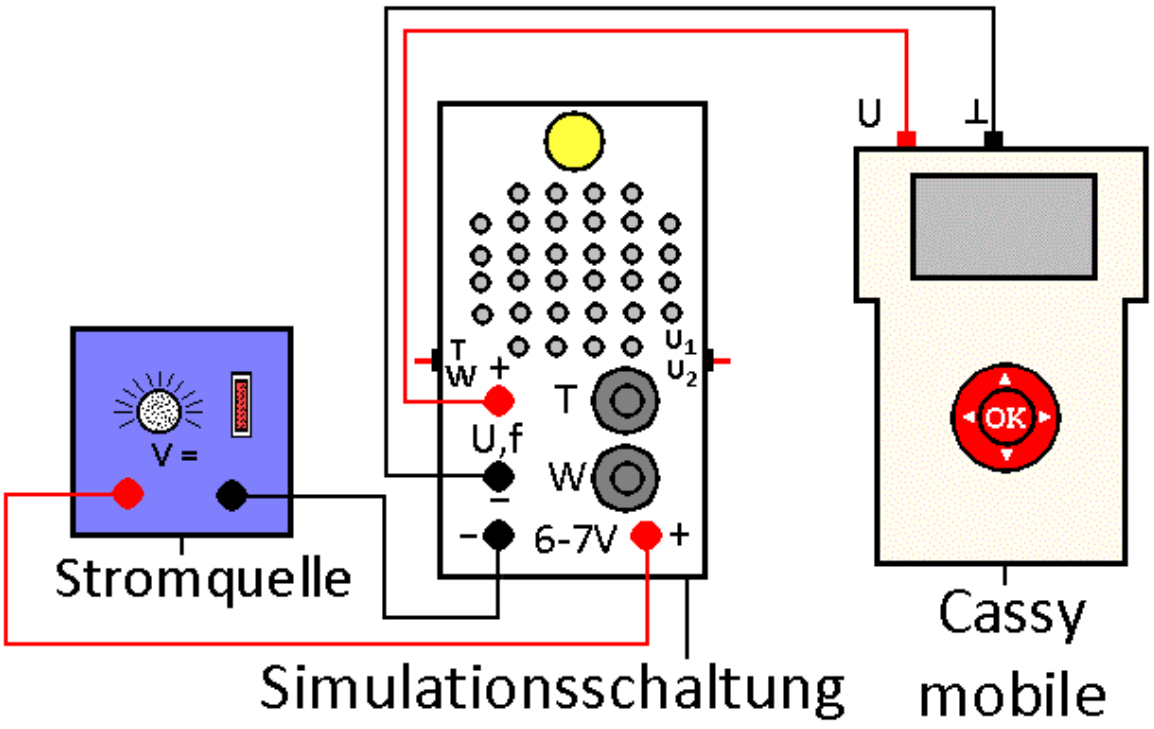
Abb.1: Messkurve

Auswertung:

a. Die Spannung am Messwiderstand bleibt nahezu konstant und ist unabhängig von der Frequenz, da die Elektronen durch eine symmetrische Schwingung angeregt werden. Die kleinen Abweichungen werden durch die Toleranzen der elektronischen Bauteile in beiden Zweigen verursacht, so dass die Ein- und Ausschaltzeiten des Multivibrators nicht genau gleich lang sind. Dieses Ergebnis würde man beim Fotoeffekt erhalten, wenn die Elektronen im Metall durch die elektromagnetische Welle kontinuierlich wie bei einer Schwingung angeregt würden.

b. Die Spannungswerte für U_2 sind um etwa 0,7 V höher als die für U_1, da die Spannung U_2 gegen den Pluspol und nicht gegen das Bezugspotential der Diode gemessen wird. U_2 entspricht der Gesamtenergie der Elektronen, U_1 der kinetischen Energie.

Versuch 4:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Fotoeffekt4.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Spannungsquelle und des Messgerätes. Die Simulationsschaltung wird im Skript Fotoeffekt auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle und die Messgeräte ein. Stellen Sie den Schalter S1 auf W und S2 auf U_2. Drehen Sie das Potentiometer PW ganz zu, so dass der Multivibrator in der höchsten Frequenz schwingt. Stellen Sie an der Spannungsquelle die Betriebsspannung so ein, dass das Voltmeter ungefähr U = 3 V anzeigt.
4. Drehen Sie das Potentiometer PW auf eine mittlere Position und starten Sie die Messung. Sie dauert nur t = 20 ms.
5. Setzen Sie den Schalter S2 auf die Position U_1 und wiederholen Sie die Messung.
6. Nehmen Sie die Kurven auch bei einer anderen Frequenz auf.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven. Benutzen Sie den Artikel Fotoeffekt auf der oben angegebenen Webseite. Vergleichen Sie die Vorgänge mit denen beim Fotoeffekt.
b. Ermitteln Sie aus den Messkurven die Frequenz und den Mittelwert der Spannung U_1 bzw. U_2. Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse mit den Messergebnissen aus Versuch 3.

Beobachtung:
Man erhält für U_1 z.B. die Messkurve in Abb.1. Die Kurve für U_2 zeigt den gleichen Verlauf, ist nur um etwa 0,7 V nach oben verschoben. Bei allen Frequenzen sind die Ein- und Ausschaltzeiten stets fast gleich.

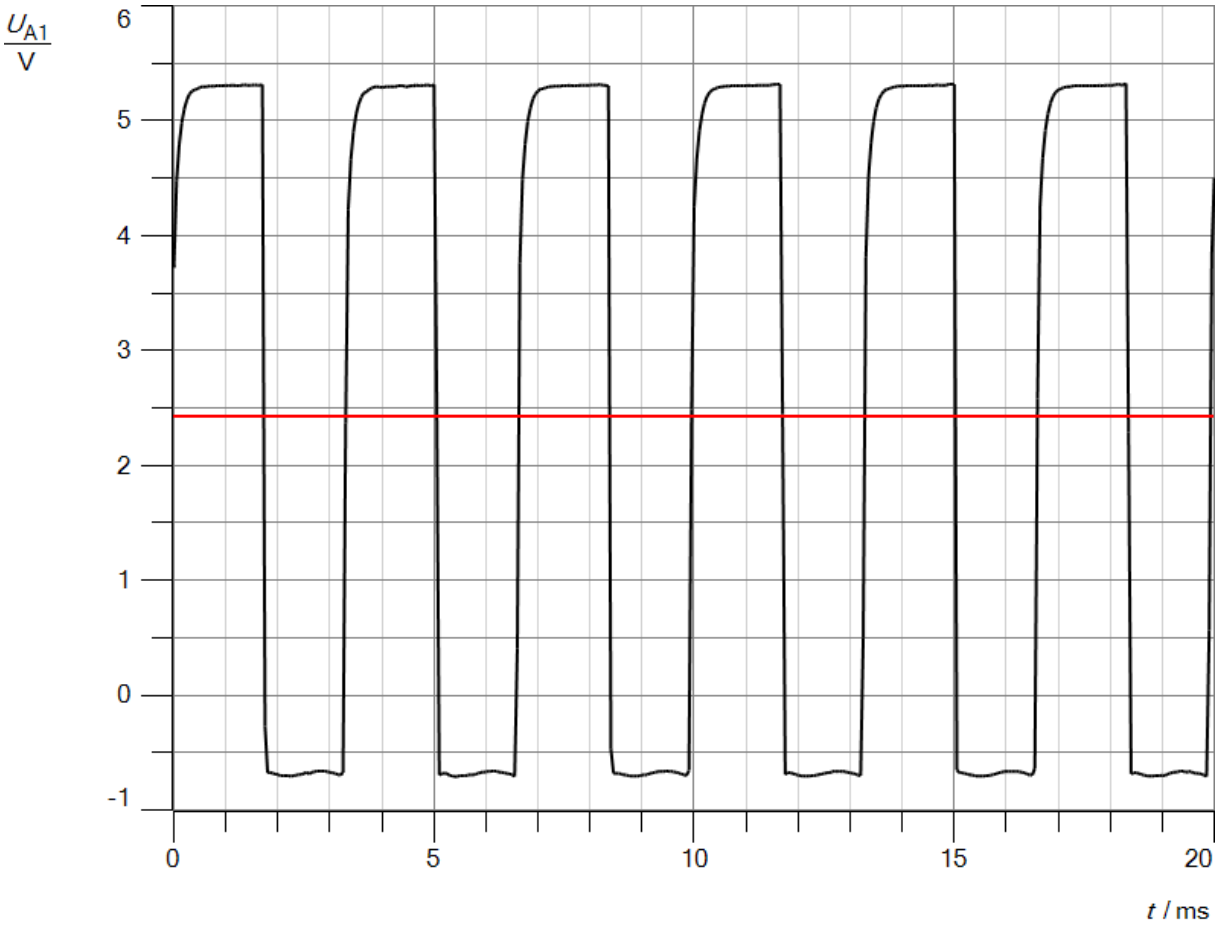


Abb.1: Messkurve für U_1

Auswertung:

a. Die Schwingung verläuft fast symmetrisch, d.h. Ein- und Ausschaltzeit sind nahezu gleich. Die Energie wird wie in einer Schwingung symmetrisch auf die Elektronen übertragen. Dieses Ergebnis würde man beim Fotoeffekt erhalten, wenn die Elektronen im Metall durch die elektromagnetische Welle kontinuierlich wie bei einer Schwingung angeregt würden.

b. Die Einschaltzeit beträgt t_E = 1,72 ms, die Ausschaltzeit t_A = 1,58 ms. Man erhält für die Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{(t_E + t_{A)}} = \frac{1}{(1{,}72 + 1{,}58)\mathrm{ms}} = 303\ \mathrm{Hz}.$$

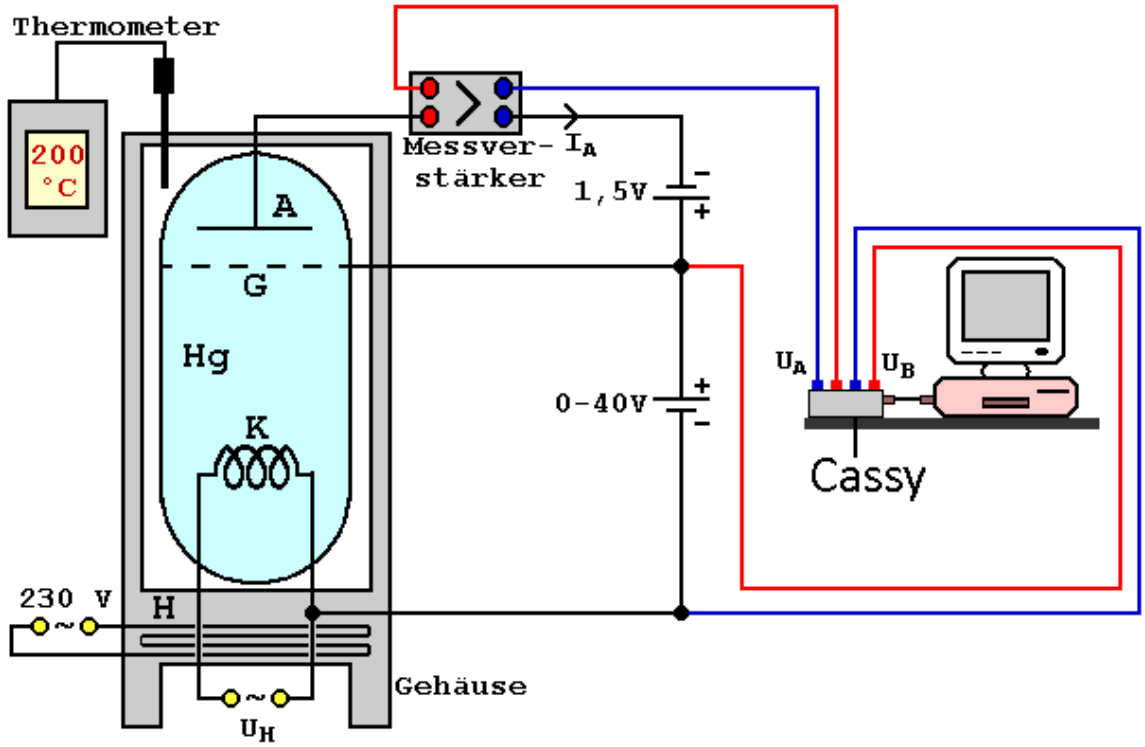
Der Mittelwert der Spannung U_1 entspricht der roten Linie in Abb.1 und beträgt

$$\mathrm{U} = 2{,}43\mathrm{V},$$

in sehr guter Übereinstimmung mit den Ergebnissen aus Versuch 3.

Franck-Hertz

Versuch:



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Beachten Sie die Versuchsanleitung zum Franck-Hertz-Versuch.
2. Heizen Sie den Ofen auf T = 180°C- 190 °C.
3. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Franckhertz.labx“ im Ordner Physik. Sie benötigen das große cassy und die Software cassy lab2.
4. Starten Sie die Messung.
5. Sollte die Kurve keine Maxima aufweisen, regulieren Sie die Beschleunigungsspannung U_B bzw. die Empfindlichkeit des Messverstärkers nach.
6. Wenn die Kurve den erwarteten Verlauf zeigt, stoppen Sie die Messung. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie den Versuchsaufbau des Franck-Hertz-Versuches.
b. Beschreiben und erläutern Sie die Messkurve.
c. Deuten Sie die erhaltene Messkurve mit dem Bohrschen Atommodell. Erläutern Sie, warum das Ergebnis so wichtig für die Quantenphysik ist.
d. Ermitteln Sie einen Mittelwert für die Spannungsdifferenz zwischen zwei Maxima bzw. Minima.
e. Errechnen sie die Frequenz und Wellenlänge des ausgesandten Lichtes und erläutern Sie, in welchem Bereich die Strahlung liegt.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve.

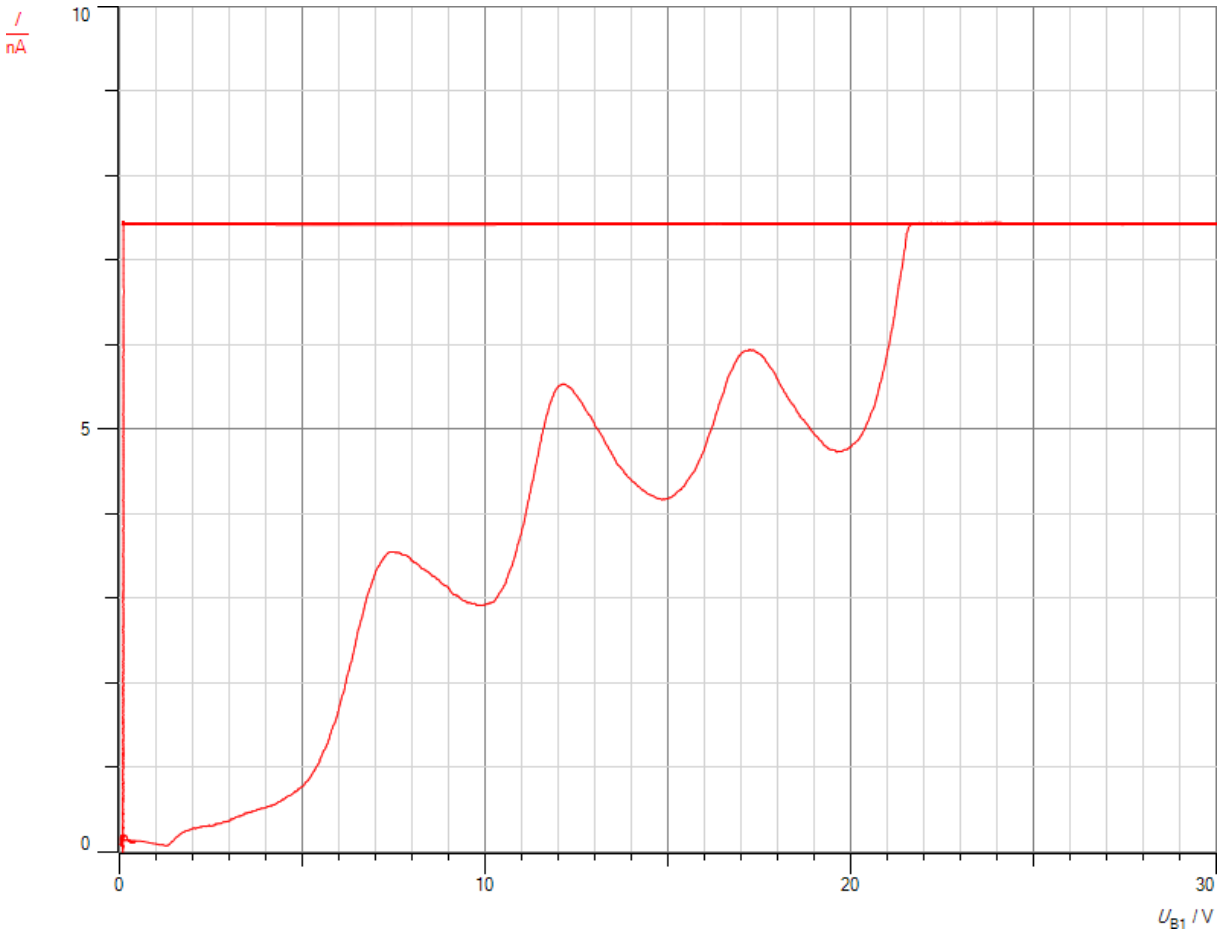


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Beim Franck-Hertz-Versuch wird in einem Heizofen Quecksilberdampf Hg erzeugt. Die Quecksilberatome werden mit Elektronen beschossen, die aus einer Glühkathode K freigesetzt werden. Sie werden durch eine Spannung zur Anode A beschleunigt, die sägezahnartig ansteigt und abfällt. Damit die Elektronen die Anode erreichen können, müssen sie eine Mindestenergie besitzen, um die Gegenspannung zwischen Gitter G und Anode A überwinden zu können. Daher sollte man erwarten, dass nach dem Ohmschen Gesetz die Stromstärke linear zur Spannung zunehmen sollte. Da sie sehr klein ist, kann man sie nicht direkt mit einem Amperemeter messen. Sie wird verstärkt und durch den Messverstärker in eine proportionale Messspannung umgewandelt.
b. Die Stromkurve weist bei bestimmten Beschleunigungsspannungen Maxima und Minima auf. Sie steigt keinesfalls proportional mit der Beschleunigungsspannung U_B.
c. Die Elektronen führen bei bestimmten Beschleunigungsspannungen mit den Quecksilberatomen keine elastischen Stöße sondern unelastische Stöße aus. Bei diesen übertragen Sie ihre gesamte kinetische Energie auf Elektronen in den Quecksilberatomen. Sie erreichen die Anode nicht mehr, da sie zu wenig Energie besitzen, die Gegenspannung zwischen dem Gitter G und der Anode A zu überwinden. Der Strom bricht zusammen. Bei der doppelten Beschleunigungsspannung können Sie zwei Quecksilberatome anregen, bei der dreifachen drei usw. Ein Elektron im Quecksilberatom wird in einen höheren Energiezu-

stand angeregt, in dem es aber nur kurze Zeit verweilt. Es gibt seine überschüssige Energie ab, in dem es ein Lichtquant aussendet. Bis zum Versuch von Franck und Hertz war man der Meinung, dass die Elektronen in den Quecksilberatomen beliebige Energien besitzen und absorbieren können. Das Versuchsergebnis zeigt, dass sie nur bestimmte Energiewerte annehmen können. Sie bewegen sich nicht auf beliebigen Bahnen um den positiven Atomkern, sondern auf diskreten Bahnen und nur zwischen diesen können sie hin und her springen. Wechseln Sie auf eine höher gelegene Bahn, so müssen sie Energie von außen absorbieren, da sie die Anziehungskraft der Protonen im Kern überwinden müssen. Fallen Sie auf eine tiefer gelegene Bahn, so geben sie ihre überschüssige Energie in Form von Licht ab.

d. Die Maxima liegen bei folgenden Beschleunigungsspannungen:
U_1 = 7,49 V, U_3 = 12,21 V, U_5 = 17,27 V,
die Minima bei
U_2 = 9,96 V, U_4 = 14,96 V, U_6 = 19,74 V.
Daraus ergibt sich eine mittlere Spannungsdifferenz zwischen zwei Maxima bzw. Minima von ΔU_B = 4,89 V.

e. Nach Planck erhält man für die Frequenz f der ausgesandten Strahlung mit e als Elementarladung und h als Planckschem Wirkungsquantum

$$f = \frac{E}{h} = \frac{e * \Delta U_B}{h} = \frac{1{,}6 * 10^{-19} C * 4{,}89 V}{6{,}63 * 10^{-34} Js} = 1{,}18 * 10^{15} Hz.$$

Für die Wellenlänge ergibt sich

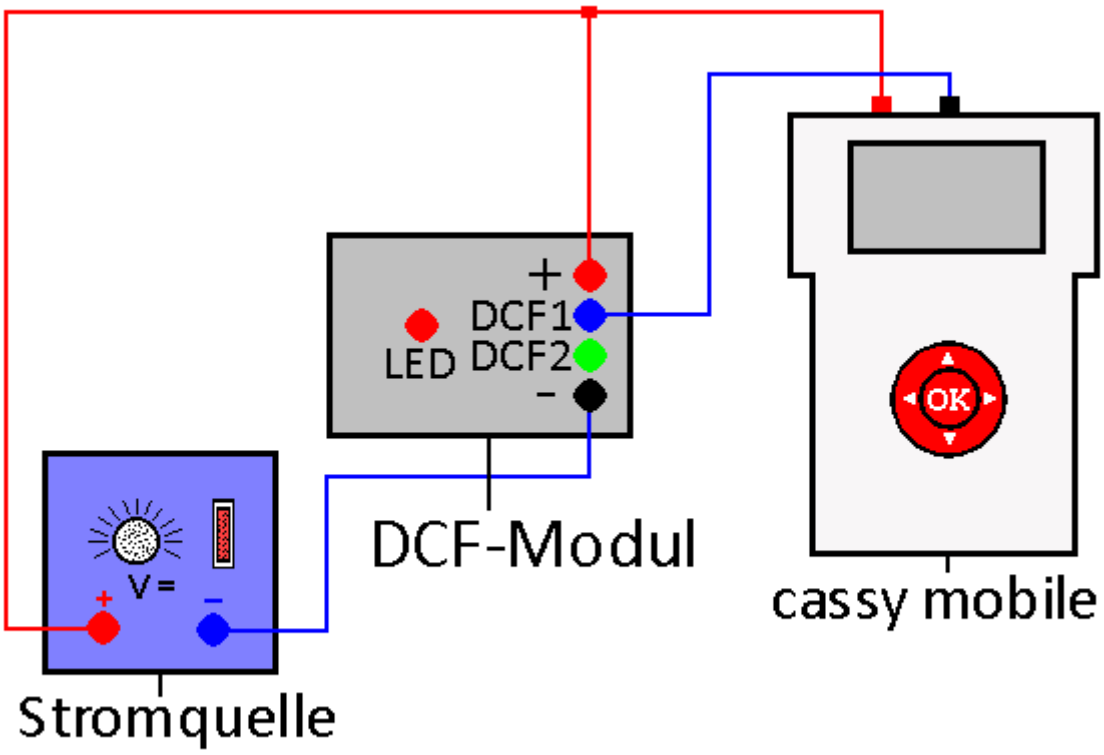
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^{8} m/s}{1{,}18 * 10^{15} Hz} = 2{,}54 * 10^{-7} m = 254 nm.$$

Es handelt sich um UV-Licht.

Elektrik

Funkuhr

Versuch:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Funkuhr.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung des DCF-Moduls. Das DCF-Modul wird im Skript Schwingquarz auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle ein und legen Sie eine geglättete Gleichspannung U = 5 V an.
4. Warten Sie bis die LED am Modul für eine Sekunde nicht leuchtet. Zählen Sie 21 Impulse ab und starten Sie cassy mobile. Stoppen Sie cassy mobile nach ca. 40 Sekunden. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Beschreiben und deuten Sie die Messkurve. Erkundigen Sie sich im oben genannten Skript, wie die Zeit- und Datumsinformation übertragen wird.
b. Werten Sie das Diagramm mit Hilfe des Kodierverfahrens der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt PTB aus, in dem Sie die Impulse in Pakete unterteilen und die einzelnen Ziffern des Signals ermitteln.
c. Bringen Sie die Ziffern in die richtige Reihenfolge. Sie erhalten so die Uhrzeit, das Datum und den Wochentag. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem aktuellen Datum und der aktuellen Uhrzeit.

d. Erkundigen Sie sich im oben genannten Skript, wie eine Funkuhr im Einzelnen aufgebaut ist.

Beobachtung:
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

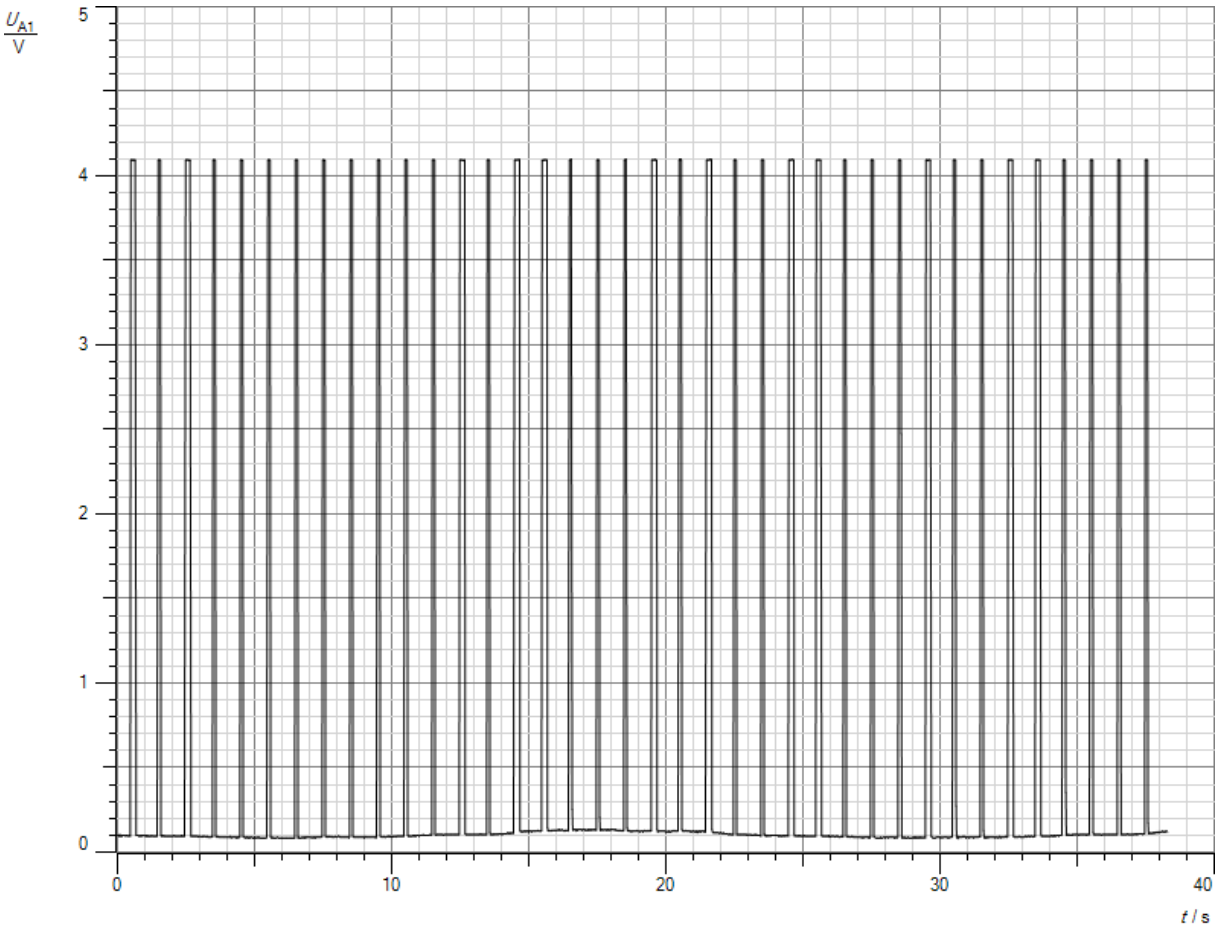


Abb.1: Messkurve

Auswertung:

a) Die gesamte Zeitinformation wird während einer Minute übertragen. Jeder Sekunde ist dabei ein Bit an Information zugeordnet. Besitzt das Bit den Wert Null, so wird zu Beginn der betreffenden Sekunde die Amplitude der Trägerfrequenz für t_0 = 100 ms auf 25% ihres Maximalwertes abgesenkt, bei einer 1 als Informationseinheit für t_1 = 200 ms. Nach der Demodulation im Empfänger und der Invertierung des Signals liegen die Informationen als eine Folge von 60 kurzen bzw. langen Impulsen vor (s. Messkurve). Für die Zeit- und Datumsangabe sind nur die Bits 21-58 von Bedeutung. Die anderen enthalten technische Zusatzinformationen.

b) Unterteilt man die Bitfolge mit Tabelle 1 in die entsprechenden Abschnitte, so ergibt sich die folgende duale Zahlenkette:

   1010|000|1|0000|10|1|1000|10|100|1100|0|1001|1000|0

   Übersetzt man die Binärzahlen in die Dezimalschreibweise, so erhält man

   5|0|P|0|1|P|1|1|1|3|0|9|1|P

   Die P-Bits enthalten als Prüfbits keine für das Datum relevanten Informationen.

c) Sortiert man die Ziffern in der richtigen Reihenfolge, so bekommt man für die Uhrzeit, das Datum und den Wochentag:

10:05 Uhr, Mo: 11.03.19.

Das entspricht dem Datum und der Uhrzeit während der Aufzeichnung der Kurve.

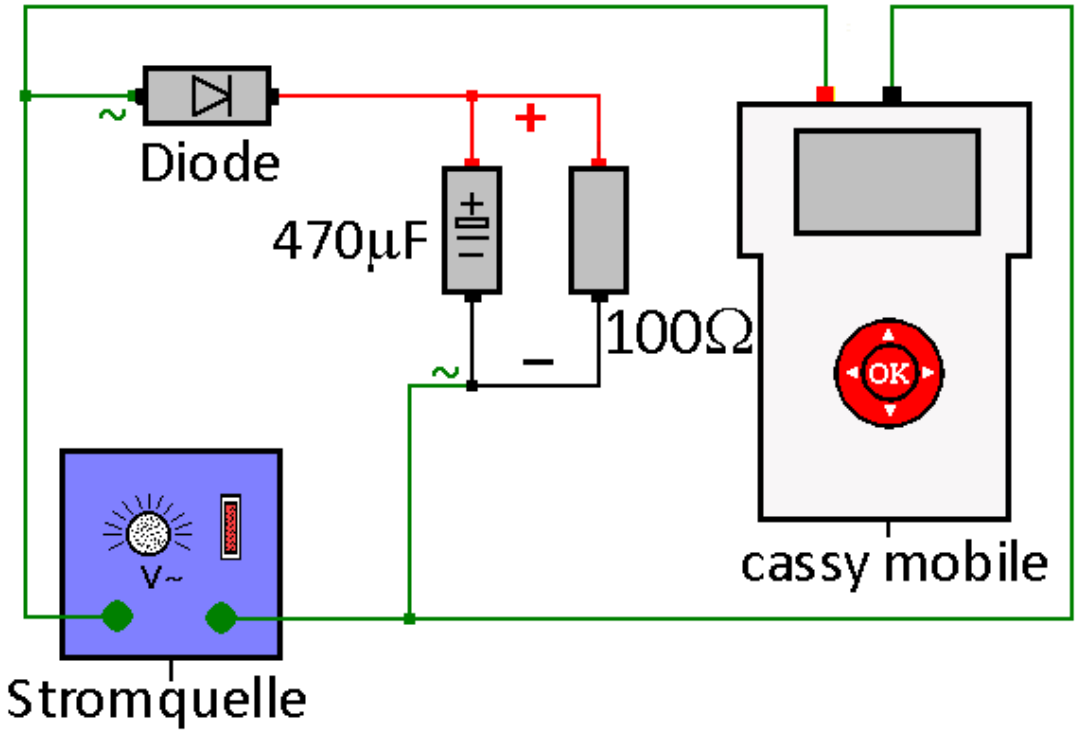
d) Wie eine Funkuhr aufgebaut ist, kann man im oben genannten Skript nachlesen.

Bit Nr.	Binärwert	Dezimalwert	Bedeutung
21	0,1	0,1	**Minuten Einerstelle**
22	0,1	0,2	
23	0,1	0,4	
24	0,1	0,8	
25	0,1	0,10	**Minuten Zehnerstelle**
26	0,1	0,20	
27	0,1	0,40	
28	0,1	0,1	**Prüfbit**
29	0,1	0,1	**Stunden Einerstelle**
30	0,1	0,2	
31	0,1	0,4	
32	0,1	0,8	
33	0,1	0,10	**Stunden Zehnerstelle**
34	0,1	0,20	
35	0,1	0,1	**Prüfbit**
36	0,1	0,1	**Tag Einerstelle**
37	0,1	0,2	
38	0,1	0,4	
39	0,1	0,8	
40	0,1	0,10	**Tag Zehnerstelle**
41	0,1	0,20	
42	0,1	0,1	**Wochentag**
43	0,1	0,2	
44	0,1	0,4	
45	0,1	0,1	**Monat Einerstelle**
46	0,1	0,2	
47	0,1	0,4	
48	0,1	0,8	
49	0,1	0,10	**Monat Zehnerstelle**
50	0,1	0,1	**Jahr Einerstelle**
51	0,1	0,2	
52	0,1	0,4	
53	0,1	0,8	
54	0,1	0,10	**Jahr Zehnerstelle**
55	0,1	0,20	
56	0,1	0,40	
57	0,1	0,80	
58	0,1	0,1	**Prüfbit**

Tabelle1: Kodierverfahren der PTB für die Zeit- und Datumsangabe

Gleichrichter

Versuch1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Einweg.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Diode und des Kondensators.
3. Legen Sie eine Wechselspannung U = 6 V an.
4. Starten Sie die 1. Messung. Der Messvorgang ist nach 100 ms beendet. Speichern Sie die Kurve.
5. Schließen Sie den Spannungseingang von cassy mobile an die Punkte + und – der Schaltung an. Achten Sie auf die richtige Polung.
6. Starten Sie die 2. Messung. Sie dauert nur 100 ms. Speichern Sie die Kurve.
7. Entfernen Sie den Kondensator aus der Schaltung.
8. Starten Sie die 3. Messung. Sie braucht nur 100 ms. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Vergleichen Sie die drei Messkurven miteinander und erklären Sie sie.
b. Verfolgen Sie den Weg des Stromes durch die Diode während der beiden Halbphasen der Wechselspannung (s. Abb. 1). Erklären Sie, warum am Ausgang eine pulsierende Gleichspannung vorliegt.
c. Erläutern und erklären Sie, welche Bedeutung der Kondensator hat. Überprüfen Sie Ihre Vermutung, indem Sie die Messung mit einem Kondensator mit C = 100 µF wiederholen. Erläutern Sie, welche Probleme durch einen zu kleinen Kondensator verursacht werden können.
d. Bestimmen Sie aus der Messkurve mit C = 470 µF die mittlere Spannung und die mittlere Stromstärke. Schätzen Sie die Überbrückungszeit des Kondensators ab. Berechnen Sie aus

diesen Werten die Welligkeit ΔU der Gleichspannung. Vergleichen Sie sie mit der Welligkeit in der Messkurve. Erklären Sie mögliche Abweichungen.

e. Ermitteln Sie aus der Kurve mit C = 100 µF die Welligkeit und vergleichen Sie sie mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe d.
f. Erkundigen Sie sich im Internet, wie man die Welligkeit der pulsierenden Gleichspannung komplett einebnen kann, so dass eine konstante Gleichspannung entsteht. Netzteile, bei denen das der Fall ist, nennt man stabilisierte Netzgeräte.
g. Erkundigen Sie sich im Internet, wo Einweggleichrichter verwendet werden.

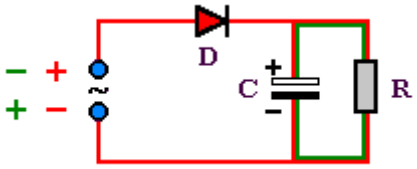
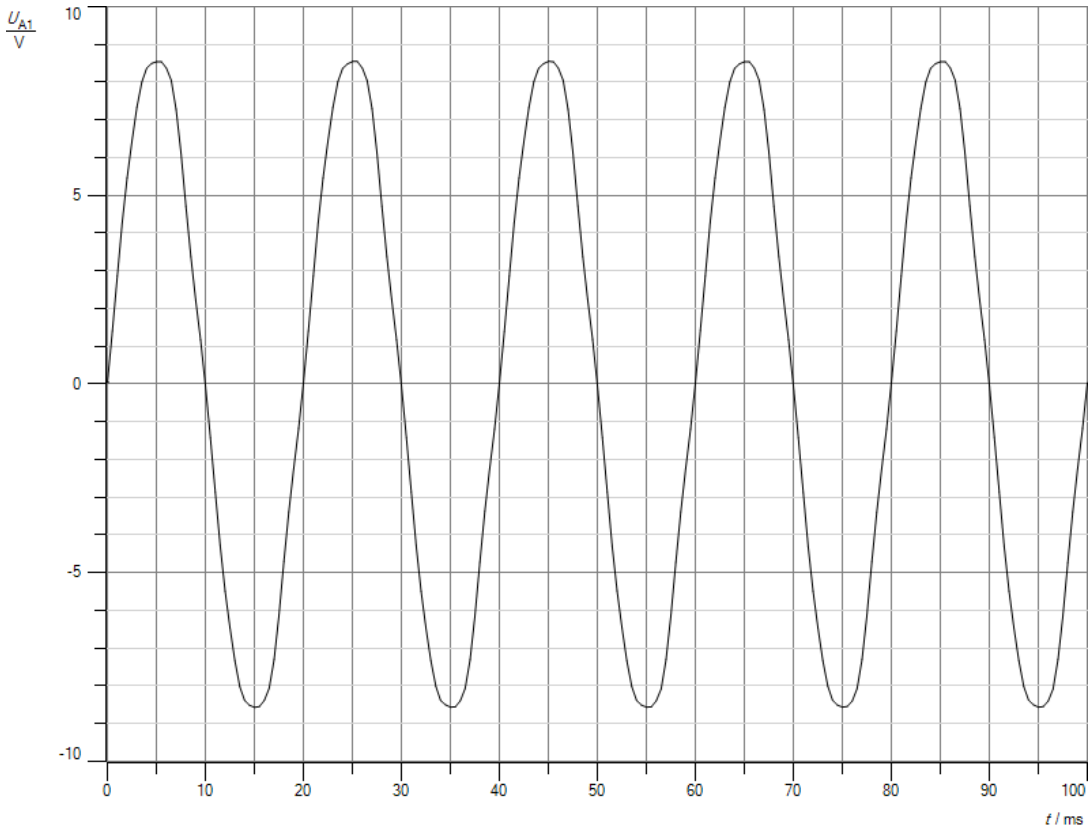
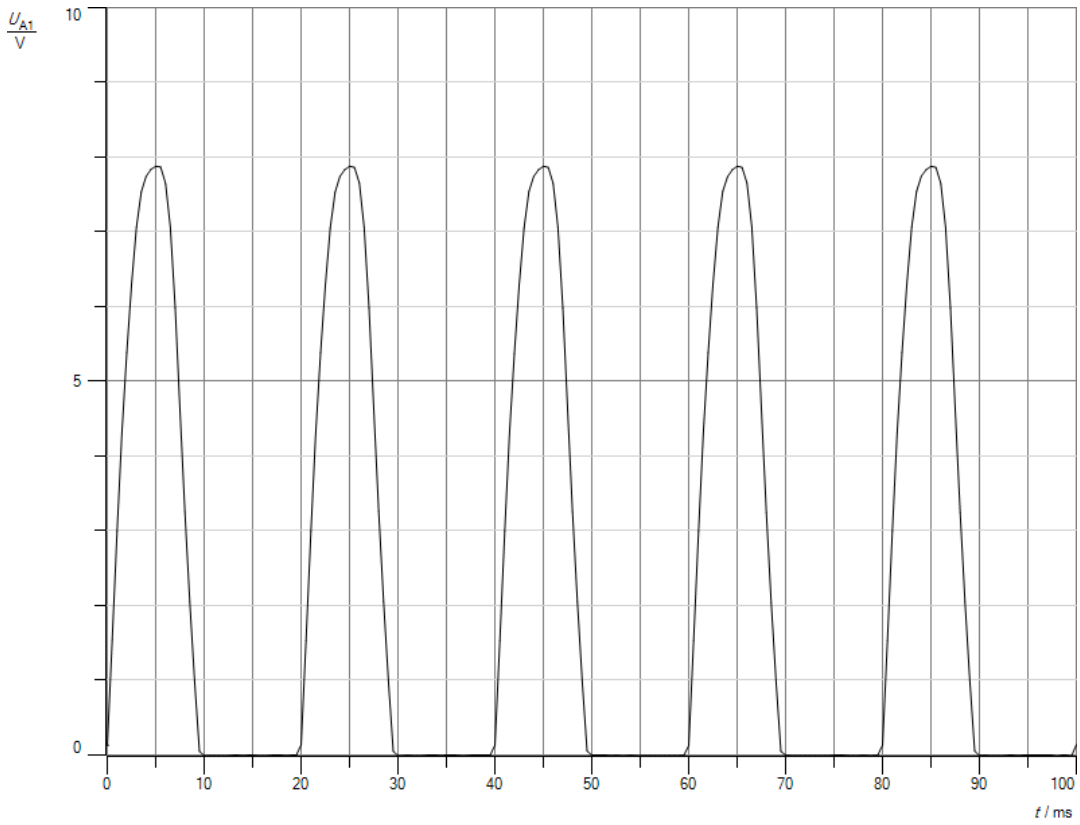


Abb.1: Einweggleichrichter

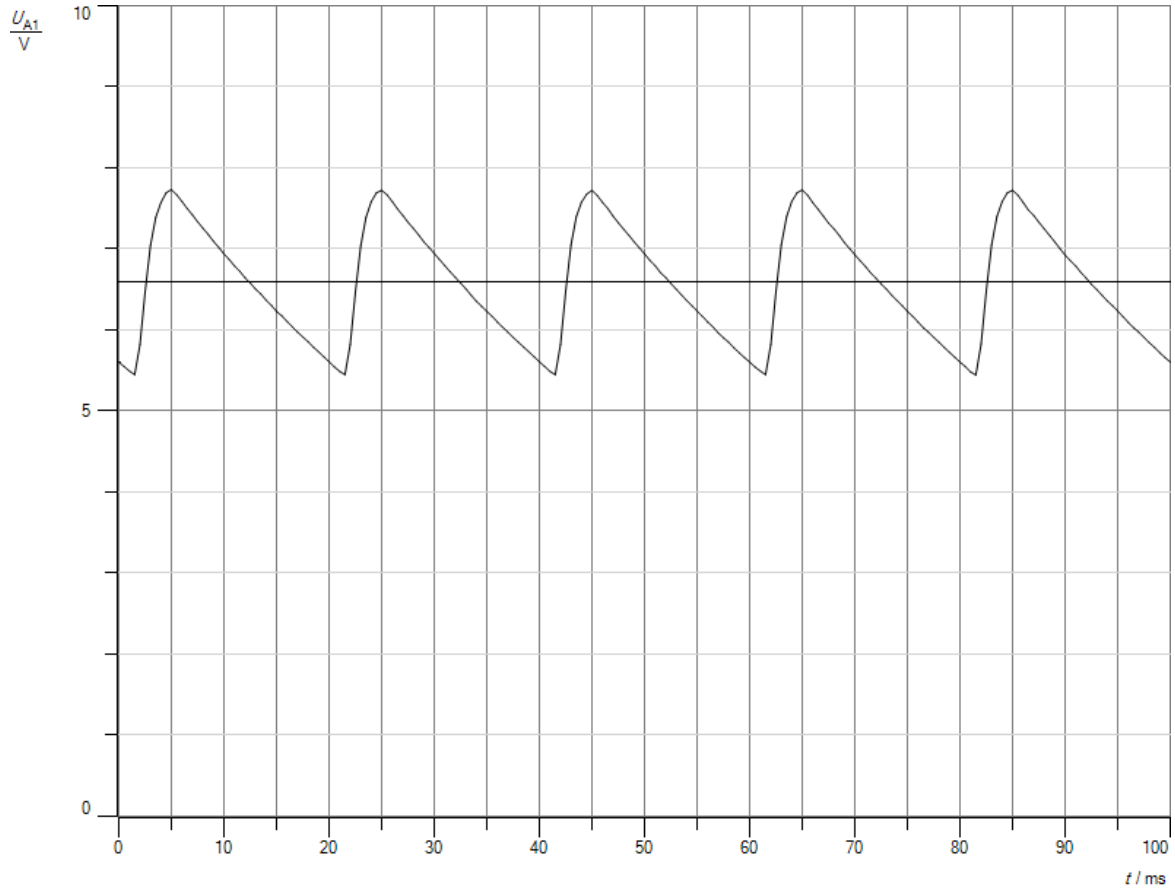
Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:



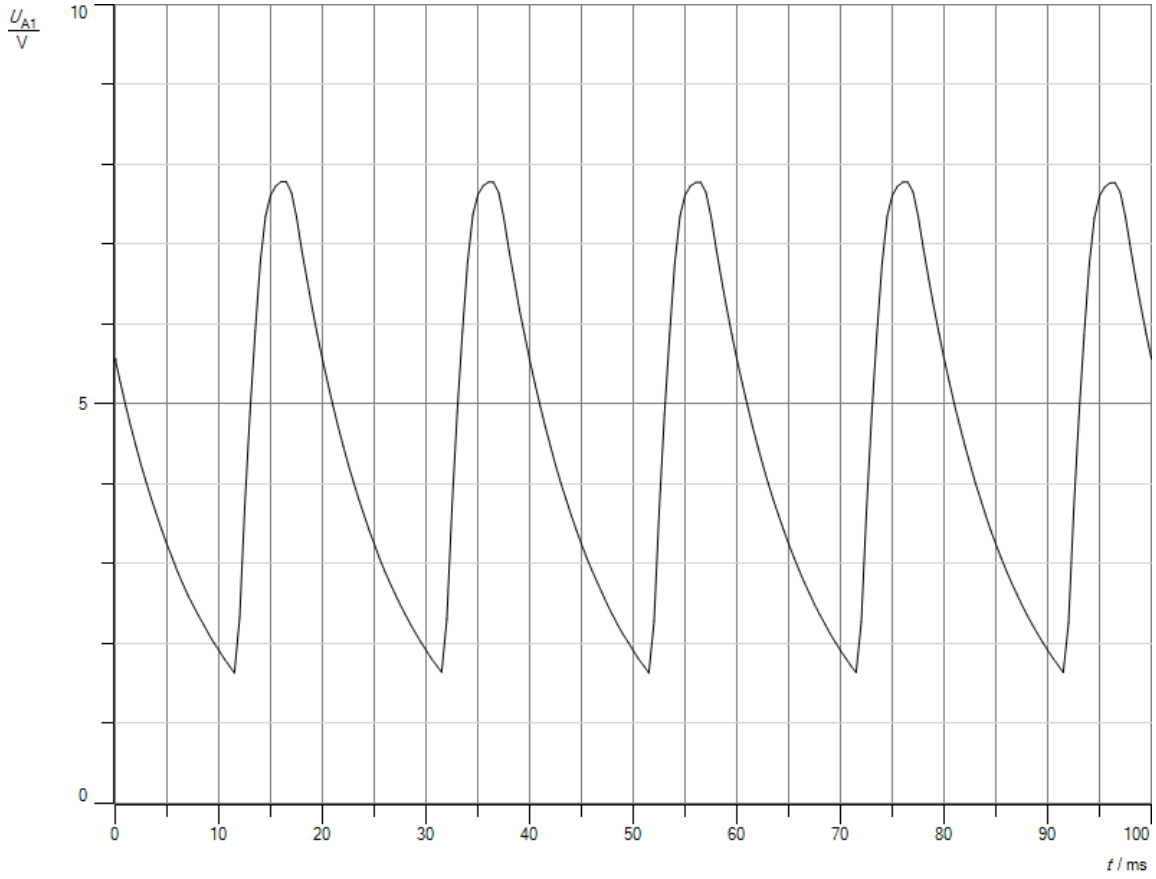
Messkurve 1: Eingangswechselspannung



Messkurve 2: pulsierende Gleichspannung



Messkurve 3: geglättete Gleichspannung mit C = 470 µF



Messkurve 4: geglättete Gleichspannung mit C = 100 µF

a. Die Eingangswechselspannung wird gleichgerichtet, d.h. die negativen Halbwellen werden abgeschnitten. Man erhält eine pulsierende Gleichspannung der gleichen Frequenz wie die Eingangswechselspannung. Ihre Amplitude ist etwas kleiner als die der Wechselspannung, weil der Strom in der positiven Halbwelle die Diode passieren muss. Dabei fällt an der Diode die Durchlassspannung von etwa U_D = 0,7 V ab je nach Stromstärke. Der dem Ausgang parallel geschaltete Kondensator glättet die pulsierende Gleichspannung und zwar umso besser, je größer seine Kapazität ist.
b. Liegt am oberen Pol der Wechselspannungsquelle der Pluspol an, in Abb. 1 rot eingezeichnet, so leitet die Diode D, im anderen Falle sperrt sie. Leitet die Diode, so lädt sich der Kondensator auf und durch den Lastwiderstand fließt Strom. Sperrt die Diode, so entlädt sich der Kondensator über den Widerstand R und hält so den Strom durch den Widerstand mehr oder weniger aufrecht. Am Verbraucherwiderstand R entsteht eine pulsierende Gleichspannung, die durch den Kondensator C teilweise geglättet wird.
c. Der Kondensator dient als Ladungsspeicher, um die Lücken in der pulsierenden Gleichspannung zu füllen. In den Hochphasen lädt er sich auf und in den Tiefphasen liefert er die Ladung für den Widerstand, so dass durch diesen während der ganzen Betriebsdauer ein nahezu konstanter Strom fließt. Ist er zu klein, besitzt die entstehende Gleichspannung eine hohe Restwelligkeit, die bei Beleuchtungen wie LEDs nicht stört, da das Auge die kleinen Helligkeitsschwankungen nicht registriert. Betreibt man dagegen mit einem solchen Gleichrichter ein akustisches Gerät, so macht sie sich als unangenehmes Brummen mit f = 50 Hz bemerkbar.
d. Man erhält eine mittlere Spannung U_m = 6,6 V. Für die mittlere Stromstärke gilt

$$I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{6{,}6V}{100\Omega} = 0{,}066A.$$

Die Überbrückungszeit des Kondensators beträgt ungefähr eine Halbperiode Δt = 0,01 s. Der Kondensator gibt während dieser Zeit eine Ladung

$$\Delta Q = I_m * \Delta t = 0{,}066A * 0{,}01s = 6{,}6 * 10^{-4}C$$

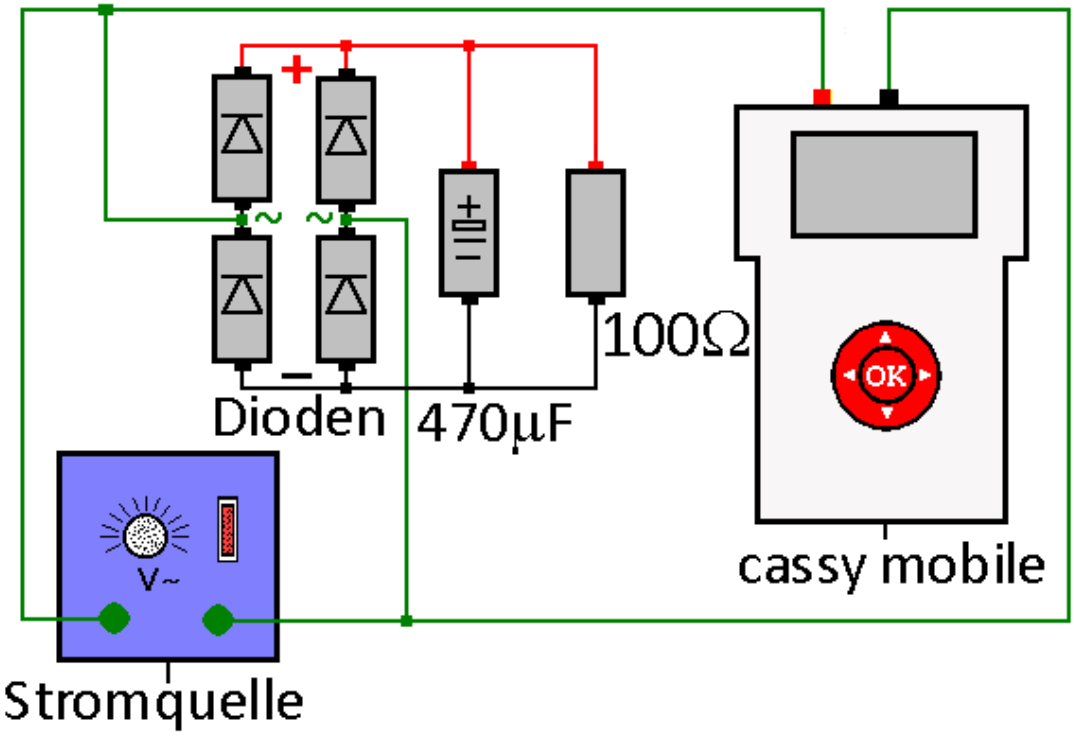
ab. Dadurch sinkt seine Spannung um

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{6{,}6 * 10^{-4}C}{4{,}7 * 10^{-4}F} = 1{,}4V.$$

Aus dem Diagramm in Messkurve 3 entnimmt man eine Welligkeit von ΔU = 1,2V. Die Abweichung zwischen beiden Werten kommt dadurch zustande, dass man die Überbrückungszeit des Kondensators wegen des Kurvenverlaufes nur in etwa angeben kann.
e. Aus der Kurve für C = 100 µF erhält man eine Welligkeit ΔU = 3 V. Sie ist deutlich höher als in Teilaufgabe d. Die mittlere Stromstärke ist zwar geringer, aber durch die viel kleinere Kapazität entlädt sich der Kondensator in der Überbrückungszeit deutlich stärker.
f. Man löst das Problem, in dem man dem Kondensator einen Spannungsregler nachschaltet, der die Ausgangsspannung auch unter Belastung konstant hält. Man spricht dann von einem stabilisierten Netzgerät.
g. Einweggleichrichter werden vor allem in Empfangsschaltungen für modulierte elektromagnetische Wellen eingesetzt, z.B. In Radios, Handys usw. Mit ihnen wird zunächst das

modulierte Hochfrequenzsignal gleichgerichtet. Anschließend filtert man aus der erhaltenen Halbwelle das Niederfrequenzsignal, das die Information enthält, heraus. Dabei kommt es nicht auf die Ausgangsleistung des Gleichrichters und seine Welligkeit an, da das Informationssignal zusätzlich verstärkt wird.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Zweiweg.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Dioden und des Kondensators.
3. Legen Sie eine Wechselspannung U = 6 V an.
4. Starten Sie die 1. Messung. Der Messvorgang ist nach 100 ms beendet. Speichern Sie die Kurve.
5. Schließen Sie den Spannungseingang von cassy mobile an die Punkte + und – der Schaltung an. Achten Sie auf die richtige Polung.
6. Starten Sie die 2. Messung. Sie dauert nur 100 ms. Speichern Sie die Kurve.
7. Entfernen Sie den Kondensator aus der Schaltung.
8. Starten Sie die 3. Messung. Sie braucht nur 100 ms. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Vergleichen Sie die drei Messkurven miteinander und erklären Sie sie.
b. Verfolgen Sie den Weg des Stromes durch das Diodenquartett während der beiden Halbphasen der Wechselspannung (s. Abb. 1). Erklären Sie, warum am Ausgang eine Gleichspannung vorliegt.
c. Erläutern und erklären Sie, welche Bedeutung der Kondensator hat. Überprüfen Sie Ihre Vermutung, indem Sie die Messung mit einem Kondensator mit C = 100 µF wiederholen. Erläutern Sie, welche Probleme durch einen zu kleinen Kondensator verursacht werden können.
d. Bestimmen Sie aus der Messkurve mit C = 470 µF die mittlere Spannung und die mittlere Stromstärke. Schätzen Sie die Überbrückungszeit des Kondensators ab. Berechnen Sie aus diesen Werten die Welligkeit ΔU der Gleichspannung. Vergleichen Sie sie mit der Welligkeit in der Messkurve. Erklären Sie mögliche Abweichungen.

e. Ermitteln Sie aus der Kurve mit C = 100 µF die Welligkeit und vergleichen Sie sie mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe e.
f. Vergleichen Sie die Welligkeiten mit denen in Versuch 1.
g. Erkundigen Sie sich im Internet, wo Zweiweggleichrichter verwendet werden.
h. Überlegen Sie, was in einer LED-Lampe für 230V dem Gleichrichter vorgeschaltet sein muss. LEDs benötigen eine Gleichspannung U = 3 V.

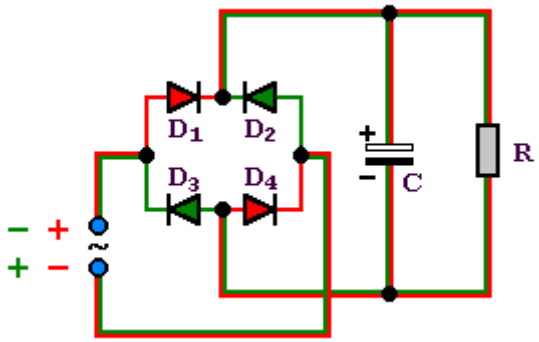
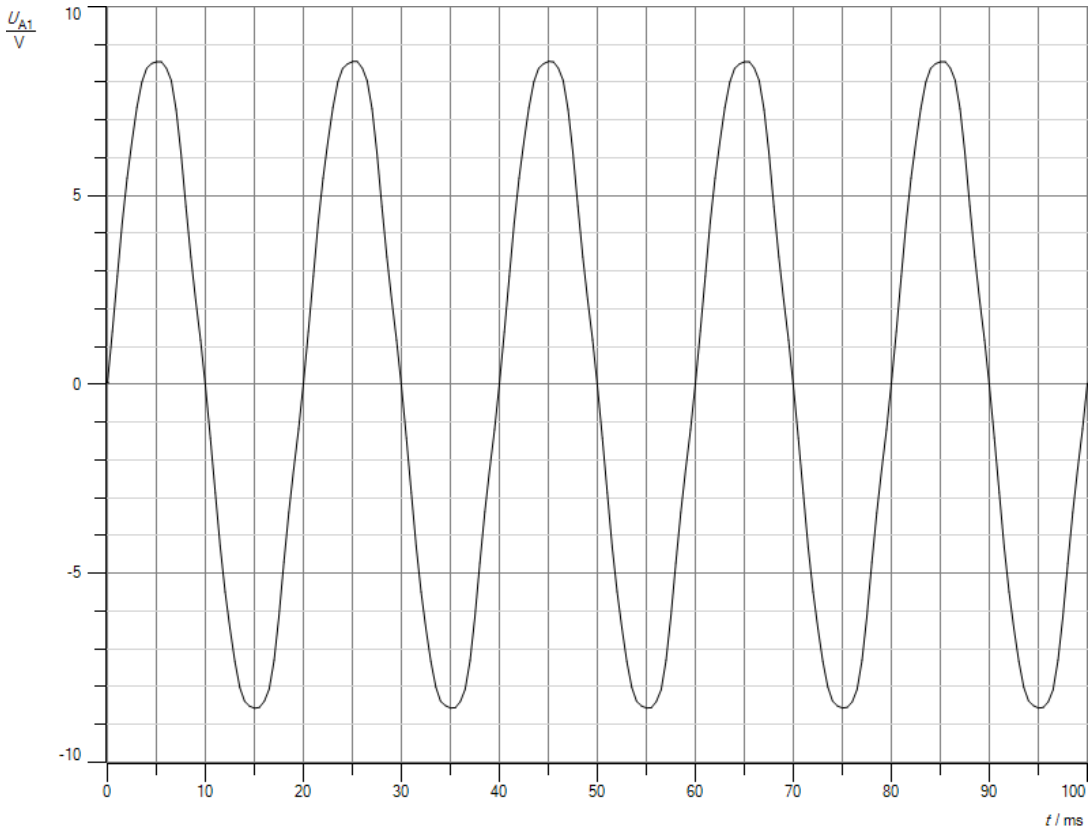


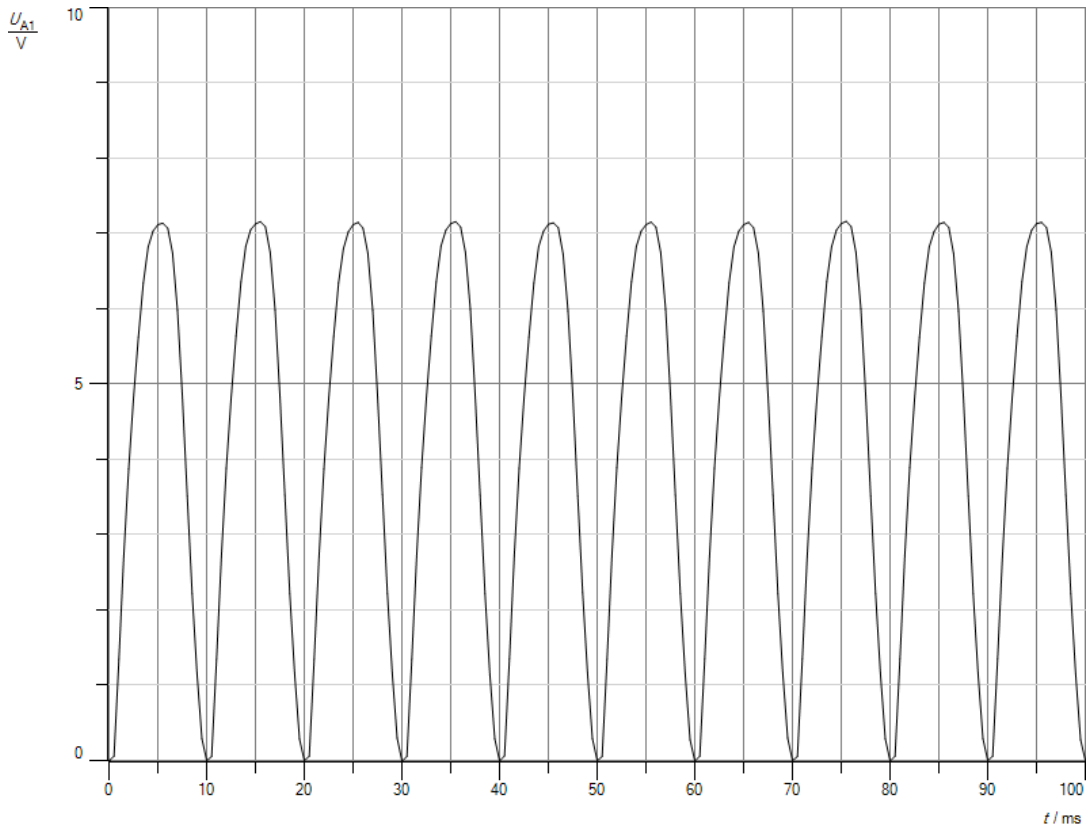
Abb. 1: Zweiweggleichrichter

Beobachtung

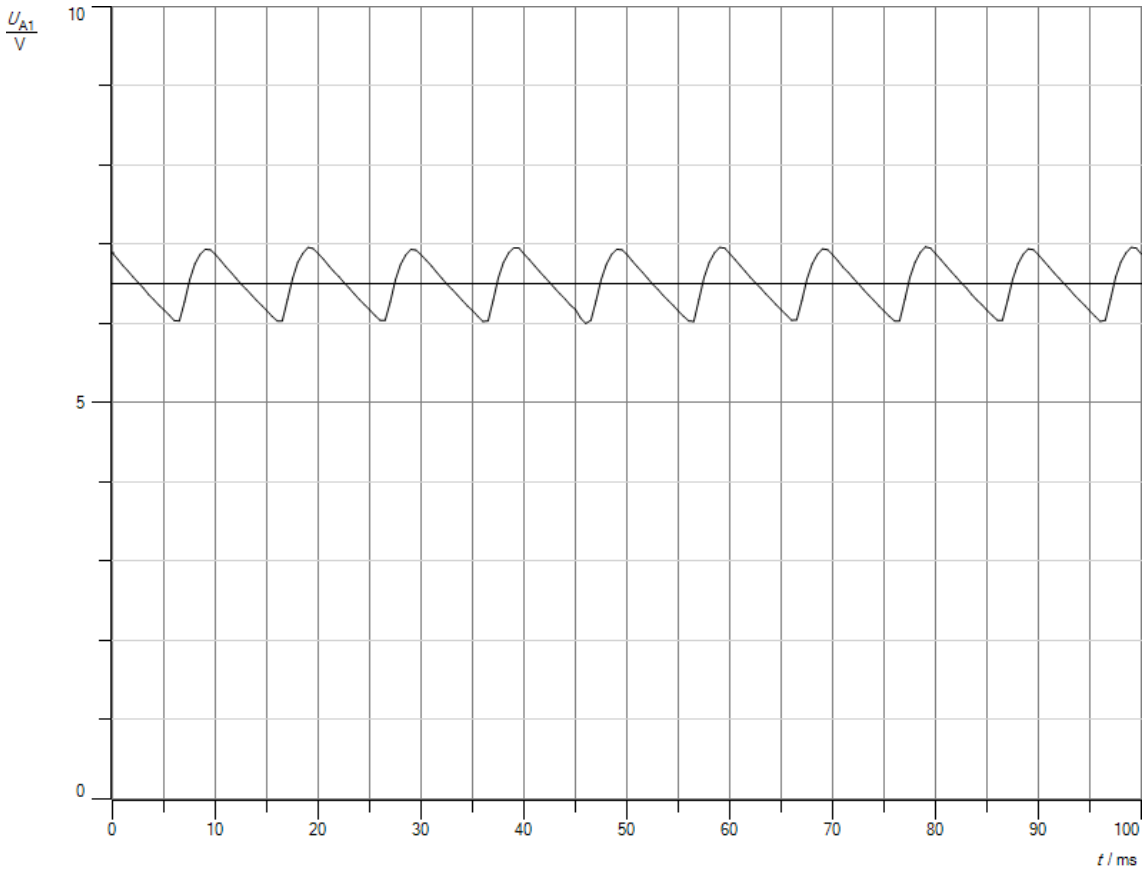
Man erhält z.B. folgende Messkurven:



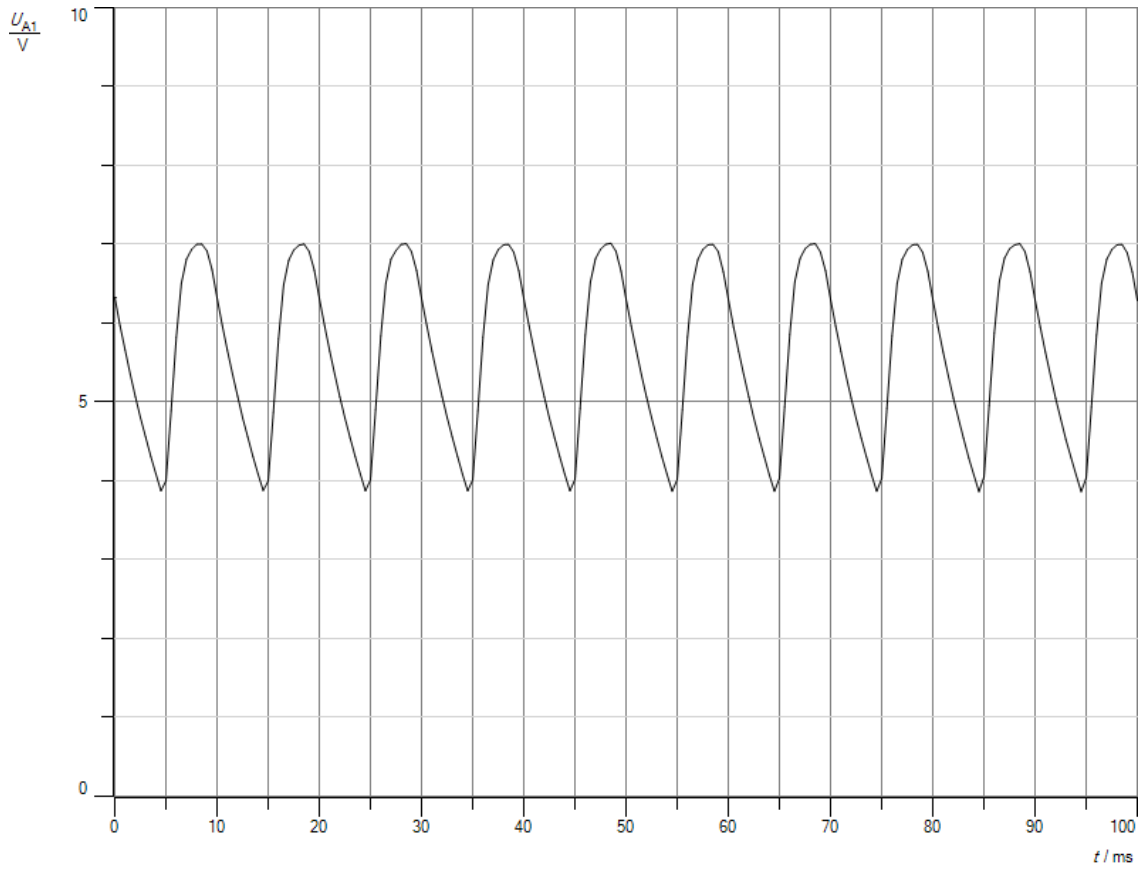
Messkurve1: Eingangswechselspannung



Messkurve 2: pulsierende Gleichspannung



Messkurve 3: geglättete Gleichspannung mit C = 470 µF



Messkurve 4: geglättete Gleichspannung mit C = 100 µF

Auswertung:

a. Die Eingangswechselspannung wird gleichgerichtet, d.h. die negativen Halbwellen werden nach oben geklappt. Man erhält eine pulsierende Gleichspannung doppelter Frequenz. Ihre Amplitude ist um rund U_D = 1,4 V kleiner als die der Wechselspannung, weil der Strom in jeder Halbwelle zwei der vier Dioden passieren muss. An jeder der beiden fällt eine Spannung von etwa U_{D1} = 0,7 ab, zusammen also rund U_D = 1,4 V je nach Stromstärke. Der dem Ausgang parallel geschaltete Kondensator glättet die pulsierende Gleichspannung und zwar umso besser, je größer seine Kapazität ist.

b. Liegt am oberen Pol der Wechselspannungsquelle der Pluspol an, so leiten die in Abb. 1 rot eingezeichneten Dioden, im anderen Fall die grün gekennzeichneten. Damit liegt die Mitte zwischen den beiden oberen Dioden immer auf positivem Potential, die Mitte zwischen den beiden unteren immer auf negativem Potential. Zwischen ihnen entsteht eine pulsierende Gleichspannung, die mit Hilfe eines Kondensators mehr oder weniger geglättet werden kann.

c. Der Kondensator dient als Ladungsspeicher, um die Lücken in der pulsierenden Gleichspannung zu füllen. In den Hochphasen lädt er sich auf und in den Tiefphasen liefert er die Ladung für den Widerstand, so dass durch sie während der ganzen Betriebsdauer ein nahezu konstanter Strom fließt. Ist er zu klein, besitzt die entstehende Gleichspannung eine hohe Restwelligkeit, die bei Beleuchtungen wie LEDs nicht stört, da das Auge die kleinen Helligkeitsschwankungen nicht registriert. Betreibt man dagegen mit einem solchen Gleichrichter ein akustisches Gerät, so macht sie sich als unangenehmes Brummen mit einer Frequenz f = 100 Hz bemerkbar.

d. Man erhält eine mittlere Spannung U_m = 6,5 V. Für die mittlere Stromstärke gilt

$$I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{6{,}5V}{100\Omega} = 0{,}065A.$$

Die Überbrückungszeit des Kondensators beträgt ungefähr eine Viertelperiode Δt = 0,005 s. Der Kondensator gibt während dieser Zeit eine Ladung

$$\Delta Q = I_m * \Delta t = 0{,}065A * 0{,}005s = 3{,}25 * 10^{-4}C$$

ab. Dadurch sinkt seine Spannung um

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{3{,}25 * 10^{-4}C}{4{,}7 * 10^{-4}F} = 0{,}69V.$$

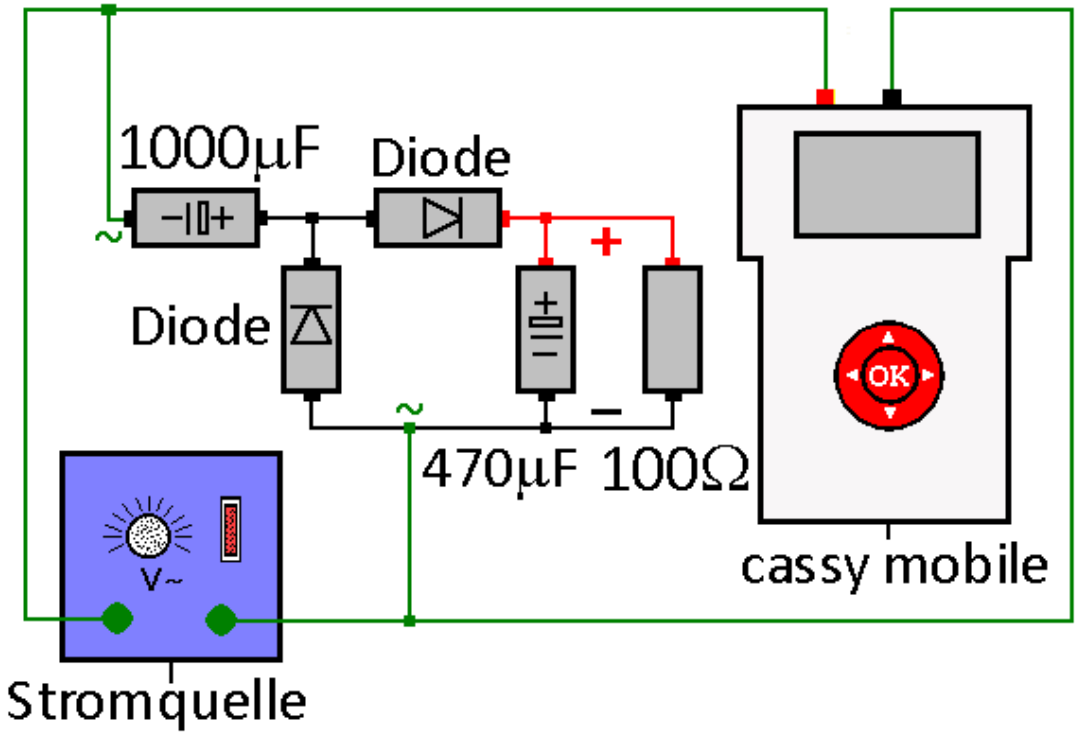
Aus dem Diagramm in Messkurve 3 entnimmt man eine Welligkeit von ΔU = 0,5 V. Die Abweichung zwischen beiden Werten kommt dadurch zustande, dass man die Überbrückungszeit des Kondensators wegen des Kurvenverlaufes nur in etwa angeben kann.

e. Aus der Kurve für C = 100 µF erhält man eine Welligkeit ΔU = 1,5 V. Sie ist deutlich höher als in Teilaufgabe d. Die mittlere Stromstärke ist zwar geringer, aber durch die viel kleinere Kapazität entlädt sich der Kondensator in der Überbrückungszeit deutlich stärker.

f. Die Welligkeiten beim Zweiweggleichrichter sind nur etwa halb so groß wie in Versuch 1 beim Einweggleichrichter. Die Spannungslücke, die der Kondensator jeweils überbrücken muss, ist nur halb so lang ist wie beim Einweggleichrichter.

g. Zweiweggleichrichter finden Verwendung in vielen Netzteilen elektronischer Kleingeräte.
h. In einer LED-Lampe für 230 V ist dem Gleichrichter ein Trafo vorgeschaltet, der die Netzspannung auf etwa 3V heruntertransformiert.

Versuch3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Kaskade.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung der Dioden und der Kondensatoren.
3. Legen Sie eine Wechselspannung U = 6 V an.
4. Starten Sie die 1. Messung. Der Messvorgang ist nach 100 ms beendet. Speichern Sie die Kurve.
5. Schließen Sie den Spannungseingang von cassy mobile an die Punkte + und – der Schaltung an. Achten Sie auf die richtige Polung.
6. Starten Sie die 2. Messung. Sie dauert nur 100 ms. Speichern Sie die Kurve.
7. Entfernen Sie den Kondensator aus der Schaltung.
8. Starten Sie die 3. Messung. Sie braucht nur 100 ms. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Vergleichen Sie die drei Messkurven miteinander und erklären Sie sie.
b. Verfolgen Sie den Weg des Stromes durch die beiden Dioden während der beiden Halbphasen der Wechselspannung (s. Abb. 1). Erklären Sie, warum am Ausgang eine pulsierende Gleichspannung vorliegt.
c. Erläutern und erklären Sie, welche Bedeutung der Kondensator C = 470 µF hat. Überprüfen Sie Ihre Vermutung, indem Sie die Messung mit einem Kondensator mit C = 100 µF wiederholen. Erläutern Sie, welche Probleme durch einen zu kleinen Kondensator verursacht werden können.
d. Bestimmen Sie aus der Messkurve mit C = 470 µF die mittlere Spannung und die mittlere Stromstärke. Schätzen Sie die Überbrückungszeit des Kondensators ab. Berechnen Sie aus

diesen Werten die Welligkeit ΔU der Gleichspannung. Vergleichen Sie sie mit der Welligkeit in der Messkurve. Erklären Sie mögliche Abweichungen.

e. Ermitteln Sie aus der Kurve mit C = 100 µF die Welligkeit und vergleichen Sie sie mit dem Ergebnis aus Teilaufgabe d.
f. Erkundigen Sie sich im Internet, wo man Kaskadengleichrichter verwendet.

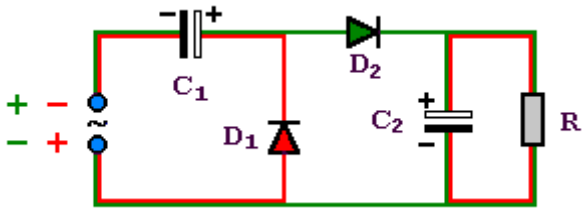
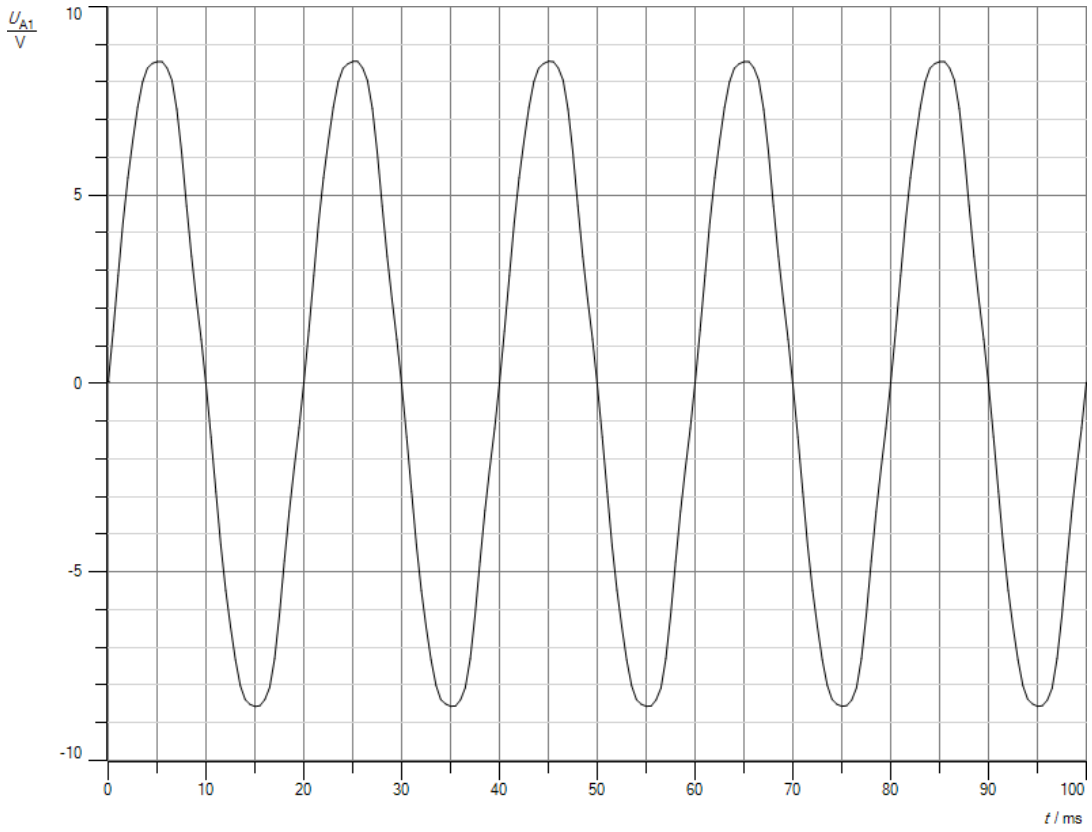


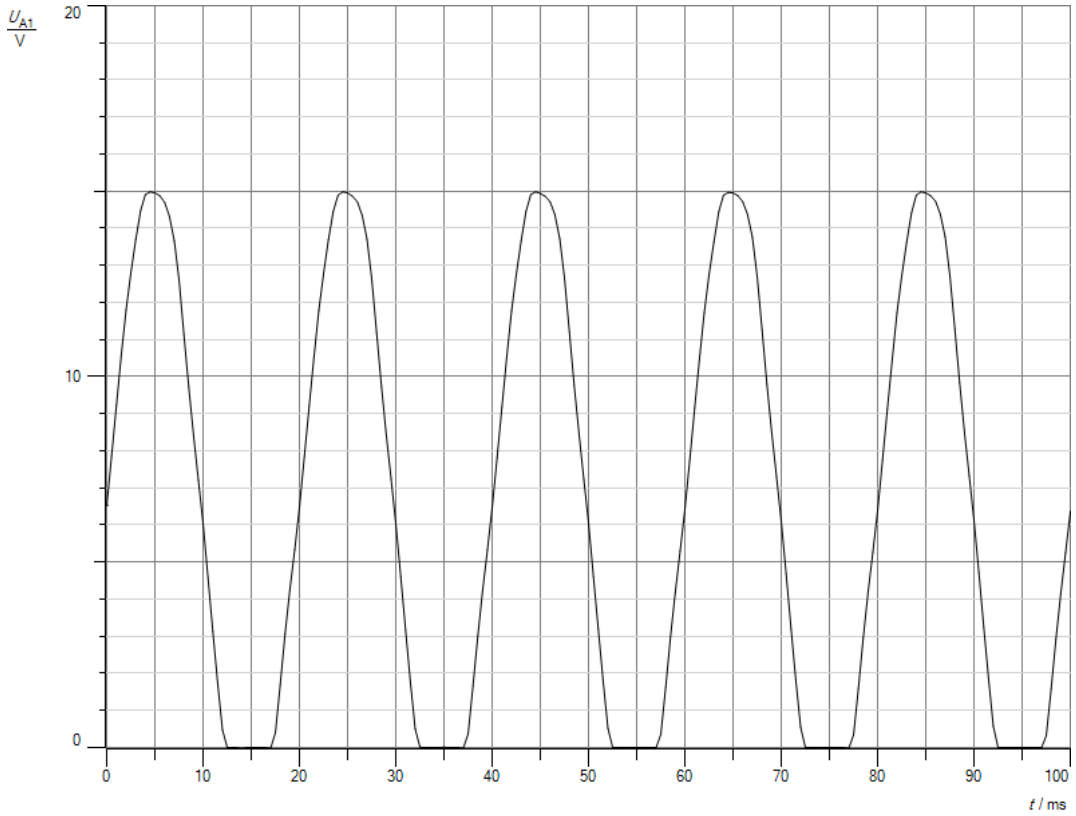
Abb. 1: Kaskadengleichrichter

Beobachtung

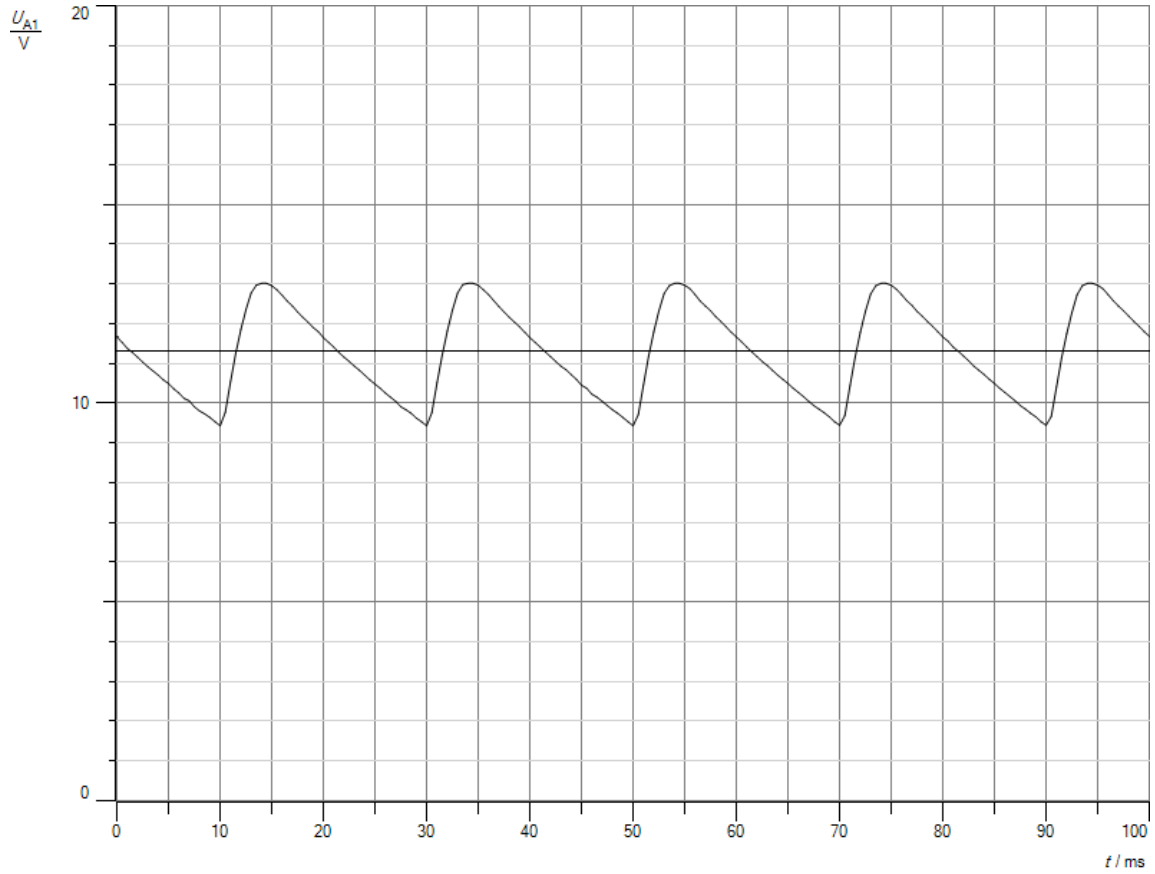
Man erhält z.B. folgende Messkurven:



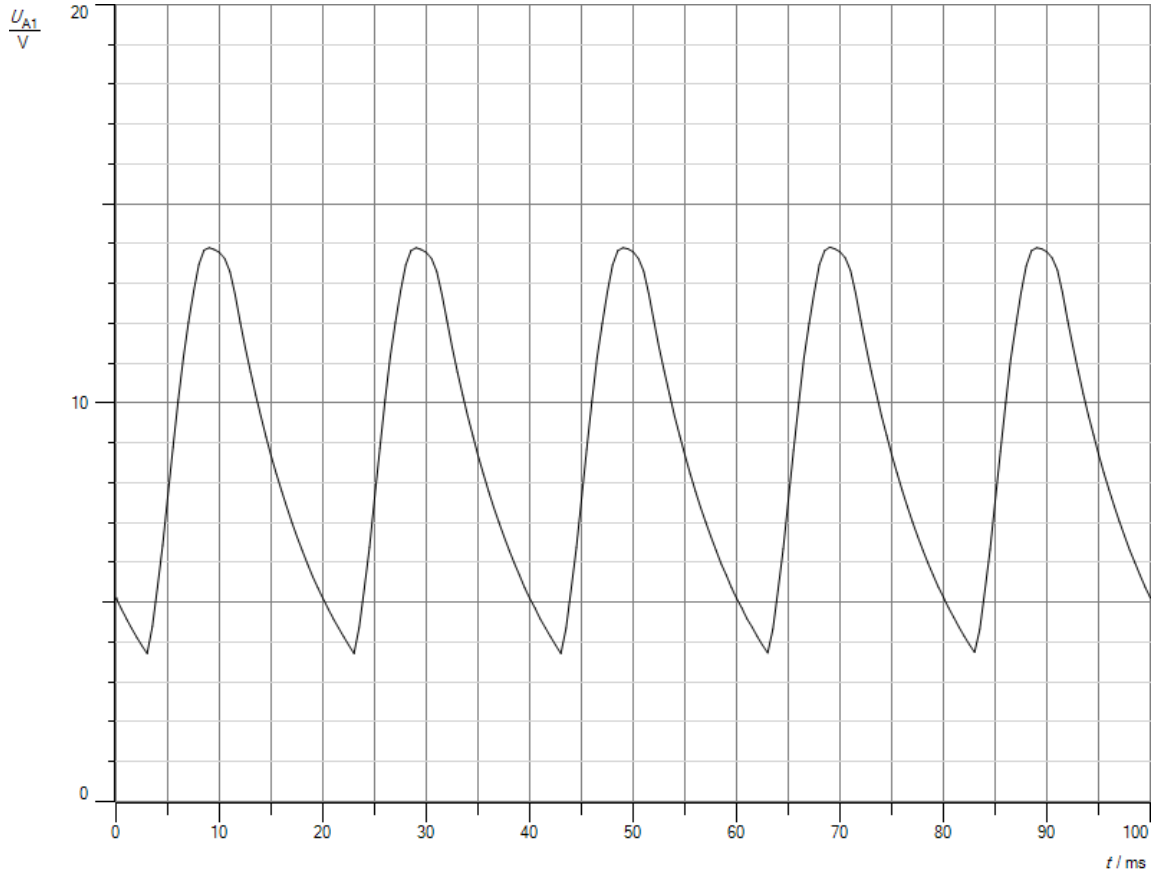
Messkurve 1: Eingangswechselspannung



Messkurve 2: pulsierende Gleichspannung



Messkurve 3: geglättete Gleichspannung mit C = 470 µF



Messkurve 4: geglättete Gleichspannung mit C = 100 µF

Auswertung:

a. Die Eingangswechselspannung wird dadurch gleichgerichtet, dass sie etwa um den Betrag ihrer Amplitude in den positiven Bereich verschoben wird. Man erhält eine pulsierende Gleichspannung mit der ursprünglichen Frequenz. Ihre Amplitude ist aber um rund U = 2,0 V kleiner als die doppelte Amplitude der Wechselspannung, weil der Strom in jeder Halbwelle die beiden Dioden passieren muss. An jeder der beiden fällt eine Spannung von etwa U_{D1} = 0,7 ab, zusammen also rund U_D = 1,4 V. Hinzu kommt, dass sich der Kondensator C_1 = 1000 µF nicht vollständig über C_2 = 470 µF entlädt. Dadurch sinkt die Amplitude der pulsierenden Gleichspannung ein wenig weiter ab.

b. Besitzt die Wechselspannung die in Abb. 1 rot eingezeichnete Polung, so leitet die Diode D_1 und der Kondensator C_1 lädt sich auf die Amplitude der Wechselspannung auf. Diode D_2 sperrt. Kondensator C_2 hält den Strom durch den Widerstand R aufrecht. In der zweiten Halbwelle ist die Wechselspannung anders herum gepolt. Diode D_1 sperrt, dafür leitet Diode D_2. Der Kondensator C_2 wird auf die doppelte Amplitude der Wechselspannung aufgeladen, da der Kondensator C_1 als zusätzliche Gleichspannungsquelle wirkt, die mit der Wechselspannungsquelle in Reihe geschaltet ist. Zumindest ist das rein theoretisch so. Denn in Wirklichkeit gibt Kondensator C_1 nicht seine gesamte Ladung an Kondensator C_2 ab, da beide in Reihe geschaltet sind und sich daher die Ladung des Kondensators C_1 je nach Kapazität auf beide aufteilt. Daher ist die pulsierende Ausgangsspannung in der Praxis nicht um die Amplitude der Wechselspannung nach oben verschoben, sondern nur um einen etwas kleineren Wert, wie die Messergebnisse zeigen.

c. Der Kondensator C_2 dient als Ladungsspeicher, um die Lücken in der pulsierenden Gleichspannung zu füllen. In den Hochphasen lädt er sich auf und in den Tiefphasen liefert er die Ladung für den Widerstand, so dass durch sie während der ganzen Betriebsdauer ein nahezu konstanter Strom fließt. Ist er zu klein, besitzt die entstehende Gleichspannung eine hohe Restwelligkeit, die bei Beleuchtungen wie LEDs nicht stört, da das Auge die kleinen Helligkeitsschwankungen nicht registriert. Betreibt man dagegen mit einem solchen Gleichrichter ein akustisches Gerät, so macht sie sich als unangenehmes Netzbrummen bemerkbar.

d. Man erhält eine mittlere Spannung U_m = 11,3 V. Für die mittlere Stromstärke gilt

$$I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{11{,}3V}{100\Omega} = 0{,}113A.$$

Die Überbrückungszeit des Kondensators beträgt ungefähr eine Halbperiode Δt = 0,01 s. Der Kondensator gibt während dieser Zeit eine Ladung

$$\Delta Q = I_m * \Delta t = 0{,}113A * 0{,}01s = 1{,}13 * 10^{-3}C$$

ab. Dadurch sinkt seine Spannung um

$$\Delta U = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1{,}13 * 10^{-4}C}{4{,}7 * 10^{-4}F} = 2{,}4V.$$

Aus dem Diagramm in Messkurve 3 entnimmt man eine Welligkeit von ΔU = 1,8 V. Die Abweichung zwischen beiden Werten kommt dadurch zustande, dass man die Überbrückungszeit des Kondensators wegen des Kurvenverlaufes nur in etwa angeben kann.

e. Aus der Kurve für C = 100 µF erhält man eine Welligkeit ΔU = 5 V. Sie ist deutlich höher als in Teilaufgabe e. Die mittlere Stromstärke ist zwar geringer, aber durch die viel kleinere Kapazität entlädt sich der Kondensator in der Überbrückungszeit deutlich stärker.
f. Kaskadengleichrichter werden verwendet, wenn die hohe Welligkeit nicht stört oder die Belastung gering ist. Das Ladeteil der elektrischen Zahnbürste enthält einen Kaskadengleichrichter. Schaltet man mehrere Kaskaden in Reihe (s. Abb. 2), kann man Gleichspannungen erhalten, die die angelegte Wechselspannung um ein Vielfaches übersteigen. Sie werden z.B. für Gasentladelampen benutzt, die nur wenig Strom benötigen.

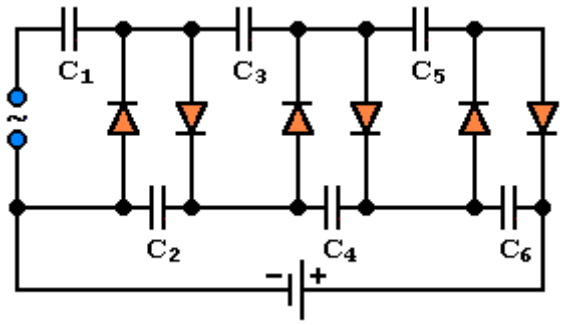
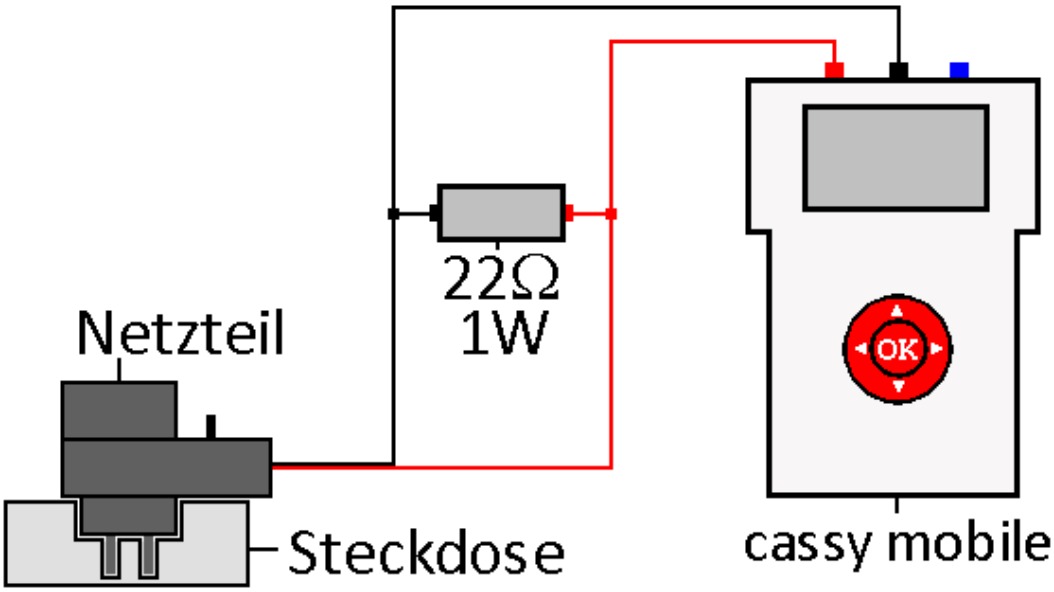


Abb.2: mehrstufiger Kaskadengleichrichter

Versuch 4:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Netzteil1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie cassy mobile ein. Wählen Sie am unstabilisierten Netzteil die Ausgangsspannung U = 4,5 V und stecken Sie es in die Steckdose.
4. Starten Sie die Messung. Der Messvorgang ist nach 100 ms beendet. Speichern Sie die Kurve.
5. Wiederholen Sie die Messung mit den Widerständen R_1 = 47 Ω, R_2 = 100 Ω, R_3 = 220 Ω.

Aufgaben

a. Vergleichen Sie die vier Messkurven miteinander und erklären Sie sie.
b. Ermitteln Sie für alle Kurven den Mittelwert und die Welligkeit der Spannung. Vergleichen Sie die Werte untereinander und mit der Aufschrift auf dem Netzteil. Interpretieren Sie das Ergebnis.
c. Erkundigen Sie sich im Internet, wo man das benutzte Netzteil verwendet.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

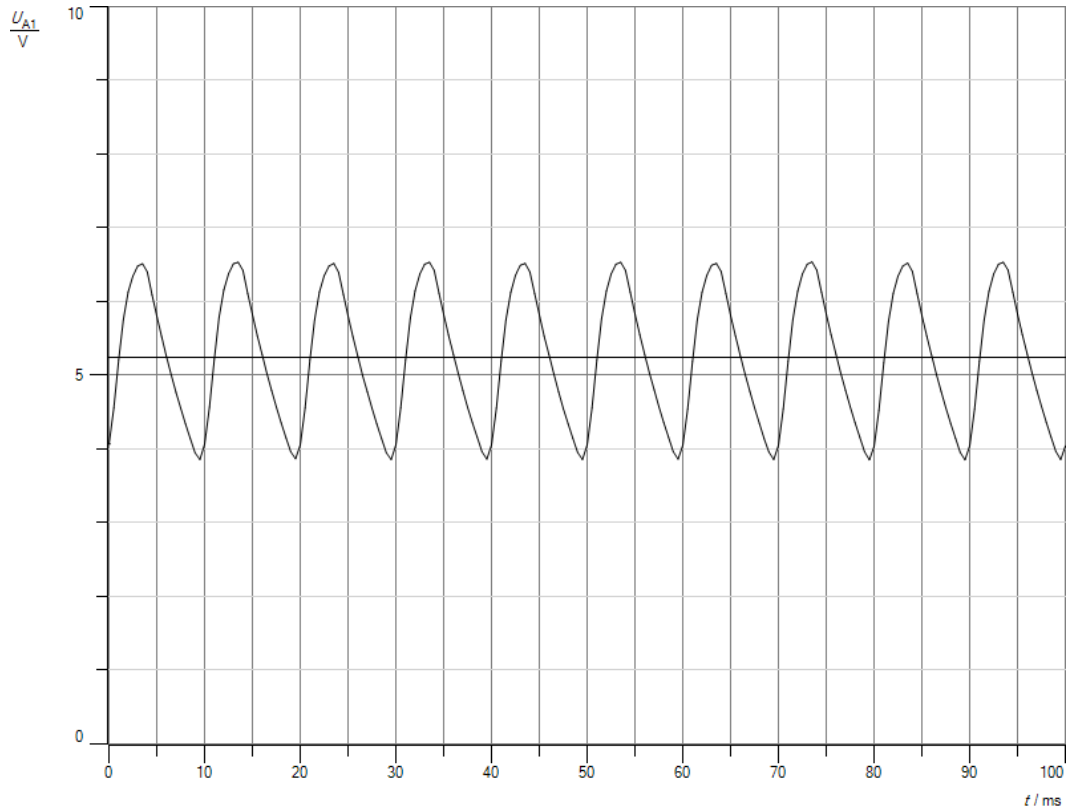


Abb.1: Messkurve bei R = 22Ω

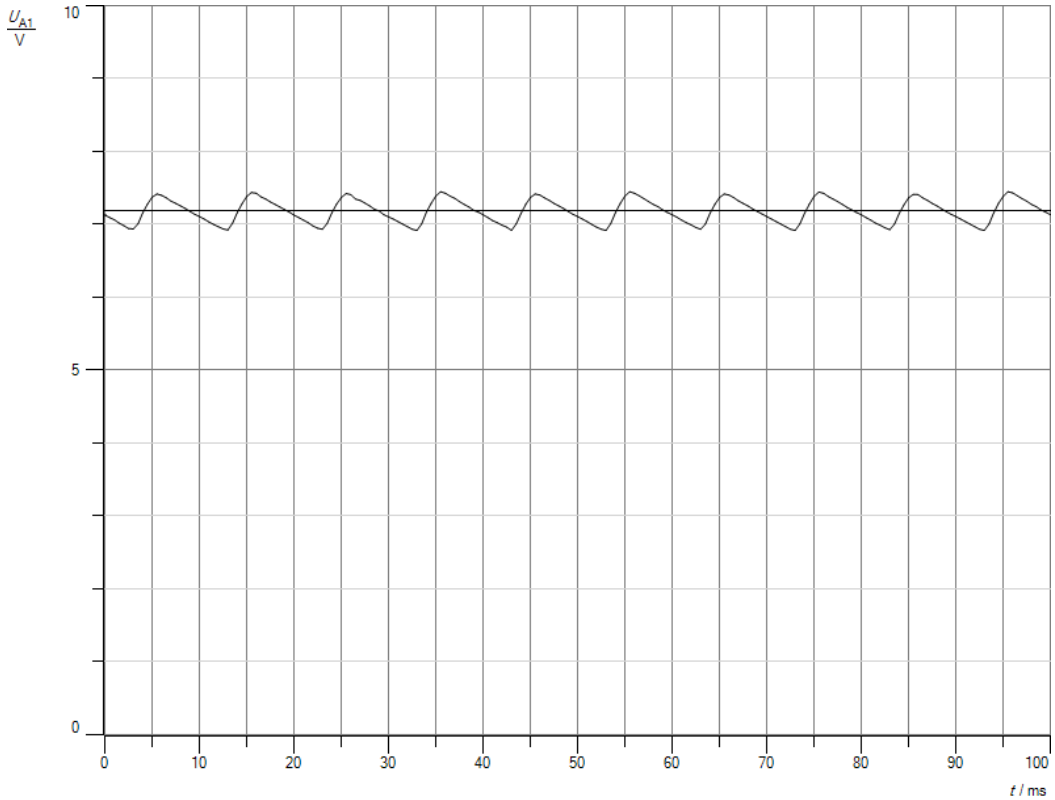


Abb.1: Messkurve bei R = 220Ω

Auswertung

a. Bei kleinerem Belastungswiderstand sinkt der Mittelwert der Ausgangsspannung und die Welligkeit steigt. Bei kleinem Widerstand fließt ein höherer mittlerer Strom. Der Kondensator entlädt sich in den Überbrückungszeiten stärker. Die Welligkeit steigt und die mittlere Ausgangsspannung sinkt.

b. Man erhält folgende Tabelle mit R als Belastungswiderstand, U als mittlerer Spannung und ΔU als Welligkeit:

R[Ω]	22	47	100	220
U[V]	5,24	6,15	6,76	7,18
ΔU[V]	1,38	0,83	0,49	0,21

Die mittlere Spannung liegt bei allen Messungen über der Aufschrift auf dem Netzteil mit U = 4,5 V und zwar bei der kleinsten Belastung um sage und schreibe

$$\mathrm{P_1} = \frac{7{,}18\mathrm{V} - 4{,}5\mathrm{V}}{4{,}5\mathrm{V}} * 100\% = 59{,}5\%$$

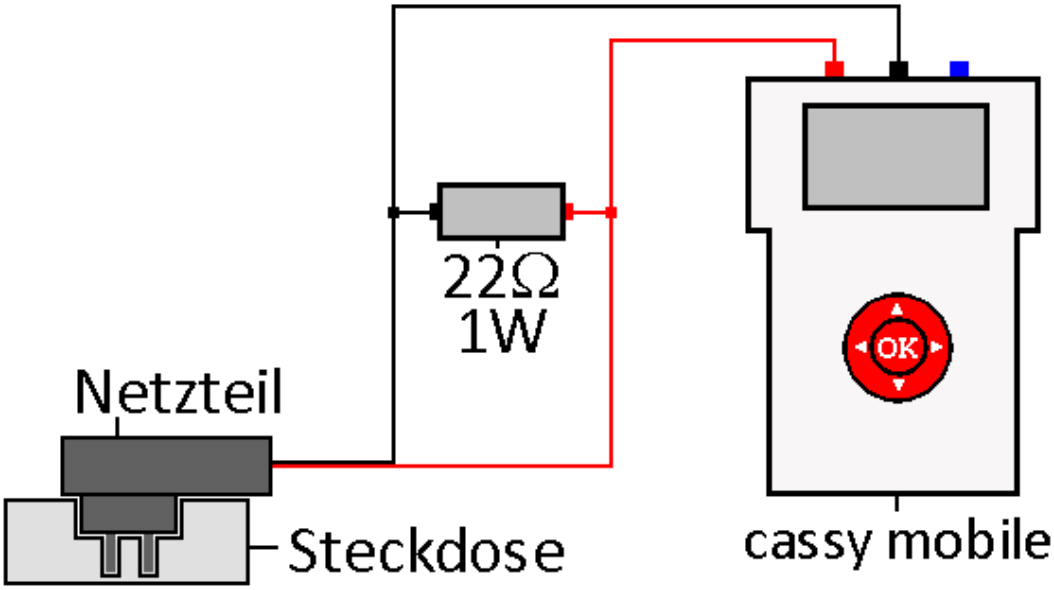
und bei der größten Belastung immerhin noch um

$$\mathrm{P} = \frac{5{,}24\mathrm{V} - 4{,}5\mathrm{V}}{4{,}5\mathrm{V}} * 100\% = 16{,}4\%.$$

Verwendet man solche Netzteile für empfindliche elektronische Geräte oder für Verbraucher mit kleiner Stromstärke wie LED-Lampen, sollte man vorher auf jeden Fall die Ausgangsspannung bei der wirklichen Belastung mit einem Voltmeter überprüfen. Ansonsten kann man schnell eine böse Überraschung erleben, in dem das Gerät durchbrennt.

c. Unstabilisierte Netzteile werden trotz der ungeregelten Ausgangsspannung nach wie vor für viele elektronische Geräte und Ladeteile genutzt. In Geräten mit geringem Stromverbrauch ist dem Netzteil ein Spannungsregler nachgeschaltet, um Überspannungen zu vermeiden. Die Regler sind inzwischen sehr preiswert, so dass sie häufig schon ins Netzteil integriert werden. Man spricht von einem stabilisierten Netzteil (s. Versuch 5). Moderne Netzteile enthalten vielfach gar keinen Trafo mit Gleichrichter mehr, sondern einen sogenannten Schaltregler, der auf andere Art und Weise eine konstante geregelte Ausgangsspannung erzeugt (s. Regler auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de)

Versuch 5:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Netzteil1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie cassy mobile ein und stecken Sie das stabilisierte Netzteil in die Steckdose.
4. Starten Sie die Messung. Der Messvorgang ist nach 100 ms beendet. Speichern Sie die Kurve.
5. Wiederholen Sie die Messung mit den Widerständen R_1 = 47 Ω, R_2 = 100 Ω, R_3 = 220 Ω.

Aufgaben

a. Vergleichen Sie die vier Messkurven miteinander und erklären Sie sie.
b. Ermitteln Sie für alle Kurven den Mittelwert und die Welligkeit der Spannung für alle Messwiderstände. Vergleichen Sie die Werte untereinander und mit der Aufschrift auf dem Netzteil. Interpretieren Sie das Ergebnis.
c. Erkundigen Sie sich im Internet, wo man das benutzte Netzteil verwendet.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

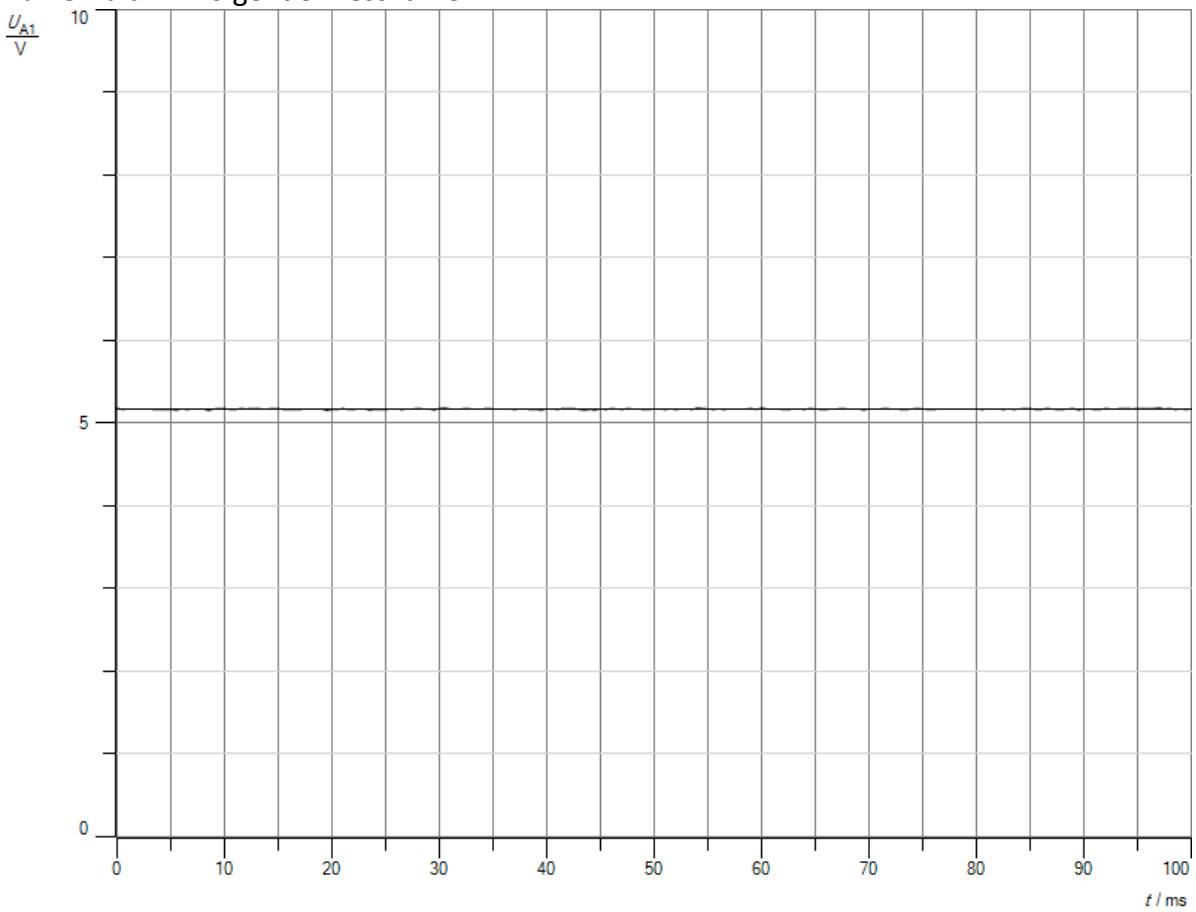


Abb. 1: Messkurve für R = 47 Ω

Auswertung

a. Man erhält für alle Messwiderstände eine konstante Ausgangsspannung, da das Netzteil stabilisiert ist.

b. Der Mittelwert der Spannung beträgt für alle Widerstände U = 5,17 V, die Welligkeit ist ΔU = 0 V. Durch den Spannungsregler werden die Schwankungen eines unstabilisierten Netzteiles ausgeglichen. Der Mittelwert weicht nur um

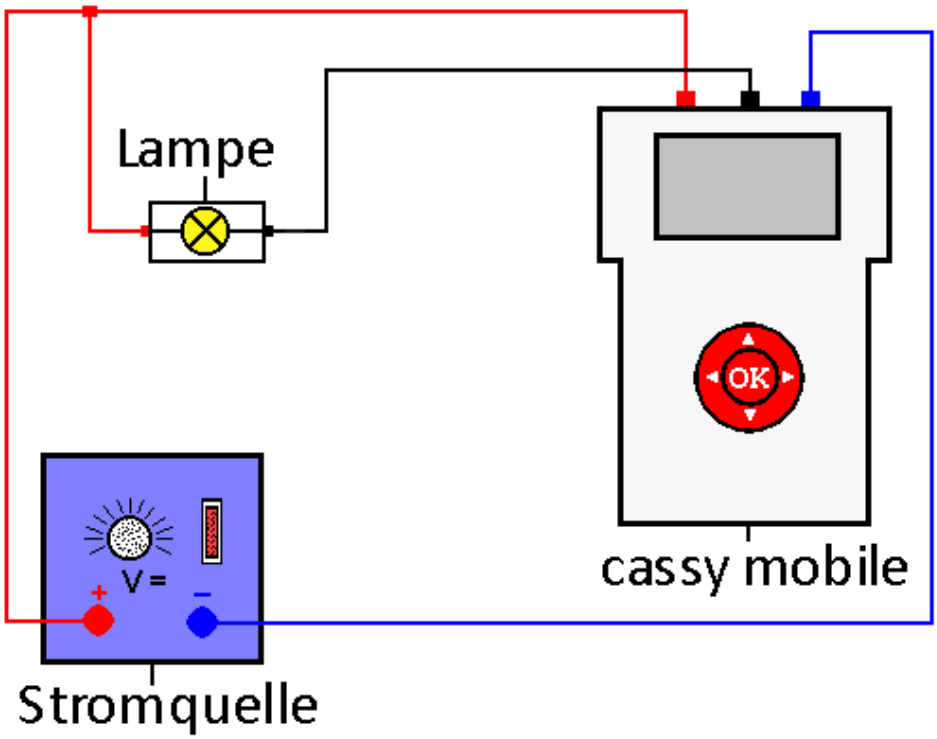
$$\mathrm{P} = \frac{5{,}17\mathrm{V} - 5\mathrm{V}}{5\mathrm{V}} * 100\% = 3{,}4\%$$

von der Aufschrift auf dem Netzteil ab.

c. Stabilisierte Netzteile werden verwendet für elektronische Geräte, LED-Lampen, Audiogeräte und Ladeteile für Handys und Akkutaschenlampen. Die Gefahr, dass sie durch eine zu hohe Spannung zerstört werden, ist eher gering, da die Ausgangsspannung bis auf wenige Prozent mit der Aufschrift übereinstimmt. Außerdem weist sie keine Welligkeit, also keine Schwankungen auf.

Glühlampe

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Lampe1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Erhöhen Sie die Spannung in Schritten von 0,1 V bis 0,2 V von 0 V bis auf etwa 0,5 V und dann in Schritten von circa 0,5 V bis auf 4V.
4. Nehmen Sie nach jedem Schritt einen Messwert auf, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie den Kurvenverlauf.
b. Bestimmen Sie den Widerstand der Lampe für 5 verschiedene Spannungen.
c. Vergleichen Sie die Werte miteinander und erklären Sie.
d. Glühlampen brennen meist beim Einschalten durch. Erklären Sie.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

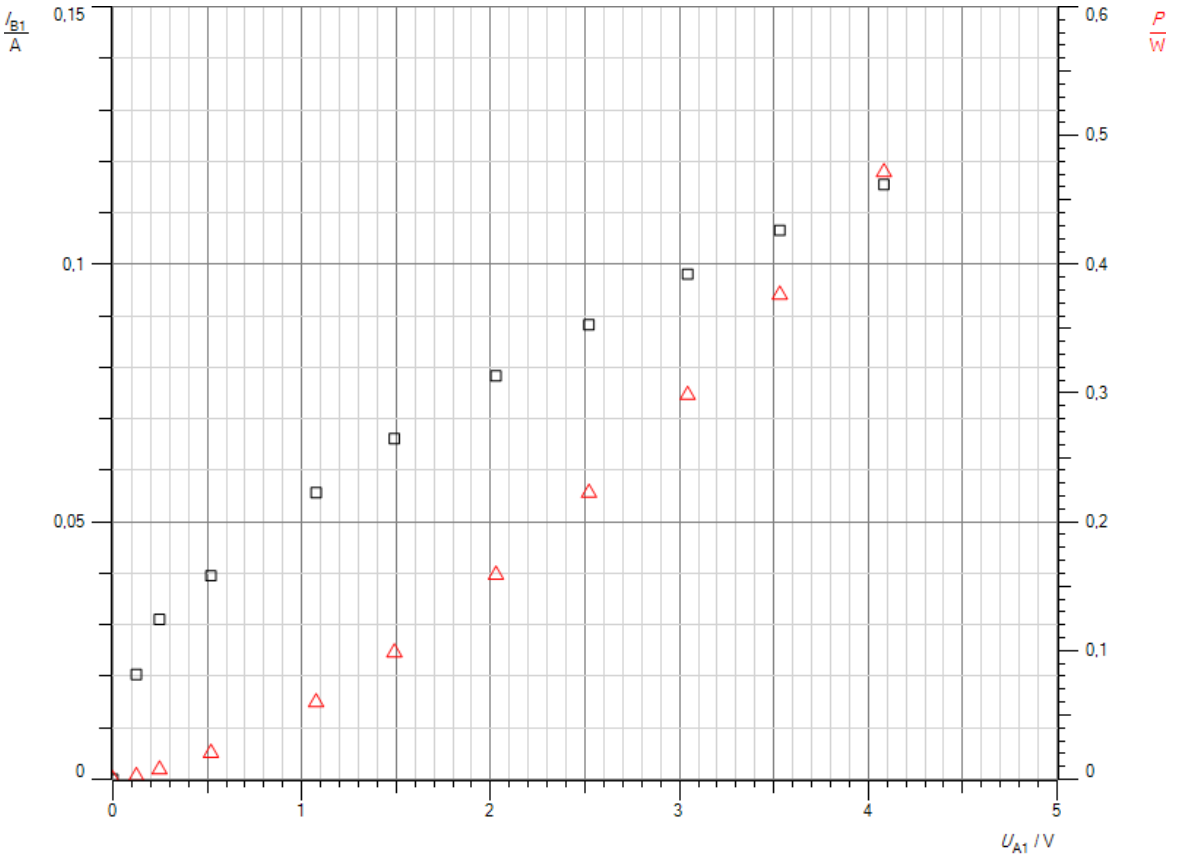


Abb.1: I(U) und P(U)-Kennlinie einer Glühlampe bei Gleichspannung

Auswertung

a. Die Spannung U und die Stromstärke I sind nicht proportional zueinander. Mit zunehmender Spannung nimmt die Stromstärke weniger stark an. Das zeigt auch die folgende Auswertung. Die Leistung nimmt angenähert parabelförmig zu.

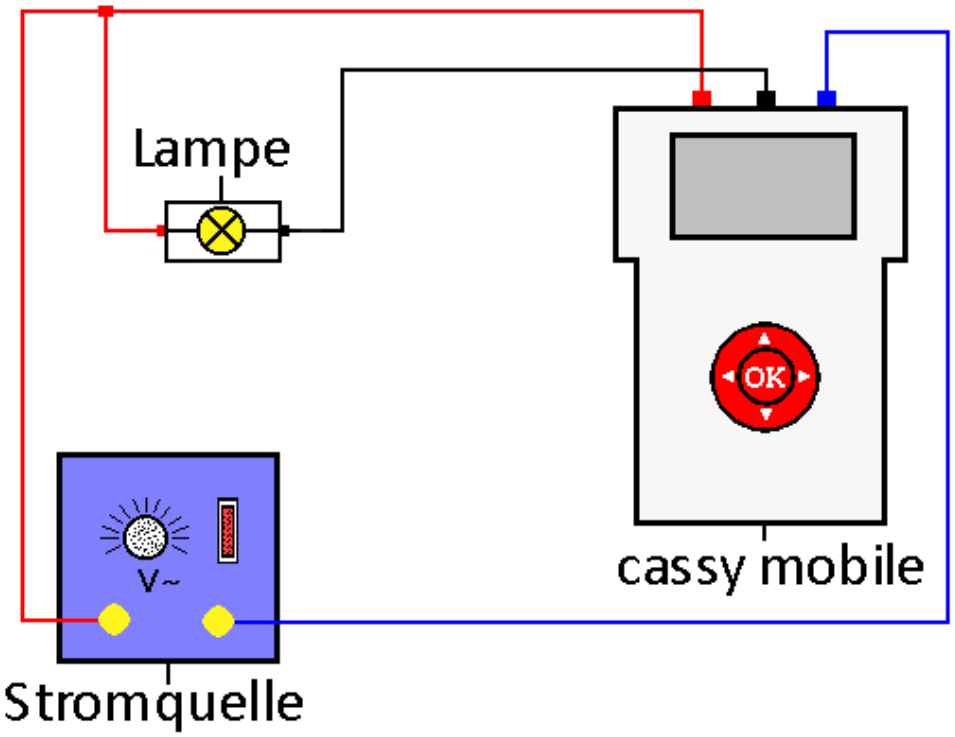
b. Man erhält z.B. folgende Messtabelle für U, I und R:

U[V]	0,52	1,08	1,49	2,03	2,52	3,04	3,53	4,08
I[A]	0.0395	0,0557	0,0662	0,0784	0,0883	0,0981	0,1066	0,1155
R[Ω]	13,2	19,4	22,5	25,9	28,5	31,0	33,1	35,3

c. Der Widerstand der Lampe ist nicht konstant. Mit zunehmender Spannung steigt er, da der Glühfaden immer heißer wird.

d. Lampen brennen bevorzugt beim Einschalten durch, da der Glühfaden kalt und der Widerstand klein ist. Die Stromstärke übersteigt für einen kurzen Moment den zulässigen Wert.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Lampe2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Erhöhen Sie die Spannung in Schritten von 0,1 V bis 0,2 V von 0 V bis auf etwa 0,5 V und dann in Schritten von circa 0,5 V bis auf 4V.
4. Nehmen Sie nach jedem Schritt einen Messwert auf, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie den Kurvenverlauf.
b. Bestimmen Sie den Widerstand der Lampe für 5 verschiedene Spannungen.
c. Vergleichen Sie die Werte miteinander und erklären Sie.
d. Glühlampen brennen meist beim Einschalten durch. Erklären Sie.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

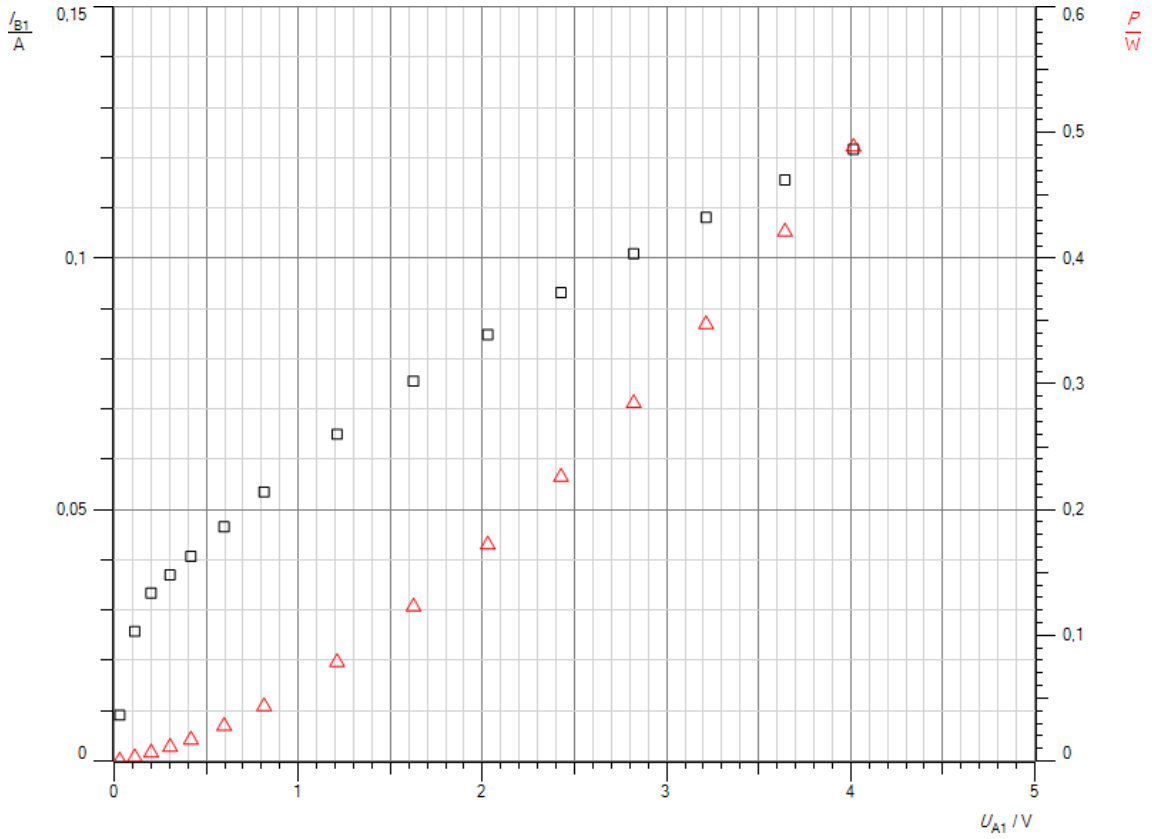


Abb.2: $I_{eff}(U)$ und $P_{eff}(U)$-Kennlinie bei Wechselspannung

Auswertung

a. Die Spannung U und die Stromstärke I sind nicht proportional zueinander. Mit zunehmender Spannung steigt die Stromstärke weniger stark an. Das zeigt auch die folgende Auswertung. Die Leistung nimmt angenähert parabelförmig zu.

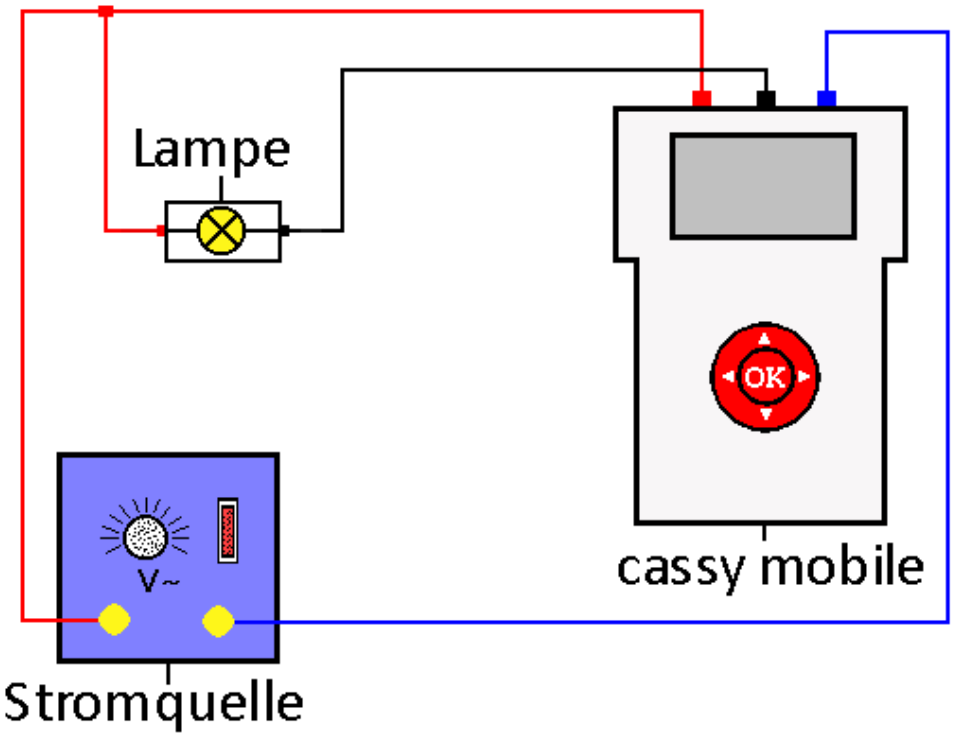
b. Man erhält z.B. folgende Messtabelle für U, I und R:

U[V]	0,42	1,21	2,03	2,43	2,82	3,21	3,64	4,01
I[A]	0.0407	0,065	0,0848	0,0932	0,1009	0,1081	0,1156	0,1217
R[Ω]	10,3	18,6	23,9	26,1	27,9	29,7	31,5	33,7

c. Der Widerstand der Lampe ist nicht konstant. Mit zunehmender Spannung steigt er, da der Glühfaden immer heißer wird.

d. Lampen brennen bevorzugt beim Einschalten durch, da der Glühfaden kalt und der Widerstand klein ist. Die Stromstärke übersteigt für einen kurzen Moment den zulässigen Wert.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Lampe3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Legen Sie eine Wechselspannung von U_{eff} = 4 V an.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die erhaltenen Kurven für U(t), I(t) und P(t).
b. Erstellen Sie ein I(U) und P(U)-Diagramm.
c. Interpretieren Sie die Diagramme und erklären Sie sie.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

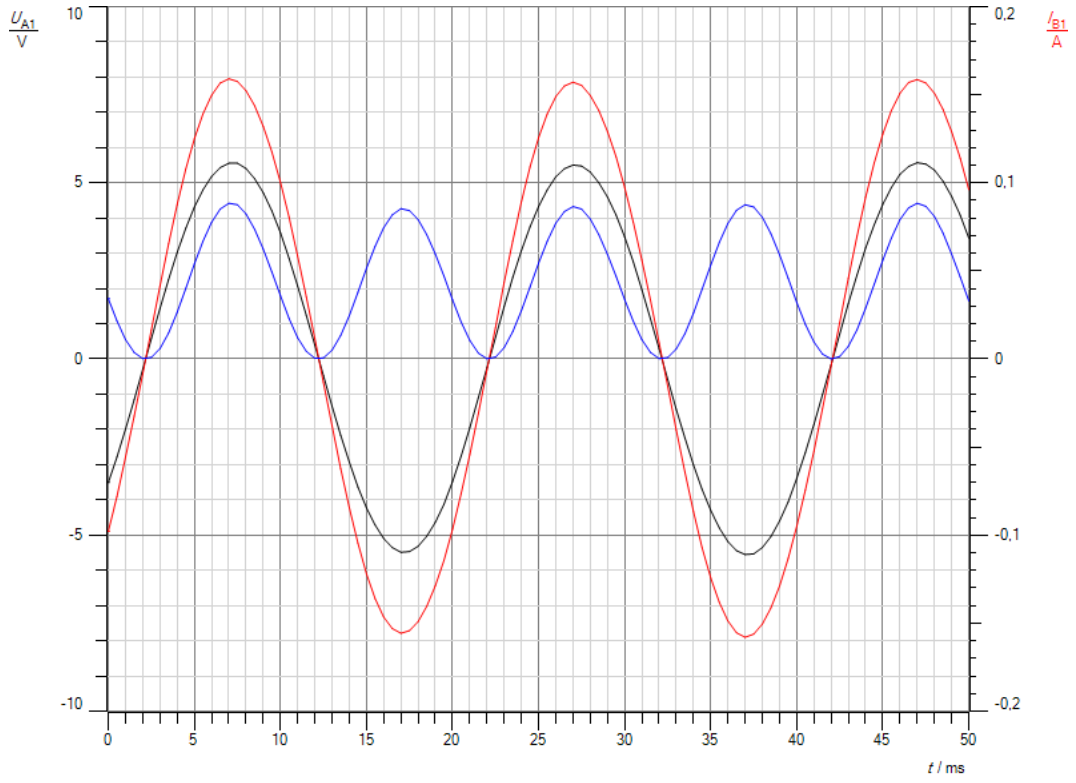


Abb.2: U(t), I(t) und P(t)-Diagramme einer Glühlampe

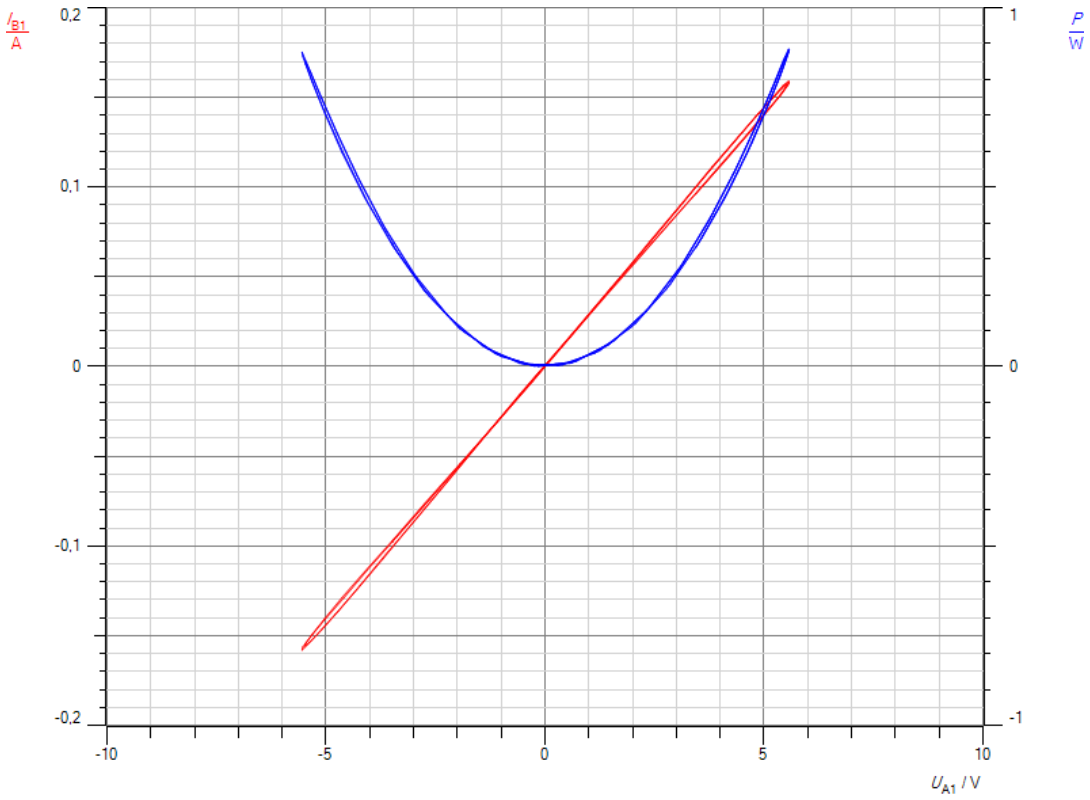


Abb.3: I(U) und P(U)-Kennlinie einer Glühlampe bei Wechselspannung

Auswertung

a. Die Spannung U und die Stromstärke I sind in Phase. Da die Leistung zu jedem Zeitpunkt positive Werte besitzt, tritt reine Wirkleistung auf.
b. s. Abb.3
c. Man hätte nach den Ergebnissen aus den Versuchen 1 und 2 als I(U)-Kennlinie keine Gerade erwartet. Die Temperatur des Glühfadens kann den schnellen Spannungswechseln jedoch nicht folgen. Es stellt sich eine konstante Betriebstemperatur ein und damit ein konstanter Betriebswiderstand. Folglich verlaufen die I(U)-Kennlinie geradlinig und die P(U)-Kennlinie parabelförmig. Für die Steigung m der I(U)-Kennlinie erhält man durch grafische Auswertung der Kurve:

$$m = 0{,}0285 A/V$$

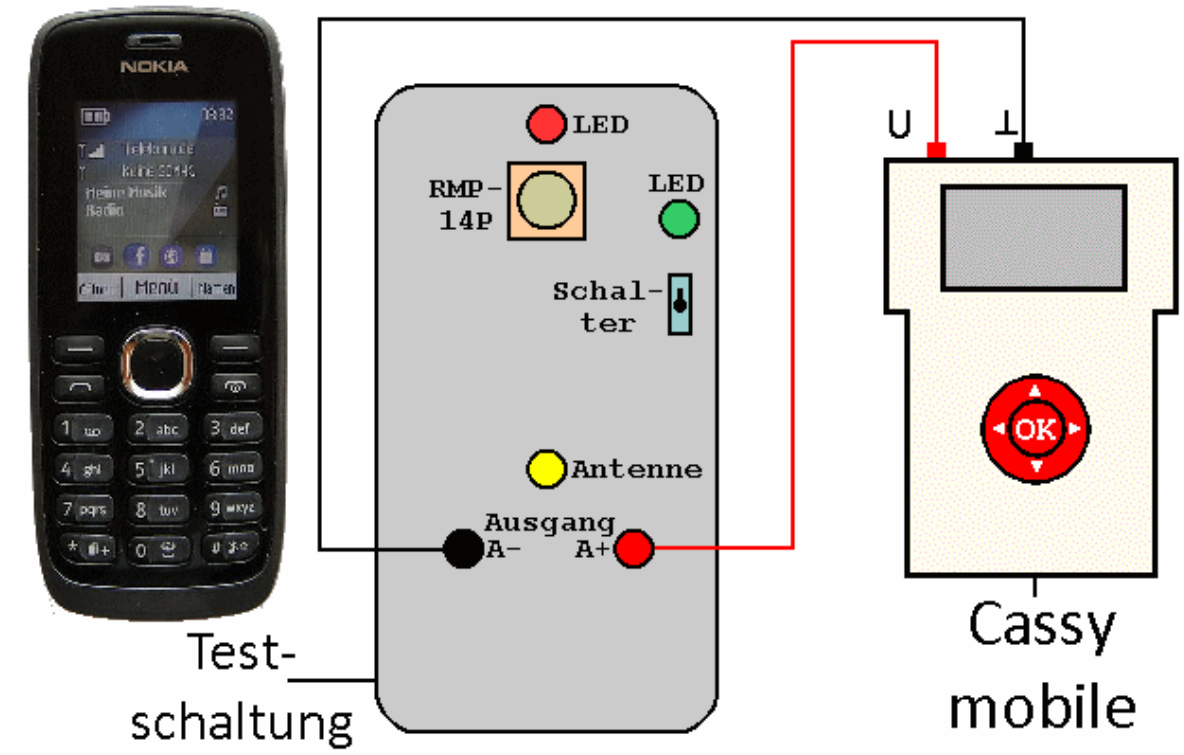
und damit für den Widerstand R

$$R = 1/m = 35{,}1\Omega.$$

Das entspricht in etwa den Werten aus Versuch 1 und 2 bei voller Betriebsspannung.

Handy

Versuch:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Handy1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Die Testschaltung für den Handyempfang wird im Skript „Handy“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schließen Sie den Ausgang der Testschaltung für einen Augenblick kurz, um ihn auf null zu stellen.
4. Schalten Sie Ihr Handy ein und halten Sie es in die Nähe der Antenne.
5. Wählen Sie eine Nummer oder senden Sie eine SMS.
6. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach $\Delta t = 200$ ms.
7. Laden Sie die Datei „Handy2.labm“ im Ordner Physik und wiederholen Sie die Messung. Sie stoppt nach $\Delta t = 10$ ms von alleine.

Aufgaben

a. Deuten Sie die Kurvenverläufe.
b. Bestimmen Sie aus den Messkurven den zeitlichen Abstand der einzelnen Impulse, die Breite eines Impulses und die Zeitlücke zwischen zwei fehlenden Impulsen.
c. Erkundigen Sie sich im Buch Dorn-Bader oder im Internet, wie beim Handy die Signale übertragen und welche Frequenzen im D- bzw. E-Netz benutzt werden.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

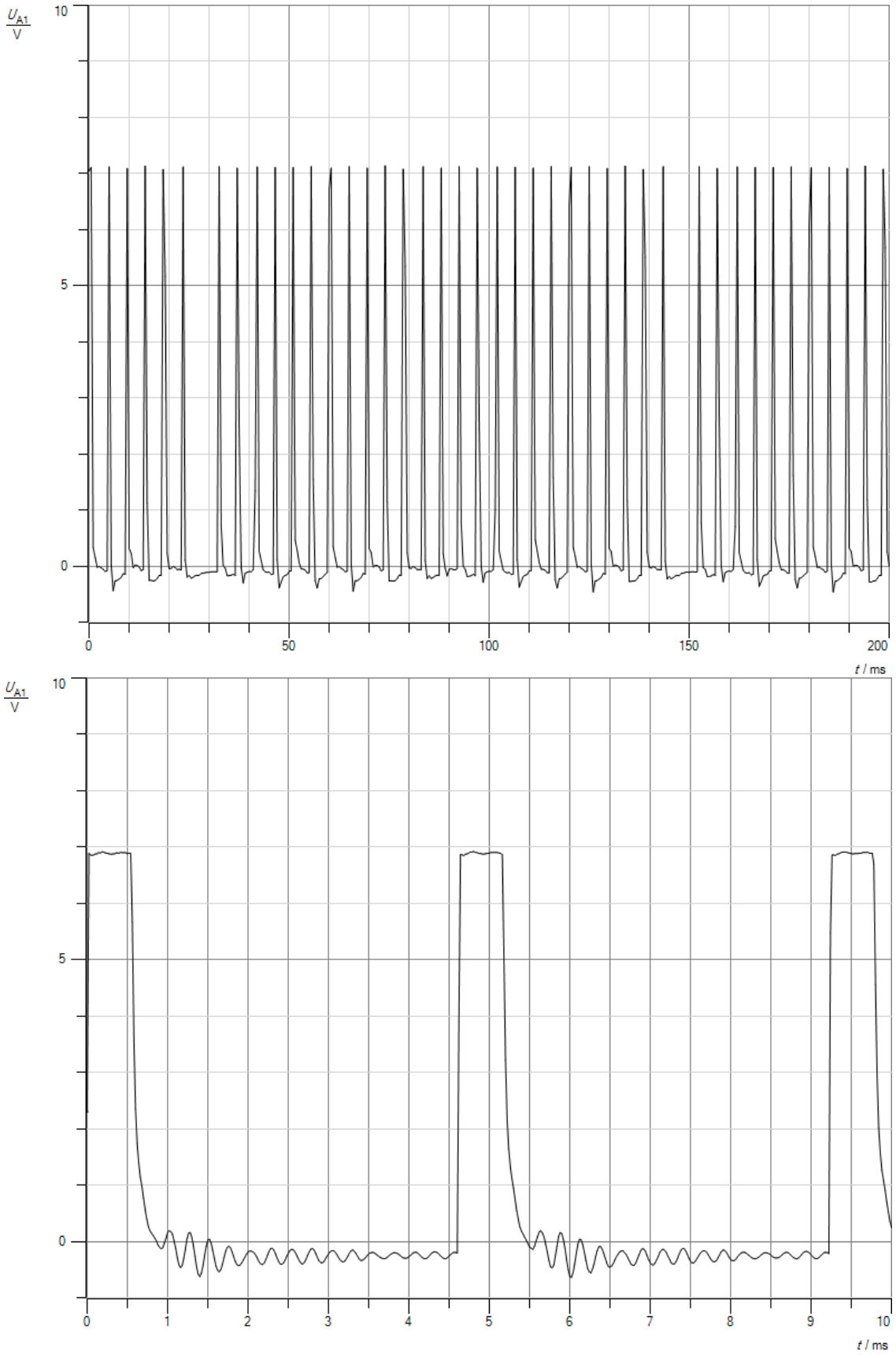


Abb.1: Messkurven

Auswertung

a. Man erkennt an der 1. Kurve, dass das Handy nicht kontinuierlich sendet, sondern pulsartig. In regelmäßigen Zeitabständen fällt ein Signal aus.
b. Der zeitliche Abstand zwischen zwei fehlenden Signalen beträgt

$$\Delta t_1 = 120ms.$$

Die Pulse haben nach der 2. Kurve einen zeitlichen Abstand von

$$\Delta t_2 = 4{,}6ms.$$

Jeder Puls ist

$$\Delta t_3 = 0{,}57ms$$

breit. Diese Werte stimmen sehr gut mit den theoretischen Werten überein, wie in Aufgabe c erläutert wird.
c. Handys tauschen Informationen mit Hilfe von Mikrowellen aus. Es werden zwei Frequenzbereiche benutzt, die mit GSM 900 (D-Netz) bzw. GSM 1800 (E-Netz) bezeichnet werden. Sie senden auf Frequenzbereichen von

$$\Delta f_1 = 880 - 960\ MHz$$

bzw.

$$\Delta f_2 = 1710 - 1880\ MHz$$

Die benötigten Antennen haben als $\lambda/2$-Dipol Längen von

$$l_1 = 0{,}170m - 0{,}156m$$

bzw.

$$l_2 = 0{,}088m - 0{,}08m.$$

Sie sind heute als Metallstreifen in die Platinen der Handys integriert, die ersten besaßen noch eine eigene Teleskopantenne. Das von ihnen abgestrahlte Signal ist linear polarisiert, meist in Längsrichtung des Handys. Jedes Frequenzband ist in zahlreiche Kanäle unterteilt, beim D-Netz in 175, beim E-Netz in 375. Jeder Sendekanal ist seinerseits wieder in acht Zeitfenster der Länge

$$\Delta t_1 = 0{,}575ms$$

eingeteilt. Zusammen belegen sie einen Zeitausschnitt von

$$\Delta t_2 = 8 * 0{,}575ms = 4{,}6ms.$$

Nimmt ein Handy Kontakt mit der Basisstation auf, so wird ihm eines der acht Zeitfenster zugewiesen. Es sendet also alle

$$\Delta t_2 = 4{,}6ms$$

einen Puls der Breite

$$\Delta t_1 = 0{,}575ms$$

Die restlichen sieben werden von anderen Teilnehmern belegt. Daraus errechnet sich für jedes Handy eine Pulsfrequenz von

$$f = \frac{1}{\Delta t_2} = \frac{1}{4{,}6ms} = 217Hz.$$

Das reicht aus, um die Informationen in guter Qualität zu übertragen. Beim GSM-Standard führt das Handy alle

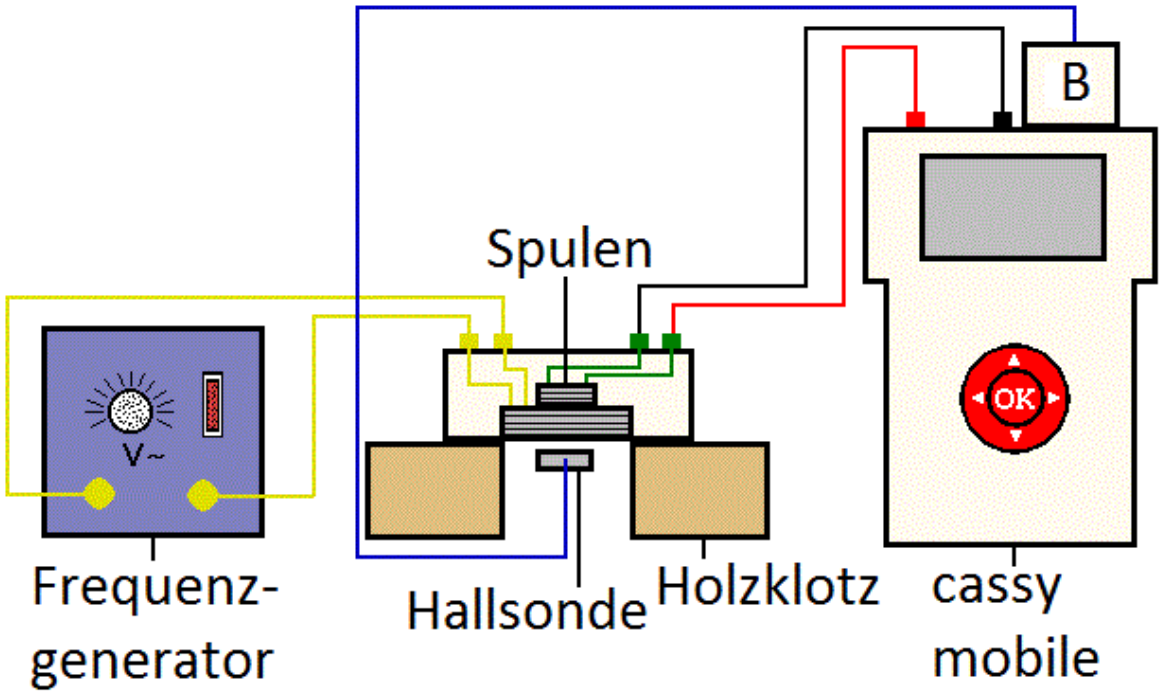
$$\Delta t_3 = 120ms$$

ein Handover aus[1)]. Dazu wertet es die Empfangsstärke mehrerer benachbarter Basisstationen aus und wechselt gegebenenfalls auf eine andere Station, wenn der Empfang über sie besser ist. Dafür muss diese Station über ein freies Zeitfenster verfügen.

Literatur:
1) Prof. Dr. Roman Dengler, Mobilfunk im naturwissenschaftlichen Unterricht, Praxis der Naturwissenschaften, Physik in der Schule Heft Nr. 7/60, Oktober 2011

Induktion

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Induktion1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie den Frequenzgenerator ein und stellen Sie U = 2 V und f = 50 Hz ein. Schalten Sie zunächst auf Sinusspannung um.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 1/10 Sekunde beendet.
5. Speichern Sie die Messwerte für die spätere Auswertung.
6. Führen Sie anschließend die Messung mit Dreieck- und Rechteckspannung durch.

Aufgaben

a. Erklären Sie die Kurvenverläufe für die induzierte Spannung in allen drei Fällen.
b. Berechnen Sie mit Hilfe des Induktionsgesetzes die Amplitude der induzierten Spannung für die Sinusspannung. Die kreisrunde Induktionsspule besitzt n = 100 Windungen und einen Radius r = 1 cm.
c. Ermitteln Sie die Amplitude der Induktionsspannung aus der U(t)-Kurve und vergleichen Sie das Messergebnis mit dem errechneten Wert.
d. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

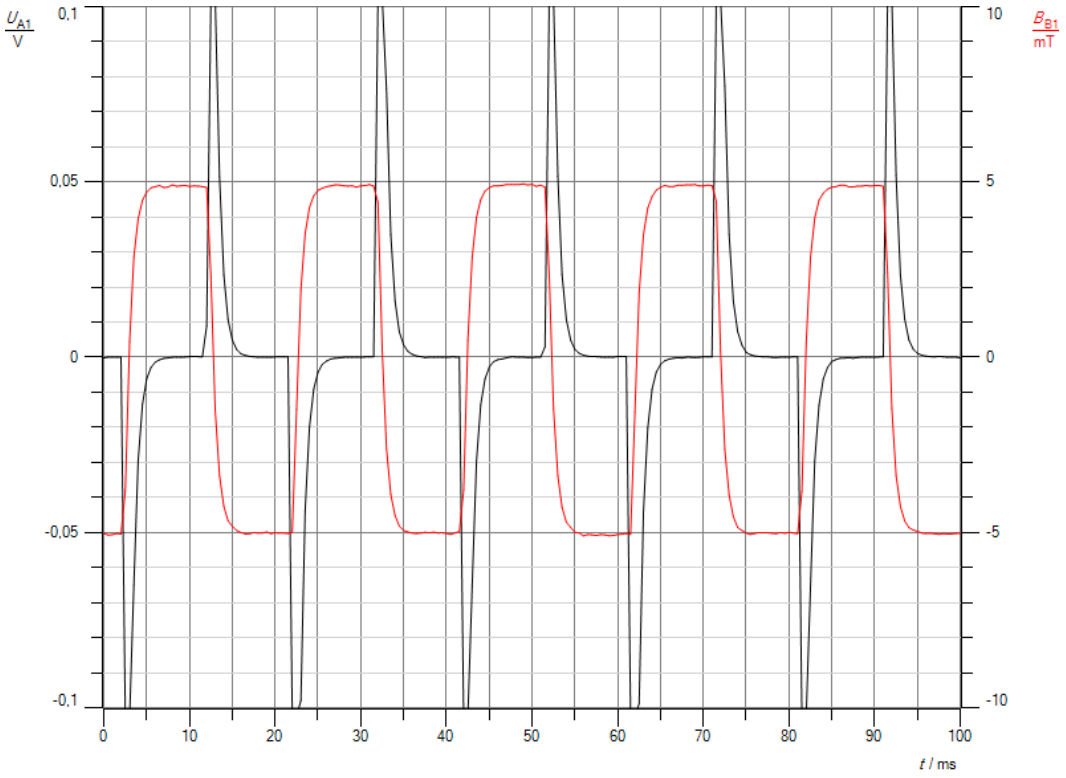


Abb.1: Rechteckspannung

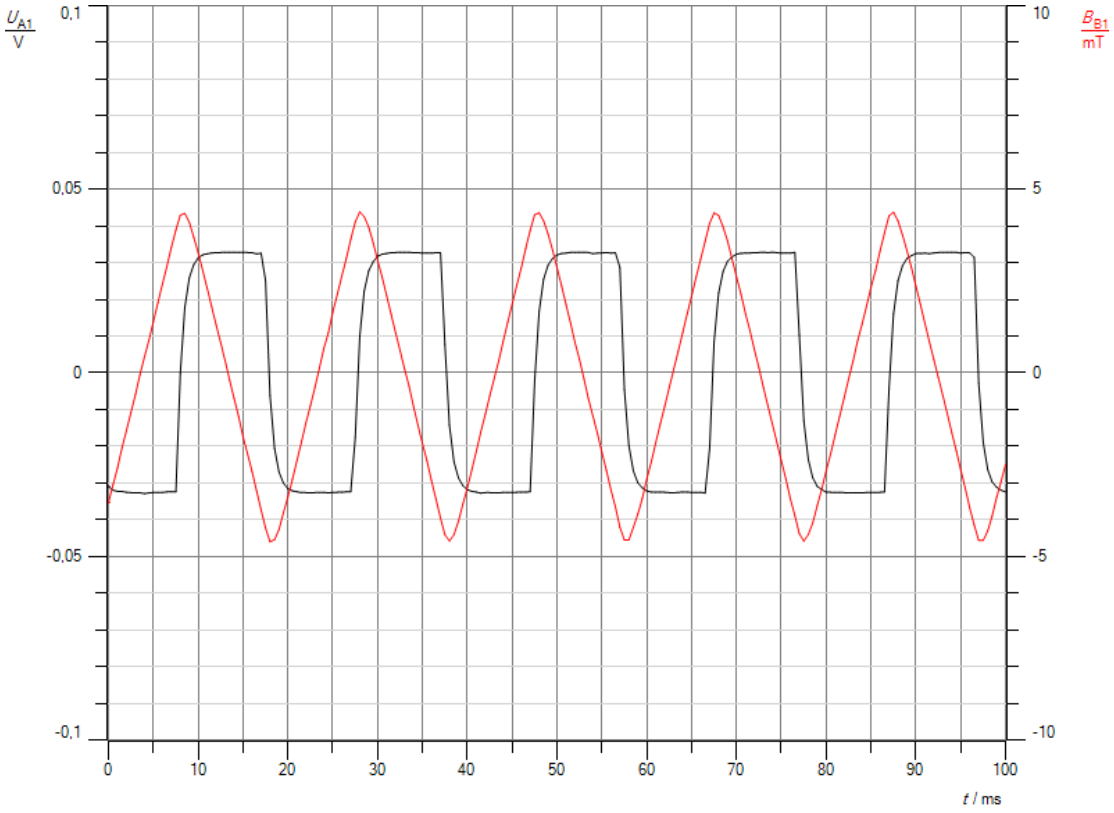


Abb.2: Dreieckspannung

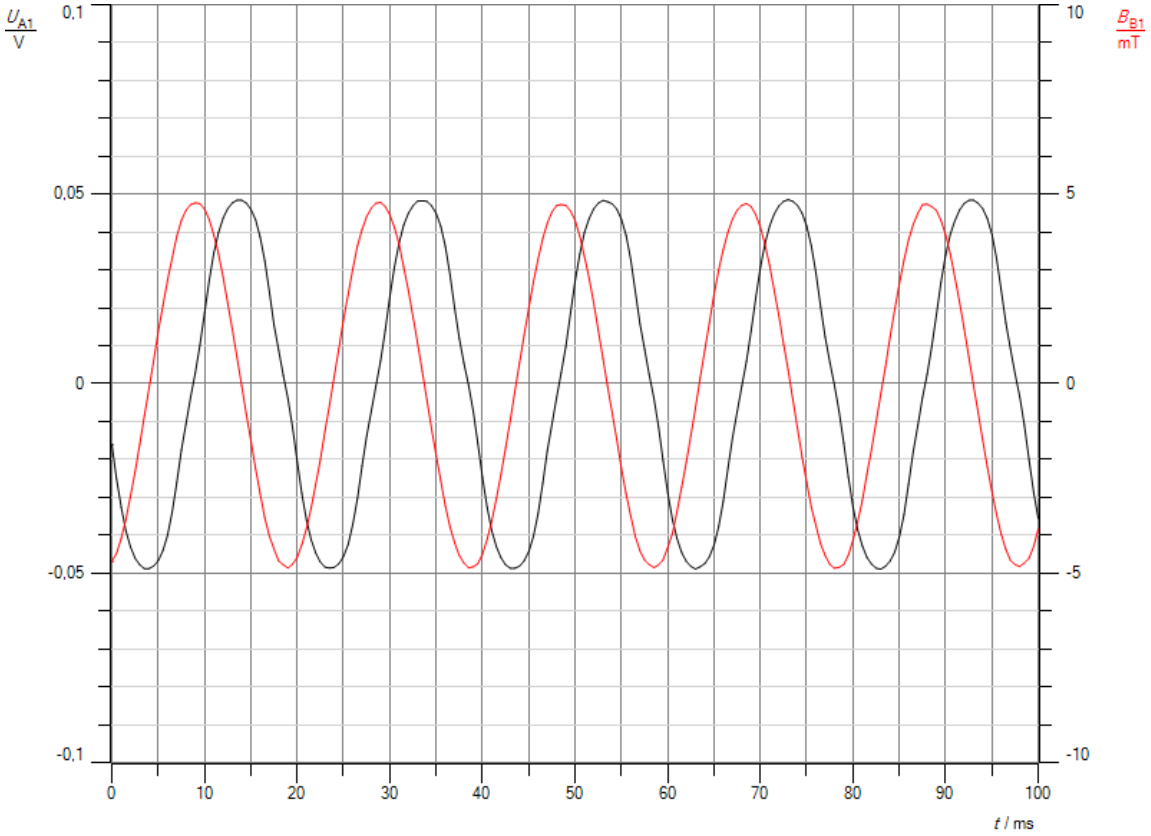


Abb.3: Sinusspannung

Auswertung

a. Die Induzierte Spannung ist nach dem allgemeinen Induktionsgesetz proportional zur zeitlichen Änderung des Magnetfeldes. Bei rechteckförmigem Verlauf des Magnetfeldes erhält man aufgrund des negativen Vorzeichens im Induktionsgesetz in den Phasen, in denen das Magnetfeld sein Vorzeichen von Minus nach Plus wechselt, eine hohe negative Spannungsspitze, beim Wechsel von Plus nach Minus eine positive Spitze. In den anderen Zeiten ändert sich das Magnetfeld nicht. Die induzierte Spannung ist null.
Bei dreieckförmigem Verlauf des Magnetfeldes steigt es in einer Halbperiode, in der zweiten Halbperiode sinkt es gleichmäßig. Die Induktionsspannung ist in beiden Phasen konstant, einmal positiv, einmal negativ. Sie verläuft rechteckförmig.
Bei sinusförmigem Verlauf steigt das Magnetfeld im Nulldurchgang fast gleichmäßig. Die Steigung nimmt jedoch ab, wenn es sich seinem Maximalwert nähert. In der zweiten Viertelperiode sinkt es zunächst langsam, dann immer schneller je mehr es sich dem Nulldurchgang nähert usw. Insgesamt hinkt die Induktionsspannung dem Magnetfeld um 90 ° hinterher. Sie verläuft cosinusförmig, allerdings mit negativem Vorzeichen wegen des negativen Vorzeichens im Induktionsgesetz.

b. Das allgemeine Induktionsgesetz lautet bei zeitlicher Änderung des Magnetfeldes mit n als Windungszahl, A als Fläche der Induktionsspule und B als Magnetfeld:

$$U_{ind} = -n * A * \frac{dB}{dt}.$$

Mit

$$B = B_0 * sin(2\pi f * t)$$

folgt

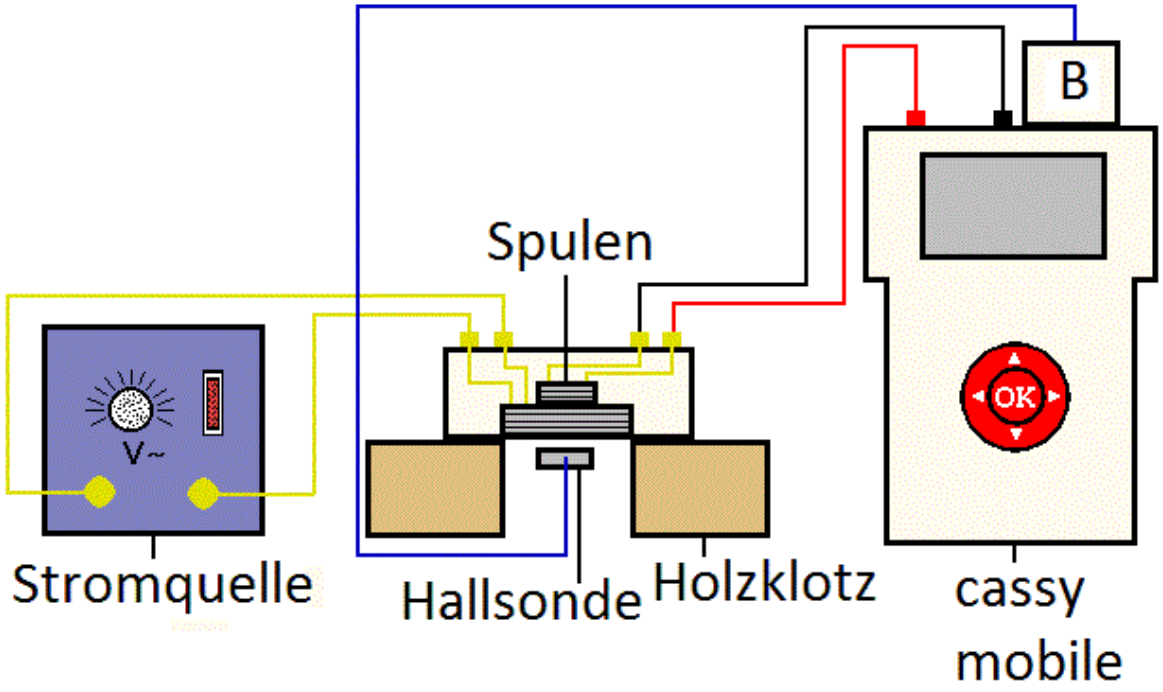
$$U_{ind} = -n * A * B_0 * 2\pi * f * cos(2\pi * f * t).$$

Damit gilt für die Amplitude U_0 der induzierten Spannung

$$U_0 = 100 * 3{,}14 * (0{,}01m)^2 * 4{,}8mT * 6{,}28 * 50Hz$$
$$= 47{,}3mV.$$

c. Aus der U(t)-Kurve liest man eine Amplitude von U_0 = 49 mV ab. Gemessener und theoretischer Wert stimmen recht gut überein.
d. Mögliche Fehlerquellen sind Ablesefehler. Außerdem kann man den Radius der Spule nur angenähert messen, da die einzelnen Windungen übereinander gewickelt sind und nicht nebeneinander. Ferner lässt sich die Stärke des Magnetfeldes nicht direkt am Ort der Induktionsspule messen, sondern nur in annähernd gleicher Entfernung auf der gegenüberliegenden Seite der Feldspule.

Versuch 2:



Durchführung:

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Induktion2.labm“.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie die Wechselspannungsquelle ein.
4. Erhöhen Sie die Spannung in Schritten von etwa 0,5V von 0V bis auf 5V.
5. Speichern Sie das Messpaar nach jedem Schritt, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Erklären Sie den Kurvenverlauf.
b. Ermitteln Sie die Steigung der Kurve.
c. Berechnen Sie die Steigung mit Hilfe des Induktionsgesetzes. Die kreisrunde Induktionsspule hat n = 100 Windungen und einen Radius r = 1 cm.
d. Vergleichen Sie den theoretischen und den gemessenen Wert miteinander und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

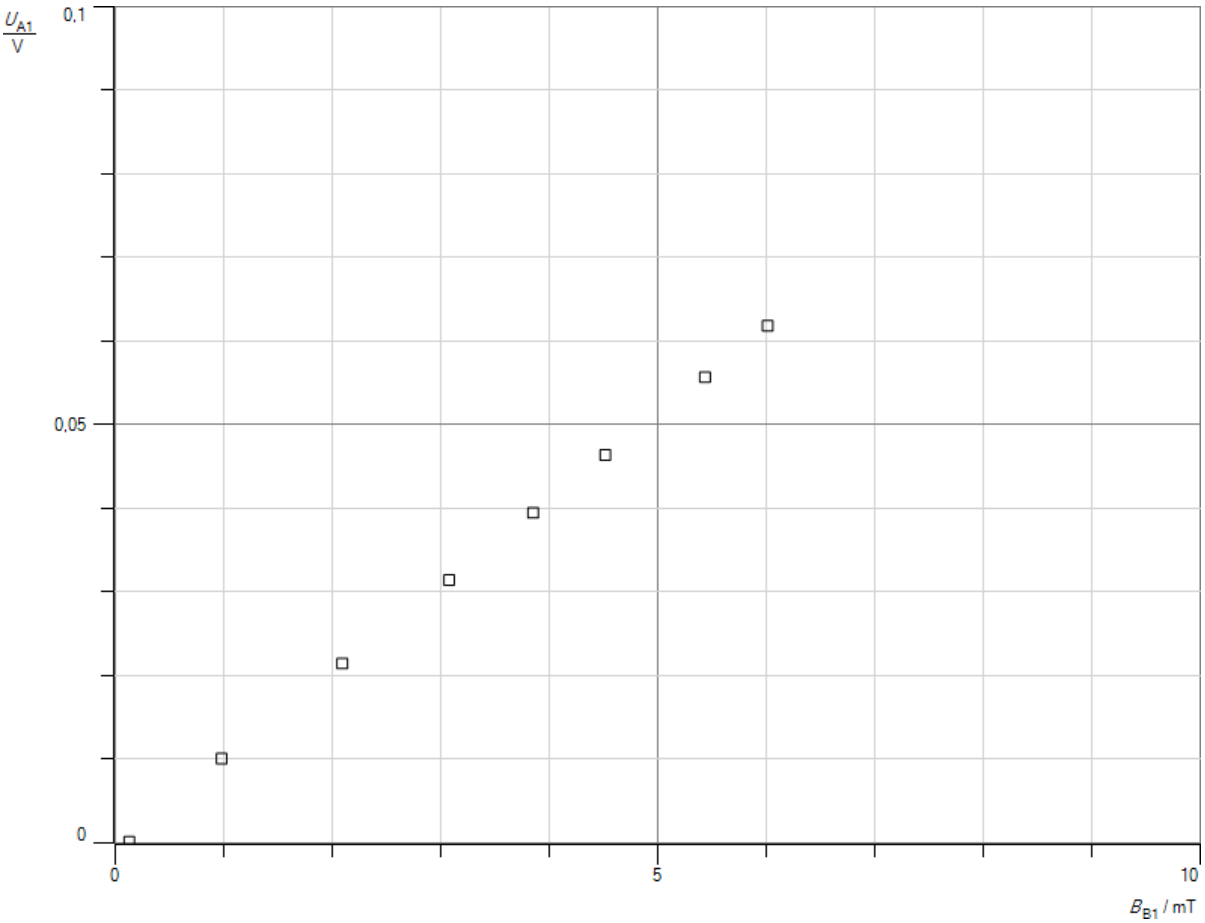


Abb.4: Induktionsspannung in Abhängigkeit vom Magnetfeld

Auswertung

a. Nach dem allgemeinen Induktionsgesetz erhält man für die Amplitude U_0 der induzierten Spannung bei sinusförmigem Verlauf des Magnetfeldes

$$U_0 = n * A * B_0 * 2\pi * f.$$

Sie ist proportional zur Amplitude des Magnetfeldes. Damit ergibt sich eine Gerade, wenn man die Amplitude U_0 in Abhängigkeit von der Stärke B_0 des Magnetfeldes misst.

b. Die grafische Auswertung liefert für die Steigung m der Geraden:

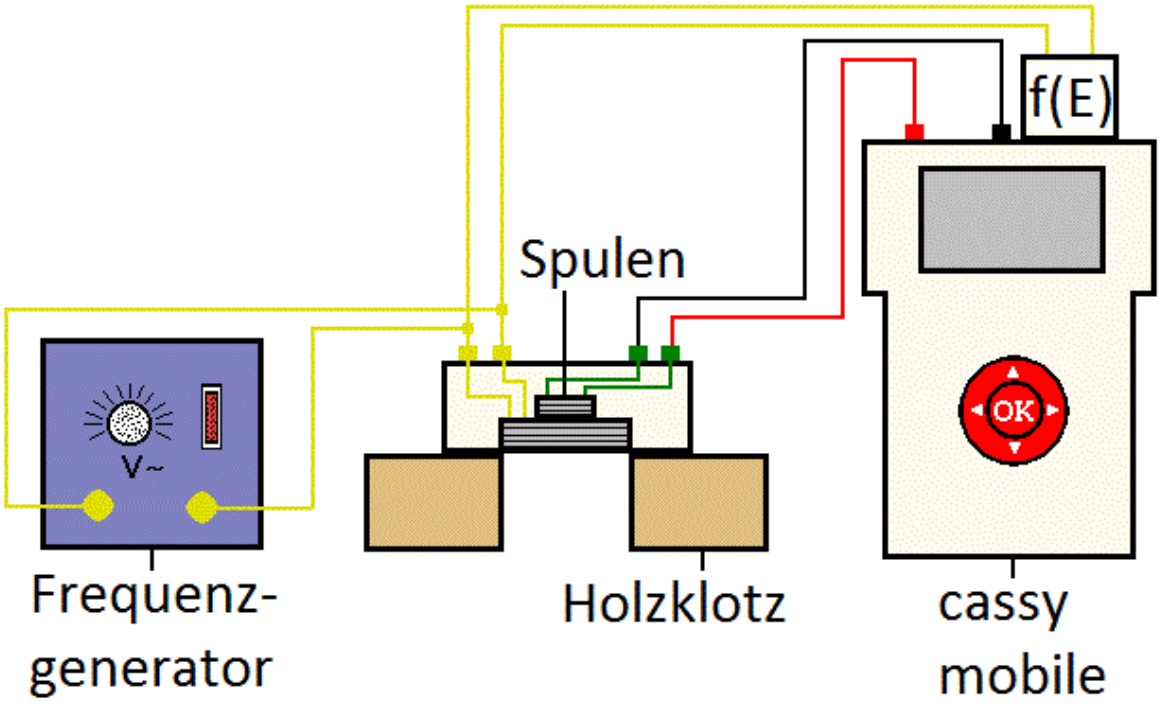
$$m = 10{,}22 V/T.$$

c. Für den Quotienten aus der Amplitude U_0 und der Stärke B_0 des Magnetfeldes erhält man mit der Formel aus a. und den angegebenen geometrischen Daten der Induktionsspule:

$$\frac{U_0}{B_0} = n * A * 2\pi * f$$
$$= 100 * 3{,}14 * (0{,}01m)^2 * 2\pi * 50Hz$$
$$= 9{,}9\,V/T.$$

d. Theoretischer und gemessener Wert stimmen sehr gut überein. Mögliche Fehlerquellen sind Ablesefehler. Außerdem kann man den Radius der Spule nur angenähert messen, da die einzelnen Windungen übereinander gewickelt sind und nicht nebeneinander. Ferner lässt sich die Stärke des Magnetfeldes nicht direkt am Ort der Induktionsspule messen, sondern nur in annähernd gleicher Entfernung auf der gegenüberliegenden Seite der Feldspule.

Versuch 3:



Durchführung:

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Induktion3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie den Frequenzgenerator ein und stellen Sie eine Spannung von etwa 3 V ein.
4. Erhöhen Sie die Frequenz in Schritten von 10 Hz von 10 Hz bis auf 150 Hz.
5. Speichern Sie das Messpaar nach jedem Schritt, in dem Sie die OK-Taste drücken.
6. Ermitteln Sie ohne die Einstellung des Frequenzgenerators zu verändern mit der Hallsonde und der B-Box das Magnetfeld unter der felderzeugenden Spule.

Aufgaben

a. Erklären Sie den Kurvenverlauf.
b. Ermitteln Sie die Steigung der Kurve.
c. Berechnen Sie die Steigung der Kurve mit Hilfe des Induktionsgesetzes. Die kreisrunde Induktionsspule hat n = 100 Windungen und einen Radius r = 1 cm. Das Magnetfeld hat eine Stärke B = 2,43 mT.
d. Vergleichen Sie den errechneten und den gemessenen Wert miteinander und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

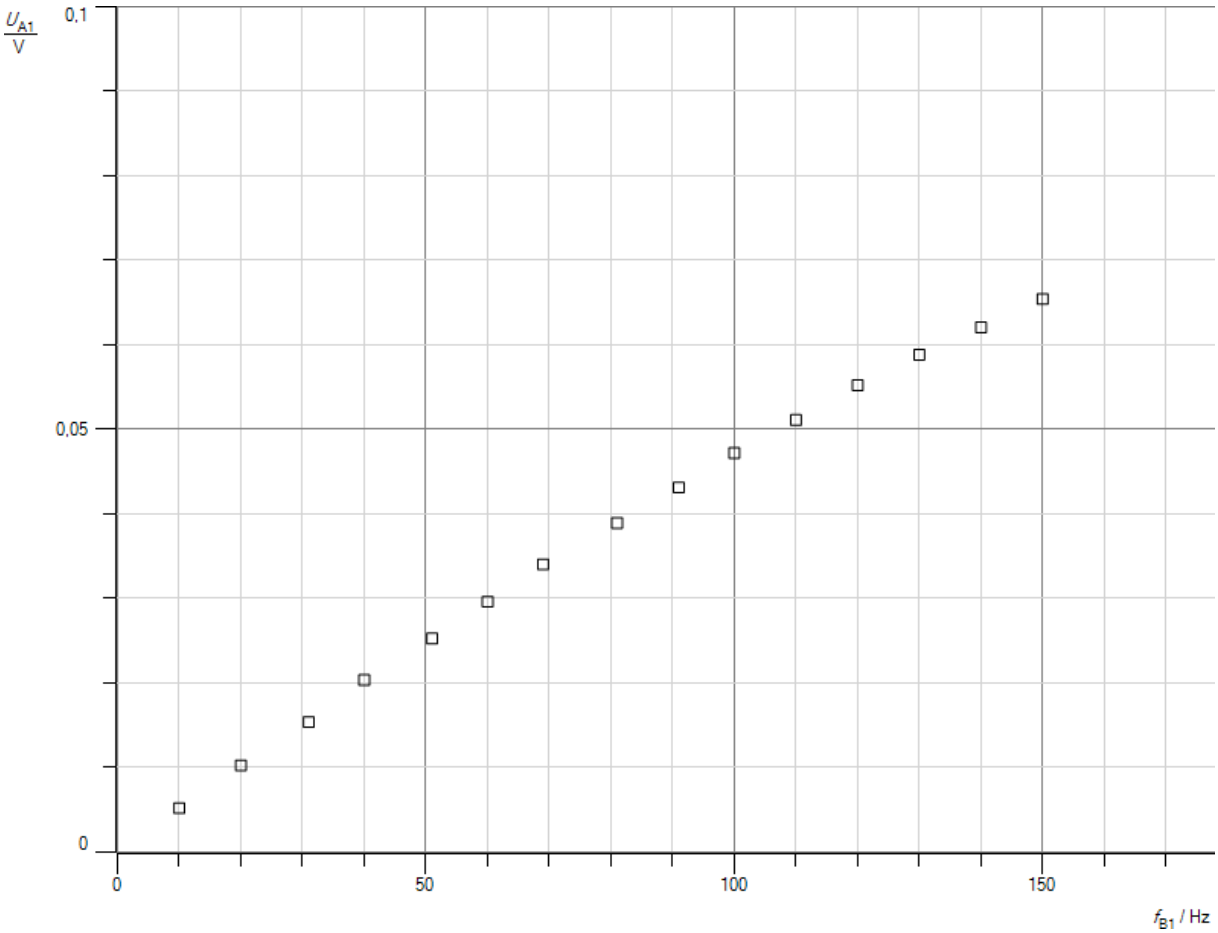


Abb.5: Induktionsspannung in Abhängigkeit von der Frequenz

Auswertung

a. Nach dem allgemeinen Induktionsgesetz erhält man für die Amplitude U_0 der induzierten Spannung bei sinusförmigem Verlauf des Magnetfeldes

$$U_0 = n * A * B_0 * 2\pi * f.$$

Sie ist proportional zur Frequenz des Magnetfeldes. Damit ergibt sich eine Gerade, wenn man die Amplitude U_0 in Abhängigkeit von der Frequenz f des Magnetfeldes misst.

b. Die grafische Auswertung liefert für die Steigung m der Geraden:

$$m = 0{,}000468 V/Hz.$$

c. Für den Quotienten aus der Amplitude U_0 und der Frequenz f des Magnetfeldes erhält man mit der Formel aus a. und den angegebenen geometrischen Daten der Induktionsspule:

$$\frac{U_0}{f} = n * A * 2\pi * B_0$$

und damit

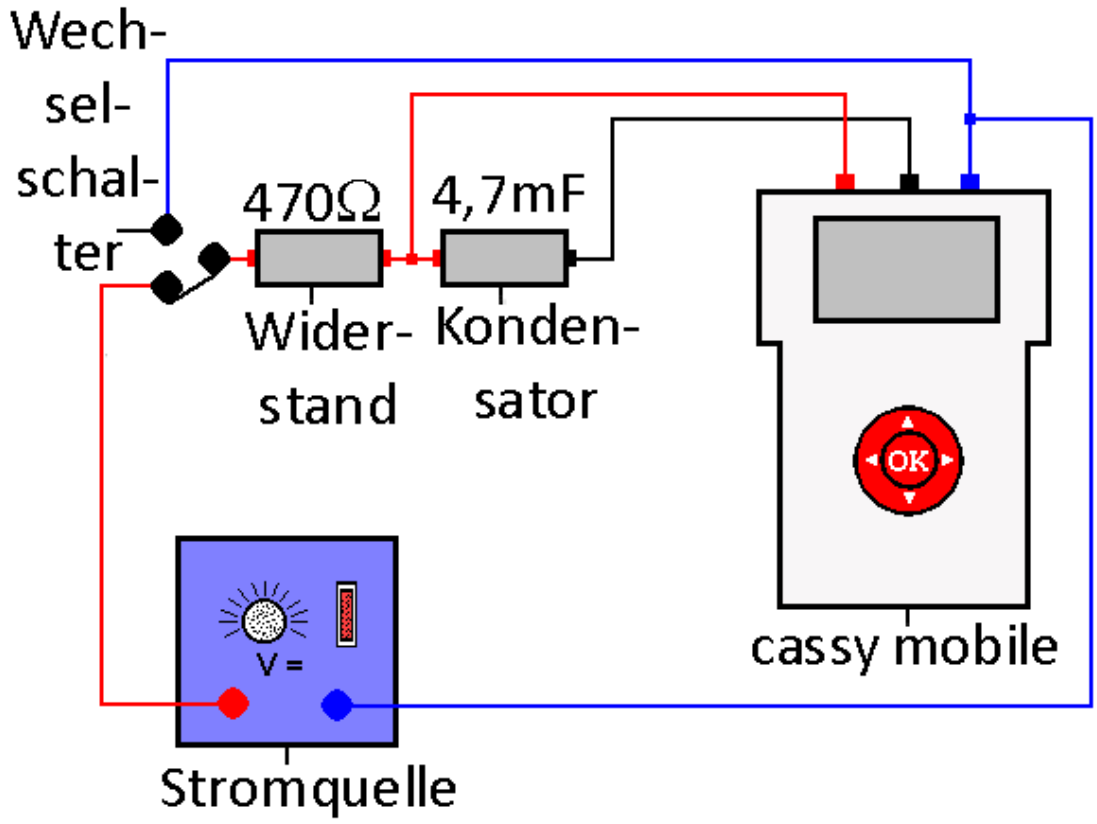
$$\frac{U_0}{f} = 100 * 3{,}14 * (0{,}01m)^2 * 2\pi * 2{,}43 * 10^{-3}T$$

$$= 0{,}000479\,\frac{V}{Hz}.$$

d. Theoretischer und gemessener Wert stimmen sehr gut überein. Mögliche Fehlerquellen sind Ablesefehler. Außerdem kann man den Radius der Spule nur angenähert messen, da die einzelnen Windungen übereinander gewickelt sind und nicht nebeneinander. Ferner lässt sich die Stärke des Magnetfeldes nicht direkt am Ort der Induktionsspule messen, sondern nur in annähernd gleicher Entfernung auf der gegenüberliegenden Seite der Feldspule.

Kondensator

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Kondensator1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Achten Sie beim Kondensator auf die richtige Polung.
3. Stellen Sie den Wechselschalter so ein, dass der Kondensator nicht geladen wird, gemäß der Abb. in die obige Position.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und legen Sie eine Gleichspannung U = 10 V an.
5. Starten Sie die Messung.
6. Legen Sie den Wechselschalter um und beobachten Sie den Kurvenverlauf.
7. Hat die Spannung einen fast konstanten Endwert erreicht, so drehen Sie den Wechselschalter in die andere Position.
8. Stoppen Sie die Messung, wenn die Spannung auf fast 0 V gesunken ist.

Aufgaben

a. Erklären Sie den Kurvenverlauf von U und I beim Laden bzw. Entladen des Kondensators.
b. Erstellen Sie eine U/t-Wertetabelle für den Entladevorgang und zeigen Sie, dass man ihn mit einer e-Funktion beschreiben kann.
c. Ermitteln Sie aus der Messkurve den Ladewiderstand und die Kapazität des Kondensators.
d. Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den Aufschriften auf beiden Bauteilen. Erklären Sie mögliche Abweichungen zwischen Ihren Messwerten und den Angaben.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

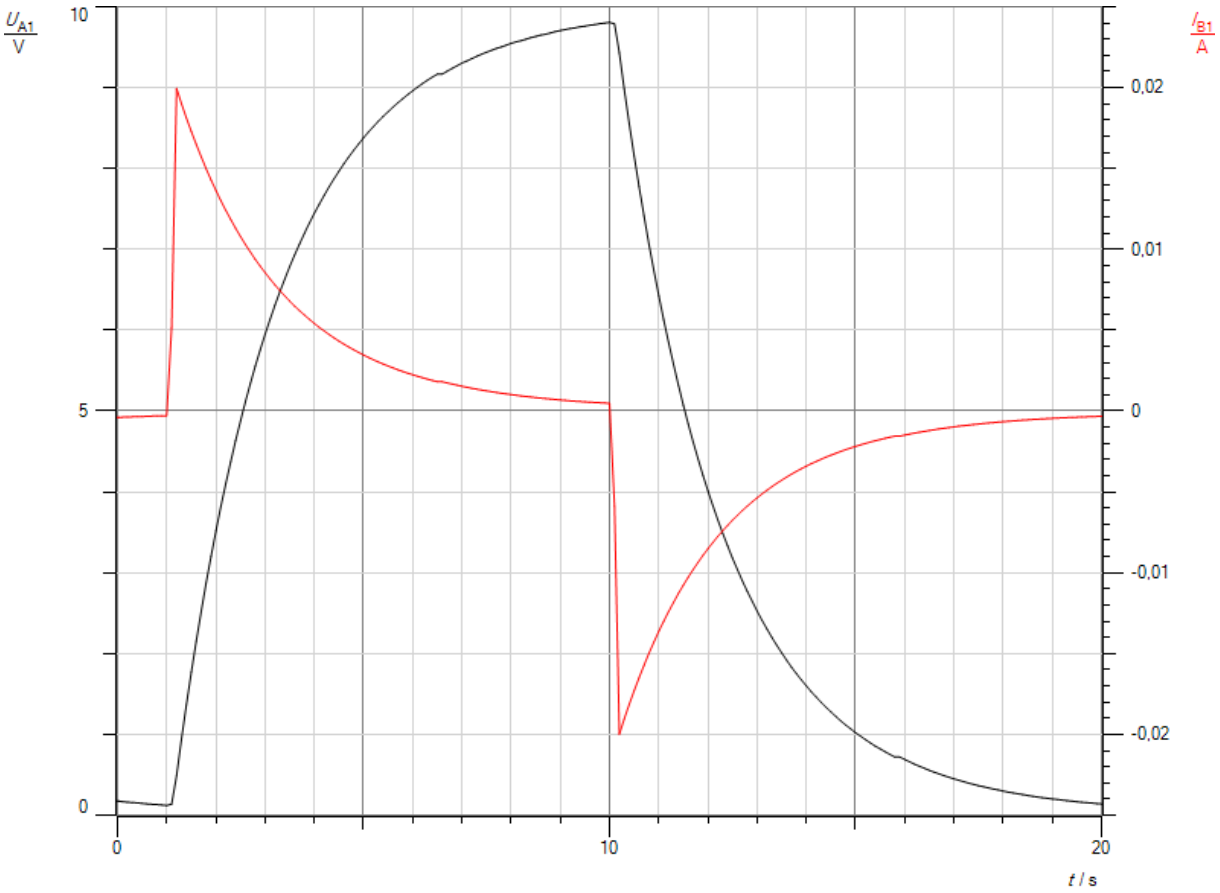


Abb.1: Lade und Entladekurve eines Kondensators

Auswertung

a. Beim Laden des Kondensators fließt zu Beginn ein hoher Strom, da der Kondensator noch keine Ladung trägt. Folglich ist die Spannung an ihm gering. Je voller er wird, umso mehr steigt die Spannung an. Gleichzeitig nimmt die Spannungsdifferenz zwischen der von außen angelegten Spannung und der Kondensatorspannung ab. Der Antrieb des Ladestromes wird kleiner, die Stromstärke sinkt. Beim Entladen treibt zu Beginn die hohe Kondensatorspannung einen hohen Entladestrom durch den Widerstand. Je mehr Ladung der Kondensator verliert, umso kleiner werden die an ihm liegende Spannung und damit der Antrieb für den Entladestrom. Er sinkt.

b. Man erhält folgende Tabelle:

t[s]	0	1	2	3	4	5	6	7
U[V]	9,81	6,43	4,01	2,53	1,60	1,02	0,69	0,45
λ[1/s]		0,422	0,447	0,452	0,453	0,453	0,442	0,440

Für den Entladevorgang eines Kondensators gilt mit U als momentaner Spannung, U_0 als Spannung zum Zeitpunkt 0, λ als Entladekonstante und t als Zeit folgende Gesetzmäßigkeit:

$$U = U_0 * e^{-\lambda * t}.$$

Löst man diese Gleichung nach λ auf, so erhält man

$$\lambda = -\frac{ln\frac{U}{U_0}}{t}.$$

Berechnet man die Entladekonstante für die Spannungen zu verschiedenen Zeiten, so ergibt sich Zeile 3 der Tabelle. Da der Wert für λ nahezu konstant ist, sinkt die Spannung beim Entladen des Kondensators mit einer e-Funktion.

c. Für den Entladewiderstand gilt:

$$R = \frac{U_0}{I_0} = \frac{9{,}81V}{0{,}02A} = 491\,\Omega.$$

Die Entladekonstante ist umso kleiner, je größer der Entladewiderstand und je größer die Kapazität des Kondensators ist. Es gilt:

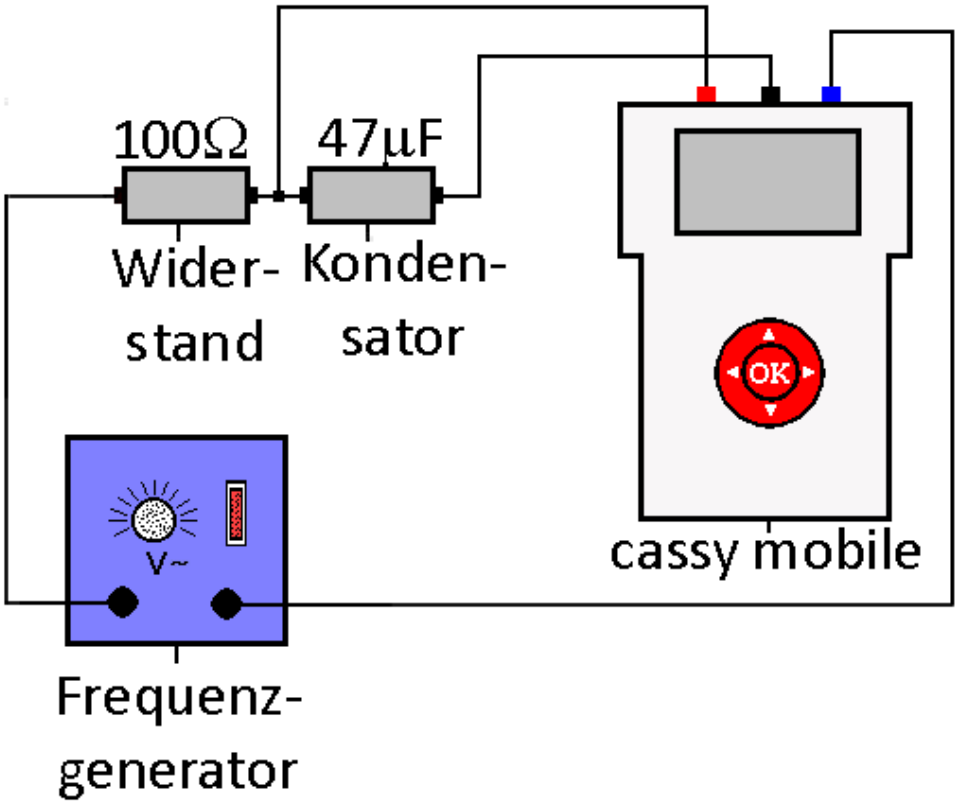
$$\lambda = \frac{1}{R * C}.$$

Löst man diese Gleichung nach C auf, so folgt:

$$C = \frac{1}{R * \lambda} = \frac{1}{491\Omega * 0{,}444 * 1/s} = 4{,}59\,mF.$$

d. Im Rahmen der Bauteiltoleranzen stimmen die ermittelten Werte gut mit den Aufschriften auf den Bauteilen überein, zumal der Istwert der Kapazität bei Elektrolytkondensatoren um bis zu 50% vom Nennwert abweichen kann. Mit einem anderen Exemplar erhielt ich z.B. C = 5,7 mF.

Versuch 2



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Kondensator2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Stellen Sie den Frequenzgenerator auf Rechteckspannung mit einer Frequenz f = 25 Hz und einer Spannung U = 6 - 7 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
b. Ermitteln Sie aus der Kurve die Halbwertszeit für den Ladevorgang und den Ohmschen Widerstand.
c. Berechnen Sie aus beiden Werten die Kapazität des Kondensators und vergleichen Sie mit der Angabe auf dem Kondensator.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

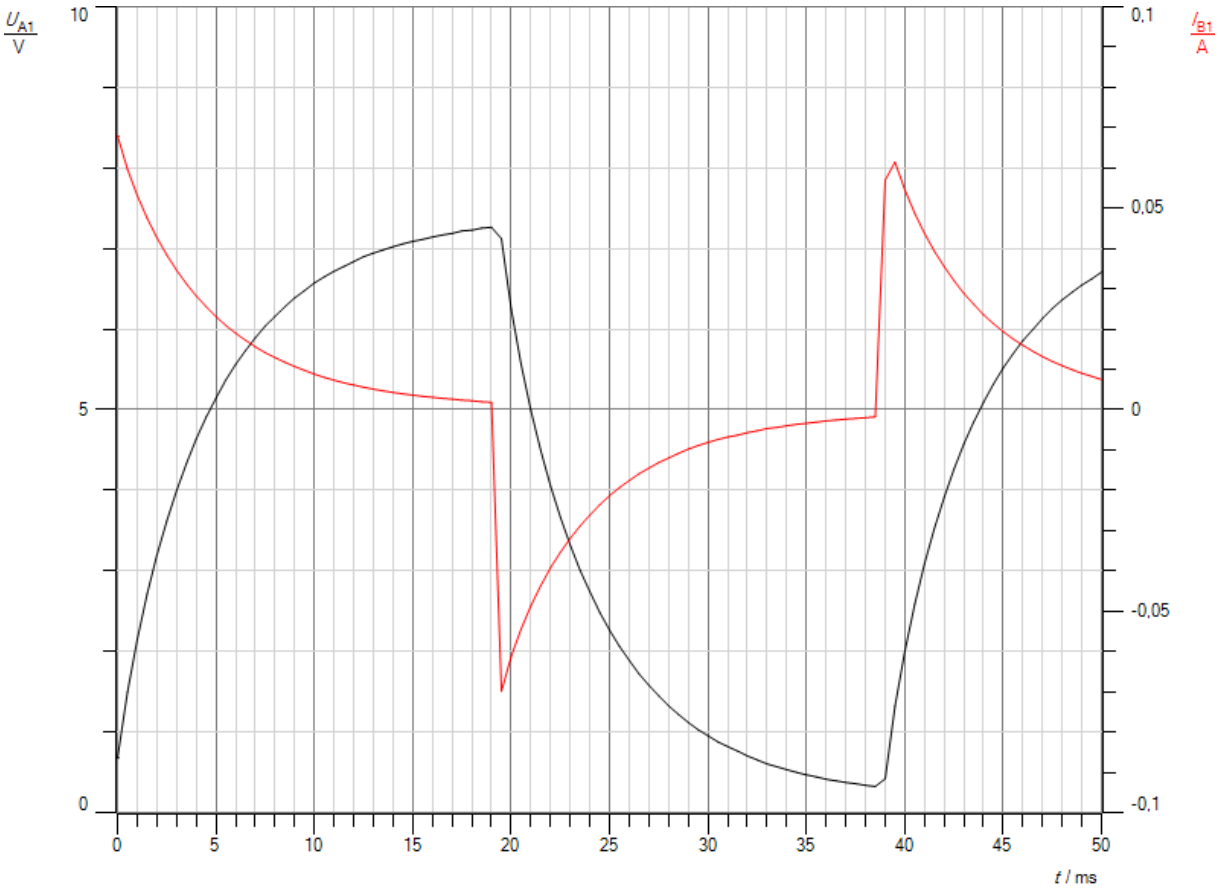


Abb.2: Lade und Entladekurve eines Kondensators

Auswertung

a. Beim Laden des Kondensators fließt zu Beginn ein hoher Strom, da der Kondensator noch keine Ladung trägt. Folglich ist die Spannung an ihm gering. Je voller er wird, umso mehr steigt die Spannung an. Gleichzeitig nimmt die Spannungsdifferenz zwischen der von außen angelegten Spannung und der Kondensatorspannung ab. Der Antrieb des Ladestromes wird kleiner, die Stromstärke sinkt. Beim Entladen treibt zu Beginn die hohe Kondensatorspannung einen hohen Entladestrom durch den Widerstand. Je mehr Ladung der Kondensator verliert, umso kleiner werden die an ihm liegende Spannung und damit der Antrieb für den Entladestrom. Er sinkt.

b. Aus den Messkurven erhält man folgende Daten:

$$T_{1/2} = 3{,}4ms$$
$$U_{max} = 7{,}26V$$
$$I_{max} = 0{,}07A.$$

Daraus ergibt sich ein Ohmscher Widerstand

$$R = \frac{7{,}26V}{0{,}07A} = 103{,}7\Omega.$$

c. Für die Halbwertszeit gilt folgende Gesetzmäßigkeit:

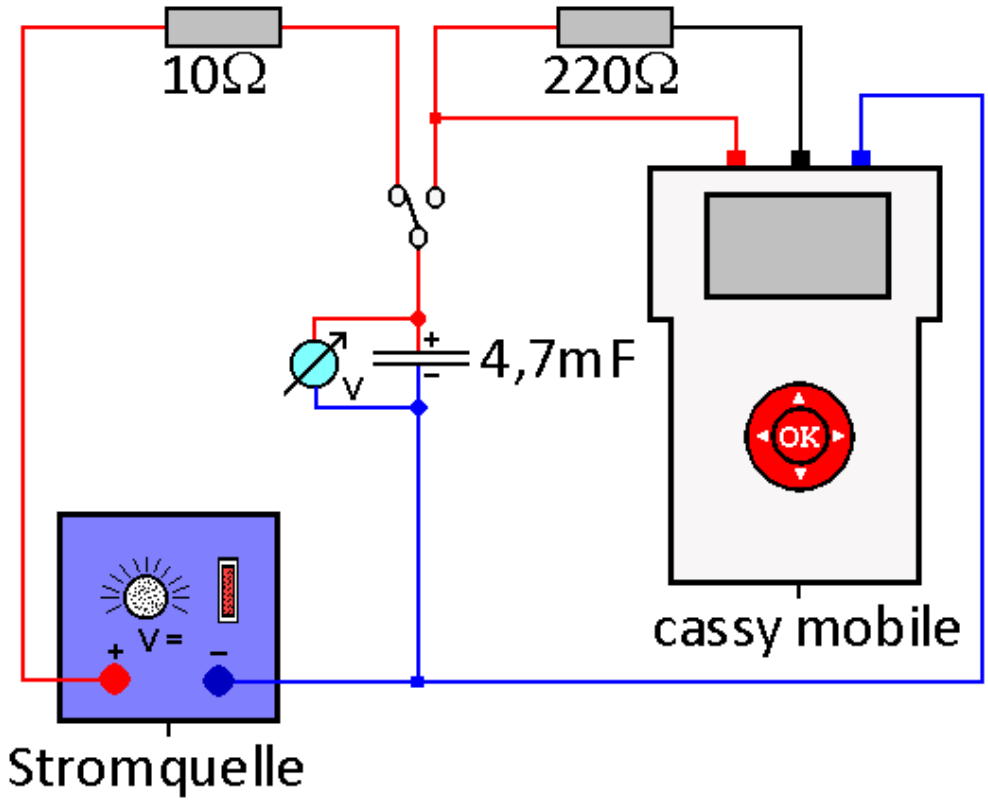
$$T_{1/2} = R * C * ln\, 2.$$

Löst man diese Gleichung nach C auf, so folgt

$$C = \frac{T_{1/2}}{R * ln\, 2} = 47{,}3\mu F.$$

Der gemessene Wert stimmt sehr gut mit der Aufschrift auf dem Kondensator überein.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Kondensator4.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Laden Sie den Kondensator über die Spannungsquelle auf $U_1 = 3$ V auf.
4. Starten Sie cassy mobile.
5. Legen Sie den Wechselschalter um. Die Energiemessung stoppt nach der Messzeit t = 5 s automatisch.
6. Wiederholen Sie die Messung dreimal und errechnen Sie den Mittelwert der Energie.
7. Erhöhen Sie die Ladespannung in Schritten von $\Delta U = 3$ V bis auf $U_2 = 15$ V und führen Sie den Versuch für jede Spannung erneut durch.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve für die Energie.
b. Erstellen Sie aus den Ladespannungen und den Energiewerten eine Messtabelle.
c. Bilden Sie für jedes Messpaar den Quotienten aus der Energie E und dem Quadrat der Ladespannung U. Errechnen Sie seinen Mittelwert. Interpretieren Sie das Ergebnis.
d. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Gesetz für den Energieinhalt eines Kondensators. Ermitteln Sie die Kapazität des Kondensators.
e. Vergleichen Sie den Wert mit dem Ergebnis aus Versuch 1 und der Aufschrift auf dem Kondensator.

Beobachtung

Man erhält für die Ladespannung U = 15 V z.B. folgende Messkurve.

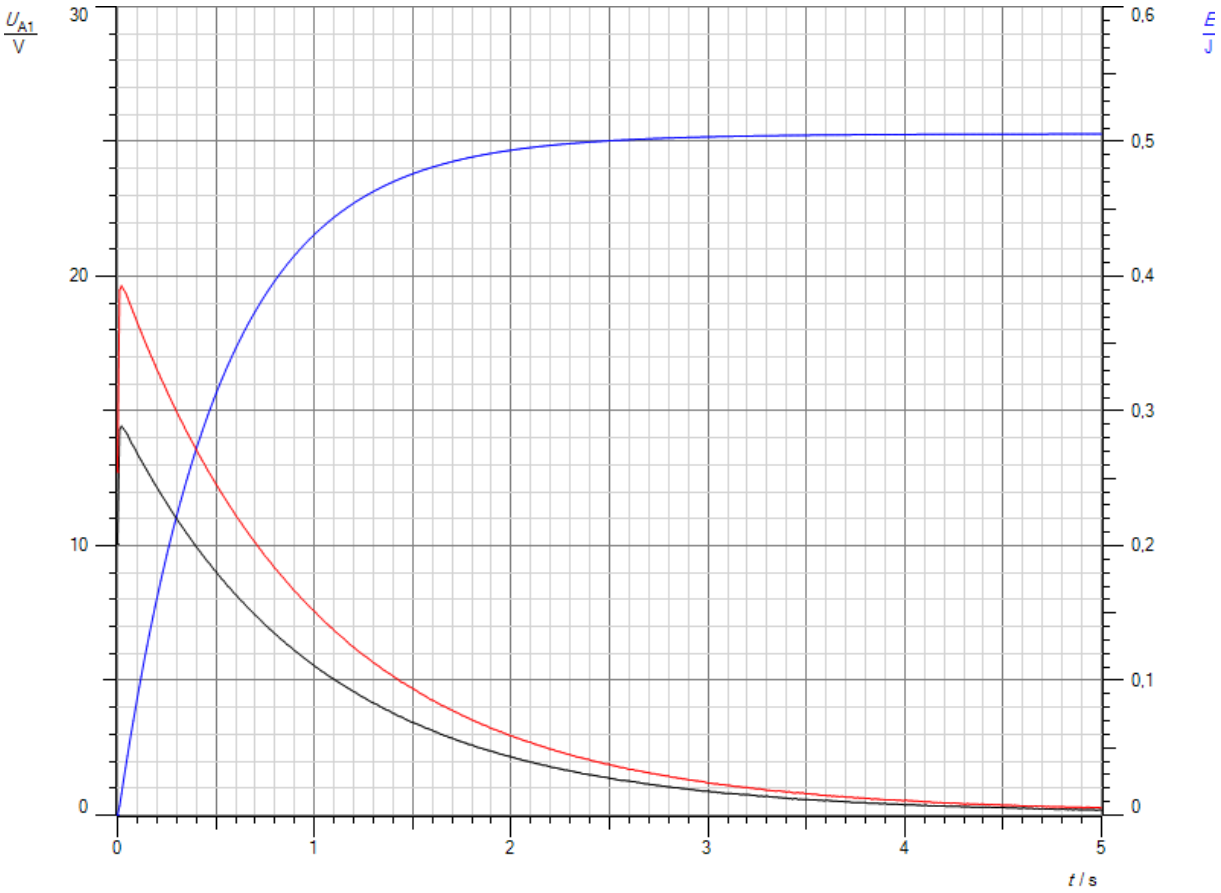


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Zunächst steigt die Energie steil an, weil die Spannung und die Stromstärke (rote Kurve) zu Beginn hoch sind. Da beide mit der Zeit stark sinken, wird der Anstieg der Energiekurve immer flacher. Ist der Kondensator fast vollständig entladen, so hat die Energie ihren Endwert erreicht.

b. Man erhält folgende Tabelle:

U[V]	E[mJ]	E/U^2 [mJ/V^2]
3	20,1	2,23
6	79,7	2,21
9	180,9	2,23
12	322,3	2,24
15	505,7	2,25
Mittelwert:		**2,23 mJ/V^2**

Messtabelle

c. Man erhält die Spalte 3 der Tabelle. Die Energie ist proportional zur Ladespannung U. Es gilt

$$E = m * U^2$$

mit m als Proportionalitätsfaktor.

d. Der Vergleich mit dem Kondensatorgesetz

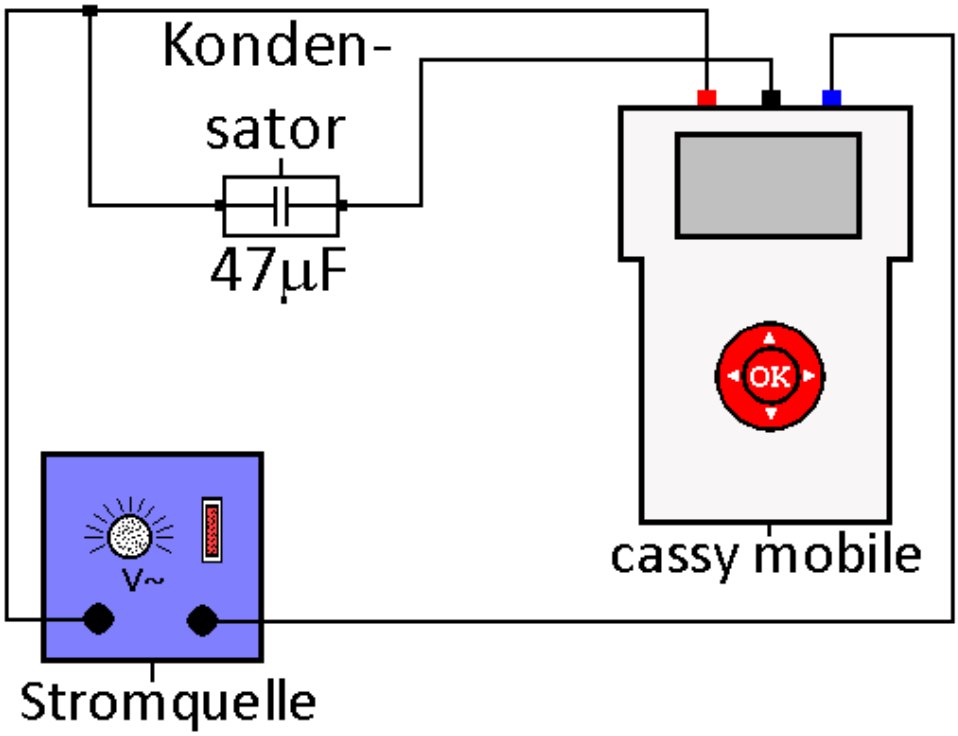
$$E = \frac{1}{2} * C * U^2$$

liefert:

$$C = 2 * m = 2 * 2{,}23 \frac{mJ}{V^2} = 4{,}46\, mF.$$

e. Der Kondensator trägt die Aufschrift: 4700 µF. Das entspricht 4,7 mF. Der ermittelte Wert stimmt sehr gut mit der Aufschrift und dem Ergebnis aus Versuch 1 überein.

Versuch 4:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Kondensator3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Stellen Sie eine Spannung von U = 3 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die erhaltenen U(t), I(t) und P(t)-Diagramme.
b. Ermitteln Sie aus den Diagrammen I_{max} und U_{max} und errechnen Sie daraus die Kapazität des Kondensators bei f = 50 Hz.
c. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem auf dem Kondensator aufgedruckten Wert und diskutieren Sie eventuelle Abweichungen.
d. Erstellen Sie ein I(U) und ein P(U)-Diagramm und deuten Sie sie.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

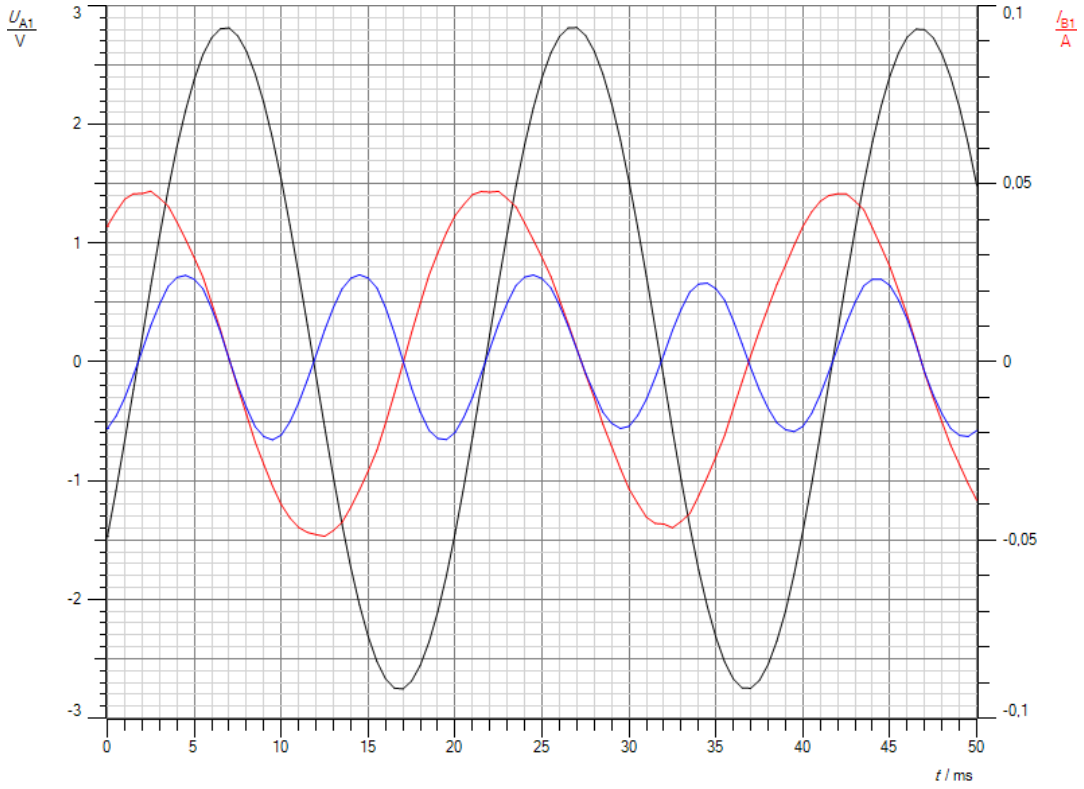


Abb.1: U(t), I(t) und P(t)-Diagramme für einen Kondensator

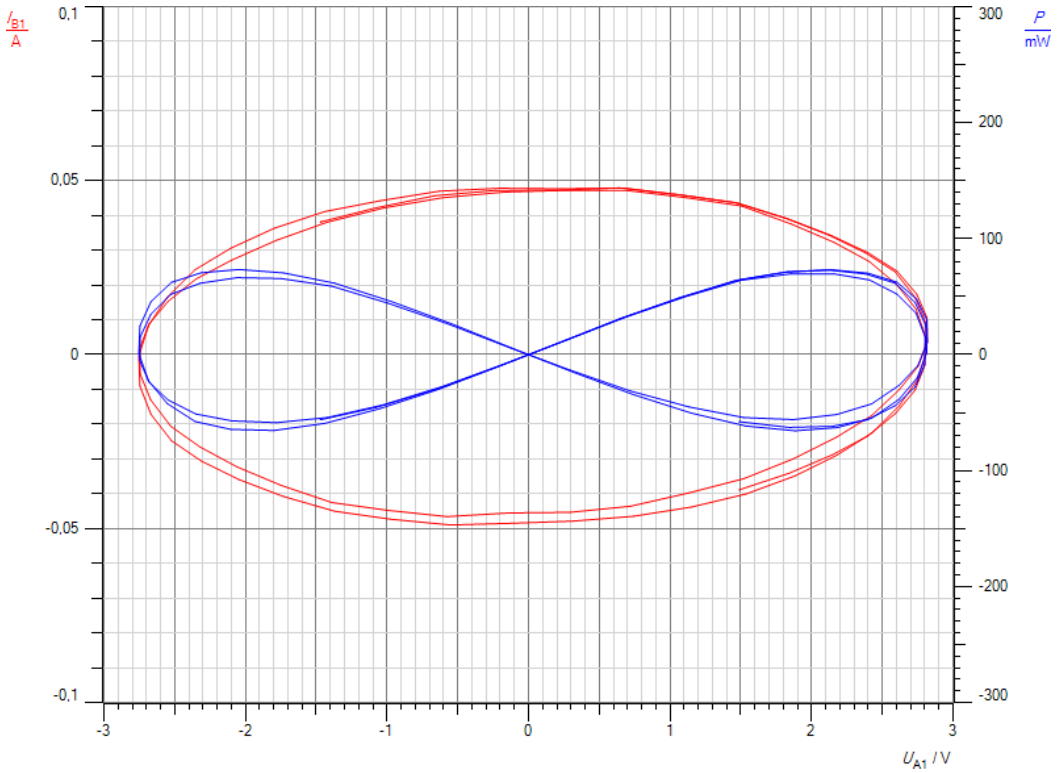


Abb.2: I(U) und P(U)-Diagramm für einen Kondensator

Auswertung

a. Vergleicht man den Verlauf der U(t)-Kurve und der I(t)-Kurve miteinander, so fällt auf, dass der Strom der Spannung um 90 ° voraus eilt. Beim Laden des Kondensators fließt zu Beginn ein hoher Strom, da der Kondensator noch keine Ladung trägt. Folglich ist die Spannung an ihm gering. Je voller er wird, umso mehr steigt die Spannung an. Gleichzeitig nimmt die Spannungsdifferenz zwischen der von außen angelegten Spannung und der Kondensatorspannung ab. Der Antrieb des Ladestromes wird kleiner, die Stromstärke sinkt. Beim Entladen treibt zu Beginn die hohe Kondensatorspannung einen hohen Entladestrom durch den Widerstand. Je mehr Ladung der Kondensator verliert, umso kleiner werden die an ihm liegende Spannung und damit der Antrieb für den Entladestrom. Er sinkt.
   Die Leistung ist in einer Halbperiode positiv, in der nächsten negativ, d.h. der Kondensator nimmt in einer Halbperiode aus der Spannungsquelle Energie auf, um sie in der nächsten Halbperiode wieder an die Spannungsquelle zurück zu geben. Es handelt sich um reine Blindleistung, bedingt durch die Phasenverschiebung von 90 ° zwischen Spannung U und Stromstärke I.

b. Aus den Messkurven liest man ab:

$$U_{max} = 2{,}814V$$
$$I_{max} = 0{,}0479A.$$

   Für den kapazitativen Widerstand R_C eines Kondensators gilt die Gesetzmäßigkeit:

$$R_C = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \frac{1}{2\pi f * C}$$

   Daraus erhält man für die Kapazität

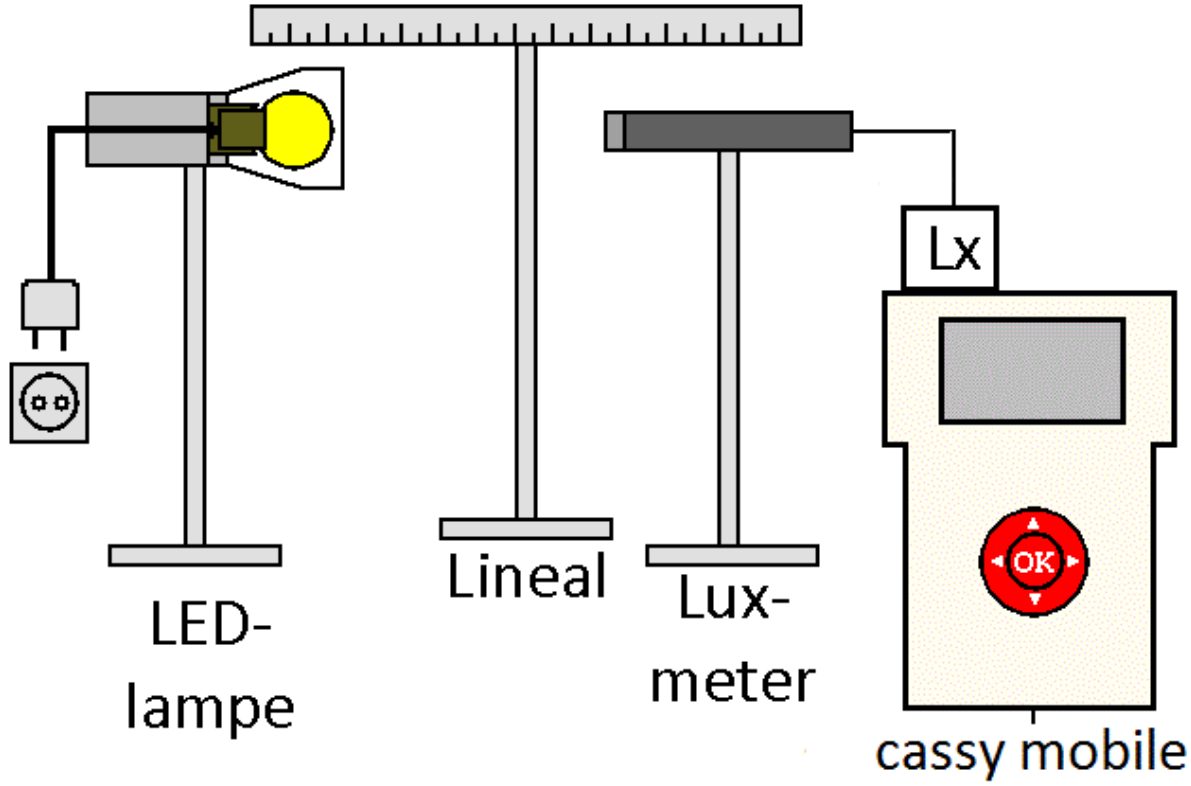
$$C = \frac{I_{max}}{2\pi f * U_{max}} = 54{,}2\ \mu F$$

c. Im Rahmen der Toleranzgrenzen für Kondensatoren von bis zu 50 % stimmt der gemessene Wert mit der Aufschrift auf dem Kondensator überein.

d. Da das I(U)-Diagramm ellipsenförmig verläuft, bestätigt es die Phasenverschiebung zwischen U und I von 90 °. Aus dem Verlauf des P(U)-Diagrammes folgt außerdem, dass am Kondensator eine reine Blindleistung umgesetzt wird. Ein Teil verläuft im positiven, ein Teil im negativen Bereich.

Lampen

Versuch



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Lampen.labm“ im Ordner Physik.
2) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als Lichtquelle zunächst eine Schreibtischlampe mit einer LED-Birne mit den Daten 6 W, 470 lm.
3) Verschieben Sie das Lineal, bis sich der Nullpunkt auf Höhe des Überganges zwischen Porzellanfassung und Glashülle der Lampe befindet. Dort sitzen die LEDs.
4) Stellen Sie den Sensor in einer Entfernung r_1 = 0,3 m auf. Schalten Sie die Lampe ein. Drücken Sie die O.K. Taste, um den Messwert zu speichern.
5) Wiederholen Sie die Messung alle 30 Sekunden 10mal. Speichern Sie die Messkurve.
6) Tauschen Sie die Lampe gegen eine Glühlampe mit den Daten 40 W, 470 lm aus. Verschieben Sie das Lineal, bis sich der Nullpunkt auf Höhe der Glühwendel befindet. Schalten Sie die Lampe ein. Messen Sie die Lichtstärke alle 30 Sekunden insgesamt 11mal. Speichern Sie die Messkurve.
7) Ersetzen Sie die Lampe durch eine Energiesparlampe mit den Daten 7W, 400 lm. Verschieben Sie den Nullpunkt des Lineals etwa in die Mitte der Röhren der Lampe. Schalten Sie die Lampe ein. Messen Sie die Lichtstärke alle 30 Sekunden insgesamt 11mal. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Tragen Sie die Messwerte für alle drei Kurven ins Programm cassy lab 2 ein, um sie besser mit einander vergleichen zu können. Definieren Sie drei Variablen E_1, E_2 und E_3 für jede Lampe eine.
b. Bestimmen Sie für jede Lampe den Mittelwert der Lichtstärke, wenn die Lampe ihre volle Helligkeit erreicht hat.
c. Deuten Sie die erhaltenen Ergebnisse.
d. Berechnen Sie für jede Lampe den pro Watt abgestrahlten Lichtstrom L. Vergleichen Sie die Lampen.
e. Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der drei Lampenarten.

Beobachtung
Man erhält für die LED-Lampe z.B. folgende Messkurve.

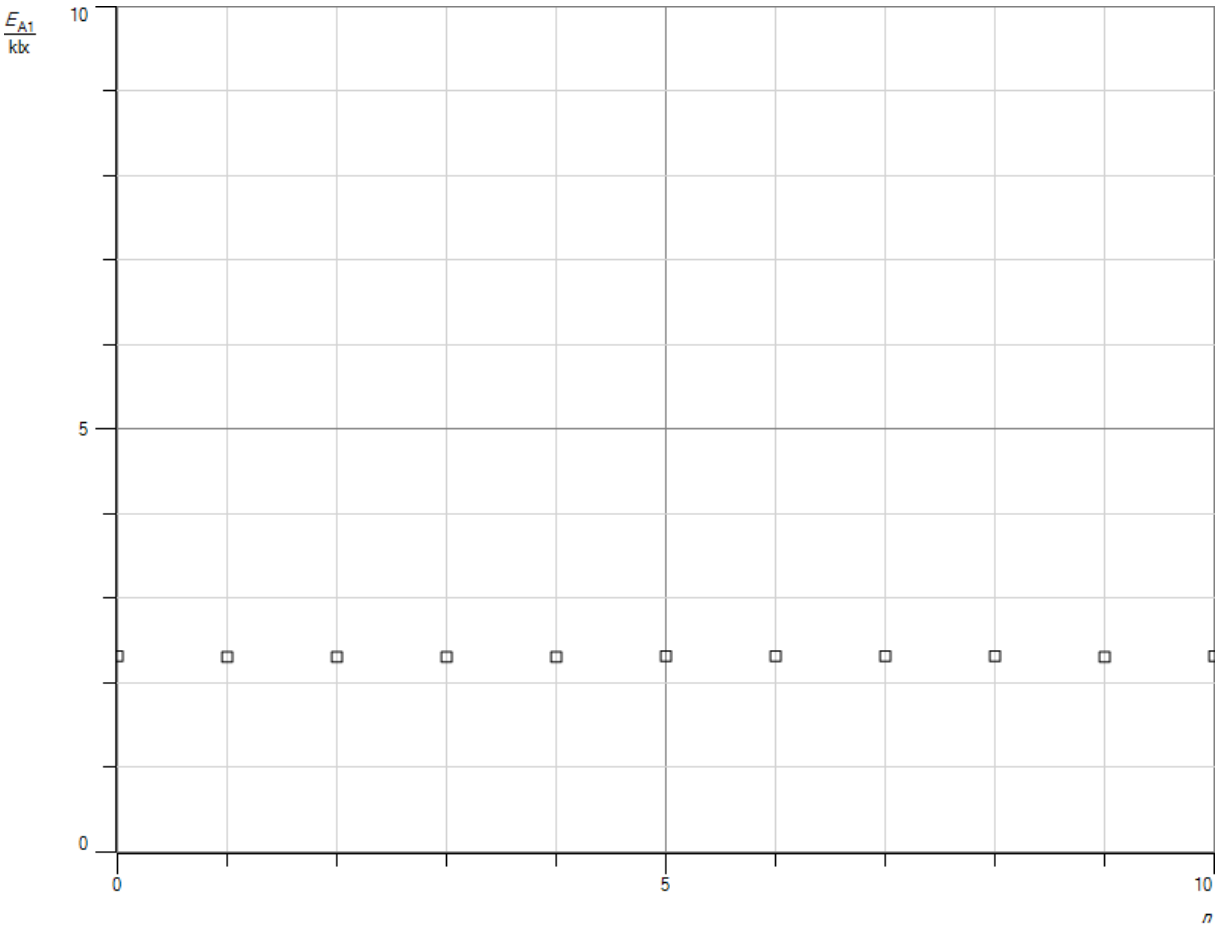


Abb.1: Messkurve für die LED-Lampe

Auswertung

a. Man erhält die Kurve in Abb.2.
b. Die Mittelwerte betragen: LED-Lampe: 2,32 klx, Glühlampe: 2,30 kx, Energiesparlampe: 1,27 klx.
c. Glühlampe und LED-Lampe erreichen sofort nach dem Einschalten ihre volle Helligkeit, die Energiesparlampe erst nach etwa 2 - 3 Minuten. Die Beleuchtungsstärke der LED-Lampe und der Glühlampe stimmen fast exakt überein. Beide erzeugen laut Aufschrift den gleichen Lichtstrom von L = 470 lm. Außerdem haben Sie mit einem Rundkolben die gleiche Bauform. Die Energiesparlampe besitzt einen etwas geringeren Lichtstrom von L = 400 lm, aber die Beleuchtungsstärke ist nur etwa halb so groß. Sie lässt sich nur schwer mit den anderen Lampen vergleichen, da sie einen röhrenförmigen Aufbau besitzt. Ihre Leuchtfläche ist größer. Sie bestrahlt direkt somit eine größere Fläche, was dazu führt, dass die Beleuchtungsstärke als Quotient aus Lichtstrom L und Fläche A in der gleichen Entfernung geringer wird.
d. Für die einzelnen Lampenarten erhält man: LED-Lampe: 78,3 lm/W, Energiesparlampe: 57,1 lm/W, Glühlampe: 11,75 lm/W. Glühlampen sind wahre Energieverschwender. LED-Lampen nutzen die elektrische Energie am besten aus. Neuere LED-Lampen haben sogar eine Lichtausbeute von über 100 lm/W. Die Energiesparlampe ist deutlich effektiver als eine Glühlampe, aber weniger effektiv als eine LED-Lampe.

e. LED-Lampen sind deutlich teurer als Glühlampen, aber sie sparen sehr viel Energie und halten 50mal länger, wenn man den Angaben der Hersteller glauben darf. Ein Problem ist die eingebaute Elektronik. Sie kann schon nach relativ kurzer Betriebszeit Probleme machen und ein Flackern der Lampe verursachen. Der Umstieg von Glühlampen auf LED-Lampen schont auf jeden Fall die Umwelt und den Geldbeutel. Die Energiesparlampe enthält Quecksilber und muss als Sondermüll entsorgt werden. Sie macht nur noch wenig Sinn. Einziger Vorteil ist die gleichmäßigere Ausleuchtung eines Raumes wegen der größeren Leuchtfläche. Ihre Betriebsdauer ist etwa 10mal als die einer Glühbirne, aber 5mal kürzer als die der LED-Lampen. Wenn man die Glühlampen ausmustert, dann sollte man gleich auf LED-Lampen umsteigen, zumal LED-Lampen heute eine Farbtemperatur besitzen, die der der Glühlampen nahe kommt.

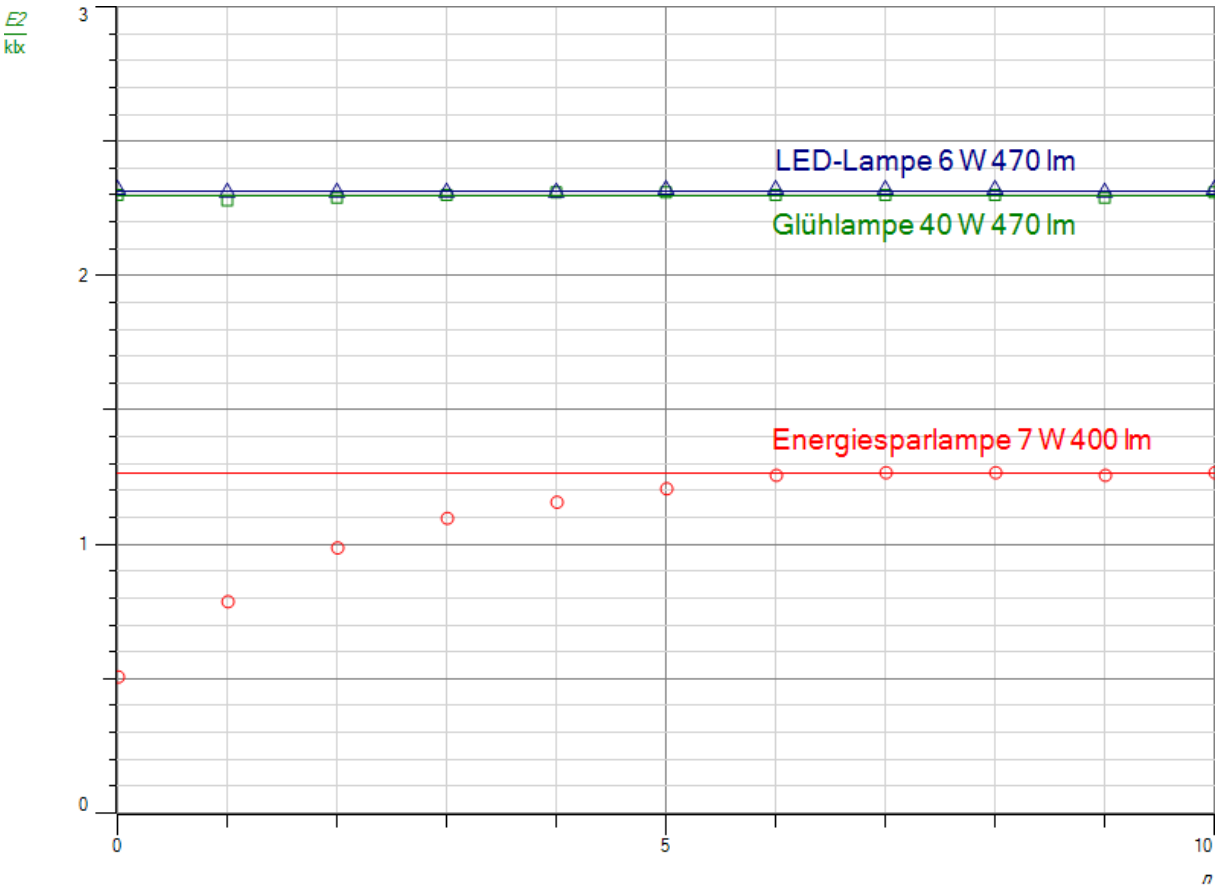
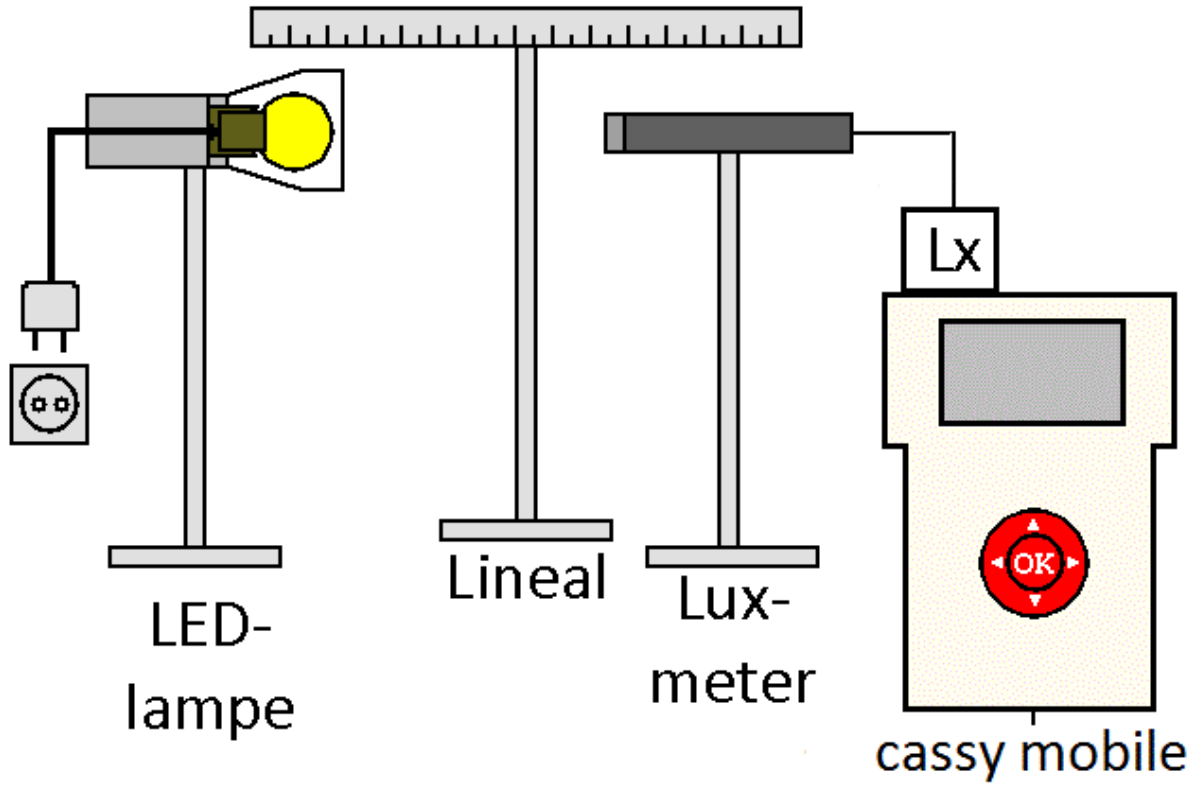


Abb.2: Messkurven für alle drei Lampen

Versuch 2



Durchführung

1) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als Lichtquelle zunächst eine Schreibtischlampe mit einer LED-Birne mit den Daten 6 W, 470 lm.
2) Wählen Sie im Untermenü Korrektur des Menüs E_A die Option Faktor und Offset. Drücken Sie die O.K. Taste. Stellen Sie den Offset mit dem Touchwheel auf 0,0 klx. Drücken Sie erneut die O.K. Taste. Geben Sie im Bereich Faktor den f-Wert ein, der auf dem Luxsensor(400 – 800 nm) vermerkt ist und bestätigen Sie Ihre Eingabe durch Drücken der O.K.-Taste. Der Sensor ist damit kalibriert.
3) Verschieben Sie das Lineal, bis sich der Nullpunkt auf Höhe des Überganges zwischen Porzellanfassung und Glashülle der Lampe befindet. Dort sitzen die LEDs.
4) Stellen Sie den Sensor in einer Entfernung r_1 = 0,3 m auf. Schalten Sie die Lampe ein. Notieren Sie sich den Messwert. Gegebenenfalls müssen Sie den Messbereich im Untermenü Bereich des Menüs E_A anpassen.
5) Tauschen Sie die Lampe gegen eine Glühlampe mit den Daten 40 W, 470 lm aus. Verschieben Sie das Lineal, bis sich der Nullpunkt auf Höhe der Glühwendel befindet. Schalten Sie die Lampe ein. Notieren Sie sich den Messwert.
6) Ersetzen Sie die Lampe durch eine Energiesparlampe mit den Daten 7W, 400 lm. Verschieben Sie den Nullpunkt des Lineals etwa in die Mitte der Röhren der Lampe. Schalten Sie die Lampe ein. Notieren Sie sich den Messwert.
7) Wiederholen Sie den ganzen Messvorgang für alle drei Lampen mit den Sensoren IR (800-1700 nm), UVA (320-400 nm), UVB (280-320 nm) und UVC (220-280 nm). Dabei müssen Sie vor der Messung jeden Sensor neu eichen. Die Entfernung der UV-Sensoren

von den Glaskörpern der Lampen sollte nur s = 1 cm betragen. Sie dürfen die Lampen aber nicht berühren, da sie sonst zu heiß werden.

Aufgaben

a. Erstellen Sie aus den einzelnen Messwerten eine Tabelle für die verschiedenen Lampenarten und die unterschiedlichen Wellenlängenbereiche.
b. Deuten Sie die Messtabelle. Diskutieren Sie die Lichtausbeute der unterschiedlichen Lampen im den verschiedenen Wellenlängenbereichen.
c. Erkundigen Sie sich im Internet oder im Physikbuch, wie die einzelnen Lampenarten Licht erzeugen. Erklären Sie damit ihre Spektren.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messtabelle in der Einheit Lux für die Beleuchtungsstärke.

Strahlung/ Lampe	Licht (400-800nm)	IR (800-700nm)	UVA (320-400nm)	UVB (280-330nm)	UVC (220-280nm)
Glühlampe	2300	1177	0,4	0	0
LED-Lampe	2320	13,7	0	0	0
Sparlampe	1270	14,4	1,8	2,7	0

Tabelle 1: Messtabelle

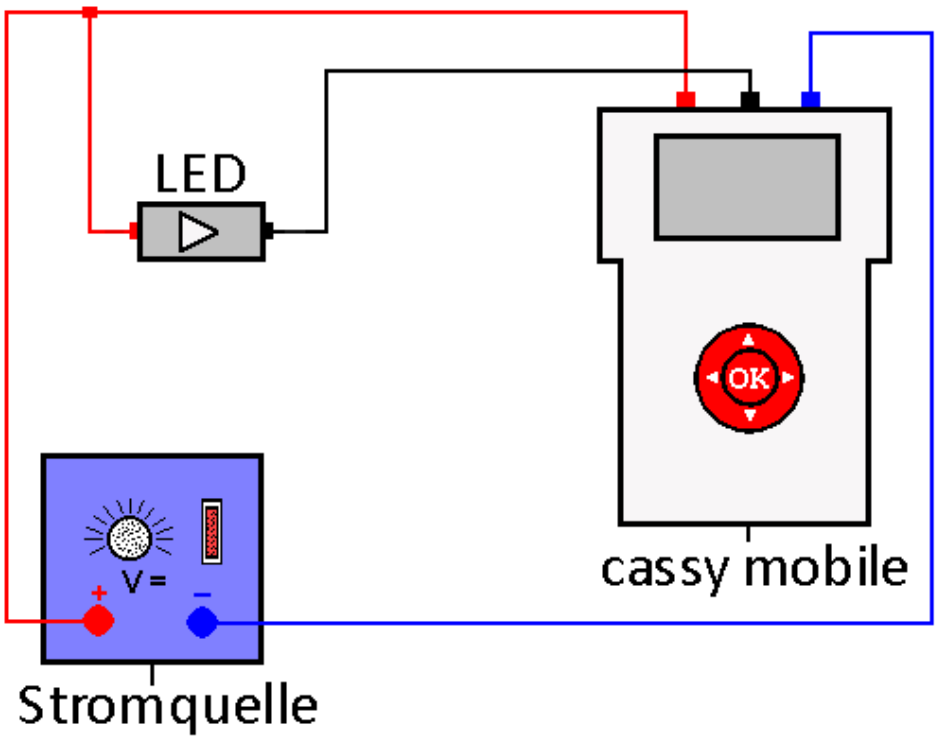
Auswertung

a. Trägt man die Werte in einer Tabelle zusammen, so ergibt insgesamt Tabelle 1.
b. Alle drei Lampenarten senden vor allem Licht im sichtbaren Bereich aus. Das Spektrum der Glühlampe enthält allerdings einen erheblichen Anteil Infrarotstrahlung und einen kleinen Teil UV-Strahlung. LED- und Energiesparlampen produzieren erheblich weniger Wärmestrahlung, in einer Energiesparlampe entsteht außerdem UV-Strahlung im Wellenlängenbereich 280-400 nm. Sie fehlt bei der LED-Lampe völlig.
c. In einer Glühlampe werden die Elektronen durch die angelegte Spannung beschleunigt. Sie können bei jeder noch so kleinen Energieaufnahme fließen. Ihre Energie geben Sie anschließend in beliebigen Portionen beim Stoß mit den Atomrümpfen des Wolframmetalls ab. Verlieren Sie bei einem Stoß wenig Energie, senden sie nach den Gesetzen der Quantenphysik IR-Strahlung, bei mehr Energie sichtbares Licht und bei heftigen Stößen UV-Licht aus. Insgesamt entstehen so elektromagnetische Wellen in allen Wellenlängenbereichen. Die Vorgänge kann man vergleichen mit den Abläufen in einem Fluss, bei der die Wasserteilchen ihre kinetische Energie nach und nach durch Stöße an den Steinen verlieren. Bei einer LED-Lampe können die Elektronen erst dann fließen und ihre Energie als elektromagnetische Wellen abgeben, wenn die Energie einen gewissen Betrag übersteigt. Vorher können sie die Lücke zwischen den beiden Halbleiterschichten nicht überwinden. Daher finden keine Stöße statt, bei denen nur wenig Energie in Form von IR-Strahlung abgeben wird. Die Energie der Elektronen entspricht der Energie des blauen Lichtes. Damit auch andere Farben entstehen und damit weißes Licht erzeugt wird, wird ein Teil des blauen Lichtes durch Leuchtstoffe in die Farben gelb, rot und grün umgewandelt. Als Nebenprodukt entsteht wenig energiereiche Wärmestrahlung. In einem Fluss wird das Wasser durch eine Staumauer aufgestaut, damit die Wasserteilchen energiereicher werden. Sie können erst fließen, wenn sie die Höhe der Staumauer erreicht haben. Die Vorgänge in einer Energiesparlampe gleichen denen in einer LED-Lampe. Allerdings werden die Elektronen auf eine Energie beschleunigt, die UV-Strahlung entspricht, bevor sie fließen können. Die UV-Strahlung wird anschließend durch Leuchtstoffe in sichtbares Licht umgewandelt. Diese Überlegungen erklären auch die sehr unterschiedliche Lichtausbeute der drei Lampenarten. In einer Glühbirne geben viele Elektronen ihre Energie in winzigen Portionen ab. Es entsteht sehr viel unsichtbare IR-Strahlung. Bei einer LED-Lampe können die Elektronen nur Energie in Portionen verlieren, die blauem Licht entsprechen. Ein Teil davon wird anschließend in weniger energiereiches sichtbares Licht und energiearme IR-Strahlung umgewandelt wird. Bei einer Energiesparlampe wird zunächst sehr energiereiche UV-Strahlung erzeugt, die dann in energieärmeres sichtbares Licht und energiearme IR-Strahlung umgewandelt wird. Die geringsten Energieverluste treten somit in LED-Lampen auf, gefolgt von Energiesparlampen und den Glühlampen.

Leuchtdioden

LEDs haben inzwischen herkömmliche Glühlampen und Energiesparlampen fast komplett vom Markt verdrängt, da sie wesentlich effektiver sind und außerdem in allen Farben leuchten können. Für ihren Betrieb benötigt man allerdings einen speziellen Treiber, da ihre UI-Kennlinie einen völlig anderen Verlauf zeigt wie eine herkömmliche Glühbirne. Eine solche Kennlinie sollen Sie in den folgenden Versuchen aufnehmen und diskutieren.

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „LED1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Erhöhen Sie die Spannung in Schritten von jeweils 0,3 V von 0 V bis auf 3,3 V, auf keinen Fall auf mehr als 3,5 V!!
4. Speichern Sie nach jedem Schritt das Messpaar, in dem Sie die Ok-Taste drücken.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie den Kurvenverlauf.
b. Bestimmen Sie den Widerstand der LED im flachen und im steilen Bereich der Kurve.
c. Vergleichen Sie die Werte miteinander und erklären Sie.
d. Bei LEDs muss man die maximal zulässige Höchstspannung genau beachten, sonst brennen sie schnell durch. Auch kleinere Spannungsschwankungen können zu Problemen führen. Daher betreibt man sie meist mit Konstantstromquellen. Erklären Sie.
e. Vergleichen Sie die Kennlinie einer LED mit der einer Glühlampe. Erklären Sie, warum LEDs eine etwa zehnmal höhere Lichtausbeute haben als Glühlampen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

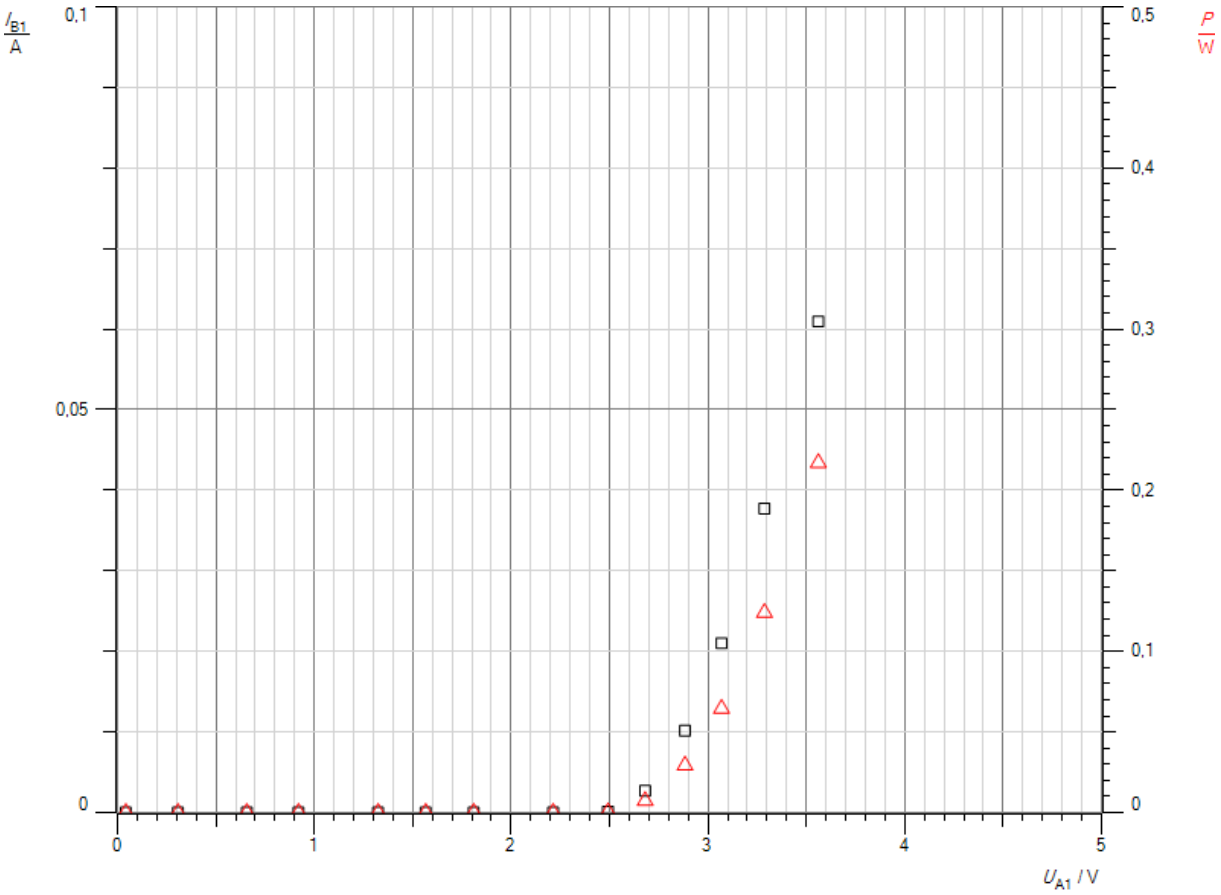


Abb.1: I(U)-Kennlinie einer weißen LED

Auswertung

a. Zu Beginn nimmt der Strom nicht merklich zu, obwohl die Spannung kontinuierlich erhöht wird. Ab einem gewissen Schwellenwert steigt der Strom steil an. Damit die Ladungen in einer LED fließen können, müssen sie eine Mindestenergie besitzen. Liegt die Spannung unterhalb des Schwellenwertes leuchtet die LED nicht. Es wird keine elektrische Energie in Licht umgewandelt. Die von der LED aufgenommene Leistung ist in diesem Bereich sehr gering, steigt oberhalb des Schwellenwertes aber steil an, weil der Strom stark zunimmt. Man kann die Vorgänge in einer LED mit einem Fluss vergleichen, in dem Wasser durch eine Staumauer gestaut wird. Erst wenn die Energie des Wassers ausreicht, um die Staumauer zu überwinden, kann es fließen.

b. Im flachen Bereich ist der Widerstand sehr gering, quasi unendlich groß. Den Widerstand im steilen Bereich erhält man durch eine graphische Auswertung der Kurve in diesem Bereich. Für die Steigung m gilt:

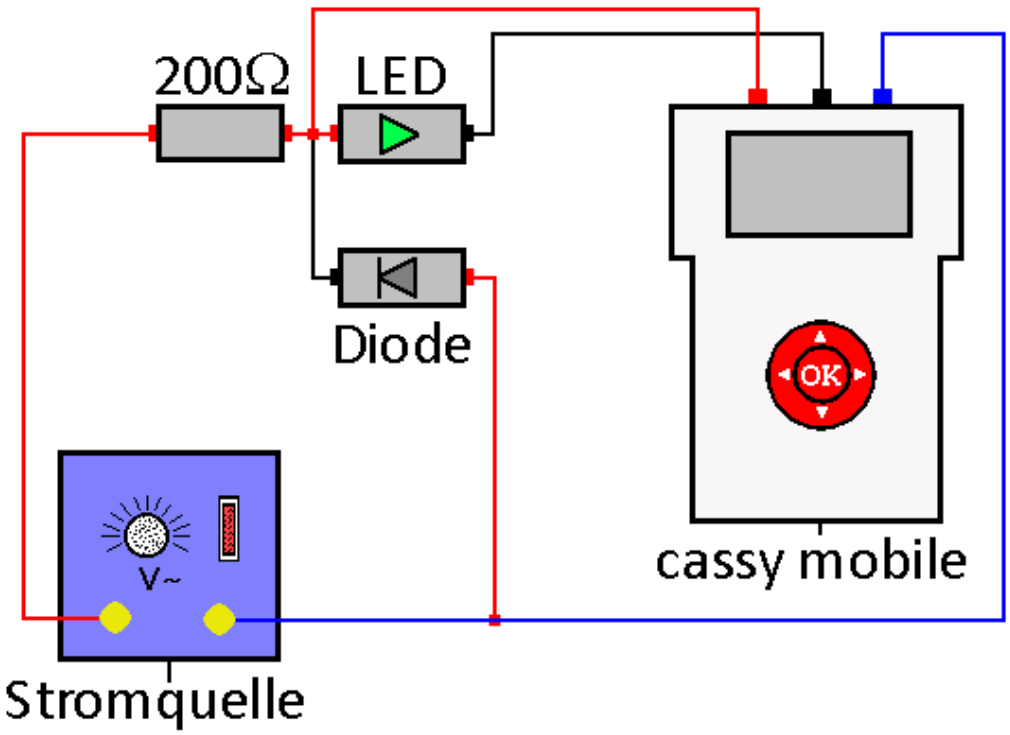
$$m = 0{,}0672\,\frac{A}{V}.$$

Damit besitzt die LED in diesem Bereich einen Widerstand R

$$R = \frac{1}{m} = 14{,}9\Omega.$$

c. Im Sperrbereich des Stromes besitzt eine LED einen sehr hohen Widerstand, im leitenden Bereich einen sehr kleinen im Vergleich zu einer Glühbirne.
d. Im leitenden Zustand bewirkt eine kleine Spannungsänderung wegen des kleinen Widerstandes eine große Änderung des Stromes. Da LEDs insgesamt nur mit einem kleinen Strom betrieben werden im Vergleich zu Glühbirnen, brennen sie bei Spannungsschwankungen sehr schnell durch. Um das zu verhindern, betreibt man sie mit einer Konstantstromquelle, die den Strom auf den maximal zulässigen Wert begrenzt, wenn die Spannung schwankt.
e. Bei Glühbirnen können die Elektronen auch dann fließen, wenn sie nur eine geringe Energie besitzen. Stoßen sie mit den Atomrümpfen zusammen, so geben sie ihre Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab, bei geringer Energie bevorzugt als Wärmestrahlung. Nur die Elektronen mit höherer Energie erzeugen sichtbares Licht. Da in LEDs die Elektronen grundsätzlich erst ab einer bestimmten Energie fließen können, die man durch geschickten Aufbau beliebig einstellen kann, kann man ihre Energieabgabe so steuern, dass sie bevorzugt sichtbares Licht und nur wenig Infrarot abstrahlen. Wasser in einem gestauten Fluss muss mehr Energie ansammeln, bevor es die die Staumauer überwinden kann, im Vergleich zu Wasser, dass eine Stromschnelle hinabfließt und dabei ständig durch Steine abgebremst wird. Im zweiten Fall erreichen nur wenige Wasserteilchen genügend Energie, um energiereiche Stöße mit den Steinen ausführen zu können.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „LED2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abbildung auf.
3. Schalten Sie die Stromquelle ein. Benutzen Sie eine Wechselspannung mit U = 4 V.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 20 ms beendet.
5. Speichern Sie die Kurve für die spätere Auswertung.
6. Wiederholen Sie den Versuch mit anders farbigen LEDs.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die Messkurve. Diskutieren Sie insbesondere, worin das Hauptproblem beim Betrieb von LEDs besteht.
b. Ermitteln Sie aus den Diagrammen für jede LED die Spannung, bei der die Stromstärke steil ansteigt.
c. Erklären Sie das Ergebnis mit der Photonenvorstellung des Lichtes.
d. Tragen Sie die ermittelten Spannungen gegen die Frequenzen der LEDs auf und bestimmen Sie die Steigung der Kurve.
e. Errechnen Sie aus der Steigung der Kurve das Plancksche Wirkungsquantum.
f. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem theoretischen Wert und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

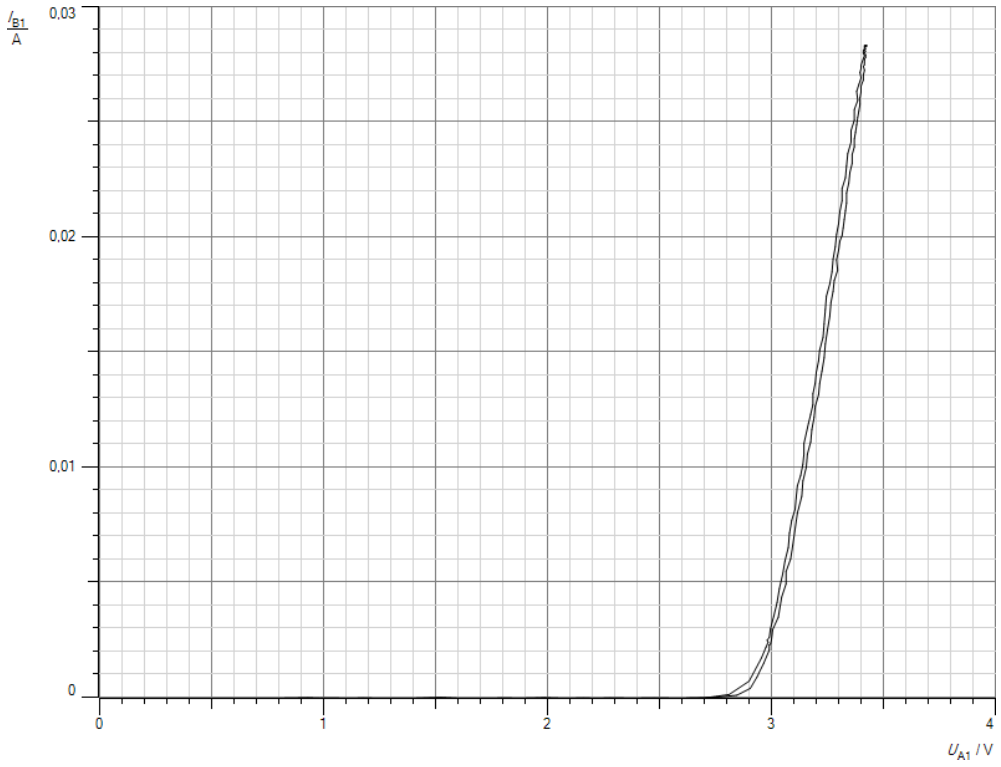


Abb.3: I(U)-Kennlinie einer weißen LED

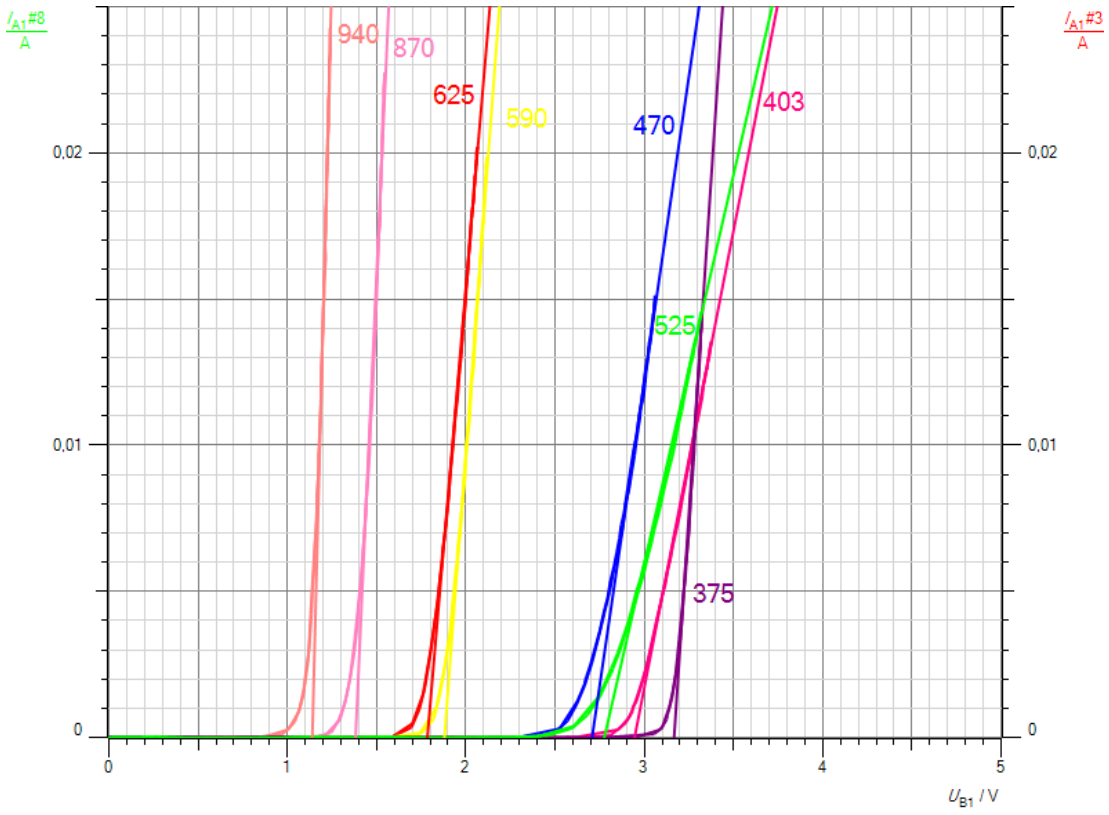


Abb.4: I(U)-Kennlinien verschiedenfarbiger LEDs

Auswertung

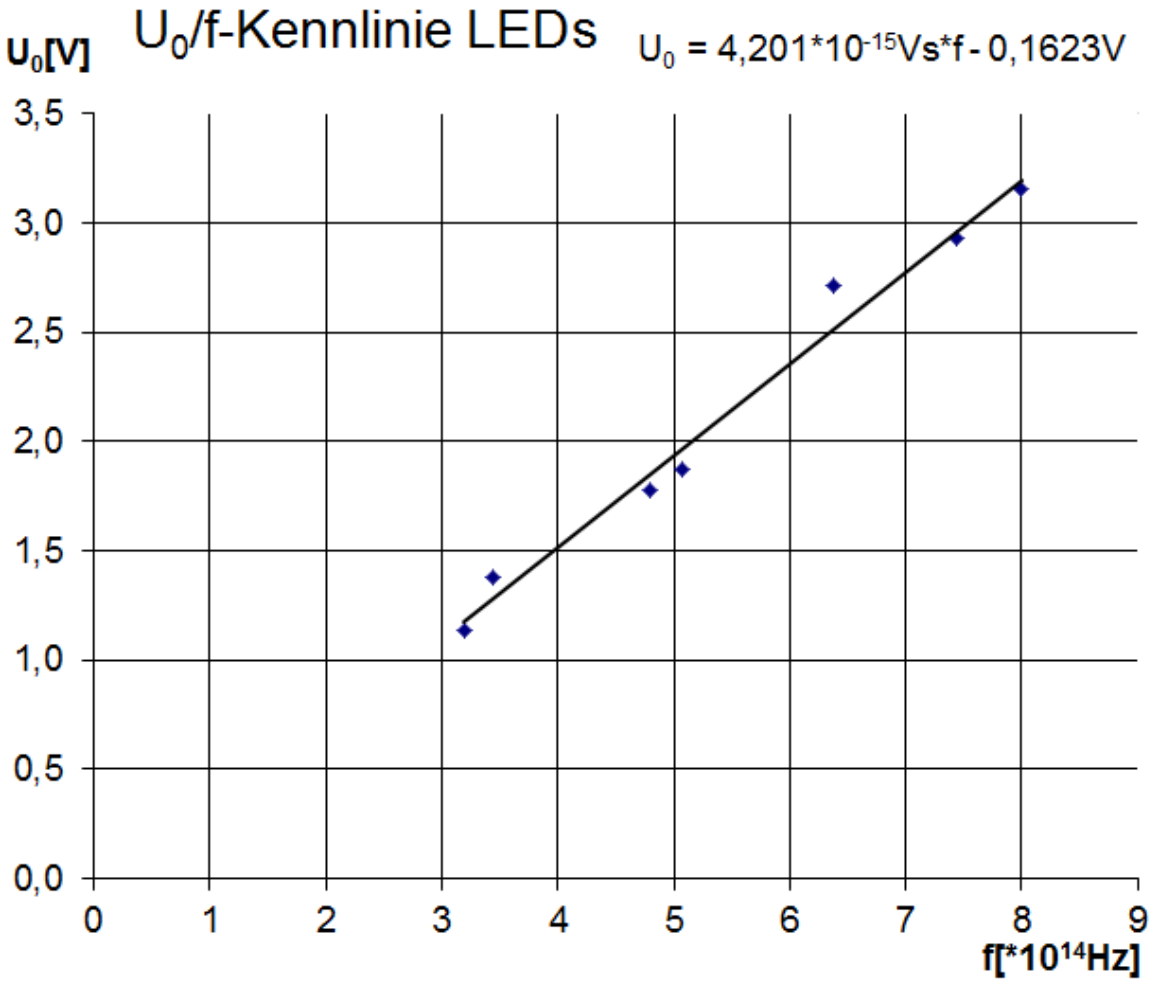
a. Die Probleme beim Betrieb von LEDs wurden schon in Versuch 1 ausführlich diskutiert.

b. Man erhält folgende Tabelle:

LED	λ[nm]	f[*10^{14}Hz]	U[V]
IR_1	940	3,19	1,12
IR_2	870	3,45	1,38
rot	625	4,8	1,78
gelb	590	5,08	1,87
grün	525	5,71	2,76
blau	470	6,38	2,71
UV_1	403	7,44	2,93
UV_2	375	8,0	3,16

c. Je kleiner die Wellenlänge λ bzw. je größer die Frequenz f des abgestrahlten Lichtes ist, umso höher ist die benötigte Spannung, bevor die LED leuchtet. Um Photonen höherer Frequenzen zu erzeugen, müssen die Elektronen energiereicher sein, bevor sie ihre Energie als Strahlung abgeben. Sie müssen dazu mit einer höheren Spannung beschleunigt werden.

d. Man erhält folgendes Diagramm:



Die Steigung m der Kurve beträgt:

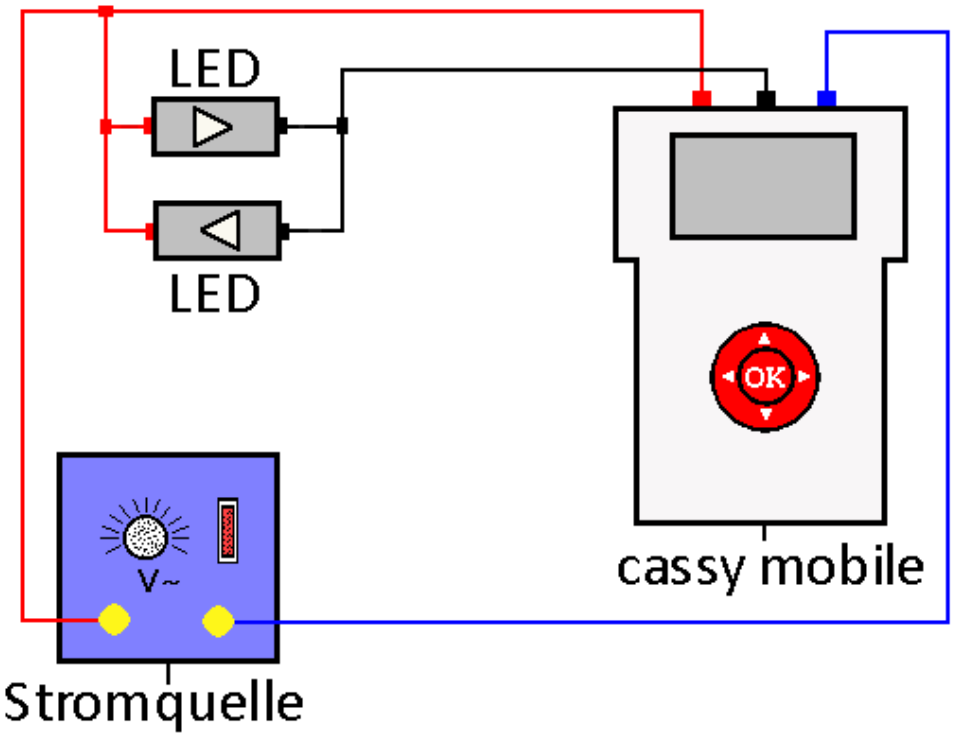
$$m = 4{,}201 * 10^{-15} Vs.$$

e. Für das Plancksche Wirkungsquantum h erhält man damit mit e als Elementarladung:

$$h = m * e$$
$$= 4{,}201 * 10^{-15} Vs * 1{,}6 * 10^{-19} C$$
$$= 6{,}72 * 10^{-34} Js.$$

f. Der gemessene Wert stimmt sehr gut mit dem theoretischen Wert überein. Eine Fehlerquelle ist die Ausgleichsgerade, die man an den steilen Teil der I/U-Kennlinien legt, um die Spannungen für die einzelnen Wellenlängen zu ermitteln.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „LED3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Stellen Sie eine Spannung U = 2,5 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die erhaltenen Kurven.
b. Erstellen Sie ein I(U) und P(U)-Diagramm.
c. Interpretieren Sie die Diagramme.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

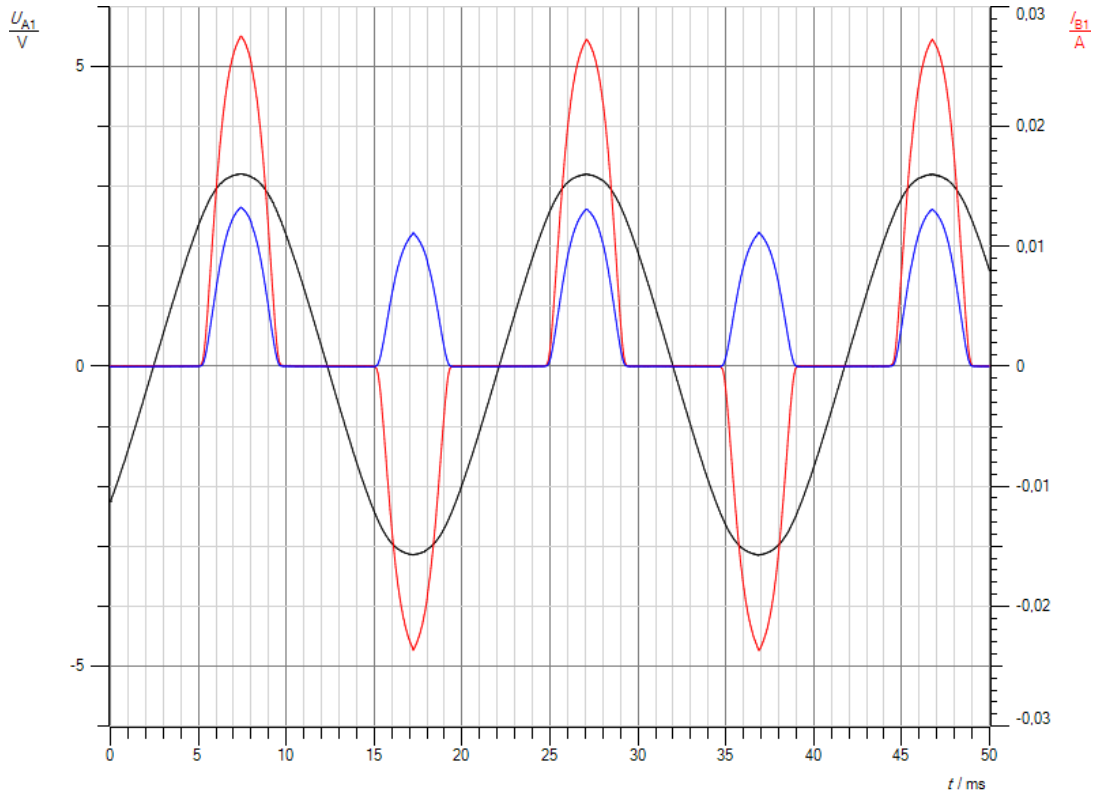


Abb. 5: U(t), I(t) und P(t)-Diagramm einer dualen LED

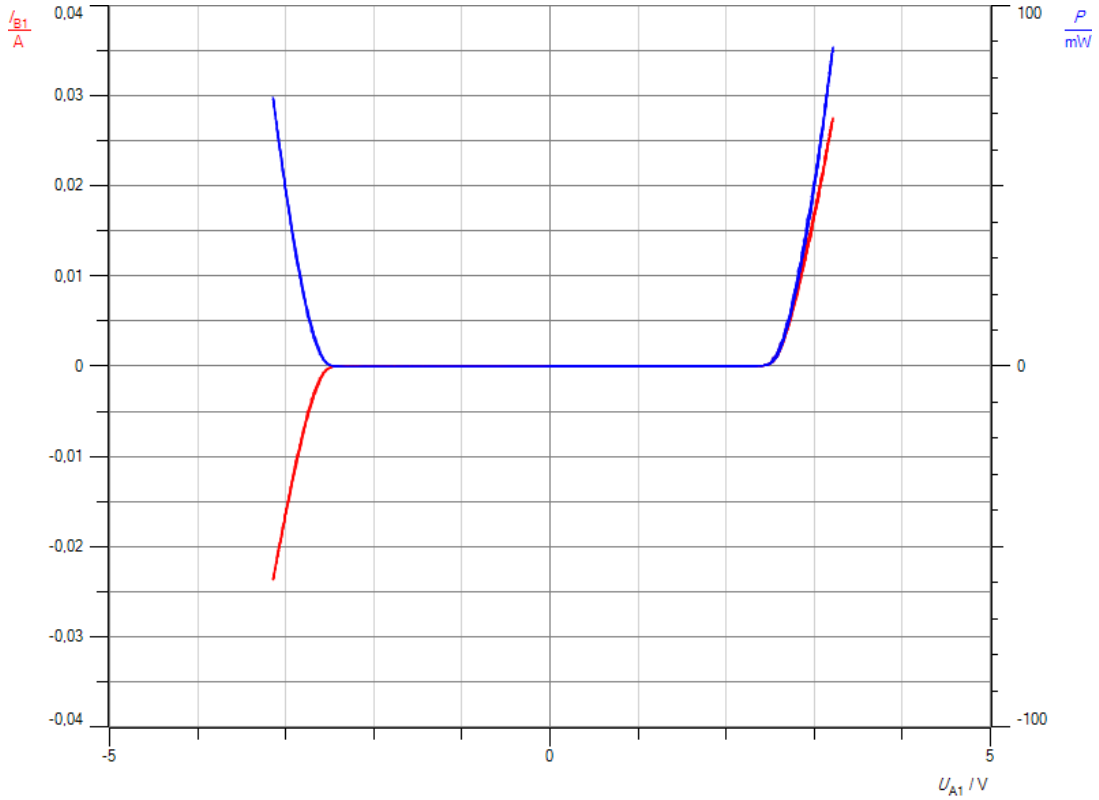


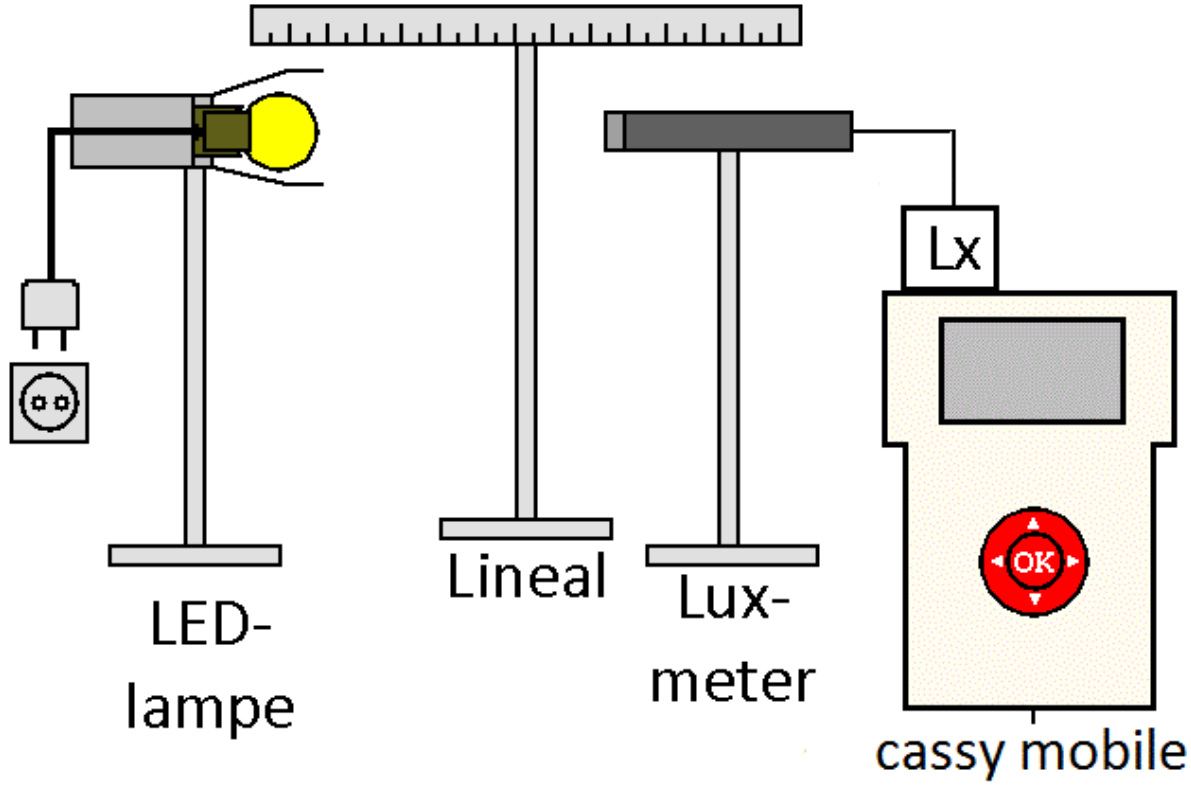
Abb. 6: I(U) und P(U)-Kennlinie einer dualen LED

Auswertung

a. Durch die Antiparallelschaltung der beiden LEDs leuchtet in jeder Halbperiode der Wechselspannung eine der beiden LEDs, sobald die Schwellenspannung von ca. 2,5 V überschritten wird. Nur in diesen Phasen fließt ein Strom. Eine der beiden LEDs leuchtet und entnimmt der Spannungsquelle eine positive Wirkleistung. Man könnte die Schaltung mit der Phasenanschnittsteuerung für Glühlampen vergleichen, mit der sie auf eine bestimmte Helligkeit gedimmt werden.
b. Abb.6 zeigt die gewünschten Diagramme.
c. Sie bestätigen die Überlegungen aus Teilaufgabe a. Erst ab einer bestimmten positiven bzw. negativen Schwellenspannung fließt ein Strom, in den beiden LEDs in entgegengesetzte Richtung. Dann beziehen beide LEDs jeweils eine positive Wirkleistung aus der Spannungsquelle und wandeln sie in Licht um.

Leuchtstärke

Versuch:



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Leuchtstaerke.labm“ im Ordner Physik.
2) Wählen Sie im Untermenü Korrektur des Menüs E_A die Option 1 Sollwert. Drücken Sie die O.K. Taste. Stellen Sie den Offset mit dem Touchwheel auf 0,0 klx. Drücken Sie erneut die O.K. Taste. Der Sensor ist damit auf die Umgebungshelligkeit kalibriert.
3) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als Lichtquelle z.B. eine Schreibtischlampe mit einer LED-Birne mit den Daten 6W, 470 lm, E 14.
4) Verschieben Sie das Lineal so, dass sich sein Nullpunkt auf der Höhe des Überganges zwischen Porzellanfassung und Glashülle der Lampe befindet. Dort sitzen die LEDs im Innern der Lampe.
5) Stellen Sie den Sensor in einer Entfernung $r_1 = 0{,}1$ m auf. Verschieben Sie ihn in Schritten von $\Delta r = 0{,}1$ m bis auf $r_2 = 0{,}5$ m. Drücken Sie nach jedem Schritt die O.K. Taste, um den Messwert zu speichern.

Aufgaben

a) Deuten Sie die erhaltene Messkurve.
b) Laden Sie die Messwerte ins Programm cassy lab 2. Erstellen Sie im Programm eine Formel, mit der Sie die Nummer des Messwertes in die Entfernung r zwischen Lampe und Luxmeter umrechnen können.
c) Erzeugen Sie ein $E_A(r)$- Diagramm.
d) Wählen Sie im Kontextmenü „Anpassung durchführen“ die Option „Hyperbel $1/x^2$“. Markieren Sie die Messwerte mit der Maus. Das Programm berechnet die Hyperbel durch die Messwerte und stellt das Ergebnis links unten in der Statuszeile dar.
e) Deuten Sie das Ergebnis.

Beobachtung:
Man erhält z.B. folgende Messtabelle.

r[m]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
E_A[kLx]	21,60	5,46	2,43	1,35	0,88

und das Messdiagramm in Abb.1.

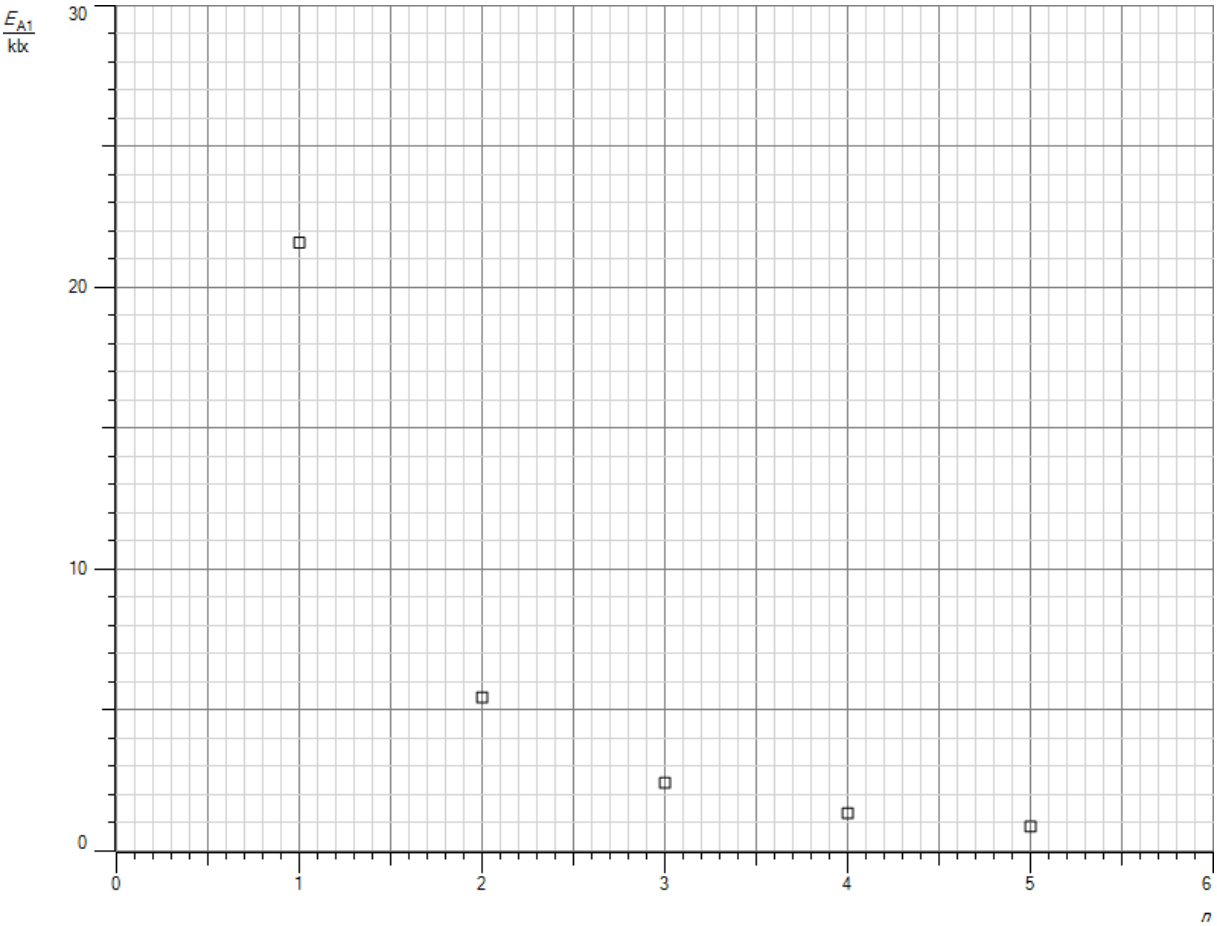


Abb.1: Messkurve

Auswertung:

a) Die Leuchtstärke nimmt stark mit der Entfernung zur Lampe ab. Das Licht verteilt sich auf eine immer größere Fläche, je weiter man sich von der Lampe entfernt.

b) Die benötigte Formel lautet:

$$r = n * 0{,}1m.$$

c) Man erhält das Diagramm in Abb.2.

d) Das Programm berechnet als Formel für die Ausgleichskurve

$$E_A = \frac{0{,}22klx * m^2}{r^2} + 0{,}03klx.$$

Die Beleuchtungsstärke E_A nimmt mit dem Quadrat der Entfernung r ab. Die kleine zu-

sätzliche Beleuchtungsstärke von 0,03 klx rührt daher, dass man den Nullpunkt des Lineals nur schwer exakt ausrichten kann.

e) Licht breitet sich um eine punktförmige Lichtquelle kugelförmig aus. Da die Lampe nicht in alle Richtungen strahlt, wird nur ein Teil A der Kugeloberfläche beleuchtet. Für ihn gilt mit α als Raumwinkel und r als Radius der Kugeloberfläche

$$A = a * r^2$$

Die bestrahlte Fläche steigt quadratisch mit dem Radius r an. Für die Beleuchtungsstärke E_A gilt definitionsgemäß:

$$E_A = \frac{L}{A} = \frac{L}{a * r^2}.$$

Daraus folgt, dass sie mit dem Quadrat der Entfernung sinkt. L ist der Lichtstrom in Lumen lm. Die Einheit 1 lm entspricht 1lx*1m^2. Die Lampe trägt die Aufschrift L = 470 lm. Damit erhält man für von der Lampe ausgeleuchteten Raumwinkel

$$\alpha = \frac{L}{E * r^2} = \frac{470lm}{220lm} = 2{,}13.$$

Würde die Lampe rundum gleichmäßig strahlen, so würde sie eine Kugeloberfläche mit dem Raumwinkel α = 4π = 12,56 beleuchten. Sie bestrahlt somit nur etwa 1/6 des Raumes direkt. Durch Streulicht an den Wänden und anderen Gegenständen im Raum wird aber ein größerer Raumbereich ausgeleuchtet.

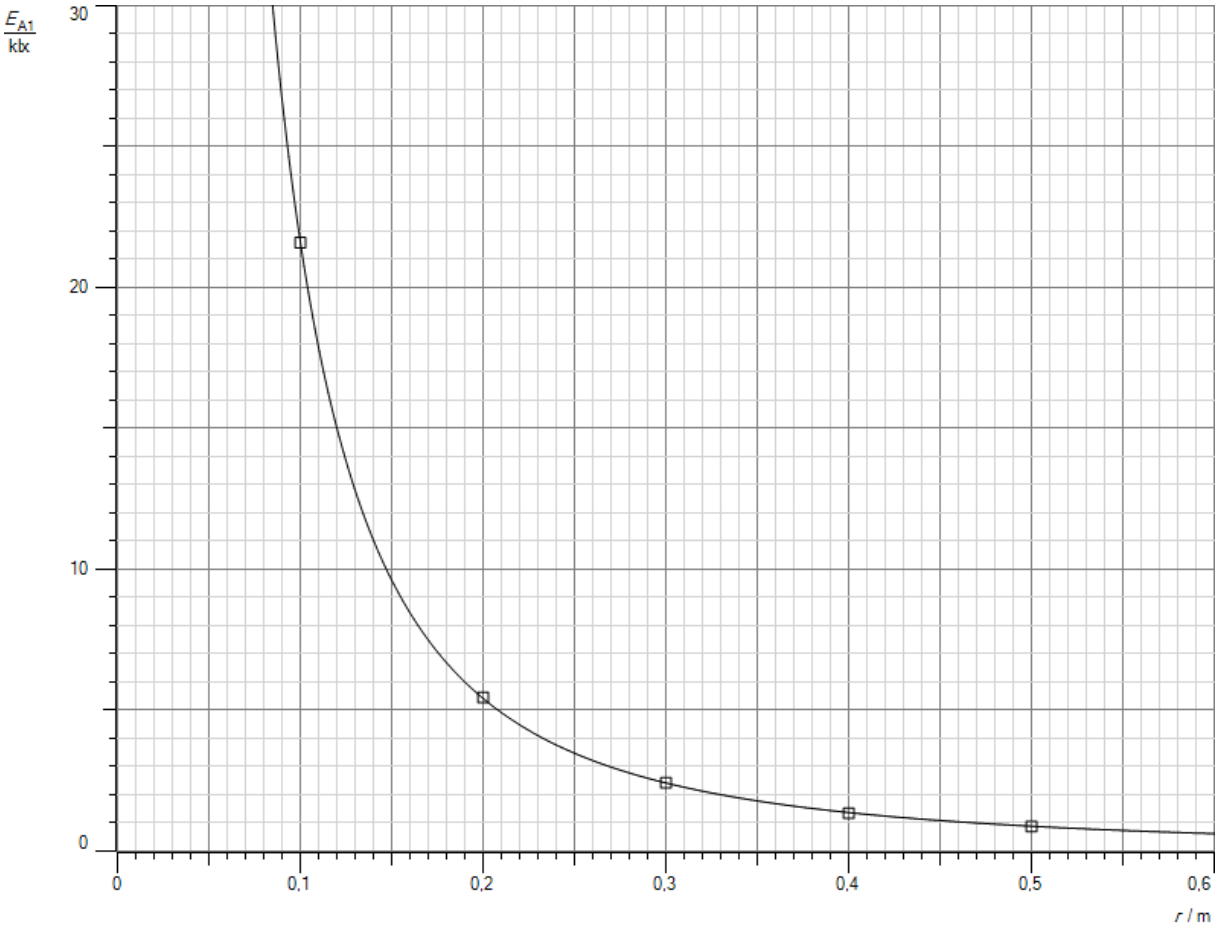
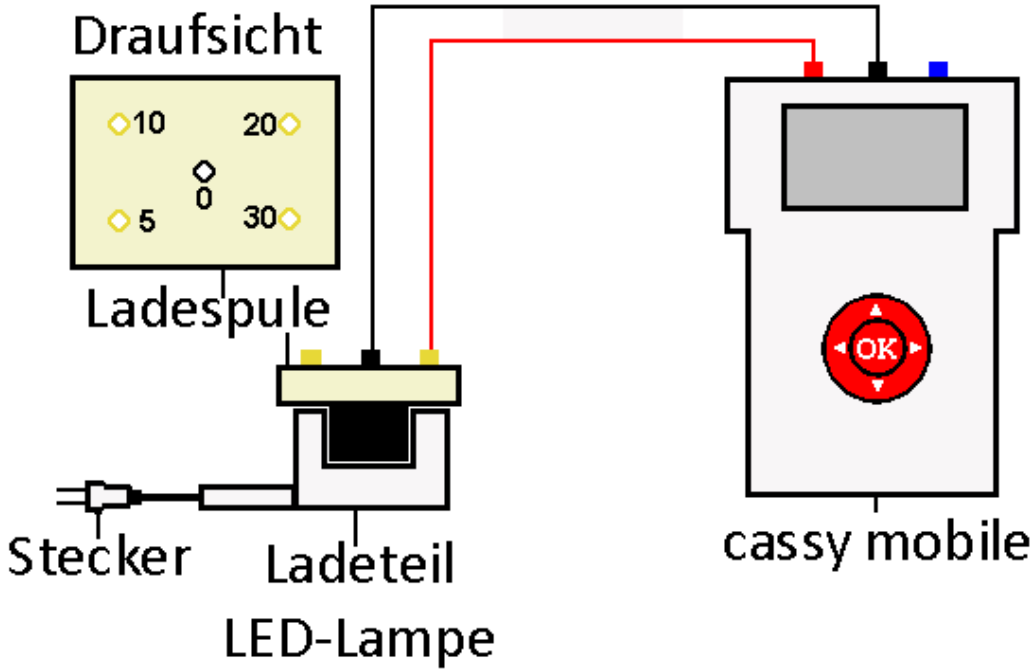


Abb.2: $E_A(r)$-Diagramm

Nachtlicht

Ein LED-Nachtlicht besteht wie eine elektrische Zahnbürste aus zwei Teilen, der LED- Lampe und einem Ladeteil, dass an die Steckdose angeschlossen wird. Zum Laden wird die LED-Leuchte ins Ladeteil gesteckt. In diesem Versuch sollen Sie herausfinden, wie groß die Ladespannung ist. Da man das Ladeteil nicht öffnen kann, sollen Sie es mit einer eigens gewickelten Spule untersuchen, die mehrere Ausgänge mit unterschiedlichen Windungszahlen n besitzt. Die Ausgänge können beliebig miteinander kombiniert werden. Da das Ladeteil mit Hochfrequenz arbeitet, die Ihr Körper empfängt, kann es zu Störungen im Betrieb von cassy mobile kommen. Schließen Sie dann an die schwarze Buchse von cassy mobile ein zweites Kabel an und fassen Sie das freie Ende mit einer Hand an, um sich zu erden.

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Trafo1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Stecken Sie die Spule ins Ladeteil und schließen Sie es an die Steckdose an.
4. Verbinden Sie die Ausgänge 0 und 5 der Spule mit dem Spannungseingang von cassy mobile.
5. Speichern Sie diese Spannung durch Drücken der OK-Taste.
6. Erhöhen Sie die Windungszahl zwischen den beiden Messausgängen der Spule in 5er Schritten bis die Windungszahl 30 beträgt. Speichern Sie für jeden Schritt die Spannung durch Drücken der OK-Taste.

Aufgaben

a. Werten Sie das erhaltene Diagramm grafisch aus.
b. Erklären Sie das Ergebnis mit Hilfe des Induktionsgesetzes.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

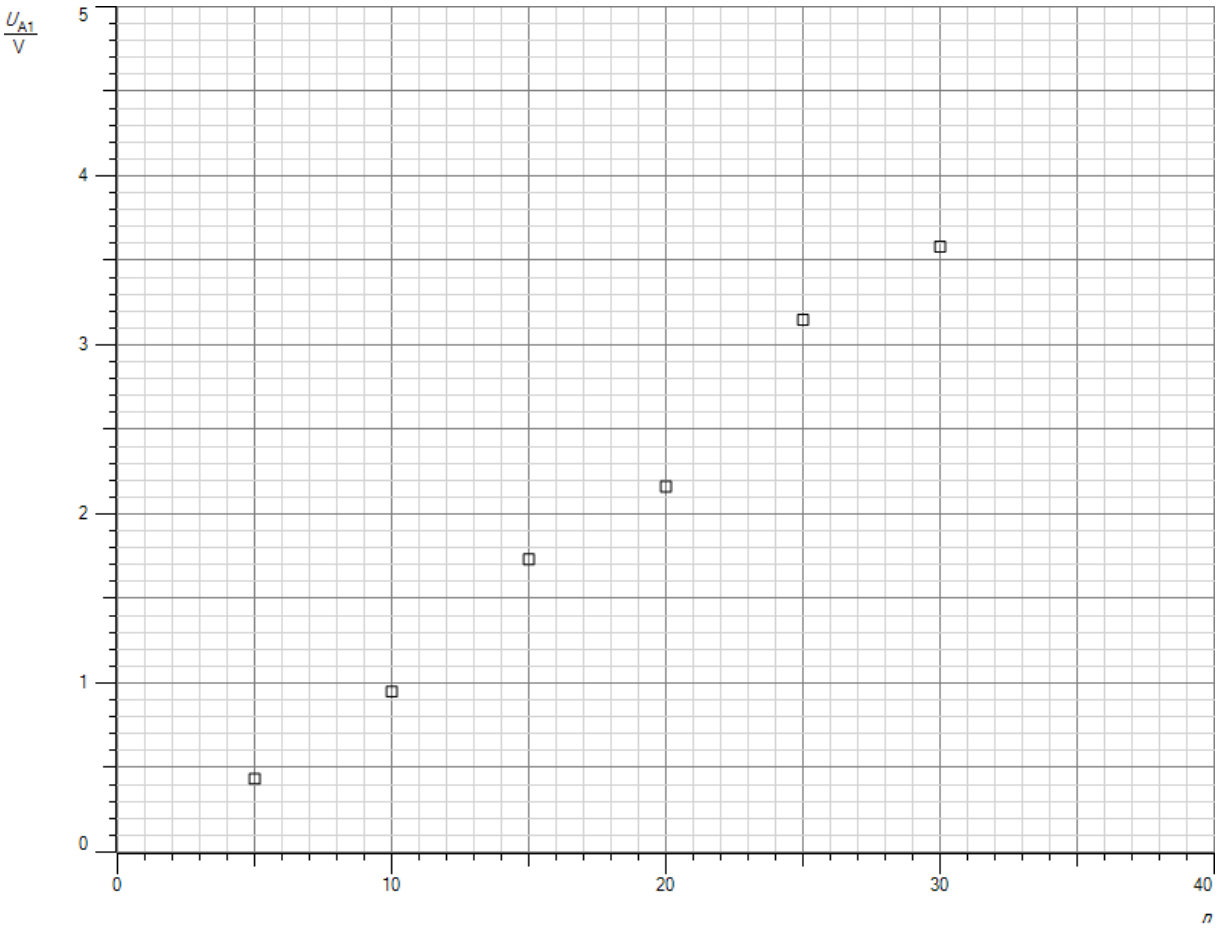


Abb.1: Induktionsspannung in Abhängigkeit von der Windungszahl

Auswertung
a. Die graphische Auswertung ergibt eine Gerade mit der Steigung m

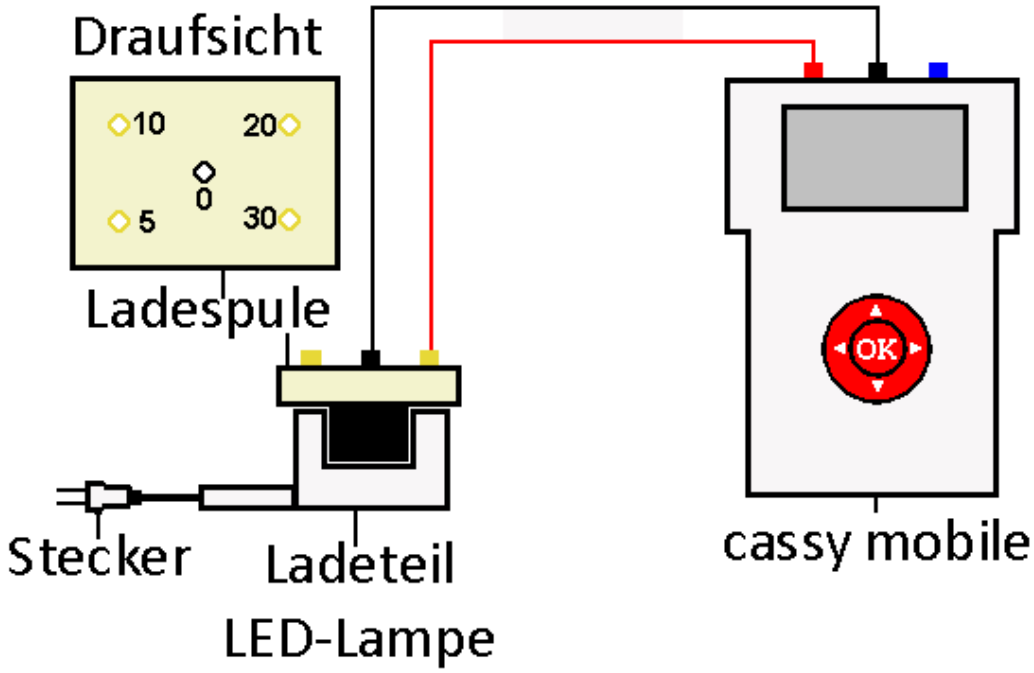
$$m = 0{,}117V.$$

Die Spannung ist proportional zur Windungszahl. Sie steigt um 0,117V pro Windung.
b. Das allgemeine Induktionsgesetz lautet:

$$U_{ind} = -n * \frac{d\Phi}{dt}.$$

Darin bedeuten:
U_{ind}: induzierte Spannung
n: Windungszahl
Φ: magnetischer Fluss
t: Zeit.
Da der Fluss durch die Induktionsspule während des Versuches konstant bleibt, ist die induzierte Spannung proportional zur Windungszahl der Induktionsspule.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Trafo2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Stecken Sie die Spule ins Ladeteil und schließen Sie es an die Steckdose an.
4. Verbinden Sie die Ausgänge 0 und 30 der Spule mit dem Spannungseingang von cassy mobile.
5. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 200 µs beendet.
6. Bestimmen Sie die Frequenz mit Hilfe der Timerbox (Eingang E) oder einem Digitalmultimeter mit Frequenzfunktion.

Aufgaben

a. Ermitteln Sie aus dem Diagramm die Periodendauer der Spannung und errechnen Sie daraus ihre Frequenz. Vergleichen Sie sie mit der üblichen Netzfrequenz und mit dem Ergebnis des Teilversuches 6.
b. Erklären Sie das Ergebnis mit Hilfe des Induktionsgesetzes.
c. Überlegen Sie sich Alternativen, wie man die Ladespannung erhöhen und damit die Ladezeit verkürzen könnte. Diskutieren Sie, warum diese Möglichkeiten aus praktischen Gründen nicht realisiert wurden.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

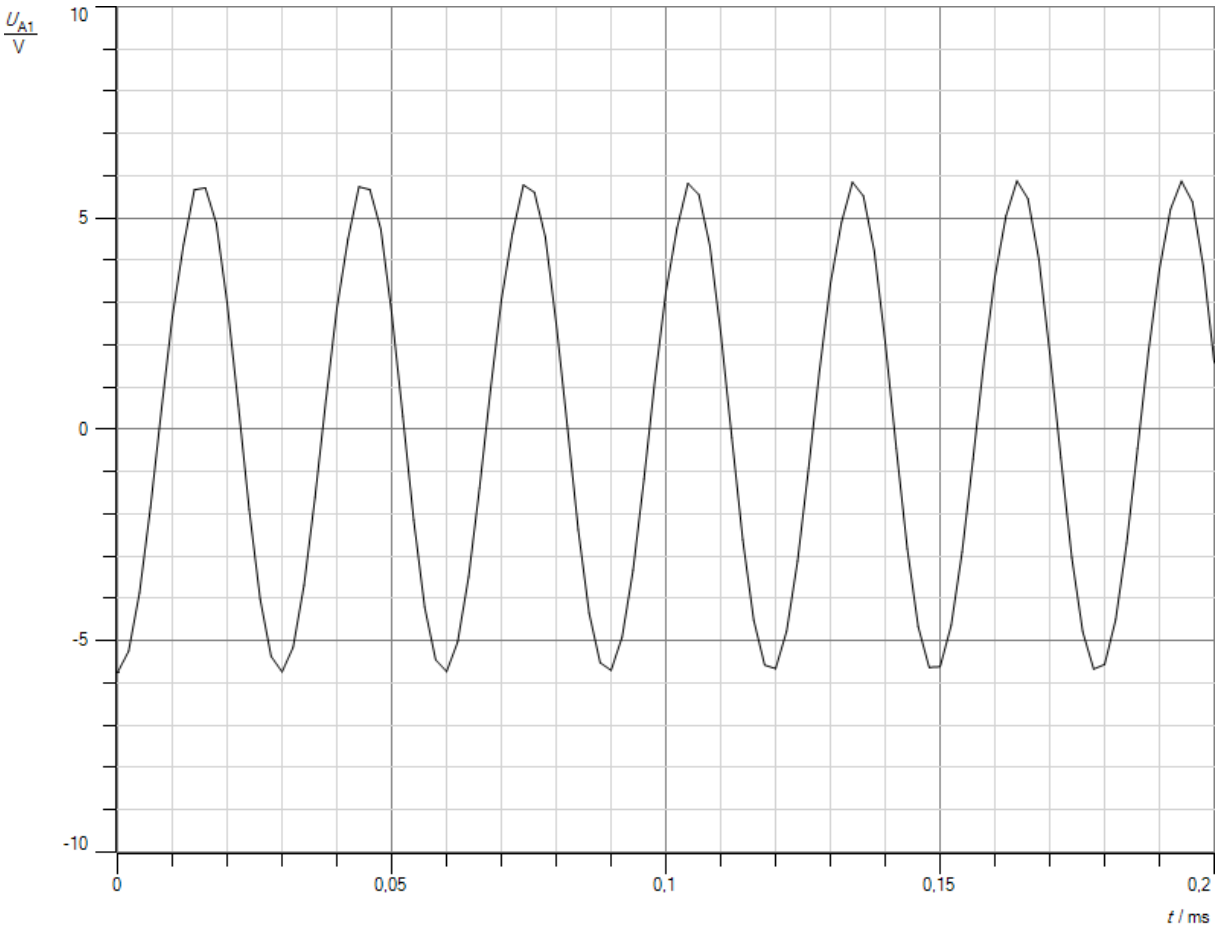


Abb.2: Induktionsspannung

Auswertung
a. Aus der Kurve erhält man für die Periodendauer T und die Frequenz f folgende Werte:

$$T = 0{,}03ms$$

$$f = \frac{1}{0{,}03ms} = 33{,}3kHz.$$

Das Digitalmultimeter zeigt eine Frequenz f = 33,56 kHz an. Beide Messwerte stimmen sehr gut überein.

b. Die Feldspule erzeugt aufgrund der Kurve ein sinusförmiges magnetisches Wechselfeld. Damit gilt für die induzierte Spannung in der Induktionsspule:

$$U_{ind} = -n * A * \frac{dB}{dt}.$$

Mit

$$B = B_0 * sin(2\pi f * t)$$

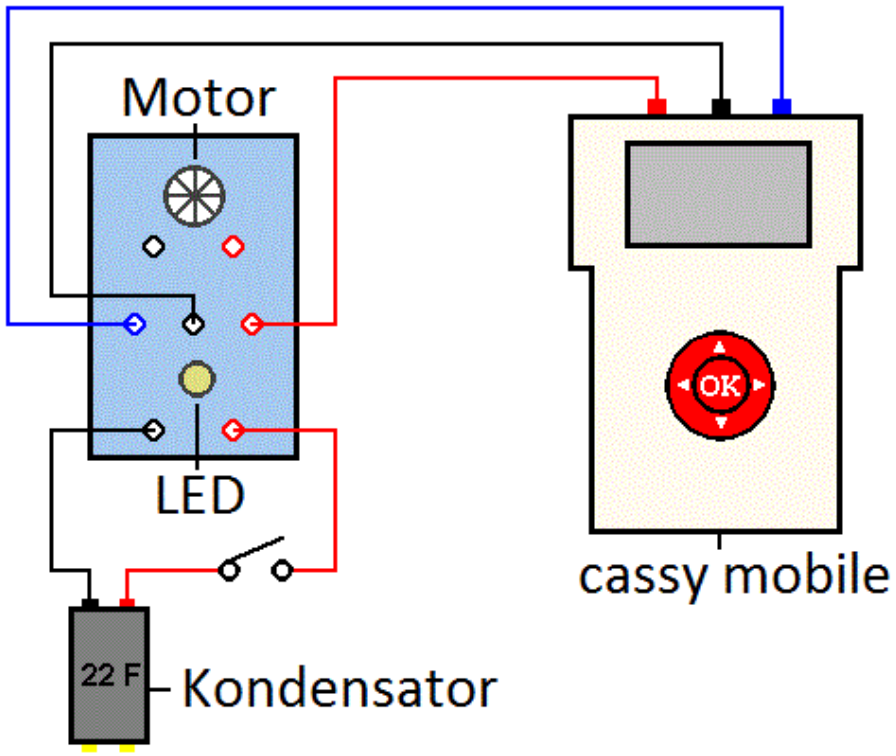
folgt

$$U_{ind} = -n * A * B_0 * 2\pi * f * cos(2\pi * f * t).$$

Die induzierte Spannung ist proportional zur Frequenz f. Daher wird das Netzteil nicht mit der üblichen Wechselspannung von 50 Hz betrieben, sondern mit der erheblich höheren Frequenz von 33,5 kHz. Die induzierte Spannung ist damit wesentlich größer.

c. Nach den Überlegungen aus Teilaufgabe b könnte man auch die Windungszahl n oder die Querschnittsfläche A der Induktionsspule erhöhen oder das Ladeteil mit einem stärkeren Magnetfeld B_0 betreiben. Dazu könnte man die Stromstärke in der Feldspule erhöhen oder sie mit einem Eisenkern versehen. In allen Fällen würden das Ladeteil und die Zahnbürste unhandlicher werden. Daher hat man sich für die erhöhte Frequenz entschieden. Der Nachteil ist, dass man im Ladeteil eine elektronische Schaltung, bestehend aus einem Gleichrichter und einem Schwingkreis, benötigt, um aus 50 Hz Netzspannung 33,5 kHz zu erzeugen. Aber der Schaltungsaufwand hält sich in Grenzen. Dafür können elektronische Geräte durch die abgestrahlten EM-Wellen gestört werden (s. Einleitung Versuch 1).

Versuch 3:
LEDs müssen mit einer möglichst konstanten Spannung betrieben werden, bei weißen LEDs mit ca. 3 V. Sinkt die Spannung unter diesen Wert, so geht ihre Helligkeit aufgrund ihrer UI-Kennlinie stark zurück und sie erlischt sehr rasch ganz. Will man eine LED mit einer Batterie mit U = 1,5 V oder einem Supercap betreiben, so benötigt man einen speziellen LED-Treiber, der in vielen LED-Taschenlampen verwendet wird (s. Kapitel Schaltregler). In diesem Versuch sollen Sie den Ausgang eines solchen Treibers mit Hilfe eines Supercaps als Spannungsquelle näher untersuchen.



Durchführung
1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Nachtlicht1.labm“ im Ordner Physik.
2. Laden Sie den Kondensator am Ladeteil der LED-Lampe mit Hilfe der Spule auf U = 1,5 V.
3. Verbinden Sie den Kondensator gemäß der Abb. mit dem Eingang der LED und cassy mobile.
4. Schließen Sie den Schalter.
5. Starten Sie die Messung.
6. Stoppen Sie sie einige Sekunden nach dem die LED erloschen ist.

Aufgaben
a. Erläutern und erklären Sie den Kurvenverlauf.
b. Ermitteln Sie die mittlere Leistung im Zeitraum 0 – 100 s.
c. Vergleichen Sie die Ausgangsleistung am LED-Treiber in Teilaufgabe b mit der Eingangsleitung in Versuch 4 und berechnen Sie den Wirkungsgrad der Schaltung.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

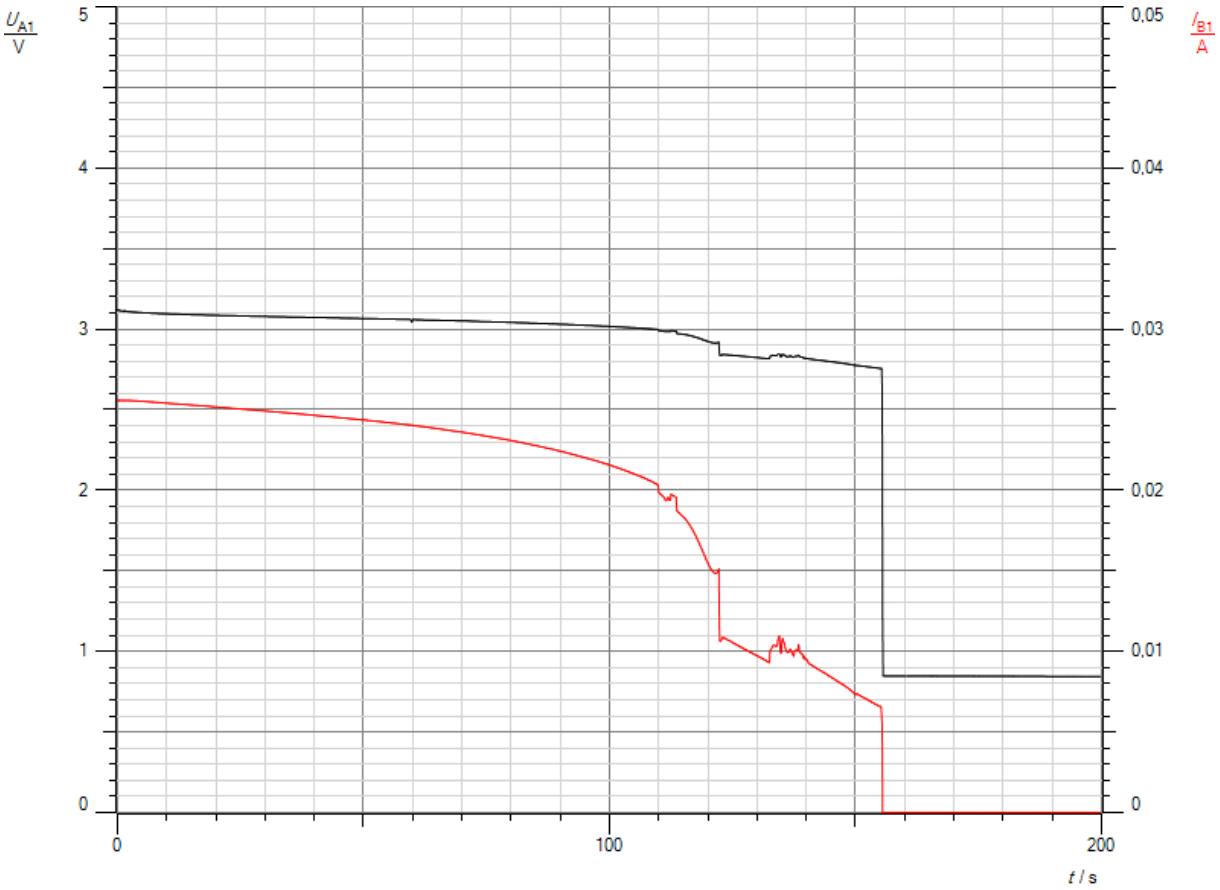


Abb.1: Spannungs- und Stromverlauf am Treiberausgang

Auswertung

a. Obwohl die Eingangsspannung am Kondensator nur 1,5 V beträgt und während des Versuches sinkt (vgl. Versuch 4) liegt an der LED eine nahezu konstante Spannung von etwa 3 V an. Der Strom fällt bis etwa 100 s Betriebsdauer nur von 25,5 mA auf 21,5 mA. Die LED wird im Zeitraum 1- 100 s mit fast konstanter Leistung betrieben und leuchtet etwa mit gleichbleibender Helligkeit. Danach sinkt sie rasch ab, nach etwa 155 s schaltet sich die LED automatisch ab. Zwischen Kondensator und LED liegt eine elektronische Schaltung, Schaltregler genannt. Man könnte ihn als Gleichspannungstrafo bezeichnen. Er erzeugt aus einer Gleichspannung U_1 = 1,5 V eine größere Gleichspannung U_2 = 3 - 3,2 V.

b. Wertet man die U(t)-Kurve bzw. I(t)-Kurve im Bereich 0 -100 s graphisch aus, so erhält man folgende Mittelwerte:

$$U_A = 3{,}065V$$

$$I_A = 0{,}0241A$$

$$P_A = U * I = 0{,}07375W.$$

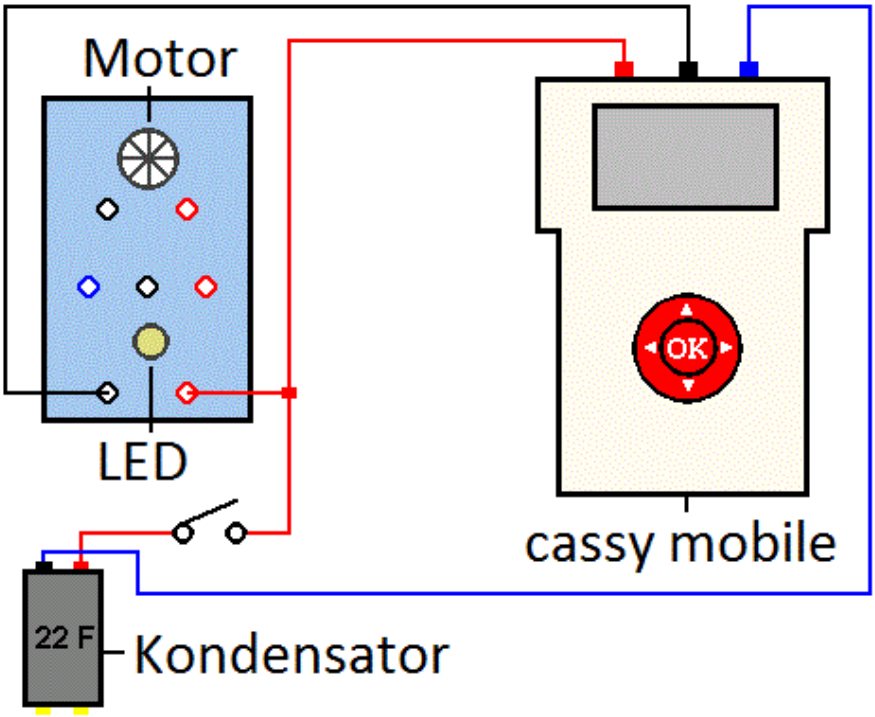
c. Gemäß Versuch 4 beträgt die mittlere Eingangsleitung im untersuchten Zeitraum

$$P_E = 0{,}1093W.$$

Damit besitzt die Schaltung einen Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_A}{P_E} * 100\% = 67{,}5\%.$$

Versuch 4:
LEDs müssen mit einer möglichst konstanten Spannung betrieben werden, bei weißen LEDs mit ca. 3 V. Sinkt die Spannung unter diesen Wert, so geht ihre Helligkeit aufgrund ihrer UI-Kennlinie stark zurück und sie erlischt sehr rasch ganz. Will man eine LED mit einer Batterie mit U = 1,5 V oder einem Supercap betreiben, so benötigt man einen speziellen LED-Treiber, der in vielen LED-Taschenlampen verwendet wird. In diesem Versuch sollen Sie den Eingang eines solchen Treibers mit Hilfe eines Supercaps als Spannungsquelle näher untersuchen.



Durchführung
1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Nachtlicht2.labm“ im Ordner Physik.
2. Laden Sie den Kondensator am Ladeteil der LED-Lampe mit Hilfe der Spule auf U = 1,5 V.
3. Verbinden Sie den Kondensator gemäß der Abb. mit dem Eingang der LED und cassy mobile.
4. Schließen Sie den Schalter.
5. Starten Sie die Messung.
6. Stoppen Sie sie einige Sekunden nach dem die LED erloschen ist.

Aufgaben
a. Beschreiben und erläutern Sie die Kurvenverläufe.
b. Berechnen Sie mit Hilfe des Diagramms zu mehreren Zeiten die elektrische Eingangsleistung des LED-Treibers.
c. Erklären Sie, wie die Schaltung für fast gleiche Helligkeit der LED sorgt trotz sinkender Spannung am Eingang.
d. Ermitteln Sie mit Hilfe der Messkurven die Kapazität des eingesetzten Kondensators und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Aufschrift.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

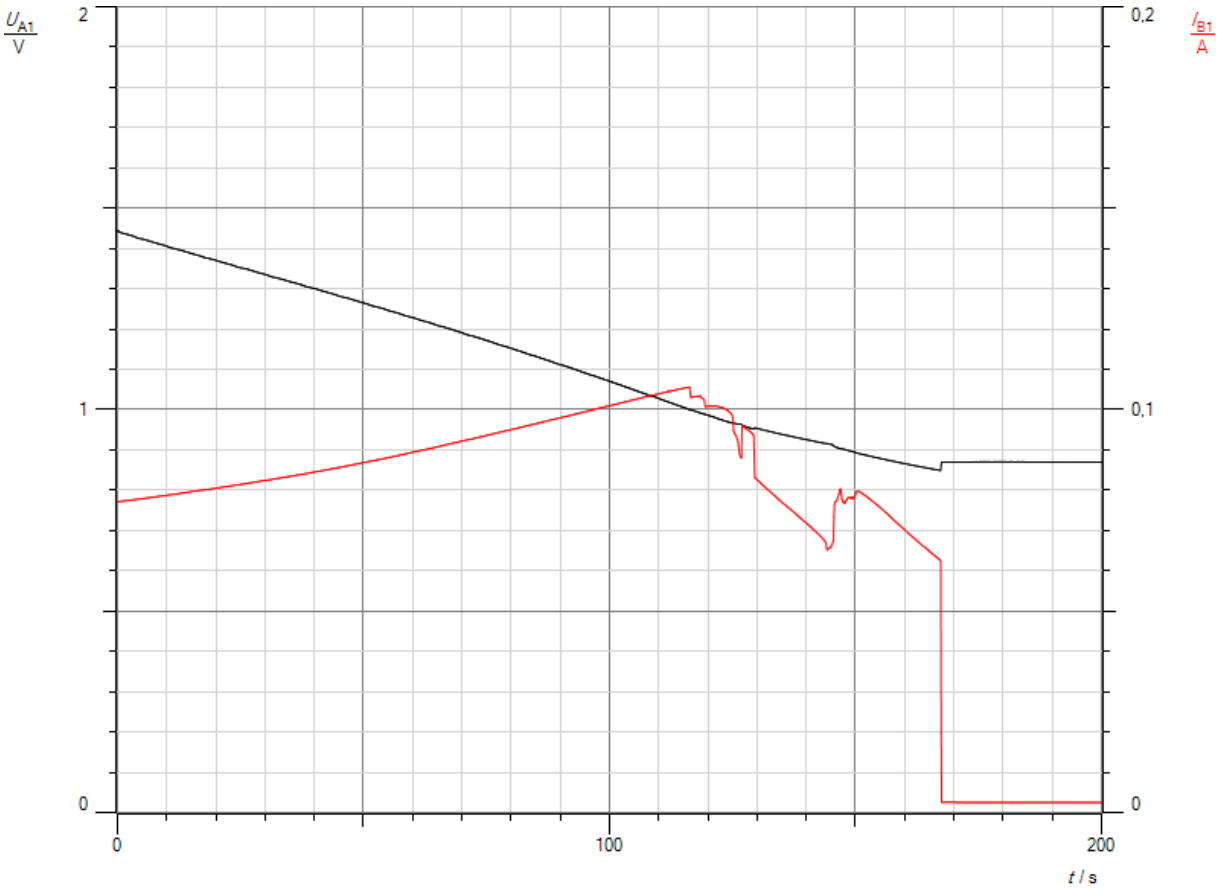


Abb.1: Spannungs- und Stromverlauf am Treibereingang

Auswertung

a. Die Spannung am Kondensator sinkt, da er sich nach und nach entlädt. Erstaunlicherweise steigt die Stromstärke bis ca. 120 s an. Danach fällt sie in Stufen. Die Helligkeit der LED sinkt. Nach etwa 165 s schaltet sich der Treiber von alleine aus, die LED erlischt.

b. Man erhält zu verschiedenen Zeiten folgende Spannungen, Stromstärken und Leistungen:

t[s]	U_E[V]	I_E[A]	P_E[W]
0,7	1,44	0,0773	0,111
20,3	1,37	0,0806	0,110
40,6	1,299	0,0847	0,110
60,2	1,228	0,0895	0,110
80,5	1,151	0,0952	0,110
100,1	1,070	0,1010	0,108

Die Eingangsleistung P_E bleibt konstant.

c. Die sinkende Eingangsspannung U wird durch eine steigende Eingangsstromstärke I_E kompensiert, so dass die Eingangsleistung P_E und damit die Helligkeit der LED am Ausgang der Schaltung konstant bleibt.

d. Im Zeitraum 0 – 100 s sinkt die Spannung um

$$\Delta U = 1{,}44V - 1{,}07V = 0{,}37V.$$

Die mittlere Stromstärke ermittelt man graphisch aus der I(t)-Kurve. Sie beträgt:

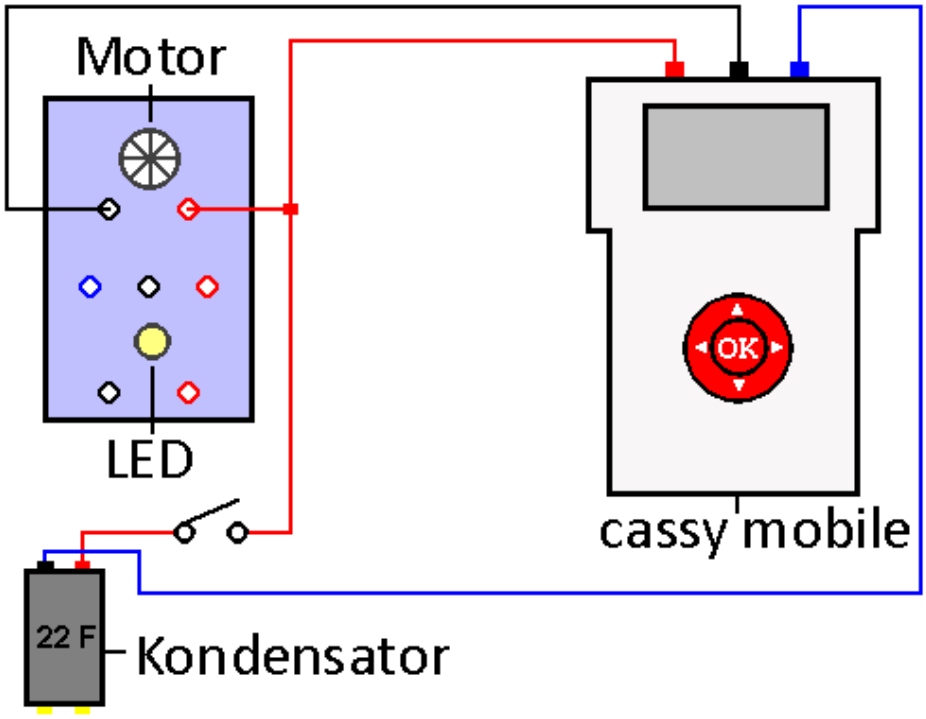
$$I_E = 0{,}08773A.$$

Damit besitzt der Kondensator eine Kapazität

$$C = \frac{Q_E}{\Delta U_E} = \frac{I_E * \Delta t}{\Delta U_E} = \frac{0{,}08773A * 100{,}1s}{0{,}37V} = 23{,}7F.$$

Dieser Wert stimmt im Rahmen der Toleranz mit der Aufschrift C = 22F überein.

Versuch 5:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Motor.labm“ im Ordner Physik.
2. Laden Sie den Kondensator am Ladeteil der LED-Lampe mit Hilfe der Spule auf U = 1 V.
3. Verbinden Sie den Kondensator nach der Abb. mit dem Motor und cassy mobile.
4. Schließen Sie den Schalter.
5. Starten Sie gleichzeitig die Messung.
6. Stoppen Sie sie ein paar Sekunden nach dem der Motor stehen geblieben ist.

Aufgaben

a. Beschreiben und erläutern Sie die Kurvenverläufe.
b. Ermitteln Sie aus der Spannungskurve den Spannungsabfall am Kondensator im Zeitraum 10 -120 s.
c. Ermitteln Sie aus der Stromstärkekurve die mittlere Stromstärke in diesem Zeitraum.
d. Berechnen Sie aus Ihren Ergebnissen die Kapazität des Kondensators.
e. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Aufschrift auf dem Kondensator und diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

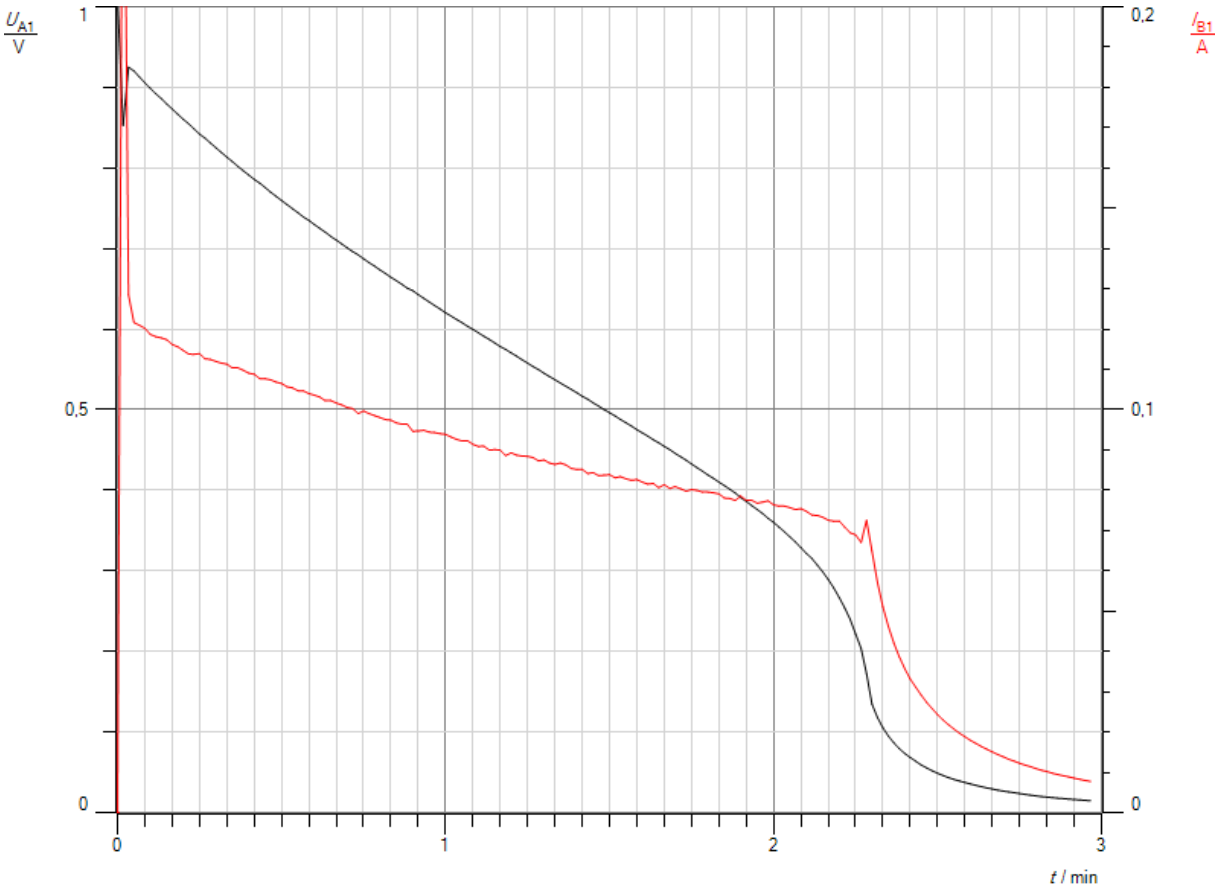


Abb.1: Spannungs- und Stromverlauf am Motor

Auswertung

a. Zu Beginn besitzt die Stromkurve eine hohe Spitze. Der Motor benötigt einen hohen Anlaufstrom. Die Spannung am Kondensator fällt für einen kurzen Augenblick stark ab. Danach sinken Strom und Spannung etwa gleichmäßig, die Spannung schneller als die Stromstärke. Der Motor läuft immer langsamer. Erreicht die Spannung einen Wert von ca. 0,3 V, so bleibt der Motor stehen. Der Kondensator entlädt sich rasch vollständig.

b. Der Spannungsabfall im betrachteten Zeitraum beträgt:

$$\Delta U = 0{,}873V - 0{,}360V = 0{,}513V.$$

c. Die mittlere Stromstärke im betrachteten Zeitraum beträgt

$$I = 0{,}0933A.$$

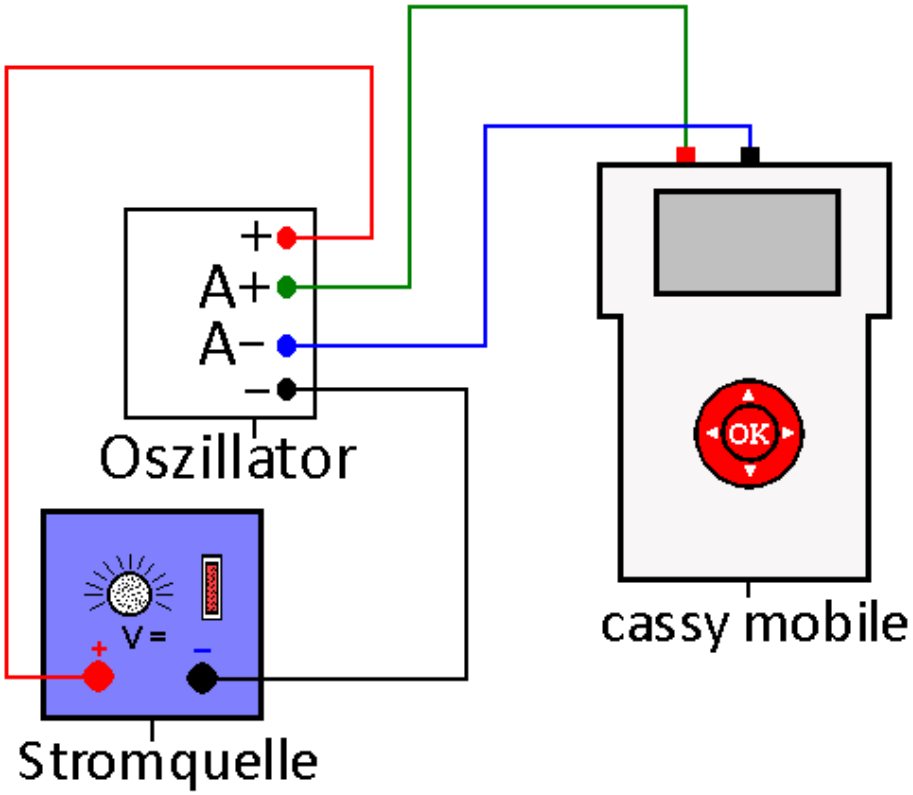
d. Damit beträgt die Kapazität des Kondensators

$$C = \frac{Q}{\Delta U} = \frac{I * t}{\Delta U} = \frac{0{,}0933A * 110s}{0{,}513V} = 20F.$$

e. Der Kondensator trägt die Aufschrift C = 22F. Da die Toleranz bei Kondensatoren bis zu 50 % betragen kann, stimmen gemessener Wert und angegebener Wert recht gut überein.

Oszillatoren

Versuch 1:



Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung des Colpits-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R_1 = 4,7 kΩ, R_2 = 3,3 kΩ, R_3 = 1kΩ, P = 1 kΩ, L = 11,2 mH, C_1 = 1 µF, C_2 = 0,1 µF, T: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpit1.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 1 ms. Betrachten Sie das U/t-Diagramm. Sollten Sie keine saubere Sinuskurve erhalten haben, so müssen Sie über das Potentiometer die Stärke der Rückkopplung anpassen. Wiederholen Sie die Messung bis die Kurve nicht mehr verzerrt ist.
6. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve. Erklären Sie sie.
b. Erläutern Sie, wie ein Colpits-Oszillator eine ungedämpfte Schwingung erzeugt.
c. Ermitteln Sie aus der Messkurve die Frequenz der ungedämpften Schwingung.
d. Bestimmen Sie mit einem Henrymeter die Induktivität der verwendeten Spule, sofern Sie nicht angegeben ist. Berechnen Sie die Frequenz der Schwingung aus der Induktivität L

und den beiden Kapazitäten C_1 und C_2. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebniss aus c. und diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

e. Erkundigen Sie sich im Internet, wozu der Coplit-Oszillator verwendet wird und welche Eigenschaften er hat.

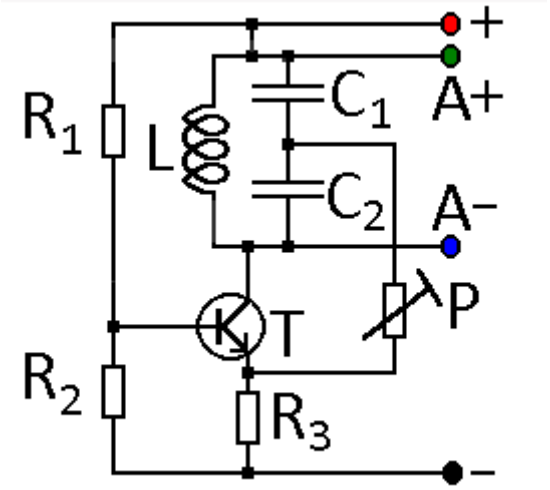


Abb.1: Grundschaltung Colpits-Oszillator

Beobachtung
Man erhält z. B. folgende Messkurve.

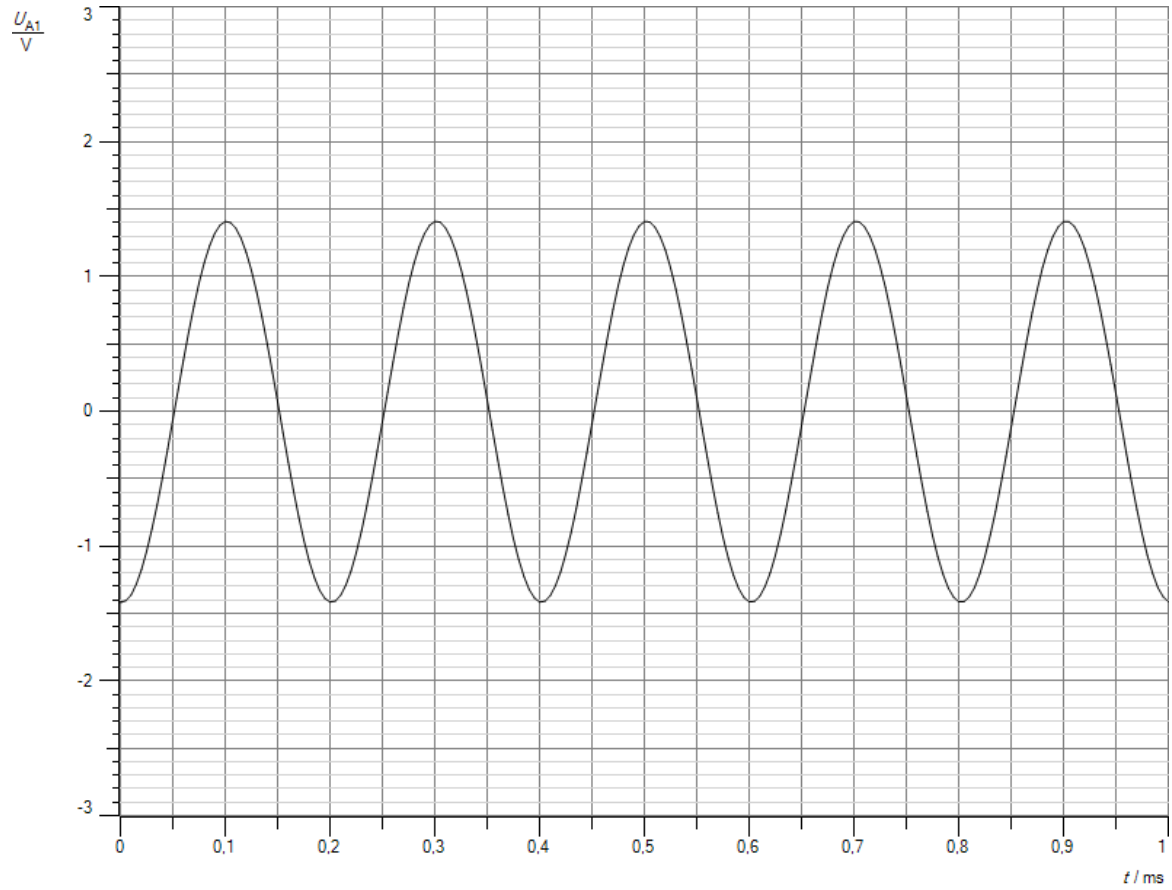


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Es liegt eine ungedämpfte sinusförmige Schwingung vor. Die Schwingung wird entdämpft, indem dem Schwingkreis die Energie wieder zugeführt wird, die durch den Ohmschen Widerstand der Spule als Wärme an die Umgebung abgegeben wird.
b. Der Transistor wird durch Rückkopplung im Takt der Schwingung ein- und ausgeschaltet. Entscheidend dafür ist der Emitterwiderstand R_3, dessen eine Seite über das Poti P mit dem Mittenabgriff zwischen den beiden Kondensatoren verbunden ist. Das Potential dieses Punktes schwankt im Takte der Schwingung. Ist es positiv, so wird das Potential am Emitter des Transistors angehoben, die Spannung an der Basis-Emitter-Strecke sinkt, der Transistor sperrt. Liegt es in der nächsten Halbperiode auf negativem Niveau, so sinkt das Potential am Emitter, die Basis-Emitter-Spannung am Transistor steigt. Er schaltet durch. Es fließt zusätzliche Ladung auf die beiden Kondensatoren C_1 und C_2 und durch die Spule L. Die Energie im Schwingkreis steigt und gleicht die Verluste aus. Über das Potentiometer und den Kondensator C_1 kann man die Stärke der Rückkopplung regeln. Ist sie zu stark, ist das Schwingungssignal verzerrt, ist sie zu klein, schwingt der Oszillator nicht.
c. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

$$T = 0{,}20 \text{ ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{0{,}20\mathrm{ms}} = 5{,}0\ \mathrm{kHz}.$$

d. Es gilt die Thomsonsche Schwingungsformel für die Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}}.$$

Darin bedeuten:
L: Induktivität
C: Kapazität.

Beim Colpits-Oszillator setzt sich die Kapazität C aus zwei in Reihe geschalteten Kondensatoren mit den Kapazitäten C_1 und C_2 zusammen. Es gilt:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Löst man die Formel nach C auf, so folgt:

$$C = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2} = \frac{1\mu F * 0{,}1\mu F}{1\mu F + 0{,}1\mu F} = 0{,}0909\mu F.$$

Damit ergibt sich mit L = 11,2 mH eine theoretische Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}} = 2\pi * \sqrt{0{,}0112H * 9{,}09 * 10^{-8}F} = 0{,}2004ms.$$

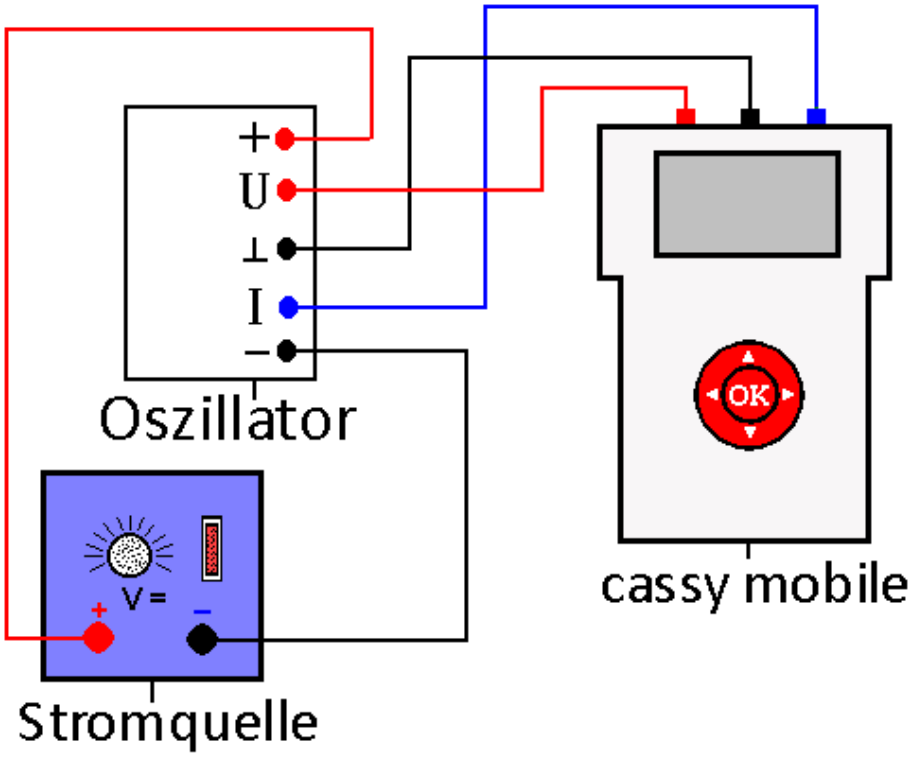
Damit erhält man für die Frequenz f

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}2004ms} = 4990\ Hz = 4{,}99\ kHz.$$

Theoretischer und gemessener Wert stimmen bei dieser Messung sehr gut überein. Das ist jedoch nicht immer der Fall. Die Hauptfehlerquelle sind die Werte, die auf elektronischen Bauteilen angegeben werden. Die wirklichen Werte können bis mehr als 20 % vom Nennwert abweichen. Außerdem schwankt die Frequenz mit dem Wert des Rückkopplungswiderstandes um 1 – 2 %, da es bei nicht optimaler Rückkopplung zu leichten Verzerrungen der Sinusschwingung kommt.

e. Der Colpits-Oszillator wird in Ladeteilen von Zahnbürsten (s. Skript Zahnbürste auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de) und Akkutaschenlampen (s. Skript LED-Nachtlicht auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de) verwendet. Seine Frequenz lässt sich in einem weiten Frequenzbereich variieren, in dem man die Spule L und die beiden Kondensatoren C_1 und C_2 austauscht. Sie ändert sich mit der Temperatur, weshalb er in Reinform nicht als Sender für moderne Kommunikationsmittel geeignet ist. Man kann seine Frequenz stabilisieren, in dem man zwischen Basis und Emitter einen Schwingquarz einbaut.

Versuch 2 a:



Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung des Colpits-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R1 = 4,7 kΩ, R2 = 1 kΩ, R3 = 100 Ω, L1 = 10 mH, C1 = 10 µF, C2 = 1 µF, C3 = 22 µF, T1: BC 547. Die farbigen Anschlussstellen in der Schaltung entsprechen den Eingangsbuchsen an cassy mobile.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpit3.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 4,5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 2 ms. Betrachten Sie das erhaltene U(t)-Diagramm. Sollte die gemessene Spannung den Messbereich überschreiten, regeln Sie die Spannung der Spannungsquelle ein wenig herunter.
6. Speichern Sie die Kurve.
7. Laden Sie die Messkurve in das Programm cassy lab 2 und passen Sie die Messbereiche für die einzelnen Größen so an, dass Sie aussagekräftigere Kurven erhalten.
8. Wiederholen Sie den Versuch mit L2 = 15 mH und L3 = 5 mH. Dabei sollten Sie die Spannung an der Spannungsquelle jeweils so nachregeln, dass die Kurve für U(t) stets etwa gleich groß ist.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven für U(t), I(t), P(t) und E(t). Erklären Sie sie.
b. Diskutieren Sie die Ergebnisse des Versuches vor dem Hintergrund des Welle-Teilchen-Dualismus bei der Strahlung eines schwarzen Körpers und beim Fotoeffekt.

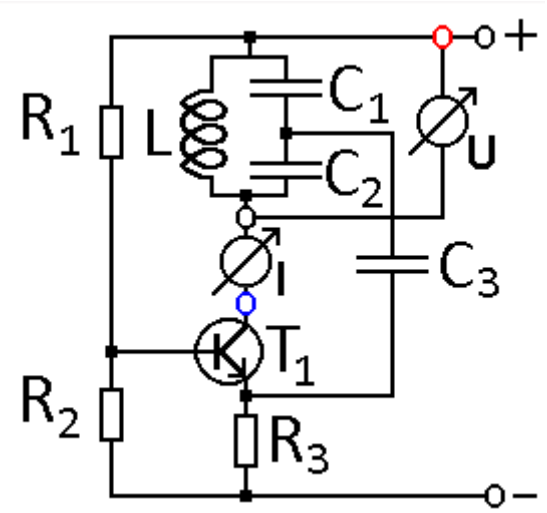


Abb.1: Versuchsaufbau

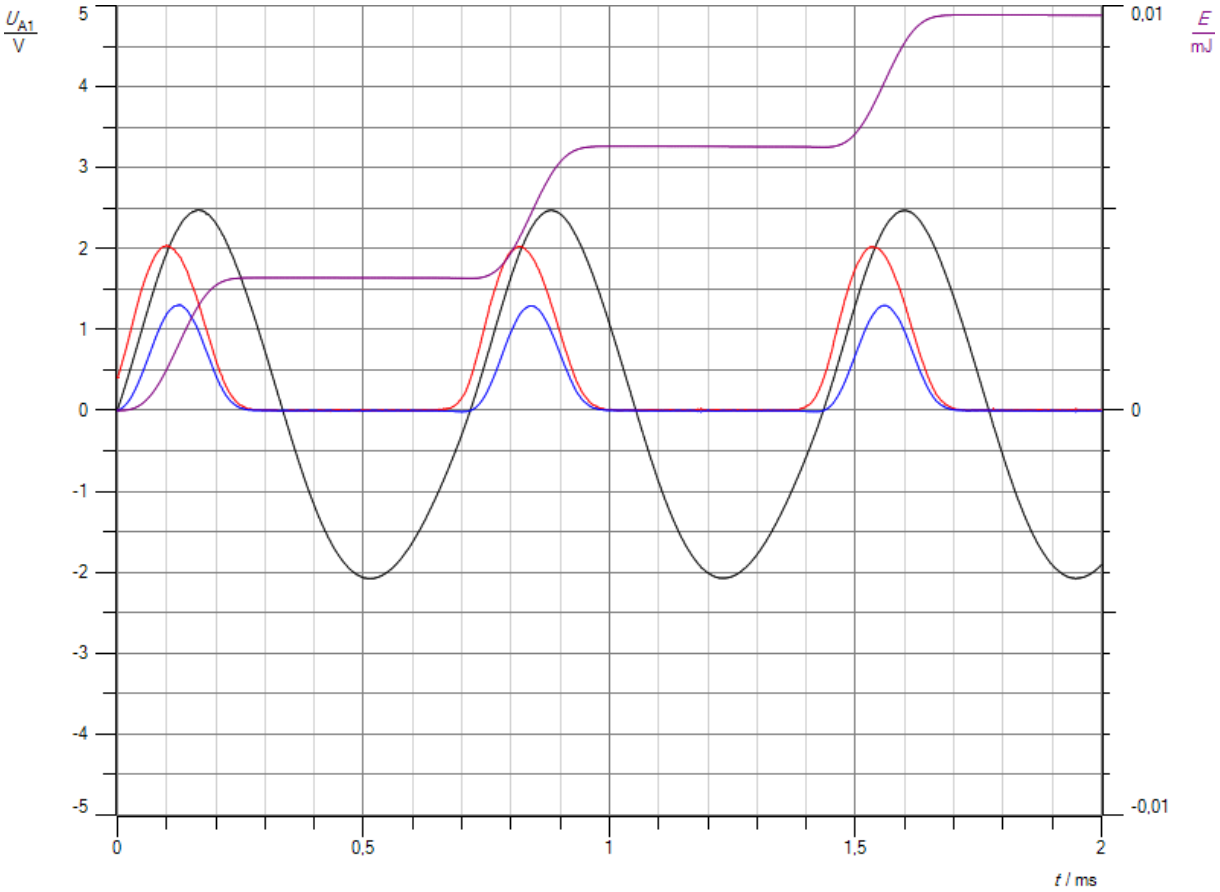


Abb.2 Messkurve für U, I, P und E

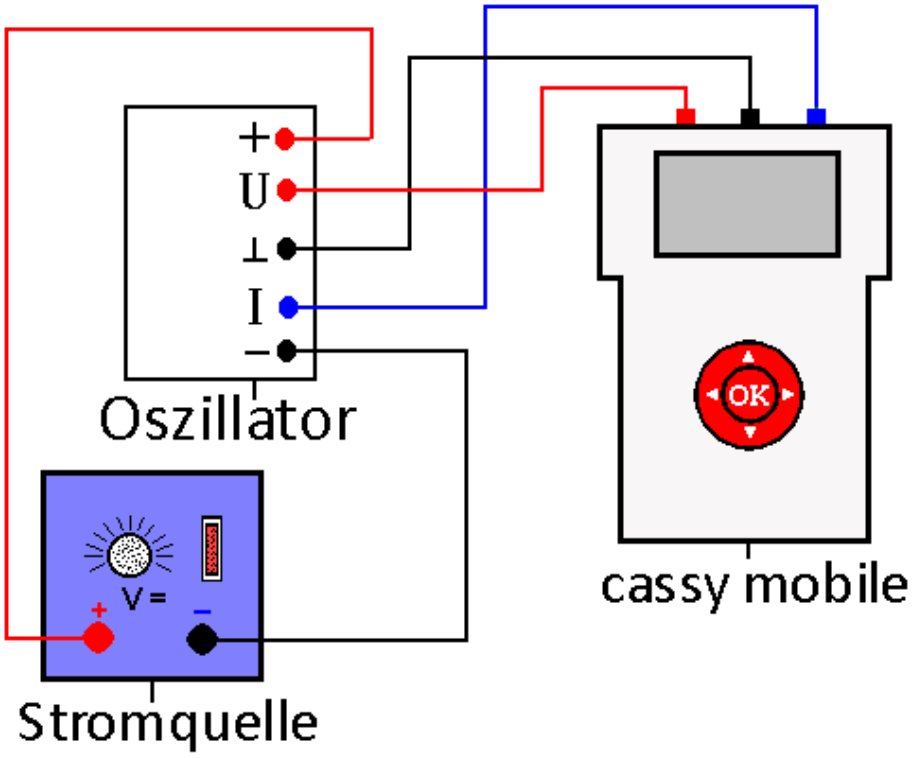
Beobachtung

Nach der Anpassung der Messbereiche erhält man die Messkurven in 2. Pro Anregungsstufe wird eine Energie $\Delta E = 3{,}3\ \mu J$ und damit in der Messzeit t = 2ms insgesamt eine Energie $E_1 = 9{,}9\ \mu J$ in den Schwingkreis gepumpt. Wiederholt man den Versuch für andere Frequenzen, in dem man die Induktivität durch $L_2 = 5$ mH oder $L_3 = 15$ mH ersetzt, so beobachtet man, dass die Energiestufe pro Anregung mit $\Delta E = 3{,}3\ \mu J$ gleichbleibt, wenn man die Spannung im Schwingkreis gleich groß hält. Es verändert sich jedoch die in der Messzeit t = 2 ms insgesamt aufgenommene Energie auf $E_1 = 13{,}2\ \mu J$ bzw. $E_2 = 6{,}6\ \mu J$, da die Frequenz der Schwingung zu- bzw. abnimmt und damit die Zahl der Anregungsstufen.

Deutung:

Die schwarze Kurve entspricht der Spannung U im Schwingkreis, die rote der Stromstärke zum Entdämpfen des Schwingkreises, nicht der Stromstärke im Schwingkreis(s. Versuch 2d), die blaue der Leistung P und die violette der vom Oszillator während der Anregungsphase aufgenommenen Energie. Wie man an der Spannungskurve erkennen kann, ist der Schwingkreis entdämpft. Das wird dadurch erreicht, dass er durch Rückkopplung stoßweise Energie aus der Spannungsquelle aufnimmt und nicht kontinuierlich. Die Schaltung erzeugt neben einer ungedämpften Schwingung auch EM-Wellen. Wie aus der Energiekurve ersichtlich, wird Energie nicht kontinuierlich von den Elektronen auf die Wellen übertragen, sondern in kleinen Energieportionen. Die Welle transportiert sie zu einem Empfänger. Dort kehrt sich der ganze Vorgang um, in dem die Welle Elektronen durch Energiestöße zu Resonanzschwingungen anregt, vergleichbar einer Schaukel, die sich durch kleine Schwerpunktverlagerungen zu ungedämpften Schwingungen aufschaukelt. Es stellt sich nicht die Frage, ob EM-Wellen Wellen- oder Teilchencharakter haben. Sie sind Wellen, die ihre Energie bei Wechselwirkungen mit Elektronen nicht kontinuierlich, sondern nach Planck in kleinen Energiequanten austauschen. Diese Vorgänge spielen sich auch an der Oberfläche eines schwarzen Körpers ab, wenn seine Elektronen EM-Wellen in Form von Licht aussenden, aber ebenso beim Photoeffekt, bei dem durch EM-Wellen Elektronen aus dem Metall durch stoßweise Anregung freigesetzt werden. Bei beiden Vorgängen stammt ein großer Teil der Anregungsenergie aus der thermischen Energie der Elektronen und nicht aus der EM-Welle. Sie steuert vielmehr den Vorgang durch Rückkopplung und regt die Elektronen zu Resonanzschwingungen an.

Versuch 2 b:



Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung des Colpits-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R1 = 4,7 kΩ, R2 = 1 kΩ, R3 = 100 Ω, L1 = 10 mH, C1 = 10 µF, C2 = 1 µF, C3 = 22 µF, T2: BC 557. Die farbigen Anschlussstellen in der Schaltung entsprechen den Eingangsbuchsen an cassy mobile.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpit4.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 4,5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 2 ms. Betrachten Sie das erhaltene U(t)-Diagramm. Sollte die gemessene Spannung den Messbereich überschreiten, regeln Sie die Spannung der Spannungsquelle ein wenig herunter.
6. Speichern Sie die Kurve.
7. Laden Sie die Messkurve in das Programm cassy lab 2 und passen Sie die Messbereiche für die einzelnen Größen so an, dass Sie aussagekräftigere Kurven erhalten.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven für U(t), I(t), P(t) und E(t). Erklären Sie sie.
b. Vergleichen Sie die Kurven mit den Messkurven aus Versuch 2a.
c. Diskutieren Sie die Ergebnisse des Versuches vor dem Hintergrund des Welle-Teilchen-Dualismus bei der Strahlung eines schwarzen Körpers und beim Fotoeffekt.

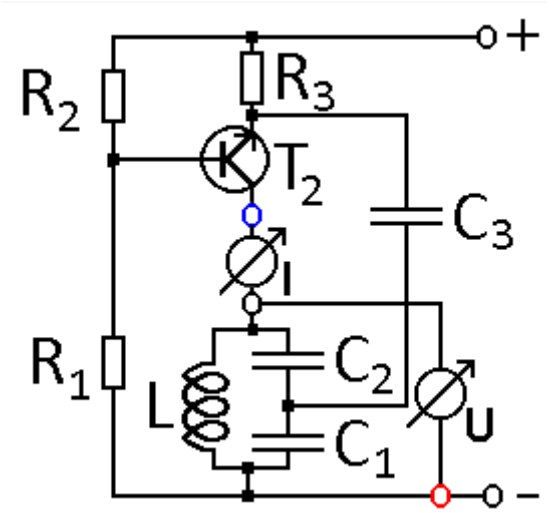


Abb.1 : Versuchsaufbau

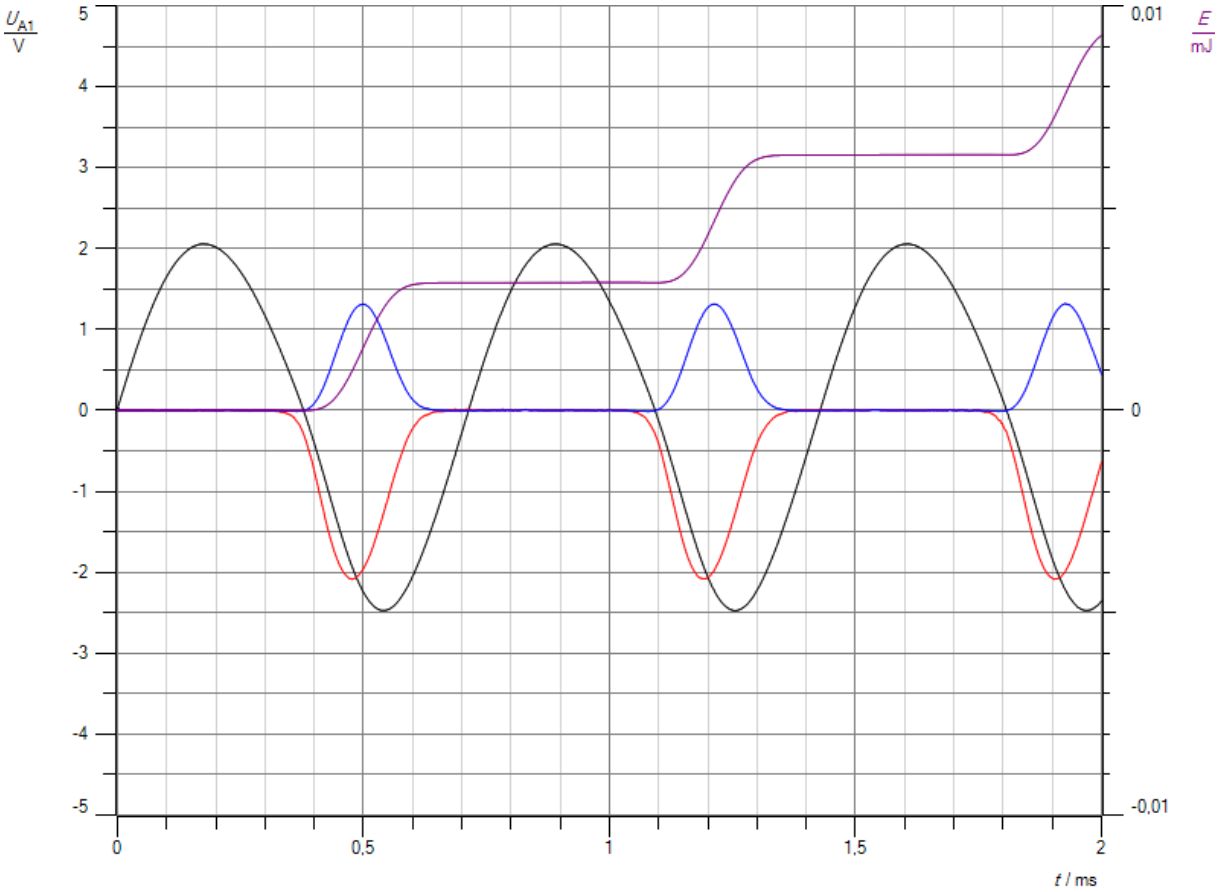
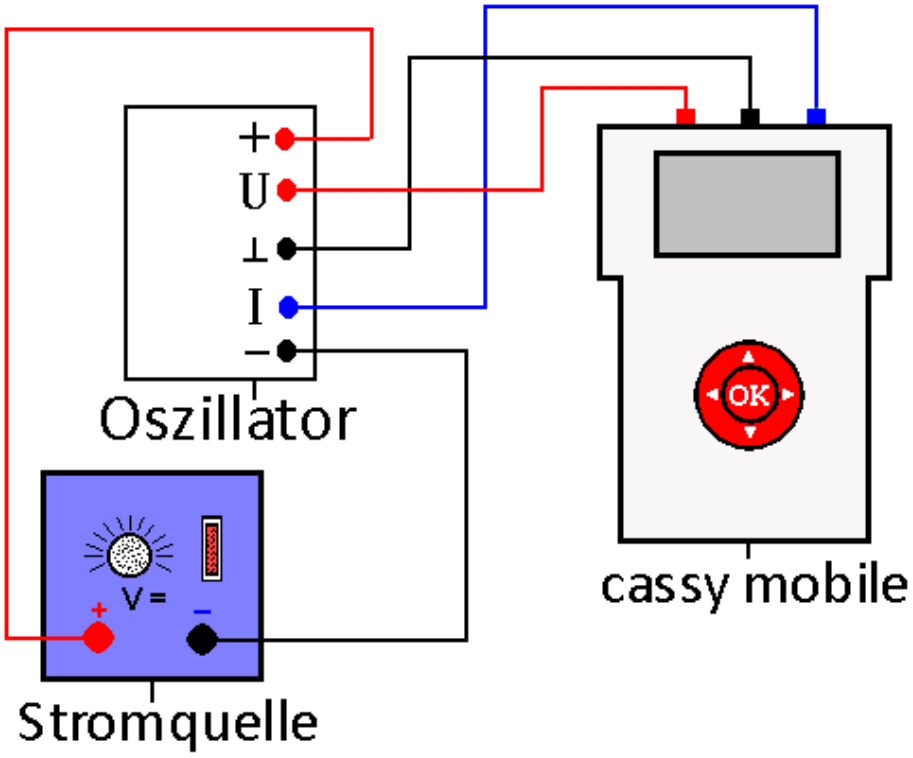


Abb.2: Messkurve für U, I, P und E

Beobachtung
Nach der Anpassung der Messbereiche erhält man die Messkurve in Abb. 2. Pro Anregungsstufe wird die gleiche Energie wie in Versuch 2a auf die Elektronen übertragen. Die Anregung erfolgt allerdings in der negativen Halbwelle. Die einzelnen Leistungspeaks und damit die übertragene Energie sind jedoch positiv, weil auch der Stromstoß negativ ist.

Deutung:
Die schwarze Kurve entspricht der Spannung U im Schwingkreis, die rote der Stromstärke zum Entdämpfen des Schwingkreises, nicht der Stromstärke im Schwingkreis (s. Versuch 2d), die blaue der Leistung P und die violette der vom Oszillator während der Anregungsphase aufgenommenen Energie. Wie man an der Spannungskurve erkennen kann, ist der Schwingkreis entdämpft. Das wird dadurch erreicht, dass er durch Rückkopplung stoßweise Energie aus der Spannungsquelle aufnimmt und nicht kontinuierlich. Die Schaltung erzeugt neben einer ungedämpften Schwingung auch EM-Wellen. Eine ungedämpfte elektromagnetische Schwingung kann man folglich erzeugen durch Rückkopplung sowohl in der negativen als auch in der positiven Halbwelle. Wie aus der Energiekurve ersichtlich, wird Energie nicht kontinuierlich von den Elektronen auf die Wellen übertragen, sondern in kleinen Energieportionen. Die Welle transportiert sie zu einem Empfänger. Dort kehrt sich der ganze Vorgang um, in dem die Welle Elektronen durch Energiestöße zu Resonanzschwingungen anregt, vergleichbar einer Schaukel, die sich durch kleine Schwerpunktverlagerungen zu ungedämpften Schwingungen aufschaukelt. Es stellt sich nicht die Frage, ob EM-Wellen Wellen- oder Teilchencharakter haben. Sie sind Wellen, die ihre Energie bei Wechselwirkungen mit Elektronen nicht kontinuierlich, sondern nach Planck in kleinen Energiequanten austauschen. Diese Vorgänge spielen sich auch an der Oberfläche eines schwarzen Körpers ab, wenn seine Elektronen EM-Wellen in Form von Licht aussenden, aber ebenso beim Photoeffekt, bei dem durch EM-Wellen Elektronen aus dem Metall durch stoßweise Anregung freigesetzt werden. Bei beiden Vorgängen stammt ein großer Teil der Anregungsenergie aus der thermischen Energie der Elektronen und nicht aus der EM-Welle. Sie steuert vielmehr den Vorgang durch Rückkopplung und regt die Elektronen zu Resonanzschwingungen an.

Versuch 2 c:



Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung des Colpits-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R1 = 4,7 kΩ, R2 = 1 kΩ, R3 = 100 Ω, L1 = 10 mH, C1 = 10 µF, C2 = 1 µF, C3 = 22 µF, T1: BC 557, T2: BC557. Die farbigen Anschlussstellen in der Schaltung entsprechen den Eingangsbuchsen an cassy mobile.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpit5.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 9 V ein. Der Mittenabgriff des Potentiometers entspricht dem 0- bzw. U- Anschluss der Schaltung.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 2 ms. Betrachten Sie das erhaltene U(t)-Diagramm. Sollte die gemessene Spannung den Messbereich überschreiten, regeln Sie die Spannung der Spannungsquelle ein wenig herunter.
6. Speichern Sie die Kurve.
7. Laden Sie die Messkurve in das Programm cassy lab 2 und passen Sie die Messbereiche für die einzelnen Größen so an, dass Sie aussagekräftigere Kurven erhalten.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurven für U(t), I(t), P(t) und E(t). Erklären Sie sie.
b. Vergleichen Sie die Kurven mit den Messkurven aus Versuch 2a und 2b.
c. Diskutieren Sie die Ergebnisse des Versuches vor dem Hintergrund des Welle-Teilchen-Dualismus beim Doppelspaltversuch. Vergleichen Sie die Vorgänge mit einer Schaukel.

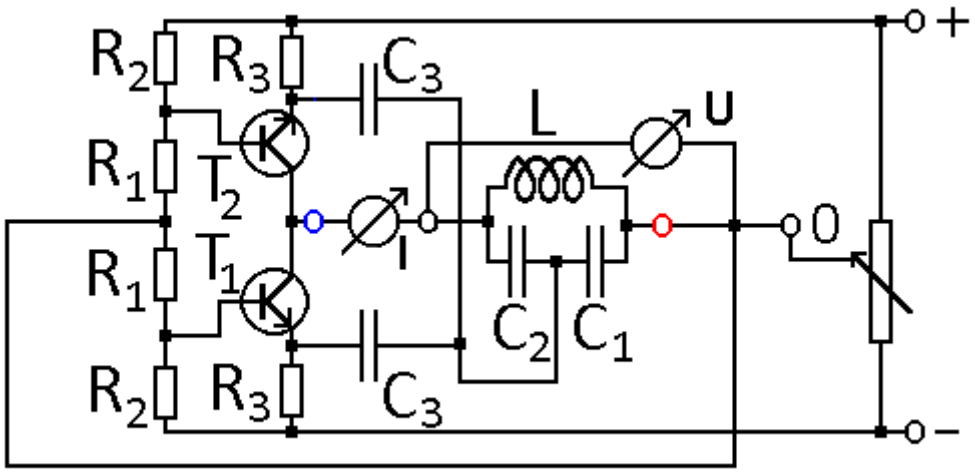


Abb.1: Versuchsaufbau

Für den Versuch benötigt man eine symmetrische einstellbare Gleichspannungsquelle mit einem positiven Ausgang von U = + 4,5 V und einem negativen Ausgang von U = - 4,5 V, sowie einem Mittenabgriff. Hat man nur eine asymmetrische Gleichspannungsquelle zur Verfügung, so benutzt man eine Ausgangsspannung von U = + 9 V, die man durch ein Potentiometer mit R = 100 Ω und einer Leistung P = 2 W in zwei Teilspannungen zu je U = 4,5 zerlegt. Der Mittenabgriff des Potentiometers dient dann als Bezugspunkt 0.

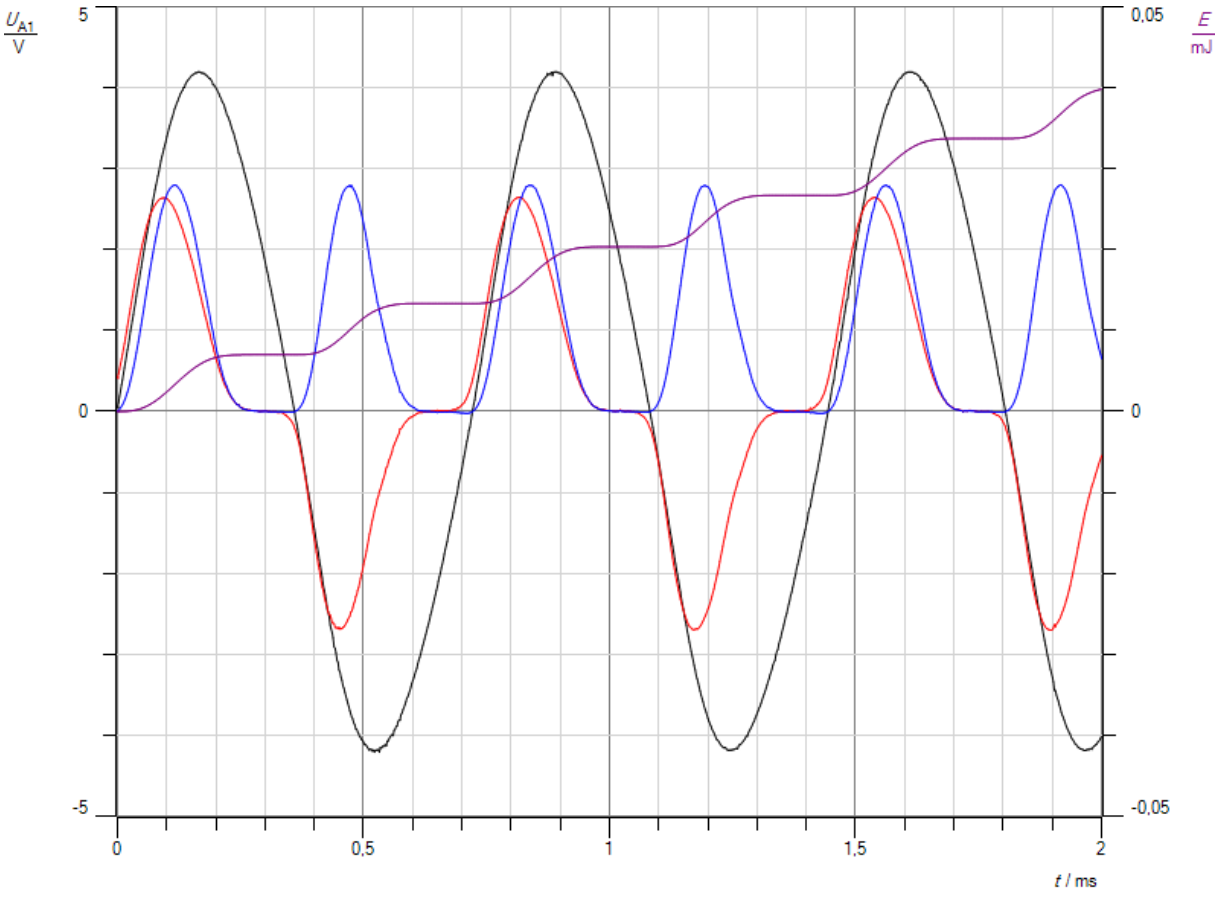


Abb.2: Messkurve für U, I, P und E

Beobachtung

Nach der Anpassung der Messbereiche erhält man die Messkurve in Abb. 2. Di beiden Teilschwingungen aus Versuch 2a und 2b überlagern sich zu einer Gesamtschwingung. Da sowohl in der positiven als auch in der negativen Halbwelle Energie durch Rückkopplung in den Schwingkreis gepumpt wird, ist ihre Amplitude doppelt so hoch wie die der Einzelschwingungen. Damit sind die Energieverluste pro Halbschwingung aber viermal so hoch, da Ohmsche Verluste durch Joulesche Wärme mit dem Quadrat der Spannung und Strahlungsverluste durch EM-Wellen mit dem Quadrat der Feldstärke zunehmen. Das wird dadurch ausgeglichen, dass pro Anregungsstufe die doppelte Energie übertragen wird. Da man somit die doppelte Anzahl an Energiestufen hat, die ihrerseits jeweils doppelt so hoch sind, werden die vierfachen Verluste der Schwingung ausgeglichen.

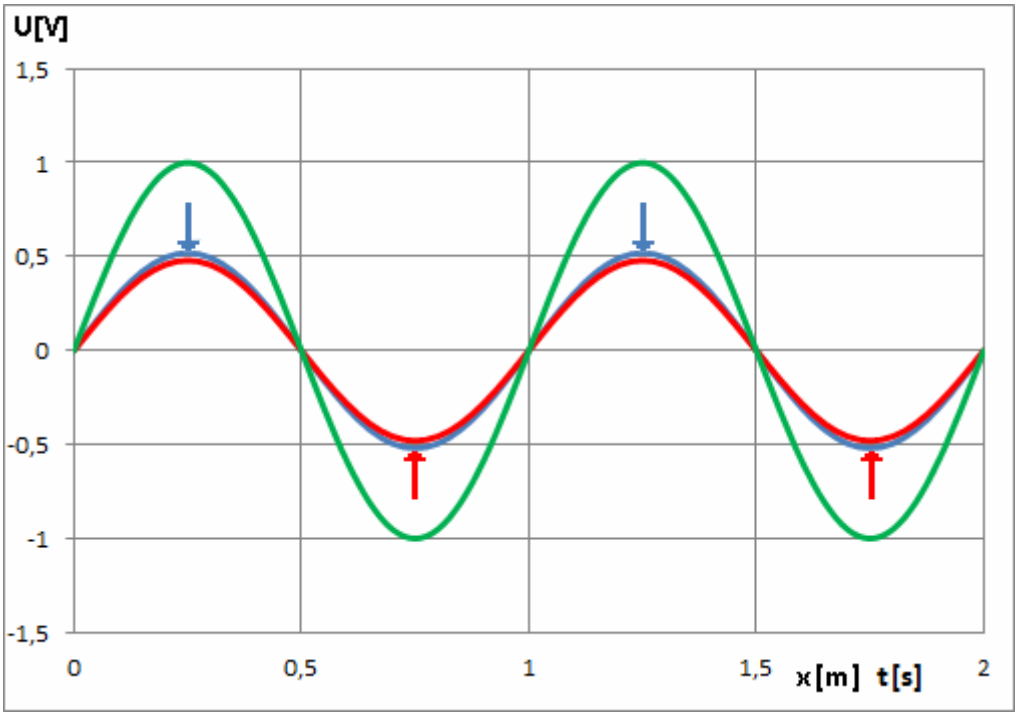


Abb.3: Teilschwingungen

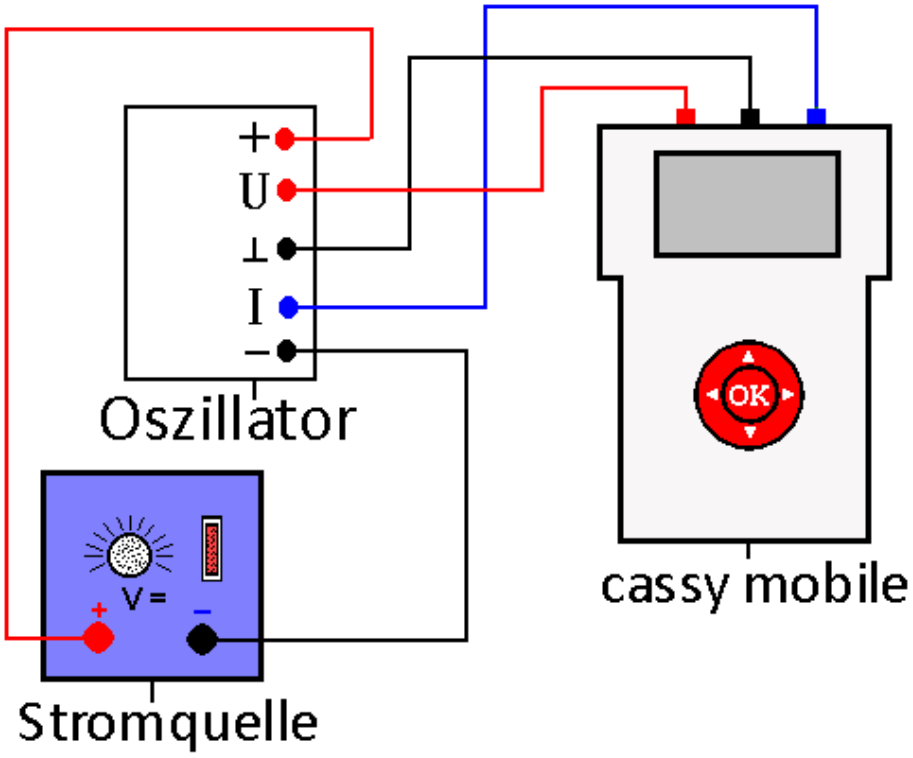
Deutung:

Die schwarze Kurve entspricht der Spannung U im Schwingkreis, die rote der Stromstärke zum Entdämpfen des Schwingkreises, nicht der Stromstärke im Schwingkreis (s. Versuch 2d), die blaue der Leistung P und die violette der vom Oszillator während der Anregungsphase aufgenommenen Energie. Wie man an der Spannungskurve erkennen kann, ist der Schwingkreis entdämpft. Das wird dadurch erreicht, dass er durch Rückkopplung in beiden Halbwellen stoßweise Energie aus der Spannungsquelle aufnimmt und nicht kontinuierlich. Eine ungedämpfte elektromagnetische Schwingung kann man folglich erzeugen durch Rückkopplung sowohl in der negativen als auch in der positiven Halbwelle. Die Schaltung sendet zudem EM-Wellen aus. Einen elektromagnetischen Wellenzug kann man sich somit aus zwei Teilwellen zusammengesetzt denken, die sich phasenrichtig überlagern (s. Abb.3). Es gilt:

$$\sin\alpha = \frac{1}{2}(\sin\alpha - \sin(180° + \alpha))$$

Auf die Photonenvorstellung übertragen bedeutet das, Photonen lassen sich in zwei Teilphotonen zerlegen, die in der ursprünglichen Welle in Phase sind. Treffen sie auf einen Doppelspalt, so können beide Teilphotonen ein und denselben Spalt passieren, abhängig davon, wie sie räumlich genau auf den Spalt auftreffen. Es findet keine destruktive Interferenz statt. Regt ein Photon in einer Halbwelle ein Elektron in einem Spalt an, das andere mit der anderen Halbwelle ein Elektron im zweiten Spalt, die ihrerseits daraufhin Elementarwellen aussenden, so wird der Wellenzug in zwei Teilwellen zerlegt. Sie können bis zum Nachweisschirm einen Gangunterschied aufweisen, und sich somit sowohl konstruktiv als auch destruktiv überlagern. Man kann sich die Vorgänge mithilfe der ungedämpften Schwingung einer Schaukel veranschaulichen. Die Energiezufuhr kann von einer Seite durch kleine Energiestöße erfolgen oder von beiden Seiten. Bei gleichgroßer Anregung von beiden Seiten erzeugt man zwei kleine Schwingungen, die in Phase sind und sich zu einer Gesamtschwingung mit größerer Amplitude aufschaukeln.

Versuch 2 d:



Durchführung

1. Bauen Sie die Schaltung des Colpits-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R1 = 4,7 kΩ, R2 = 1 kΩ, R3 = 100 Ω, L1 = 10 mH, C1 = 10 µF, C2 = 1 µF, C3 = 22 µF, T1: BC 557, T2: BC557. Die farbigen Anschlussstellen in der Schaltung entsprechen den Eingangsbuchsen an cassy mobile.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpit6.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 9 V ein. Der Mittenabgriff des Potentiometers entspricht dem 0- bzw. U- Anschluss der Schaltung.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 2 ms. Betrachten Sie das erhaltene U(t)-Diagramm. Sollte die gemessene Spannung den Messbereich überschreiten, regeln Sie die Spannung der Spannungsquelle ein wenig herunter.
6. Speichern Sie die Kurve.
7. Laden Sie die Messkurve in das Programm cassy lab 2 und passen Sie die Messbereiche für die einzelnen Größen so an, dass Sie aussagekräftigere Kurven erhalten.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurven für U(t), I(t), P(t) und E(t). Erklären Sie sie.
b. Vergleichen Sie die Kurven mit den Messkurven aus Versuch 2c.
c. Diskutieren Sie die Ergebnisse des Versuches vor dem Hintergrund des Welle-Teilchen-Dualismus.

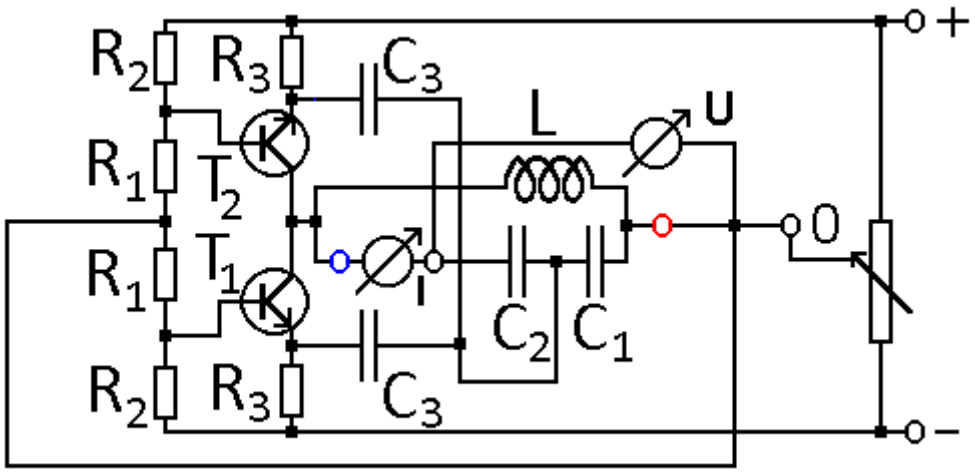


Abb.1: Versuchsaufbau

Für den Versuch benötigt man eine symmetrische einstellbare Gleichspannungsquelle mit einem positiven Ausgang von U = + 4,5 V und einem negativen Ausgang von U = - 4,5 V, sowie einem Mittenabgriff. Hat man nur eine asymmetrische Gleichspannungsquelle zur Verfügung, so benutzt man eine Ausgangsspannung von U = + 9 V, die man durch ein Potentiometer mit R = 100 Ω und einer Leistung P = 2 W in zwei Teilspannungen zu je U = 4,5 zerlegt. Der Mittenabgriff des Potentiometers dient dann als Bezugspunkt 0.

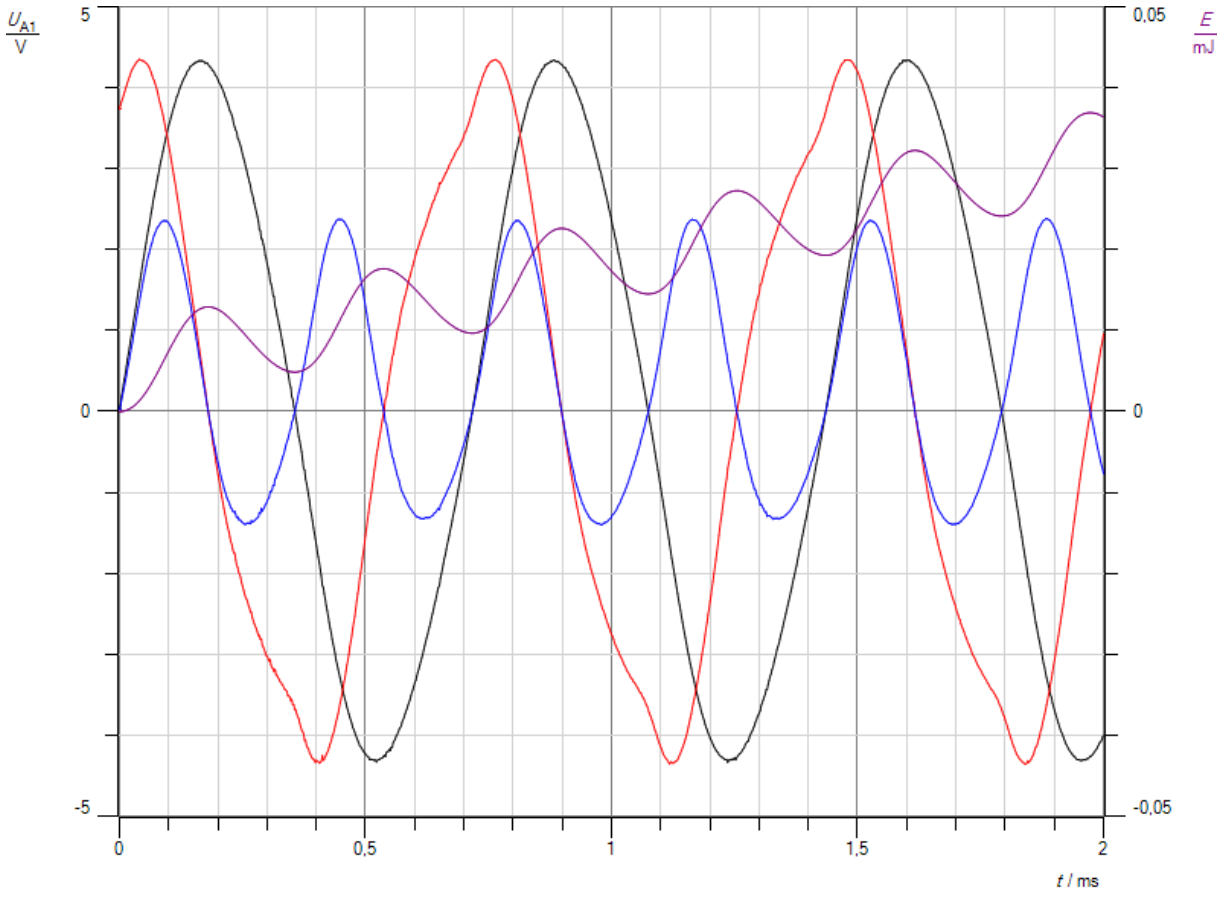
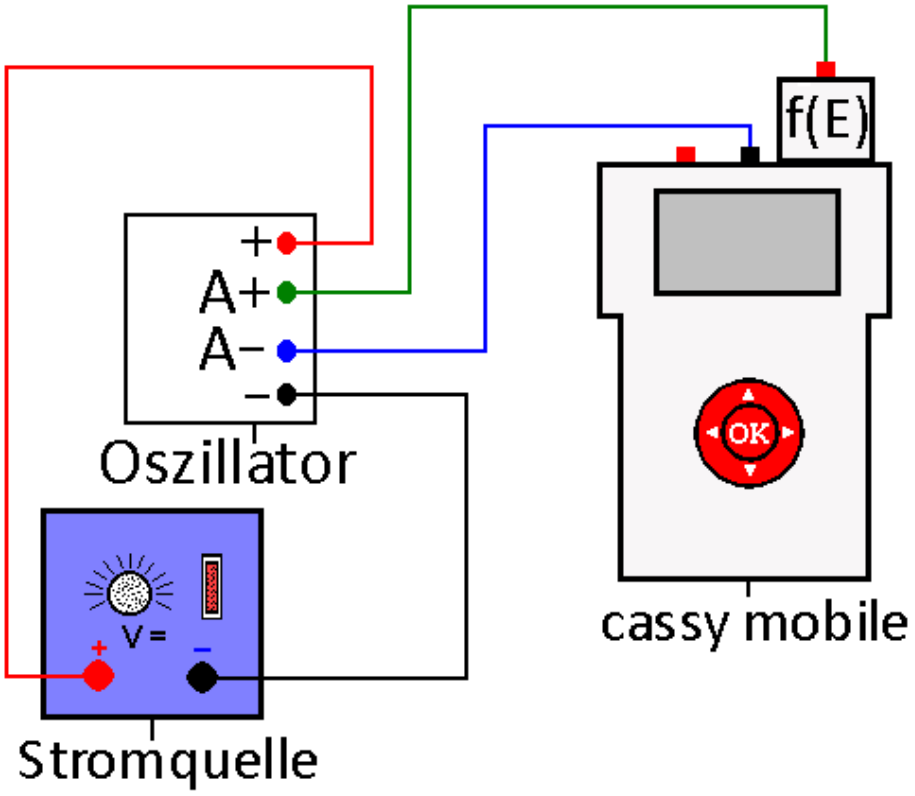


Abb.2: Messkurve für U, I, P und E

Beobachtung
Man erhält die Messkurve aus Abb. 2. Vergleicht man sie mit der Messkurve aus Versuch 2c, so fällt auf, dass die Stromstärke insgesamt größer ist als in Versuch 2c. Es fließt vor allem Blindstrom, der zeitweise von einem Wirkstrom überlagert ist. Das äußert sich einerseits in der Stromstärkekurve I(t), die in den Bereichen, in denen dem Schwingkreis von außen Energie zugeführt wird, einen Phasensprung besitzt. Die Phase beträgt in diesem Gebiet nicht 90 °, sondern weniger. Somit weist die Leistungskurve ihrerseits eine Blindleistung aus, zu der sich die kleinere Wirkleistung aus Versuch 2c phasenweise addiert.

Deutung
Im Schwingkreis wird ein Teil der Energie von elektrischer in magnetische Energie umgewandelt und umgekehrt. Sie ist für den Wellencharakter der elektromagnetischen Strahlung verantwortlich. Außerdem wird ein kleiner Teil in Form von Wärme oder Strahlung abgegeben. Man muss somit zwischen einer Blindleistung und Wirkleistung unterscheiden. Die Wirkleistung wird nicht kontinuierlich aufgenommen bzw. abgegeben, sondern gerichtet stoßweise und verursacht den Teilcheneffekt der elektromagnetischen Strahlung.

Versuch 3:



Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung des Colpits-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R_1 = 4,7 kΩ, R_2 = 3,3 kΩ, R_3 = 1kΩ, P_1 = 1 kΩ, L = 11,2 mH, C_1 = 1 µF, C_2 = 0,1 µF, T: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpt2.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 5 V ein.
5. Drücken Sie die OK-Taste, um den gemessenen Frequenzwert zu speichern. Wiederholen Sie den Versuch mit anderen Spulen im Bereich zwischen 1 mH und 20 mH und anderen Kondensatoren C_2 zwischen 0,1 µF und 0,01 µF. C_1 bleibt für alle Messungen gleich. Speichern Sie nach jeder neuen Kombination den gemessenen Frequenzwert.

Aufgaben

a. Fassen Sie die Messergebnisse in einer Tabelle zusammen. Deuten Sie die Tabelle.
b. Bestimmen Sie mit einem Henrymeter die Induktivität der verwendeten Spulen, sofern Sie nicht angegeben ist. Berechnen Sie die Frequenzen der Schwingungen aus der Induktivität L und den beiden Kapaztäten C_1 und C_2.
c. Vergleichen Sie die gemessenen Werte mit den berechneten Werten und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Tabelle.

L[mH]	C_2[µF]	f_{exp}[kHz]	f_{theo}[kHz]
11,2	0,1	5,00	4,99
11,2	0,047	6,86	7,10
11,2	0,022	10,16	10,26
11,2	0,01	15,33	15,12
16,7	0,1	4,10	4,09
12,1	0,1	4,80	4,80
11,2	0,1	5,00	4,99
6,4	0,1	6,57	6,60
3,2	0,1	9,87	9,34
5,5	0,1	7,12	7,12
0,9	0,1	17,44	17,60

Tabelle 1: Messwerte

Auswertung

a. Die gemessene Frequenz f_{exp} nimmt bei gleicher Induktivität L mit abnehmender Kapazität C_2 zu, ebenso mit sinkender Induktivität bei gleicher Kapazität C_2. Das entspricht der Vorhersage der Thomsonschen Schwingungsformel

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}.}$$

Nach ihr ist die Periodendauer umso größer und damit die Frequenz umso kleiner, je größer L und C sind.

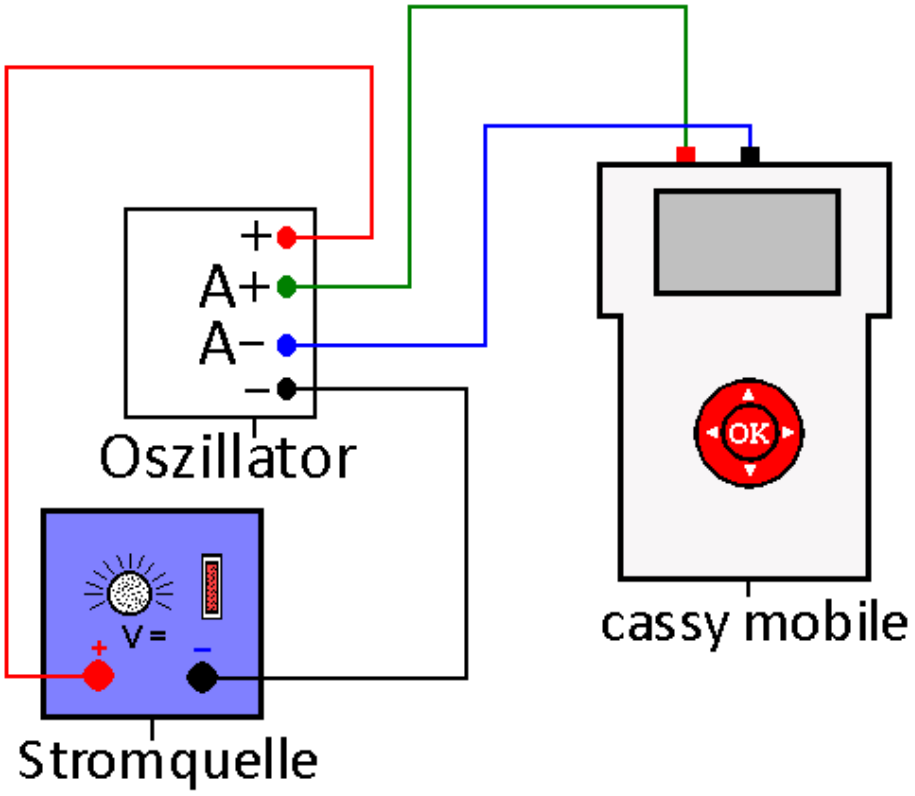
b. Man berechnet mit der Formel

$$C = \frac{C_1 * C_2}{C_1 + C_2}$$

die Gesamtkapazität C und dann mit der Thomsonschen Formel die einzelnen Frequenzen. Man erhält die Werte in der letzten Spalte der Tabelle.

c. Experimentelle und gemessene Werte stimmen recht gut überein. Die größte Fehlerquelle sind die Kapazitäten der benutzten Kondensatoren. Sie können bis mehr als 20 % vom Nennwert abweichen. Eine Überprüfung mit einem Kapazitätsmessgerät ergab z.B. für C_1 einen Wert C_1 = 1,25 µF statt des Nennwertes C_1 = 1 µF. Da dieser Kondensator mit einem viel kleineren C_2 in Reihe geschaltet ist, hat er nur einen geringen Einfluss auf die theoretischen Werte. Die Werte der Kondensatoren C_2 weichen geringfügiger von ihrem Nennwert ab. Die zweite Fehlerquelle sind kleinere versteckte Kapazitäten und Induktivitäten durch die Kabel des Stecksystems. Zum dritten hängt die Frequenz in der Größenordnung von 1 – 2 % vom Wert des Rückkopplungswiderstandes ab, da es bei nicht optimaler Rückkopplung zu leichten Verzerrungen der Sinusschwingung kommt.

Versuch 4:



Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung des Hartley-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R_1 = 4,7 kΩ, R_2 = 3,3 kΩ, R_3 = 1kΩ, P = 1 kΩ, L_1 = 0,9 mH, L_2 = 11,2 mH, C_1 = 0,1 µF, C_2 = 1 µF, T: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Hartley.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 1 ms. Betrachten Sie das U/t-Diagramm. Sollten Sie keine saubere Sinuskurve erhalten haben, so müssen Sie über das Potentiometer die Stärke der Rückkopplung anpassen. Wiederholen Sie die Messung bis die Kurve nicht mehr verzerrt ist.
6. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve. Erklären Sie sie.
b. Erläutern Sie, wie ein Hartley-Oszillator eine ungedämpfte Schwingung erzeugt.
c. Ermitteln Sie aus der Messkurve die Frequenz der ungedämpften Schwingung.
d. Bestimmen Sie mit einem Henrymeter die Induktivität der verwendeten Spulen, sofern Sie nicht angegeben sind. Berechnen Sie die Frequenz der Schwingung aus den beiden Induktivitäten L_1 und L_2 und der Kapazität C_1. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebniss aus c. und diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

e. Erkundigen Sie sich im Internet, wozu der Hartley-Oszillator verwendet wird und welche Eigenschaften er hat.

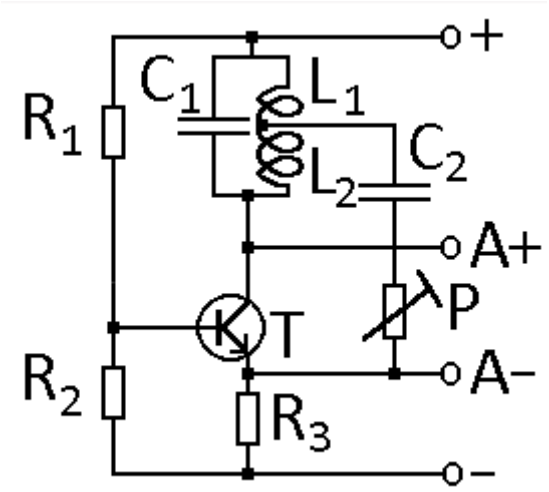


Abb.1: Grundschaltung Hartley-Oszillator

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

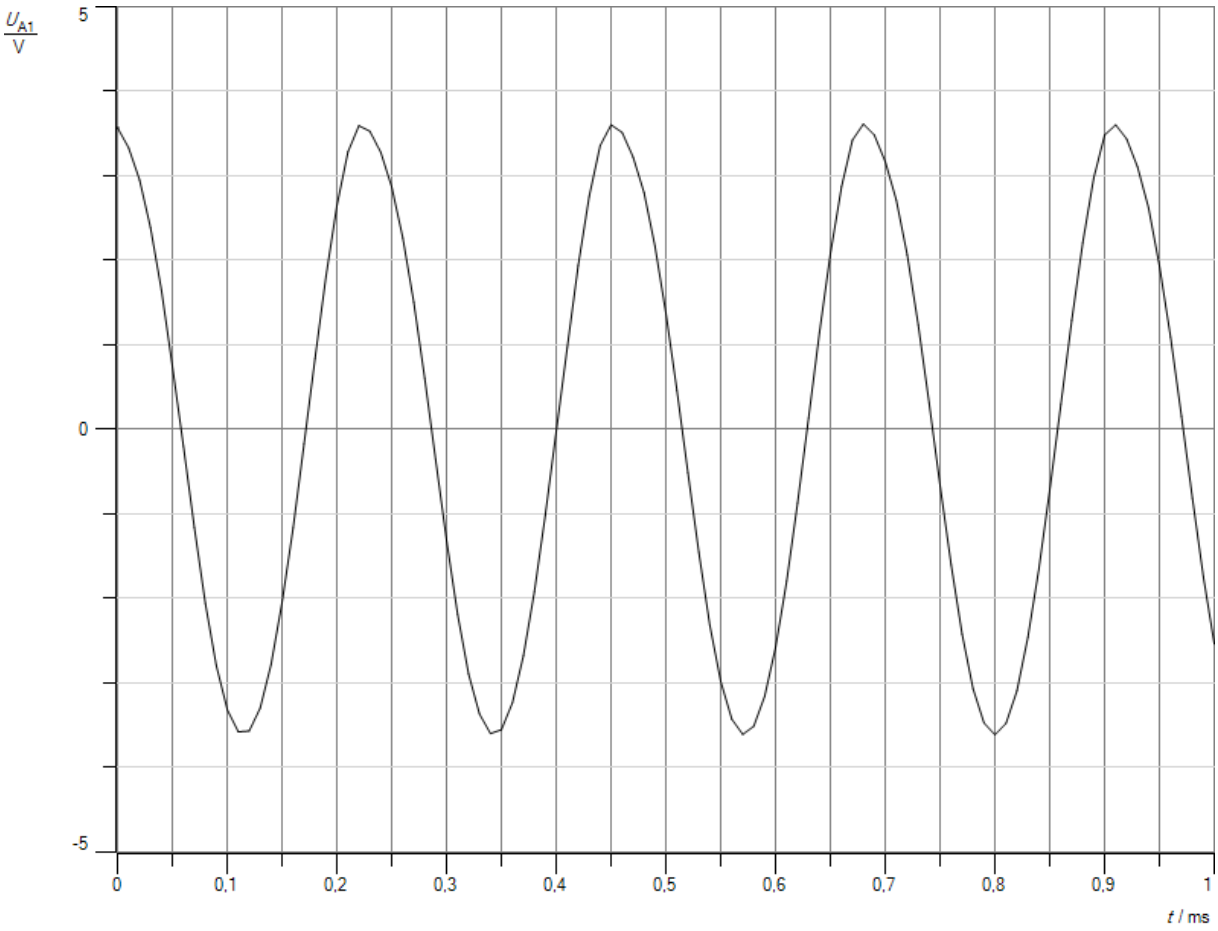


Abb.1: Messkurve

a. Es liegt eine ungedämpfte sinusförmige Schwingung vor. Die Schwingung wird entdämpft, indem dem Schwingkreis die Energie wieder zugeführt wird, die durch den Ohmschen Widerstand der Spule als Wärme an die Umgebung abgegeben wird.
b. Der Transistor wird durch Rückkopplung im Takt der Schwingung ein- und ausgeschaltet. Entscheidend dafür ist der Emitterwiderstand R_3, dessen eine Seite über das Poti P und den Kondensator C_2 mit dem Mittenabgriff zwischen den beiden Spulen verbunden ist. Das Potential dieses Punktes schwankt im Takte der Schwingung. Damit nur die Schwankungen an den Emitter weiter gegeben werden, benötigt man den Kopplungskondensator C_2. Ist das Potential am Mittenabgriff positiv, so wird das Potential am Emitter des Transistors angehoben, die Spannung an der Basis-Emitter-Strecke sinkt, der Transistor sperrt. Liegt es in der nächsten Halbperiode auf negativem Niveau, so sinkt das Potential am Emitter, die Basis-Emitter-Spannung am Transistor steigt. Er schaltet durch. Es fließt zusätzliche Ladung auf den Kondensator C_1 und durch die beiden Spulen L_1 und L_2. Die Energie im Schwingkreis steigt und gleicht die Verluste aus. Über das Potentiometer und den Kondensator C_1 kann man die Stärke der Rückkopplung regeln. Ist sie zu stark, ist das Schwingungssignal verzerrt, ist sie zu klein, schwingt der Oszillator nicht.
c. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

$$\mathrm{T} = 0{,}23\mathrm{ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{0{,}23\mathrm{ms}} = 4{,}348\mathrm{kHz}.$$

d. Es gilt die Thomsonsche Schwingungsformel für die Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}}.$$

Darin bedeuten:
L: Induktivität
C: Kapazität.

Beim Hartley-Oszillator setzt sich die Induktivität L aus zwei in Reihe geschalteten Spulen L_1 und L_2 zusammen. Es gilt:

$$L = L_1 + L_2.$$

und damit:

$$L = 0{,}9mH + 11{,}2mH = 12{,}1mH.$$

Damit ergibt sich mit L = 11,2 mH eine theoretische Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}} = 2\pi * \sqrt{0{,}0121H * 1 * 10^{-7}F} = 0{,}2185ms.$$

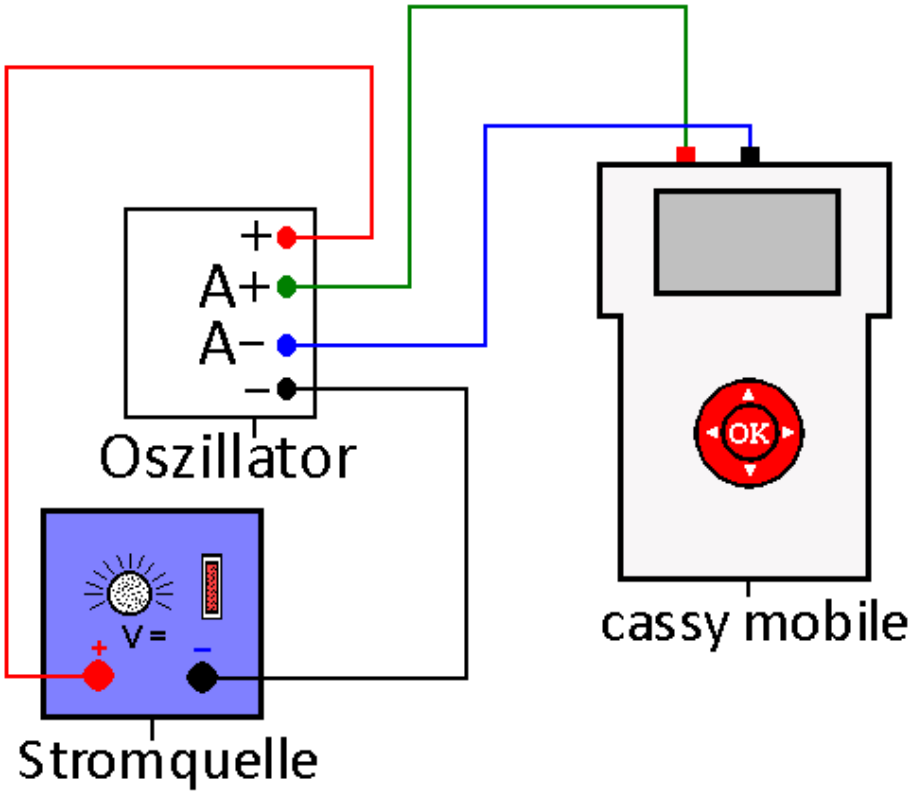
Damit erhält man für die Frequenz f

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}2185ms} = 4577\ Hz = 4{,}58\ kHz.$$

Theoretischer und gemessener Wert weichen um 5 % voneinander ab. Die Hauptfehlerquelle sind die Toleranzen der Werte, die auf elektronischen Bauteilen angegeben werden. Sie können bei handelsüblichen Kondensatoren und Spulen mehr als 20 % betragen.

e. Hartley-Oszillatoren wurden früher gerne in Empfangsschaltungen für Radios verwendet. Die Spulen enthielten einen Ferritkern, den man rein oder raus drehen konnte. Die Induktivitäten der Spulen änderten sich und damit die Frequenz der Empfangsschaltung. So ließ sich der Empfänger auf verschiedene Sender abstimmen. Er schwingt sehr stabil, allerdings hängt seine genaue Frequenz von der Temperatur ab. Sie lässt sich in einem weiten Bereich variieren, in dem man die Spulen L_1 und L_2 und den Schwingkreiskondensator C_1 austauscht.

Versuch 5:



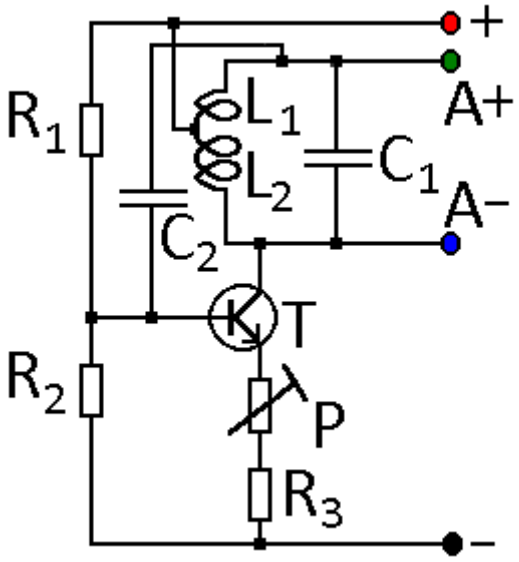
Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung des Dreipunkt-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R_1 = 4,7 kΩ, R_2 = 1 kΩ, R_3 = 47 Ω, P = 100 Ω, L_1 = 5,5 mH, L_2 = 11,2 mH, C_1 = 0,1 µF, C_2 = 0,01 µF, T: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Dreipunkt.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 1 ms. Betrachten Sie das U/t-Diagramm. Sollten Sie keine saubere Sinuskurve erhalten haben, so müssen Sie über das Potentiometer die Stärke der Rückkopplung anpassen. Wiederholen Sie die Messung bis die Kurve nicht mehr verzerrt ist.
6. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve. Erklären Sie sie.
b. Erläutern Sie, wie ein Dreipunkt-Oszillator eine ungedämpfte Schwingung erzeugt.
c. Ermitteln Sie aus der Messkurve die Frequenz der ungedämpften Schwingung.
d. Bestimmen Sie mit einem Henrymeter die Induktivität der verwendeten Spulen, sofern Sie nicht angegeben sind. Berechnen Sie die Frequenz der Schwingung aus den beiden Induktivitäten L_1 und L_2 und der Kapazität C_1. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebniss aus c. und diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

e. Erkundigen Sie sich im Internet, wozu der Dreipunkt-Oszillator verwendet wird und welche Eigenschaften er hat.



Grundschaltung Dreipunkt-Oszillator

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

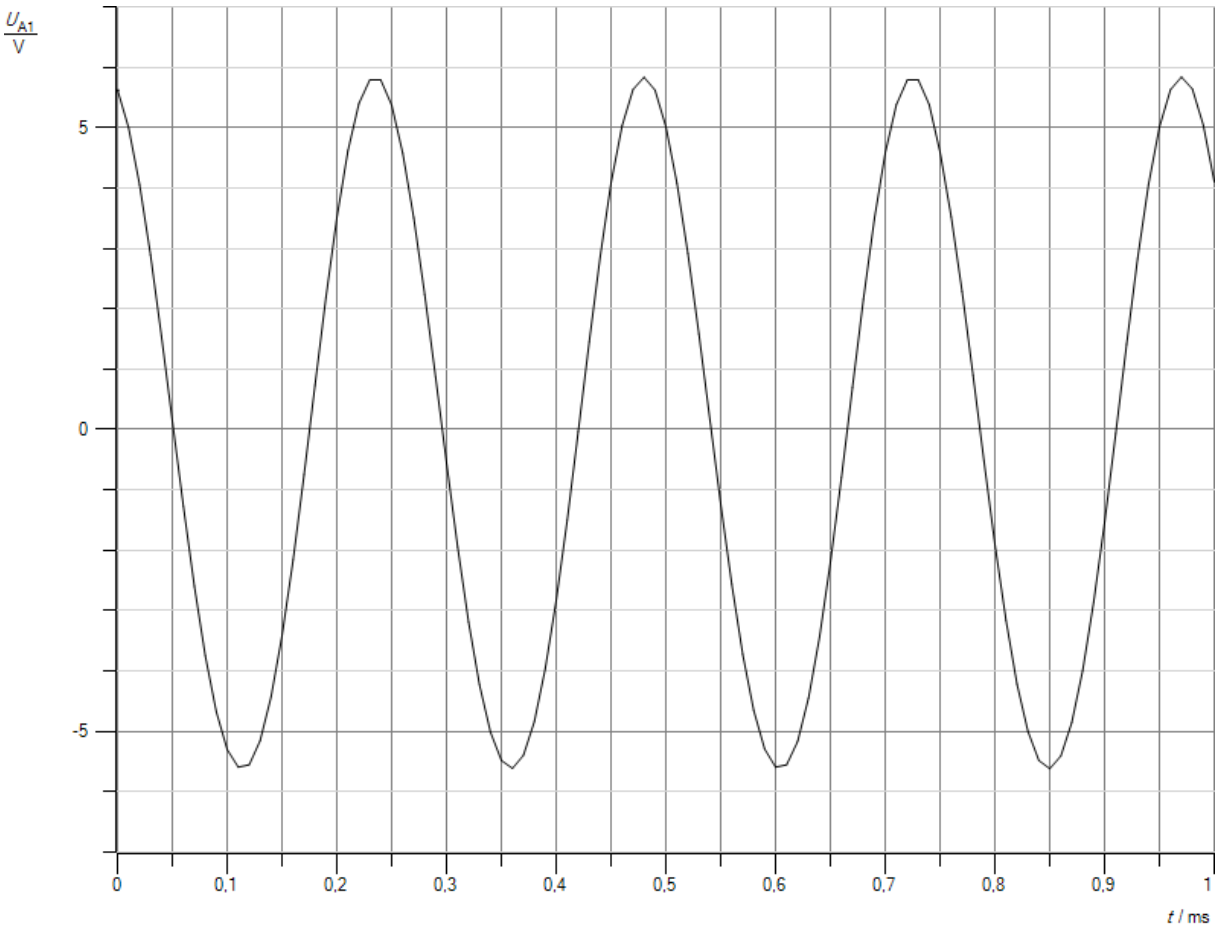


Abb.1: Messkurve

a. Es liegt eine ungedämpfte sinusförmige Schwingung vor. Die Schwingung wird entdämpft, indem dem Schwingkreis die Energie wieder zugeführt wird, die durch den Ohmschen Widerstand der Spule als Wärme an die Umgebung abgegeben wird.
b. Der Transistor wird durch Rückkopplung im Takt der Schwingung ein- und ausgeschaltet. Entscheidend dafür ist der Kopplungskondensator C_2, dessen beide Anschlüsse mit dem Mittenabgriff zwischen den beiden Spulen und der Basis des Transistors verbunden sind. Das Potential des Mittenabgriffes schwankt im Takte der Schwingung. Damit nur die Schwankungen an die Basis weiter gegeben werden, benötigt man den Kopplungskondensator C_2. Ist das Potential am Mittenabgriff negativ, so sinkt das Potential an der Basis des Transistors und damit die Spannung an der Basis-Emitter-Strecke, der Transistor sperrt. Liegt es in der nächsten Halbperiode auf positivem Niveau, so steigen das Potential an der Basis und die Basis-Emitter-Spannung des Transistors. Er schaltet durch. Es fließt zusätzliche Ladung auf den Kondensator C_1 und durch die beiden Spulen L_1 und L_2. Die Energie im Schwingkreis steigt und gleicht die Verluste aus. Über das Potentiometer und den Kondensator C_2 kann man die Stärke der Rückkopplung regeln. Ist sie zu stark, ist das Schwingungssignal verzerrt, ist sie zu klein, schwingt der Oszillator nicht.
c. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

$$\mathrm{T} = 0{,}243\mathrm{ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{0{,}243\mathrm{ms}} = 4{,}11\mathrm{kHz}.$$

d. Es gilt die Thomsonsche Schwingungsformel für die Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}}.$$

Darin bedeuten:
L: Induktivität
C: Kapazität.

Beim Dreipunkt-Oszillator setzt sich die Induktivität L aus zwei in Reihe geschalteten Spulen L_1 und L_2 zusammen. Es gilt:

$$L = L_1 + L_2.$$

und damit:

$$L = 5{,}5mH + 11{,}2mH = 16{,}7mH.$$

Damit ergibt sich mit L = 11,2 mH eine theoretische Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}} = 2\pi * \sqrt{0{,}0167H * 1 * 10^{-7}F} = 0{,}2566ms.$$

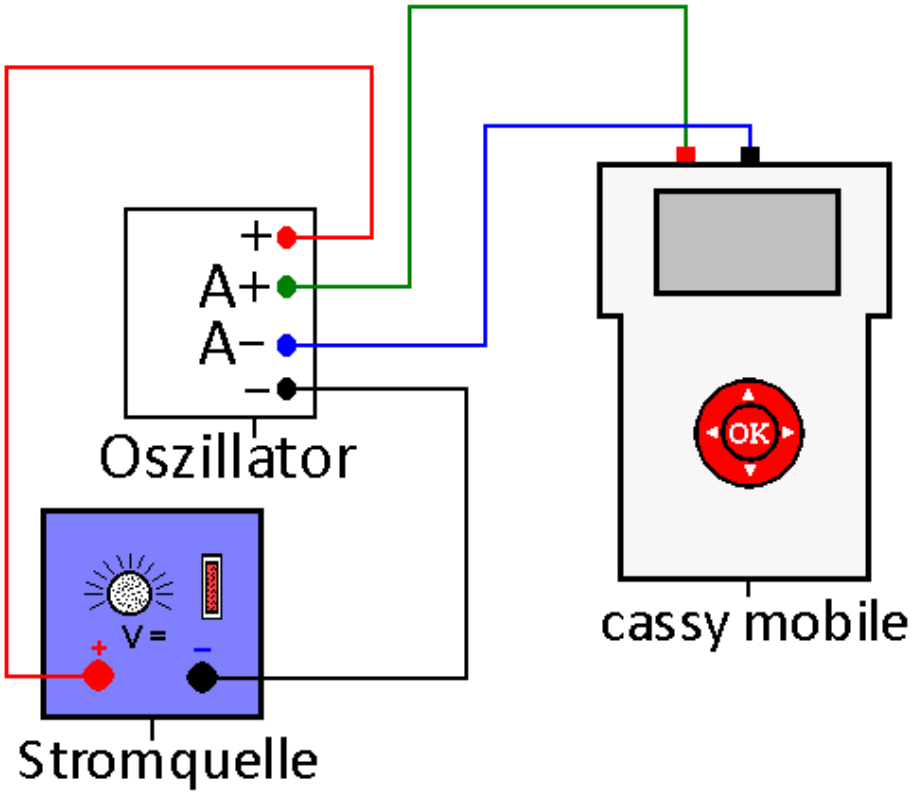
Damit erhält man für die Frequenz f

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}2566ms} = 3896\ Hz = 3{,}90\ kHz.$$

Theoretischer und gemessener Wert weichen um 5,4 % voneinander ab. Die Hauptfehlerquelle sind die Toleranzen der Werte, die auf elektronischen Bauteilen angegeben werden. Sie können bei handelsüblichen Kondensatoren und Spulen mehr als 20 % betragen.

e. Dreipunkt-Oszillatoren werden in Empfangsschaltungen von Handys eingesetzt und in Audiogeräten, um Töne zu erzeugen (s. Dorn-Bader, Physik, Oberstufe). Seine Frequenz lässt sich in einem sehr weiten Frequenzbereich variieren, indem man die Spulen L_1 und L_2 und den Schwingkreiskondensator C_1 austauscht. Er schwingt stabil, allerdings ändert sich seine Frequenz mit der Temperatur. Sie wird häufig durch einen Schwingquarz stabilisiert, der den Kopplungskondensator C_2 ersetzt.

Versuch 6:



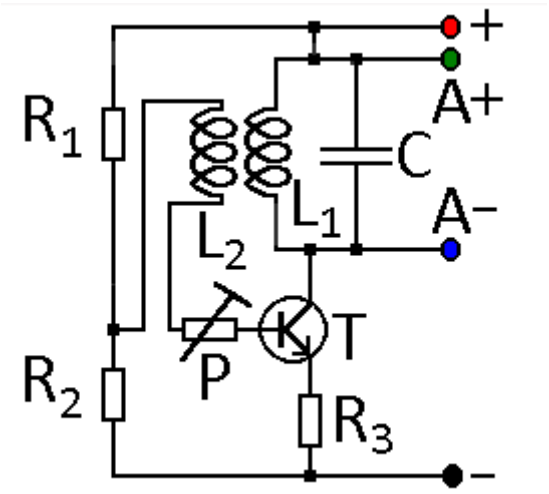
Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung eines Meißner-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile: R_1 = 4,7 kΩ, R_2 = 1 kΩ, R_3 = 100 Ω, P = 1 MΩ, L_1 = 5,5 mH, L_2 = 5,5 mH, C = 0,1 µF, T: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Meissner.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 1 ms. Betrachten Sie das U/t-Diagramm. Sollten Sie keine saubere Sinuskurve erhalten haben, so müssen Sie über das Potentiometer die Stärke der Rückkopplung anpassen. Sollte der Oszillator gar nicht schwingen, so müssen Sie die Anschlüsse der Spule L_2 vertauschen. Wiederholen Sie die Messung bis die Kurve nicht mehr verzerrt ist.
6. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve. Erklären Sie sie.
b. Erläutern Sie, wie ein Meißner-Oszillator eine ungedämpfte Schwingung erzeugt.
c. Ermitteln Sie aus der Messkurve die Frequenz der ungedämpften Schwingung.
d. Bestimmen Sie mit einem Henrymeter die Induktivität der verwendeten Spulen, sofern Sie nicht angegeben sind. Berechnen Sie die Frequenz der Schwingung aus der Schwingkreisinduktivität L_1 und der Kapazität C. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Ergebniss aus c. und diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

e. Erkundigen Sie sich im Internet, wozu der Meißner-Oszillator verwendet wird und welche Eigenschaften er hat.



Grundschaltung Meißner-Oszillator

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

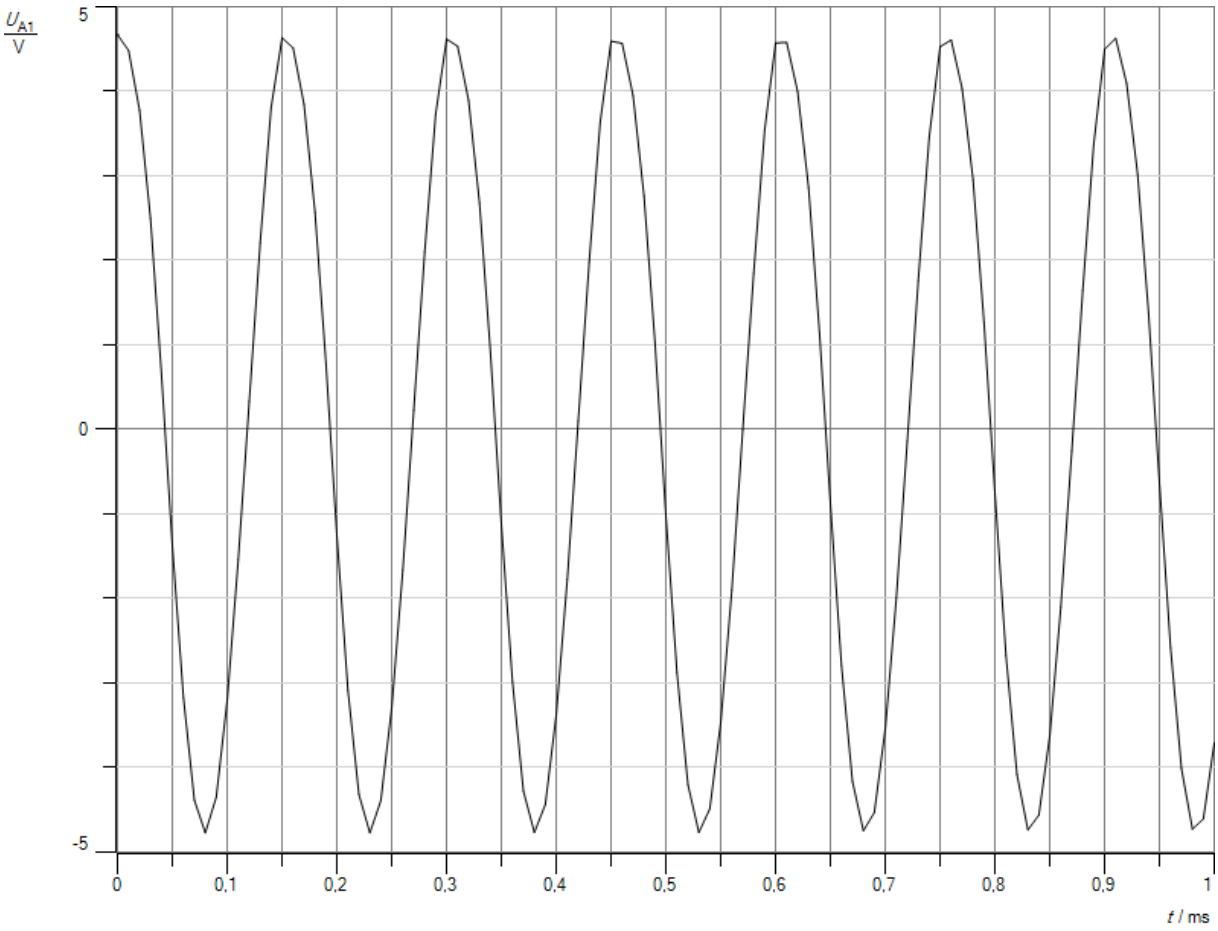


Abb.1: Messkurve

a. Es liegt eine ungedämpfte sinusförmige Schwingung vor. Die Schwingung wird entdämpft, indem dem Schwingkreis die Energie wieder zugeführt wird, die durch den Ohmschen Widerstand der Spule als Wärme an die Umgebung abgegeben wird.
b. Der Transistor wird durch Rückkopplung im Takt der Schwingung ein- und ausgeschaltet. Entscheidend dafür ist die zweite Spule L_2, die induktiv meist durch einen Eisenkern an die Schwingkreisspule L_1 gekoppelt ist. Das Signal der zweiten Spule L_2 schaltet über die Basis den Transistor im Takte des Schwingkreises ein und aus. Ist sie falsch gepolt, wird dem Schwingkreis nicht zusätzliche Energie zugeführt, sondern entzogen. Der Schwingkreis schaukelt sich nicht auf, er wird im Gegenteil zusätzlich gedämpft. Wird bei einer Schaukel die Bewegung im Umkehrpunkt gebremst statt angestoßen, kommt die Schaukel rasch zum Stillstand. Bei richtiger Polung fließt zusätzliche Ladung auf den Kondensator C und durch die Spule L_1. Die Energie im Schwingkreis steigt und gleicht die Verluste aus. Über das Potentiometer kann man die Stärke der Rückkopplung regeln. Ist sie zu stark, ist das Schwingungssignal verzerrt, ist sie zu klein, schwingt der Oszillator nicht.
c. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

$$\mathrm{T} = 0{,}152\mathrm{ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{0{,}152\mathrm{ms}} = 6{,}58\mathrm{kHz}.$$

d. Es gilt die Thomsonsche Schwingungsformel für die Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}}.$$

Darin bedeuten:
L: Induktivität
C: Kapazität.

Damit ergibt sich eine theoretische Periodendauer T

$$\mathrm{T} = 2\pi * \sqrt{\mathrm{L} * \mathrm{C}} = 2\pi * \sqrt{0{,}0055H * 1 * 10^{-7}F} = 0{,}1473ms.$$

Damit erhält man für die Frequenz f

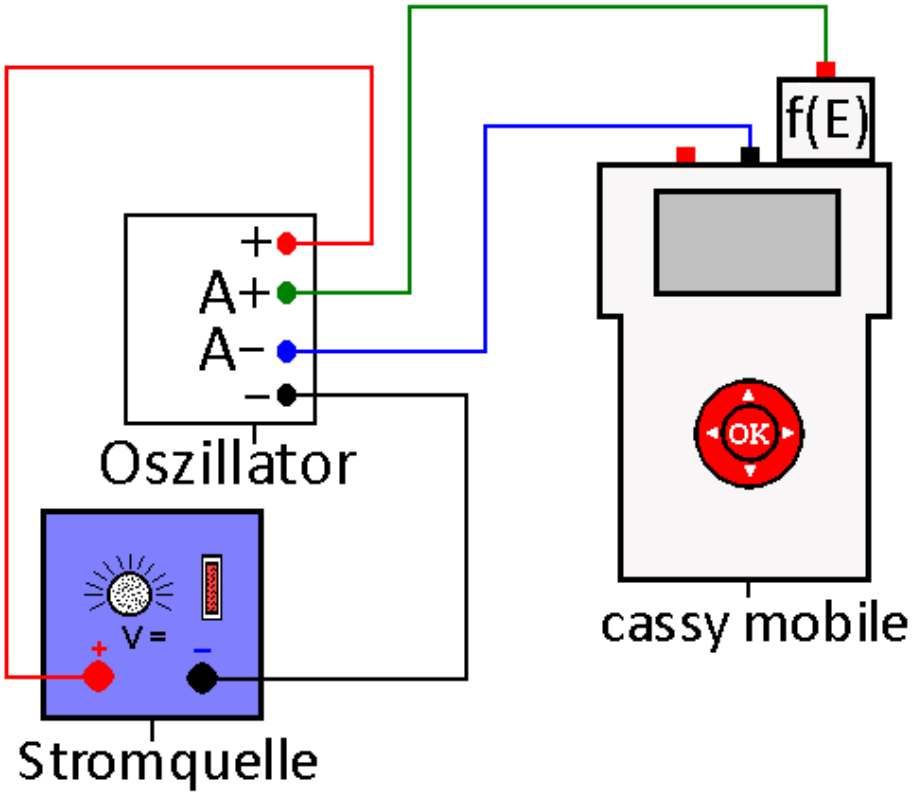
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}1473ms} = 6790\ Hz = 6{,}79\ kHz.$$

Theoretischer und gemessener Wert weichen um 3,1 % voneinander ab. Die Hauptfehlerquelle sind die Toleranzen der Werte, die auf elektronischen Bauteilen angegeben werden. Sie können bei handelsüblichen Kondensatoren und Spulen mehr als 20 % betragen.

e. Der Meißner-Oszillator wurde früher oft in Radioempfängern eingesetzt. Er ist sehr einfach und übersichtlich aufgebaut, da der Schwingkreis nur aus einem Kondensator und einer Spule besteht. Er wird daher sehr oft in Physikbüchern als Prototyp für das Rückkopplungsprinzip behandelt. Er ist durch die beiden Spulen sehr störanfällig, da ihre induktive Kopplung durch Signale von außen gestört werden kann. Er hat daher heute nur noch historische Bedeutung.

Quarzuhr

Versuch 1a:

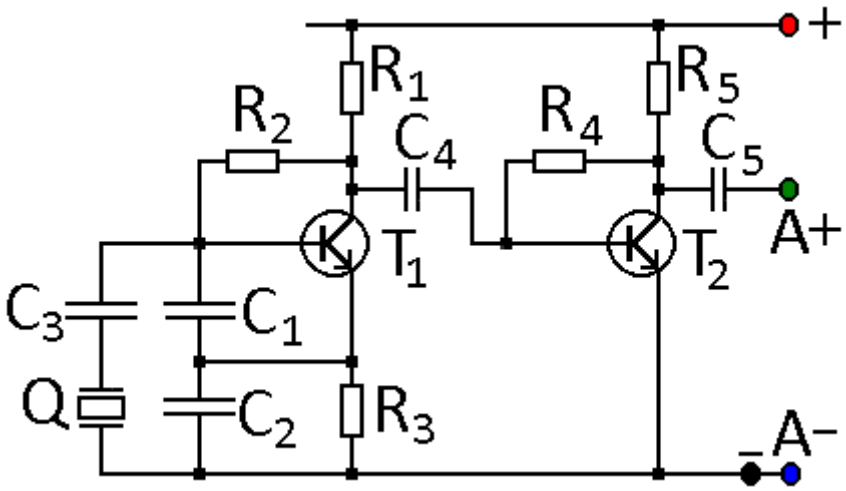


Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung eines Quarz-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile:
   R_1 = 22 kΩ, R_2 = 1 MΩ, R_3 = 22 kΩ, R_4 = 220kΩ, R_5 = 4,7 kΩ, C_1 = 1nF, C_2 = 470pF, C_3 = 100 pF, C_4 = 10nF, C_5 = 22nF, Q: 32,768 kHz, T1, T2: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Quarzuhr4.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung. Statt cassy mobile und Timerbox können Sie auch ein Digitalvoltmeter mit Frequenzfunktion verwenden.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 1,5 V ein. Es dauert ein paar Sekunden, bis die Schwingung sich zu einer genügend großen Amplitude aufgeschaukelt hat, so dass das Messgerät die Frequenz anzeigen kann.

Aufgaben

a. Deuten Sie das Messergebnis. Vergleichen Sie es mit der Angabe des Herstellers.
b. Der verwendete Schwingquarz wird in eine Quarzuhr eingebaut. Diskutieren Sie welchen Einfluss eine mögliche Abweichung der Frequenz von der Herstellerangabe auf die Genauigkeit der Quarzuhr hätte.
c. Erläutern Sie, wie ein Quarz-Oszillator eine ungedämpfte Schwingung erzeugt.
d. Erkundigen Sie sich im Internet, wozu Quarz-Oszillatoren verwendet werden und welche Eigenschaften sie haben.



Grundschaltung: Quarz-Oszillator

Beobachtung
Man misst z.B. eine Frequenz f = 32759 Hz.

Auswertung
a. Der Quarz führt eine Schwingung hoher Frequenz aus, die sehr stabil ist. Laut Hersteller besitzen Schwingquarze für Quarzuhren eine genaue Frequenz von f = 32768 Hz. Die gemessene Frequenz ist um 9 Hz kleiner.
b. Da der verwendete Quarz mit einer etwas geringeren Frequenz schwingt, ginge die Quarzuhr etwas nach und zwar pro Takt um t_T

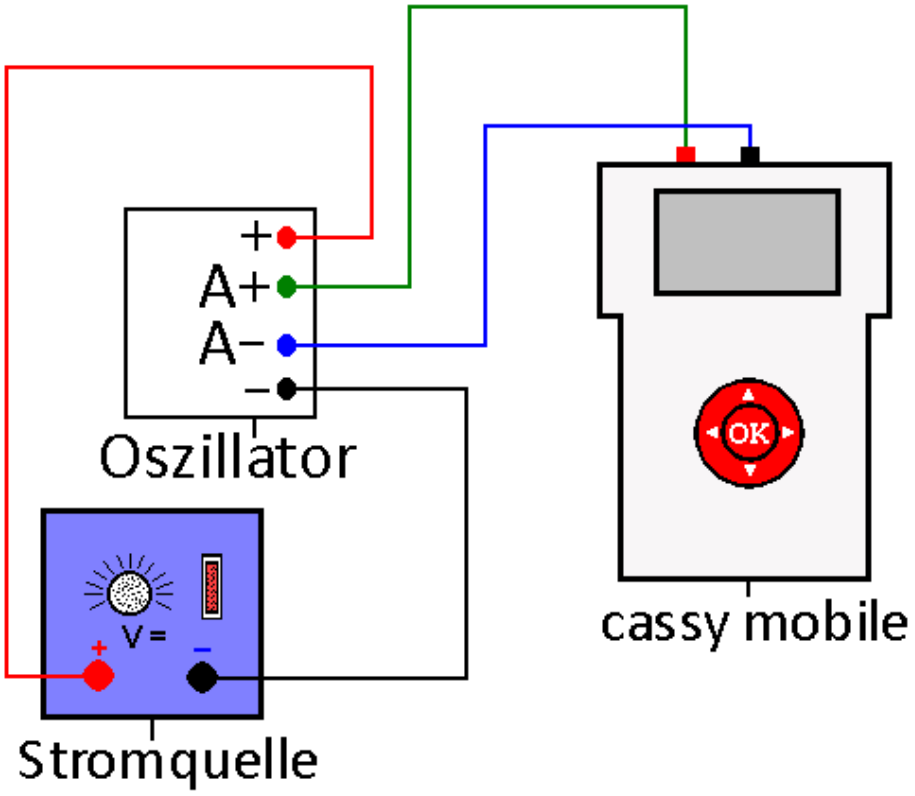
$$t_T = \frac{1}{32759Hz} - \frac{1}{32768Hz} = 8{,}38ns.$$

Das sind pro Sekunde t_S

$$t_S = 8{,}38\text{ns} * 32768 = 0{,}275\text{ms}.$$

Allerdings kann man durch einen kleinen Zusatzkondensator die Frequenz des Quarzes ein wenig korrigieren und damit genauer einstellen (s. „Schwingquarze in der modernen Elektronik“ unter www.chemiephysikskripte.de).
c. Der Transistor wird durch Rückkopplung im Takt der Schwingung ein- und ausgeschaltet, wobei der Schwingquarz den Takt vorgibt. Entscheidend dafür ist der Widerstand R_3 am Emitter, dessen eine Seite mit dem Mittenabgriff zwischen den beiden Kondensatoren C_1 und C_2 verbunden ist. Das Potential dieses Punktes schwankt im Takte der Schwingung. Ist es positiv, so wird das Potential am Emitter des Transistors angehoben, die Spannung an der Basis-Emitter-Strecke sinkt, der Transistor sperrt. Die Spannung an der Basis und am Quarz steigt. Über den Kollektor-Basis-Widerstand fließt zusätzliche Ladung auf den Quarz. Die Energie im Quarz steigt und gleicht die Verluste aus. Liegt es in der nächsten Halbperiode auf negativem Niveau, so sinkt das Potential am Emitter, die Basis-Emitter-Spannung am Transistor steigt. Er schaltet durch. Die Spannung an der Basis sinkt und der Transistor sperrt. Das Spiel wiederholt sich im Takte des Quarzes.
d. Quarzoszillatoren werden in Quarzuhren, Funkuhren, Computern, Schallwandlern, Empfangsschaltungen und Sendeschaltungen für Handys, Smartphones usw. verwendet, da sie mit einer sehr konstanten Frequenz schwingen, und zwar fast unabhängig von den Umgebungsbedingungen. Dafür kann es schon mal passieren, dass sie nicht von selbst einschwingen.

Versuch 1b:



Durchführung

1. Bauen Sie die Grundschaltung eines Quarz-Oszillators nach Abb.1 mit einem elektronischen Stecksystem auf. Benutzen Sie folgende Bauteile:
   R_1 = 22 kΩ, R_2 = 1 MΩ, R_3 = 22 kΩ, R_4 = 220kΩ, R_5 = 4,7 kΩ, C_1 = 1nF, C_2 = 470pF, C_3 = 100 pF, C_4 = 10nF, C_5 = 22nF, Q: 32,768 kHz, T1, T2: BC 547.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Quarzuhr3.labm“ im Ordner Physik.
3. Erstellen Sie den Versuchsaufbau gemäß der Abb. Achten Sie auf die richtige Polung der Oszillatorschaltung.
4. Schalten Sie die Stromquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 1,5 V ein.
5. Starten Sie cassy mobile. Ein Messvorgang dauert nur 200 µs. Er wird jedoch ständig solange wiederholt, bis sie die Messung stoppen.
6. Speichern Sie die letzte Kurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven. Erklären Sie sie.
b. Ermitteln Sie aus der Messkurve die Frequenz der ungedämpften Schwingung. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Messergebnis aus Teilversuch 1a.

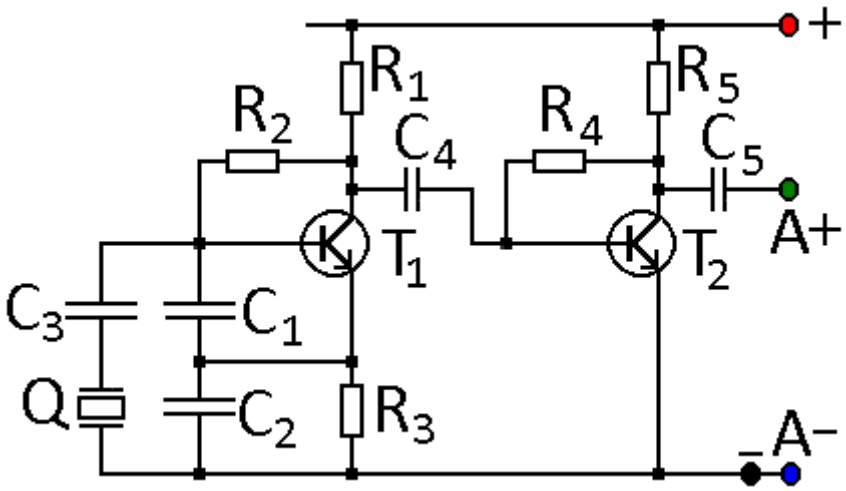


Abb.1: Grundschaltung: Quarz-Oszillator

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

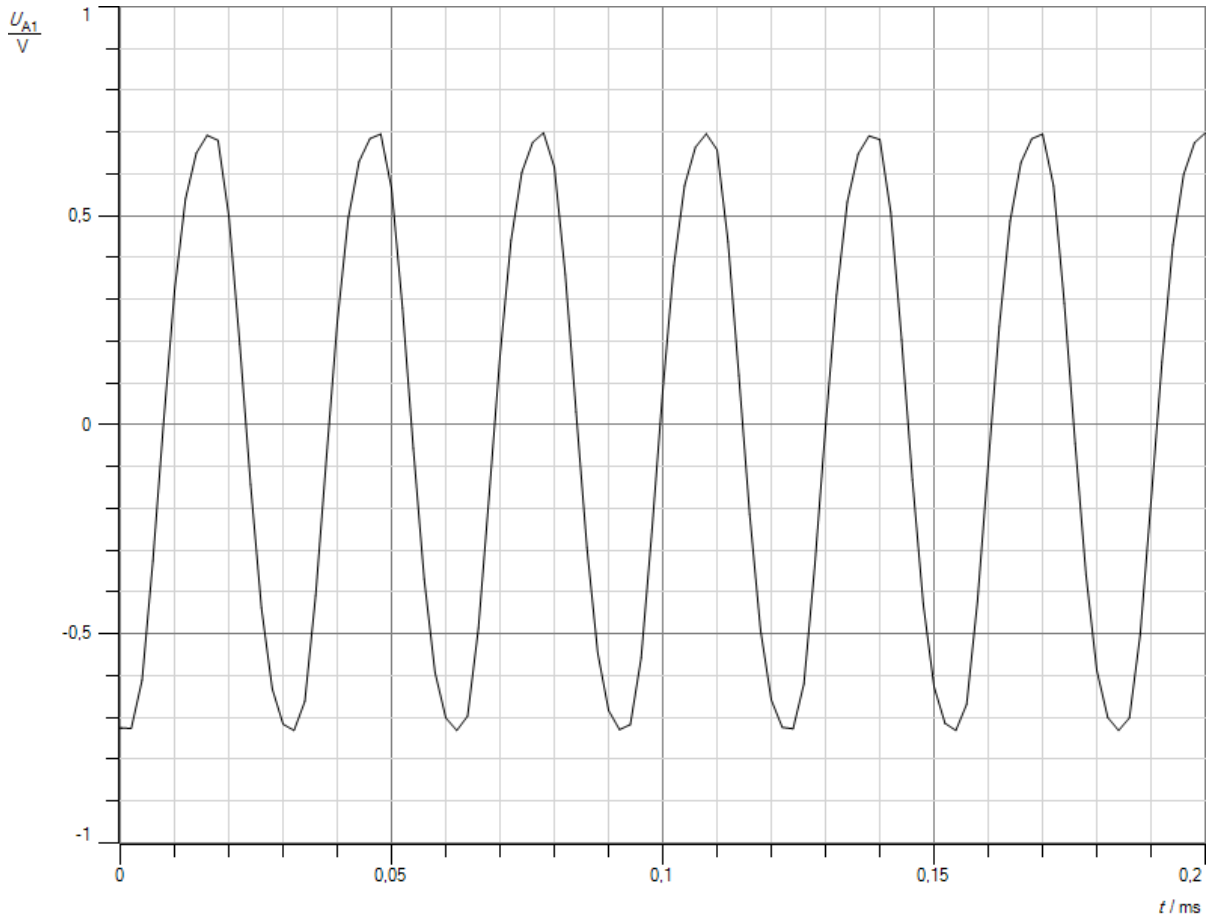


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Kurz nach dem Einschalten der Spannungsquelle liegt keine Schwingung vor. Im Zeitraum von ein paar Sekunden schaukeln sich die kleinen statistischen Oszillationen des Quarzes durch Rückkopplung immer mehr zu einer entdämpften Schwingung auf, bis eine Amplitude von etwa U_0 = 0,7 V erreicht wird. Die Messkurve zeigt eine Schwingung mit einer hohen Frequenz im kHz-Bereich. Die Kurve verläuft nicht exakt sinusförmig, da cassy mobile an die Grenzen seiner Auflösung stößt.

b. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

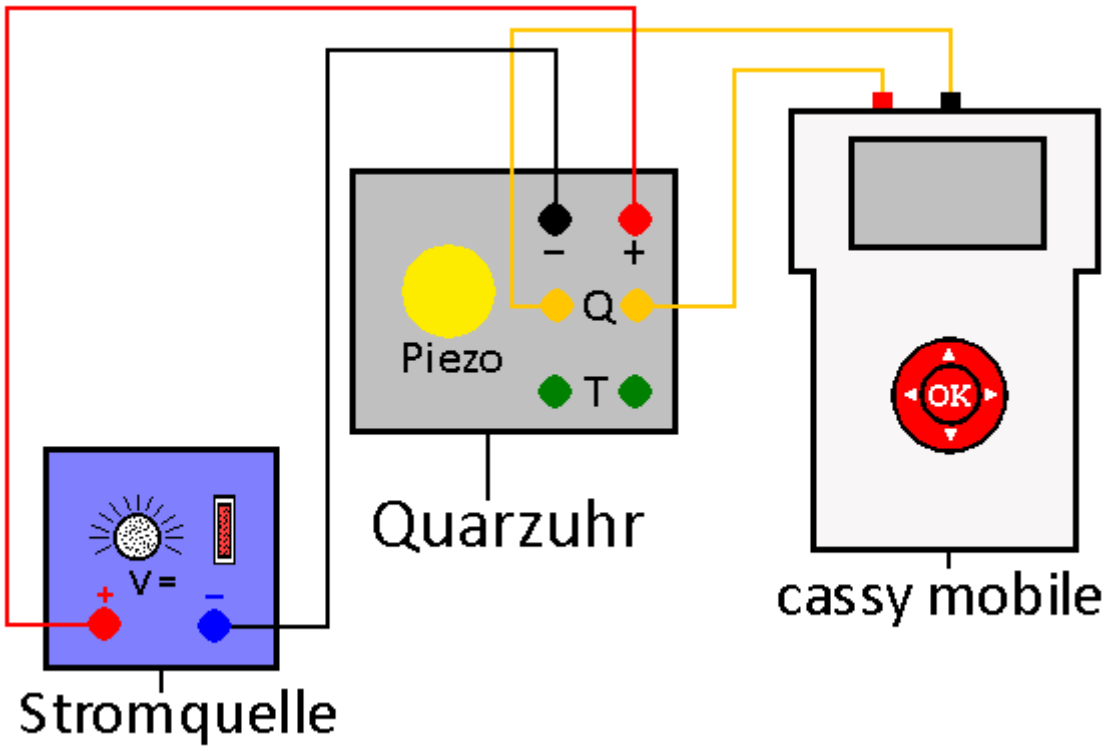
$$\mathrm{T} = 0{,}031\mathrm{ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{0{,}031\mathrm{ms}} = 32{,}258\mathrm{kHz}.$$

Die in Teilversuch 1a gemessene und die aus der Messkurve ermittelte Frequenz weichen um 1,5 % voneinander ab. Der Fehler wird vor allem verursacht durch die Grenze der Auflösung von cassy mobile.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Quarzuhr1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung des Quarzuhrmoduls. Das Modul wird im Skript Schwingquarz auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle ein und legen Sie eine geglättete Gleichspannung U = 1,5 V an.
4. Starten Sie Cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 20 µs. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen und die Messkurve und deuten Sie sie.
b. Bestimmen Sie die Frequenz der Schwingung des Quarzes.
c. Erkundigen Sie sich im oben angegebenen Skript, wie aus der Schwingungsfrequenz des Quarzes der Sekundentakt der Uhr erzeugt wird.

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

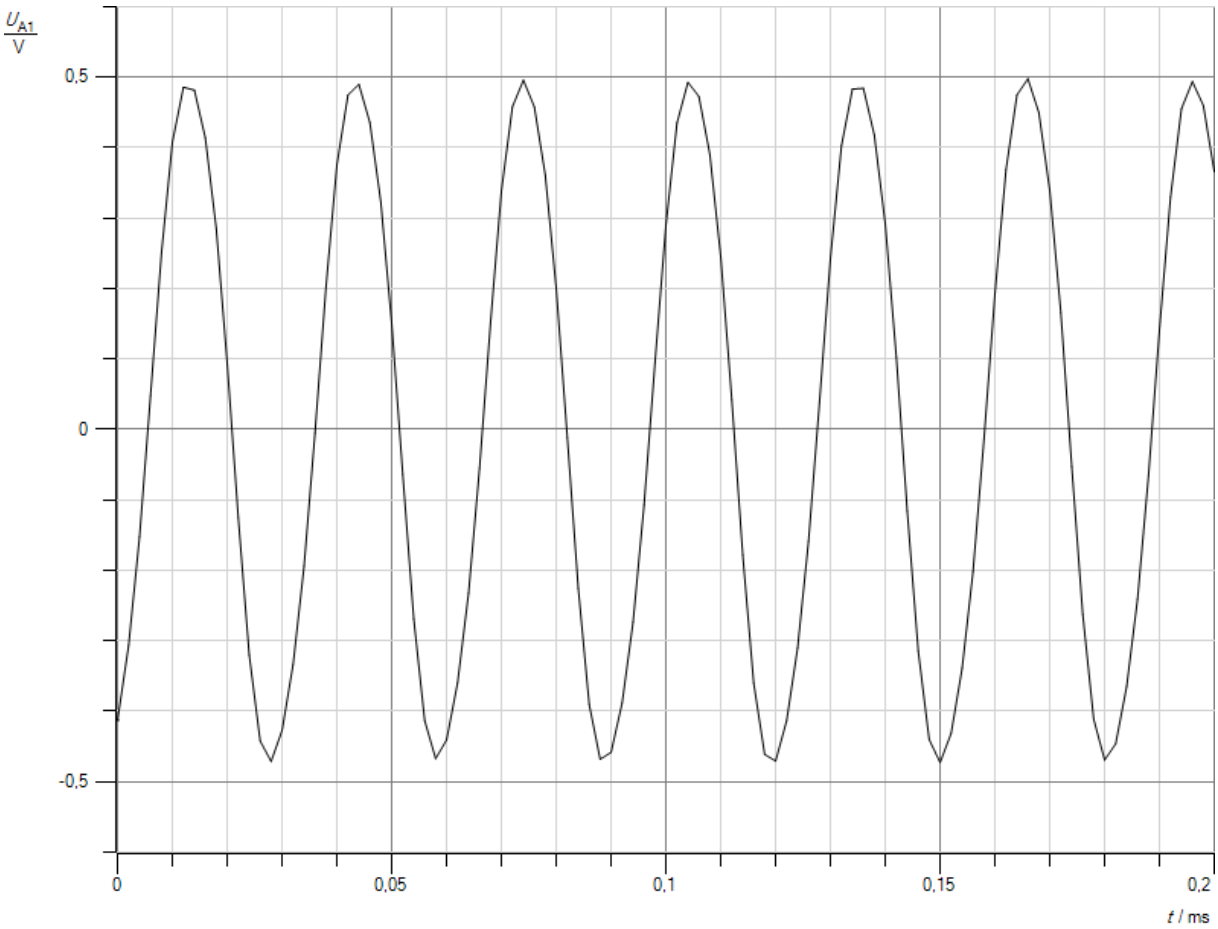


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Der Piezoquarz tickt im Takt von 1s. Die Messkurve zeigt eine Schwingung mit einer hohen Frequenz im kHz-Bereich. Die Kurve verläuft nicht exakt sinusförmig, da cassy mobile an die Grenzen seiner Auflösung stößt. Um eine bessere Kurve zu erhalten, muss man das große cassy oder einen Oszillographen benutzen.

b. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

$$\mathrm{T} = 0{,}031\mathrm{ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

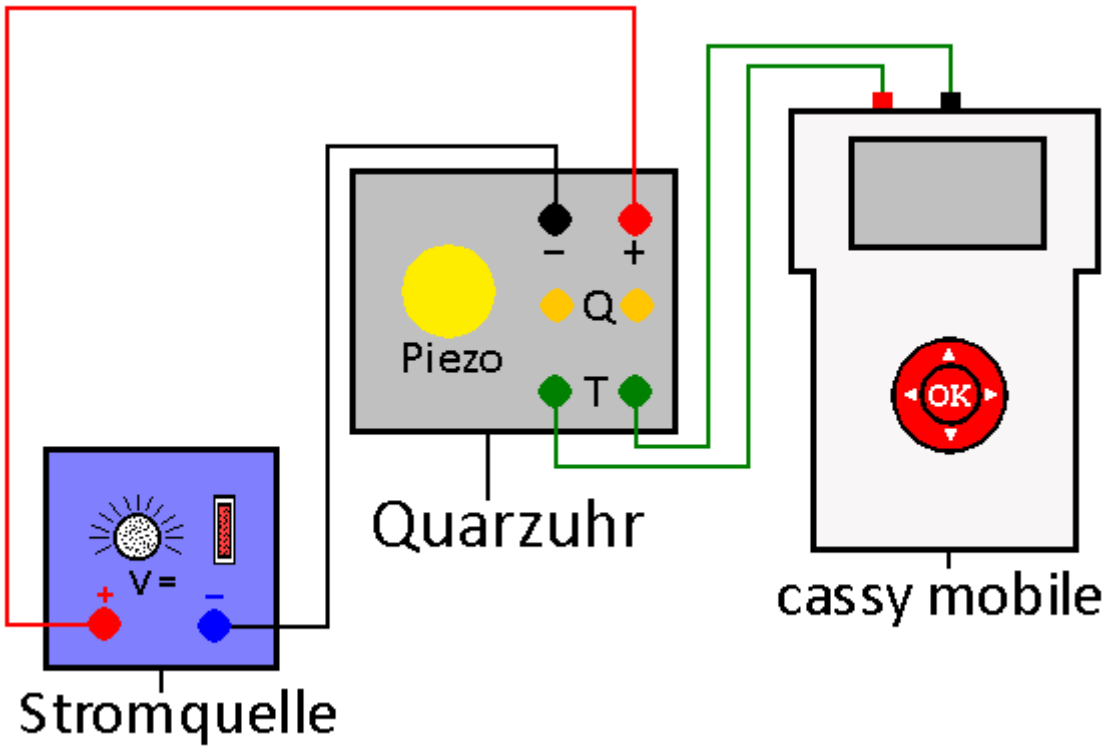
$$\mathrm{f} = \frac{1}{0{,}031\mathrm{ms}} = 32{,}258\mathrm{kHz}.$$

Der exakte Wert bei einer Quarzarmbanduhr beträgt f = 32,768 kHz und bei einer Wanduhr meist f = 4,194304 MHz.

c. In einer Quarzuhr wird ein Schwingquarz durch eine elektronische Schaltung zu hochfrequenten Schwingungen angeregt (s. Versuch 1). Eine Frequenzteilerschaltung regelt die Frequenz des Taktgebers auf f = 0,5 Hz herunter. Um aus der Grundfrequenz des Quarzes

den Sekundentakt zu erhalten, wird sie bei einer Armbanduhr 16 mal halbiert, bei einer Wanduhr 23 mal. Das erledigt eine spezielle elektronische Schaltung, wie man auf der oben angegebenen Webseite nachlesen kann.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Quarzuhr2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung des Quarzuhrmoduls. Das Modul wird im Skript Schwingquarz auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de genauer beschrieben.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle ein und legen Sie eine geglättete Gleichspannung U = 1,5 V an.
4. Starten Sie Cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 15 Sekunden. Speichern Sie die Kurve.

Aufgaben

a. Beschreiben Sie Ihre Beobachtungen und die Messkurve und deuten Sie sie.
b. Erkundigen Sie sich im oben angegebenen Skript, wie in einer Quarzuhr der Takt des Schwingquarzes in eine Zeigerbewegung umgesetzt wird.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve.

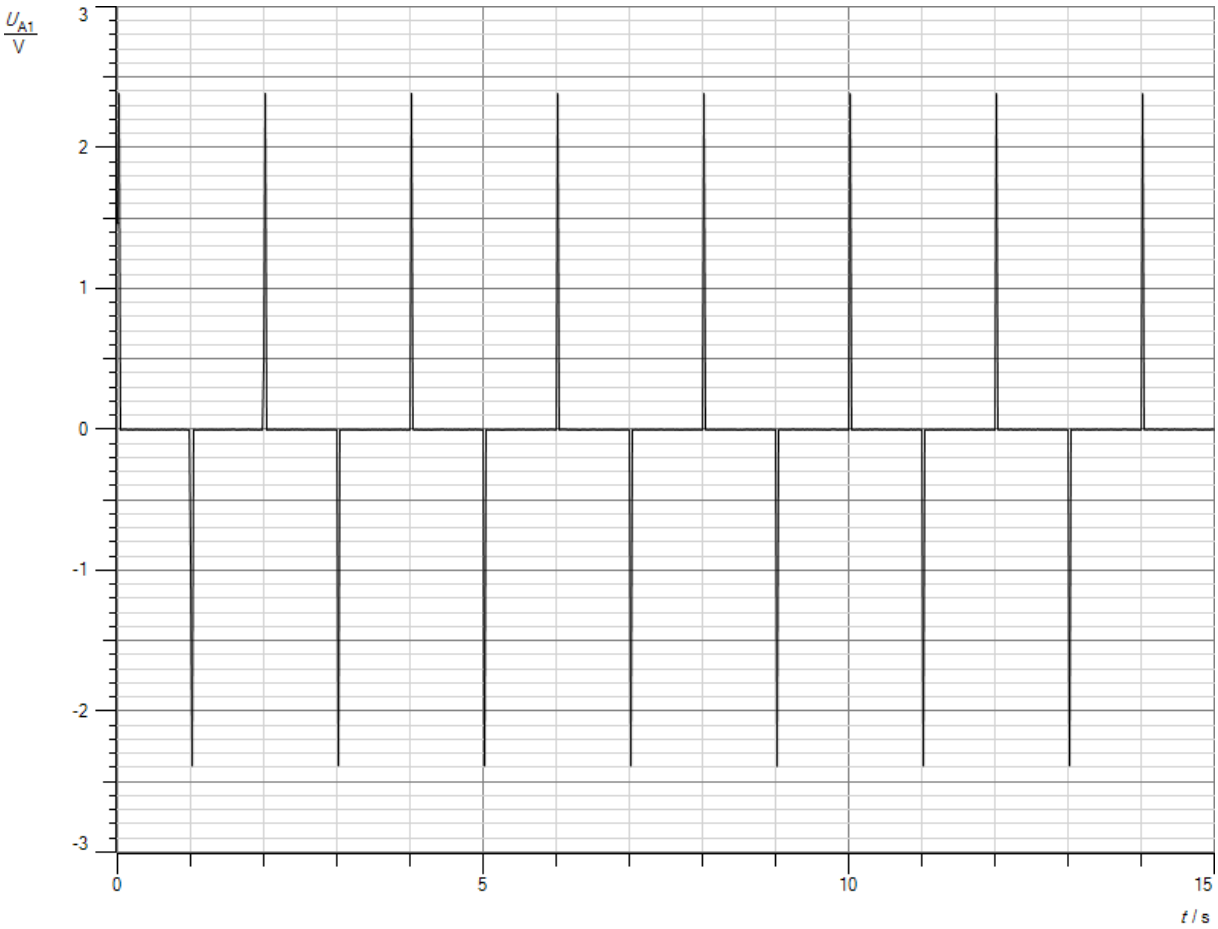


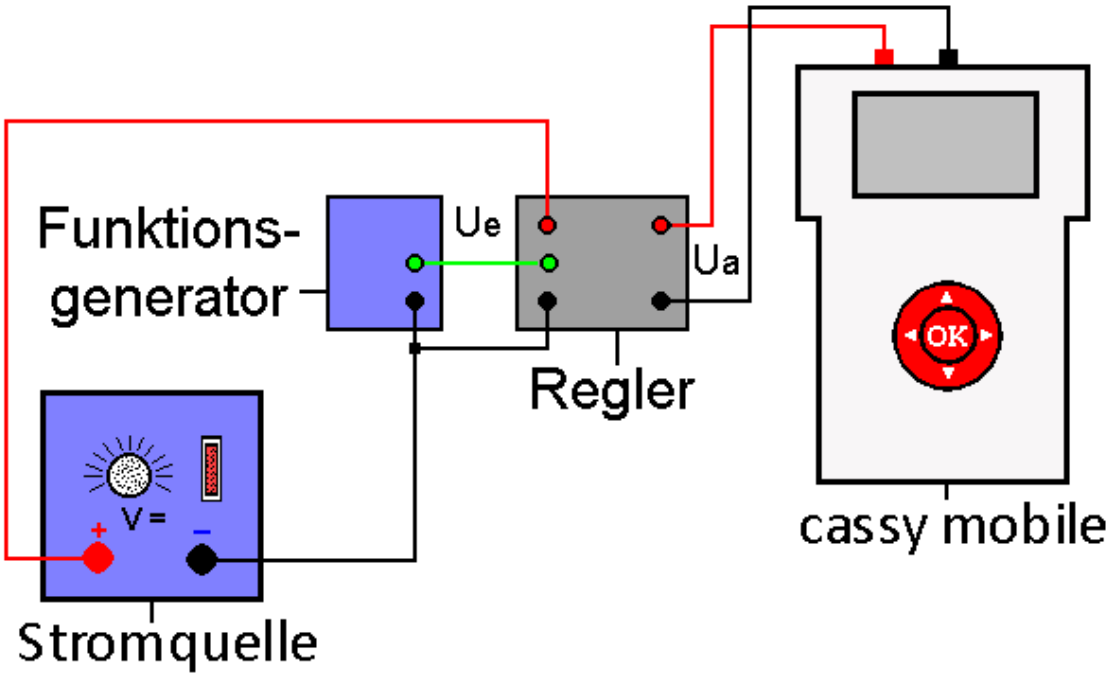
Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Der Piezoquarz tickt im Takt von 1 s. Die Messkurve zeigt diesen Takt an, wobei das Vorzeichen in jeder Sekunde wechselt.
b. In einer Quarzuhr wird ein Schwingquarz durch eine elektronische Schaltung zu hochfrequenten Schwingungen angeregt. Eine Frequenzteilerschaltung regelt die Frequenz des Taktgebers auf f = 0, 5 Hz herunter. Mit dieser Frequenz wird ein kleiner Elektromotor angesteuert, der sich bei jedem Ausgangsimpuls um einen Winkel von 180° weiterdreht und über eine Untersetzung den Sekundenzeiger der Uhr um 6° weiterstellt. Damit er sich bei der zweiten Halbdrehung in die ursprüngliche Richtung weiterdreht, muss die Erregerspule umgepolt werden. Daher besitzt der zweite Impuls das umgekehrte Vorzeichen des ersten. Bei einem kontinuierlich laufenden Elektromotor sorgt der Kommutator für die Umpolung. Eine weitere Zahnraduntersetzung liefert die Minuten- und Stundenanzeige. Statt eines Zeigerwerkes kann das IC auch einen Digitalzähler takten, der die Sekunden, Minuten und Stunden zählt und mit Leuchtdioden oder einem LCD-Display sichtbar macht.

Schaltregler

Versuch 1 a:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „regler1.labm“ im Ordner Physik.
2. Erstellen Sie die Schaltung nach Abb.1 ohne Kondensator mit elektronischen Bauteilen auf einem Steckbrett.
3. Bauen Sie den gesamten Versuch gemäß der Abb. auf.
4. Schalten Sie die stabilisierte Gleichspannungsquelle U_e ein und stellen Sie eine Spannung U = 3 V ein.
5. Schalten Sie den Funktionsgenerator ein. Wählen Sie Rechteckspannung und die Frequenz f ≈ 1500 Hz. Der Funktionsgenerator sollte eine Ausgangsamplitude von U = 5 V liefern.
6. Starten Sie Cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 5 ms. Speichern Sie die Kurve.
7. Bauen Sie den Kondensator ein und wiederholen Sie die Messung.

Aufgaben

a. Beschreiben und deuten Sie die Messkurve.
b. Erklären Sie anhand der Schaltung und der Messkurve wie ein Aufwärtsregler funktioniert.
c. Erklären Sie die Bezeichnung Aufwärtsregler und vergleichen Sie die Vorgänge mit einem Trafo für Wechselspannung.
d. Erkundigen Sie sich im Internet, wo man Aufwärtsregler einsetzt.
(s. a. www.chemiephysikskripte.de/regler)

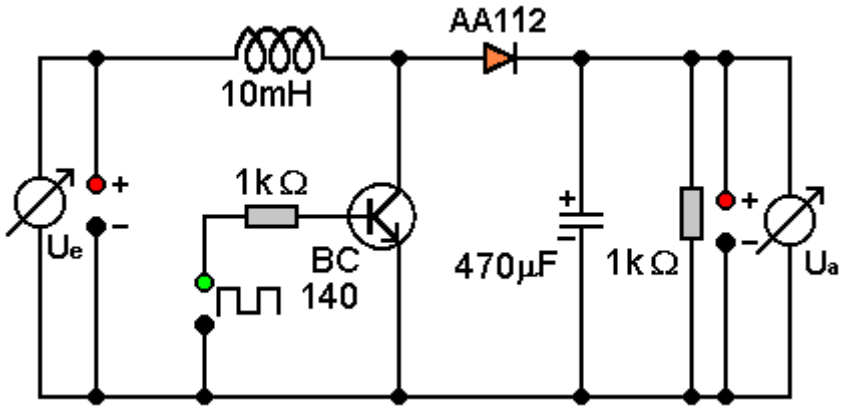


Abb.1: Aufwärtsregler

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

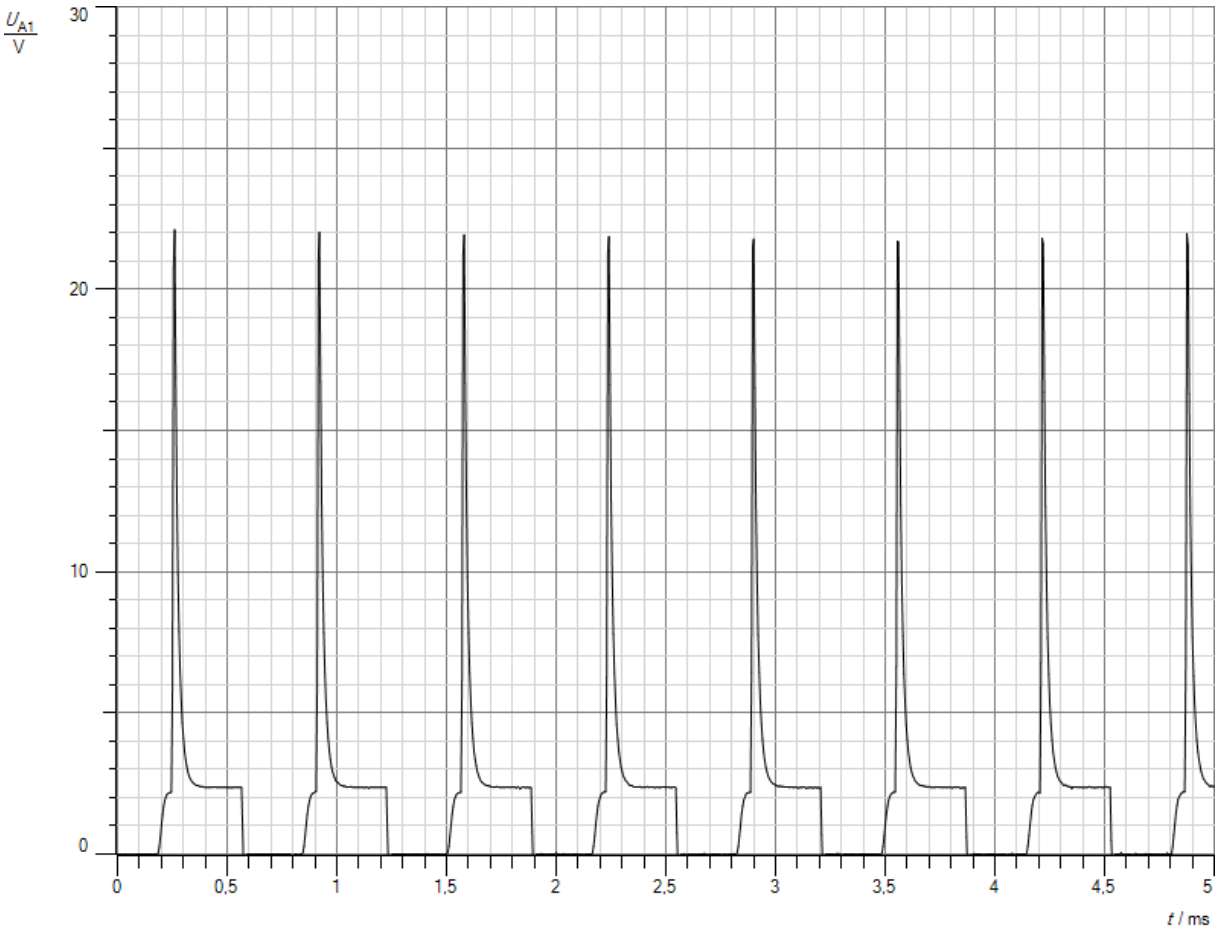


Abb.2: Messkurve

Mit Kondensator misst man eine konstante Ausgangsgleichspannung von U_a = 9,5 V.

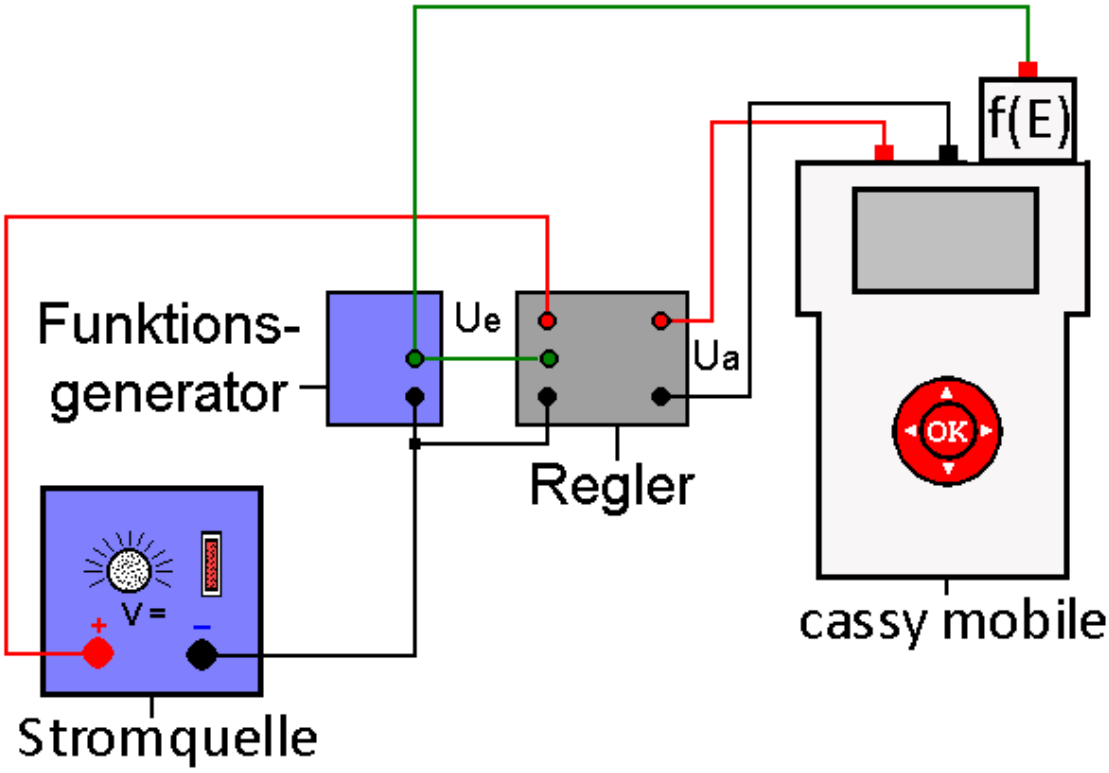
Auswertung

a. Die Messkurve weist bei jedem Ausschaltvorgang des Transistors eine hohe Spannungsspitze auf. Ist er eingeschaltet, so sinkt die Spannung am Ausgangswiderstand der Spule auf 0 V, da er durch den Transistor kurzgeschlossen wird.
b. Schaltet der Transistor durch, so baut sich in der Spule ein magnetisches Feld auf, in dem Energie gespeichert wird. Wird er ausgeschaltet, so erzeugt diese Energie durch Selbstinduktion eine hohe Spannungsspitze, die einen Strom durch den Widerstand treibt. An ihm fällt eine hohe Spannung ab. Gleichzeitig fließt von der Spannungsquelle ein kontinuierlicher konstanter Strom durch die Spule und den Widerstand. Baut man den Kondensator in die Schaltung ein, so glättet er die Spannungsspitzen und man erhält eine konstante Gleichspannung. Dabei verhindert die Diode, dass sich der Kondensator bei durchgeschaltetem Transistor entlädt.
c. Die Ausgangsgleichspannung ist höher als die Eingangsgleichspannung. Mit Aufwärtsreglern kann man Gleichspannungen hochtransformieren. Sie sind das Gegenstück zu Trafos, die allerdings nur Wechselspannungen wandeln können. Trafos enthalten zwei Spulen mit unterschiedlichen Windungszahlen, die über einen Eisenkern gekoppelt sind. Durch die an der Primärspule angelegte Wechselspannung wird in der Sekundärspule eine Wechsel-

spannung erzeugt, die je nach Windungszahlverhältnis höher oder niedriger ist als die Eingangswechselspannung. Damit in der Sekundärspule eine Spannung induziert werden kann, muss sich die Eingangsspannung zeitlich ändern. Da nur eine zeitliche Änderung des magnetischen Flusses nach dem Induktionsgesetz eine Spannung induziert werden kann. Gleichspannungen sind dagegen zeitlich konstant. Damit eine Induktion stattfinden kann, müssen sie zerhackt werden, um eine zeitliche Änderung zu erzwingen. Das leistet die verwendete Schaltung.

d. Aufwärtsregler dienen vor allem als LED-Treiber. LEDs benötigen je nach Farbe eine Spannung zwischen U(rot) ≈ 2 V bis U(blau) ≈ 3 V. Weiße LED brauchen die gleiche Spannung wie blaue, da ein Teil des erzeugten blauen Lichtes durch Leuchtstoffe in andere Farben umgewandelt werden. Sie ergeben zusammen weiß. Der Spannungsbereich der LEDs lässt sich schlecht mit Batterien oder Akkus abdecken. Daher verwendet man meist Batterien mit U = 1,5 V bzw. Akkus mit U = 1,2 V. Mit einem Aufwärtsregler erhöht man die Spannung auf den für die LED passenden Wert (s. Versuch 3). Man könnte alternativ auch 2 Batterien/Akkus in Reihe schalten und die überschüssige Spannung durch einen Vorwiderstand abfangen. Dann geht in diesem Widerstand Energie als Wärme verloren. Bei Schaltreglern ist der Wärmeverlust deutlich geringer. Sie haben Wirkungsgrade bis 90 %.

Versuch 1 b:



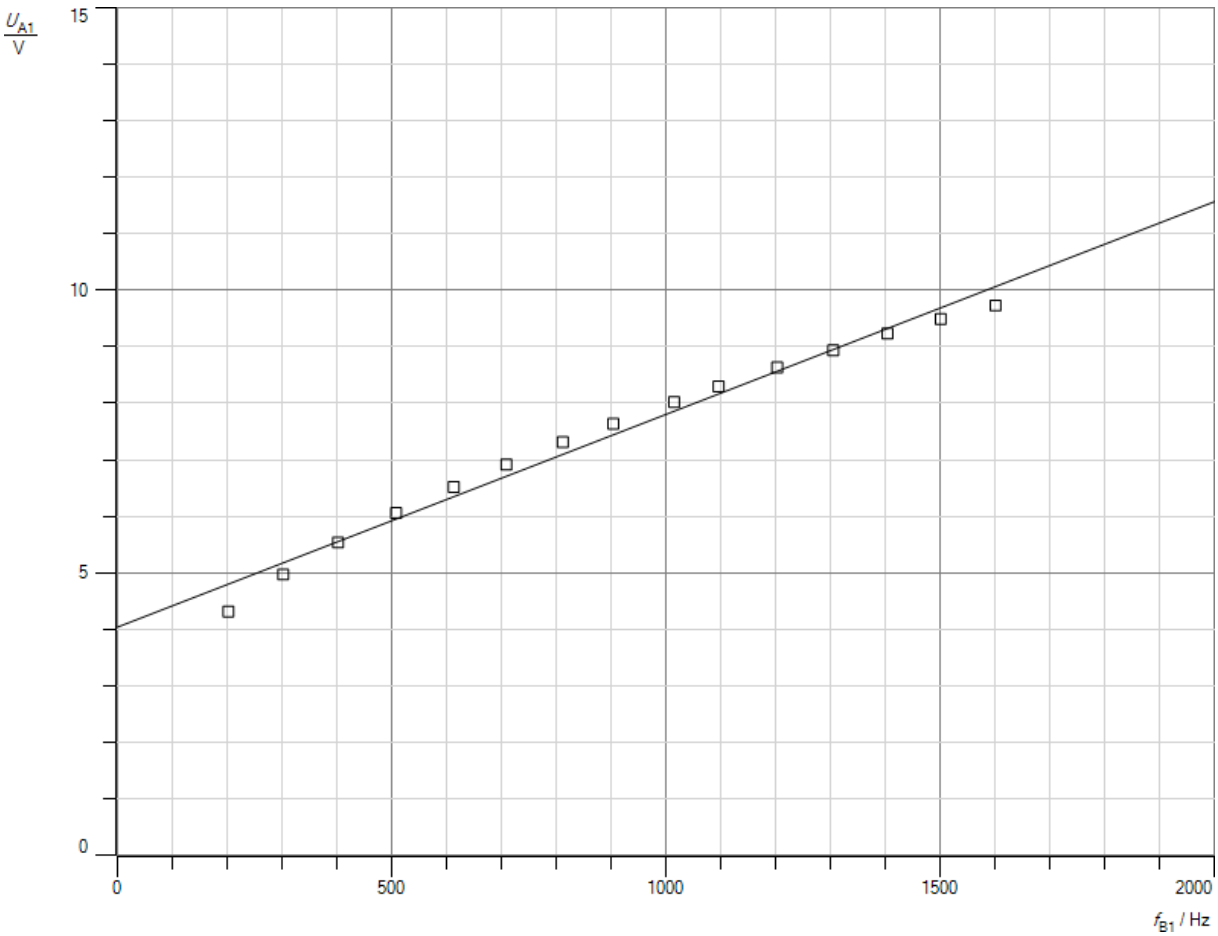
Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „regler2.labm“ im Ordner Physik.
2. Erstellen Sie die Schaltung nach Abb.1 aus Versuch 1a mit elektronischen Bauteilen auf einem Steckbrett.
3. Bauen Sie den gesamten Versuch gemäß der Abb. auf.
4. Schalten Sie die stabilisierte Gleichspannungsquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 3 V ein.
5. Schalten Sie den Funktionsgenerator ein. Wählen Sie Rechteckspannung und den Frequenzbereich f ≈ 200- 2000 Hz. Der Funktionsgenerator sollte eine Ausgangsamplitude von U = 5 V liefern.
6. Erhöhen Sie die Frequenz von f_1 = 200 Hz in 100Hz-Schritten auf f_2 = 1600 Hz. Speichern Sie das jeweilige Messpaar durch Drücken der OK. Taste. Erstellen Sie in cassy mobile ein U_A/f-Diagramm und legen Sie eine Ausgleichsgerade durch die Messpaare. Sie können die Messwerte auch in das Programm cassy 2 laden und dort weiter auswerten. Darin können Sie die Achsen besser den Messwerten anpassen.

Aufgaben

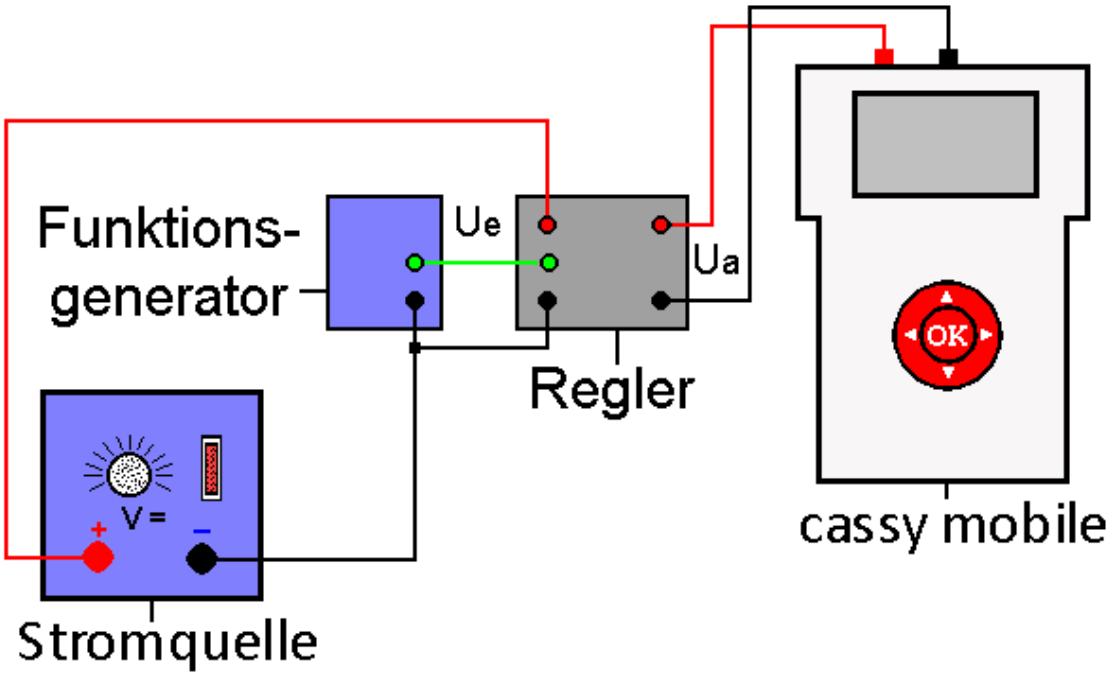
a. Beschreiben Sie die Messkurve.
b. Erklären Sie, warum die Ausgangsspannung mit der Frequenz steigt.

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.



Auswertung
a. Die Ausgangsspannung nimmt näherungsweise linear mit der Frequenz zu.
b. Mit steigender Frequenz steigt die Zahl der Spannungspitzen pro Zeizintervall und damit die auf den Kondansator übertragene Energie. Die mittlere Spannung an ihm wird größer.

Versuch 2 a:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „regler3.labm“ im Ordner Physik.
2. Erstellen Sie die Schaltung nach Abb.1 ohne Kondensator mit elektronischen Bauteilen auf einem Steckbrett.
3. Bauen Sie den gesamten Versuch gemäß der Abb. auf.
4. Schalten Sie die stabilisierte Gleichspannungsquelle U_e ein und stellen Sie eine Spannung U = 3 V ein.
5. Schalten Sie den Funktionsgenerator ein. Wählen Sie Rechteckspannung und die Frequenz f ≈ 20 kHz. Der Funktionsgenerator sollte eine Ausgangsamplitude von U = 5 V liefern.
6. Starten Sie Cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach 5 ms. Speichern Sie die Kurve.
7. Bauen Sie den Kondensator ein und wiederholen Sie die Messung.

Aufgaben

a. Beschreiben und deuten Sie die Messkurve.
b. Erklären Sie anhand der Schaltung und der Messkurve wie ein Abwärtsregler funktioniert.
c. Erklären Sie die Bezeichnung Abwärtsregler und vergleichen Sie die Vorgänge mit einem Trafo für Wechselspannung.

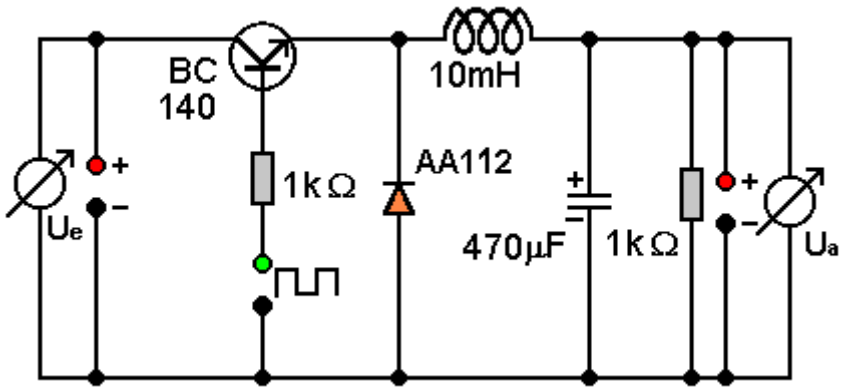


Abb.1: Abwärtsregler

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

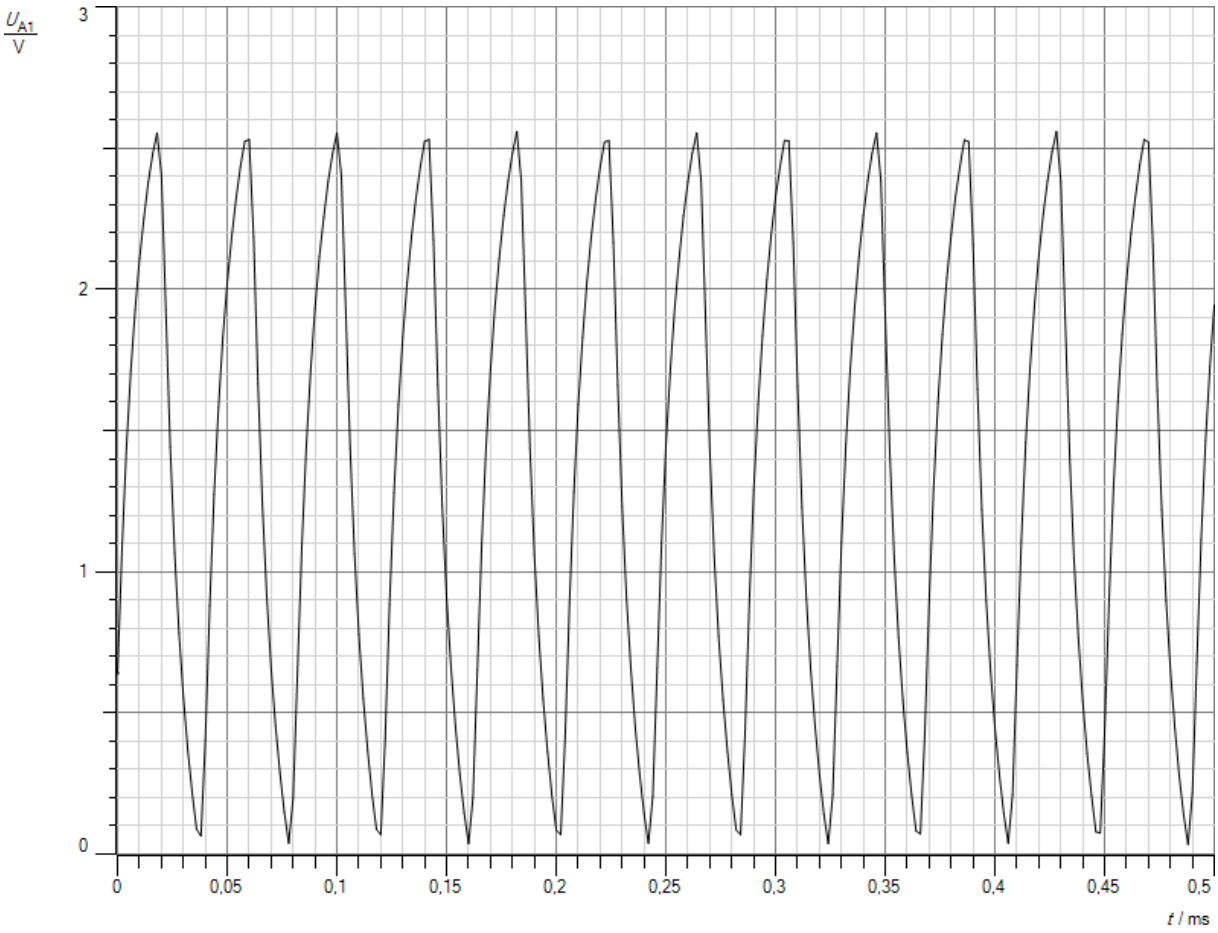


Abb.1: Messkurve

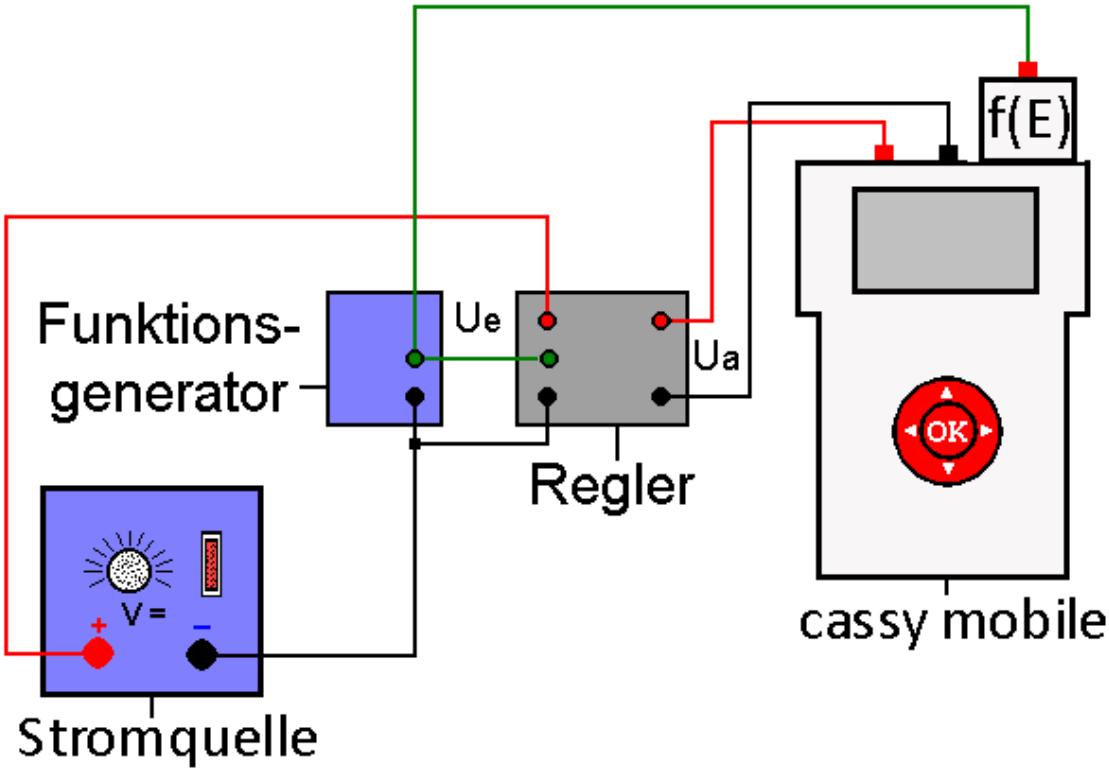
Mit Kondensator misst man eine Spannung von U = 1,35 V.

Auswertung

a. Der Strom in der Spule steigt beim Durchschalten des Transistors verzögert an und fällt nicht sprunghaft wieder ab, wenn der Transistor ausgeschaltet wird. Diese Vorgänge werden durch die Selbstinduktion in der Spule verursacht. Der Strom erreicht nur bei kleineren Frequenzen seine volle Stärke. Je höher die Frequenz, umso niedriger ist der maximal fließende Strom. Die Spule wirkt als Drosselspule.
b. Schaltet der Transistor durch, so fließt ein Strom durch die Spule und den nachgeschalteten Widerstand. Der parallel geschaltete Kondensator lädt sich auf und zwar umso höher, je höher der maximal fließende Strom ist. Bei höherer Frequenz ist die Spannung am Kondensator und damit die Ausgangsspannung des Reglers folglich niedriger als bei niedriger Frequenz. Die Diode schließt hohe Spannungsspitzen in der Spule bei ihrem Ausschalten kurz. Sie würden den Kondensator zusätzlich aufladen und könnten den Transistor beschädigen.
c. Die Ausgangsgleichspannung ist bei einem Abwärtsregler niedriger als die Eingangsgleichspannung. Er transformiert die Spannung herunter und zwar umso stärker, je höher die Frequenz ist, mit der Abwärtsregler betrieben wird. Bei einem Trafo ist das

mit Wechselspannung auch möglich, wenn die Sekundärseite weniger Windungen aufweist als die Primärseite (s. a. Versuch 1a).

Versuch 2 b:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „regler4.labm“ im Ordner Physik.
2. Erstellen Sie die Schaltung nach Abb.1 aus Versuch 2a mit elektronischen Bauteilen auf einem Steckbrett.
3. Bauen Sie den gesamten Versuch gemäß der Abb. auf.
4. Schalten Sie die stabilisierte Gleichspannungsquelle ein und stellen Sie eine Spannung U = 3 V ein.
5. Schalten Sie den Funktionsgenerator ein. Wählen Sie Rechteckspannung und den Frequenzbereich f = 2 kHz- 20 kHz. Der Funktionsgenerator sollte eine Ausgangsamplitude von U = 5 V liefern.
6. Erhöhen Sie die Frequenz von $f_1 \approx 2$ kHz in 2 kHz-Schritten auf $f_2 \approx 20$ kHz. Speichern Sie das jeweilige Messpaar durch Drücken der OK. Taste. Erstellen Sie in cassy mobile ein U_A/f-Diagramm und legen Sie eine Ausgleichsgerade durch die Messpaare. Sie können die Messwerte auch in das Programm cassy 2 laden und dort weiter auswerten. Darin können Sie die Achsen besser den Messwerten anpassen.

Aufgaben

a. Beschreiben Sie die Messkurve.
b. Erklären Sie, warum die Ausgangsspannung mit steigender Frequenz sinkt.

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve.

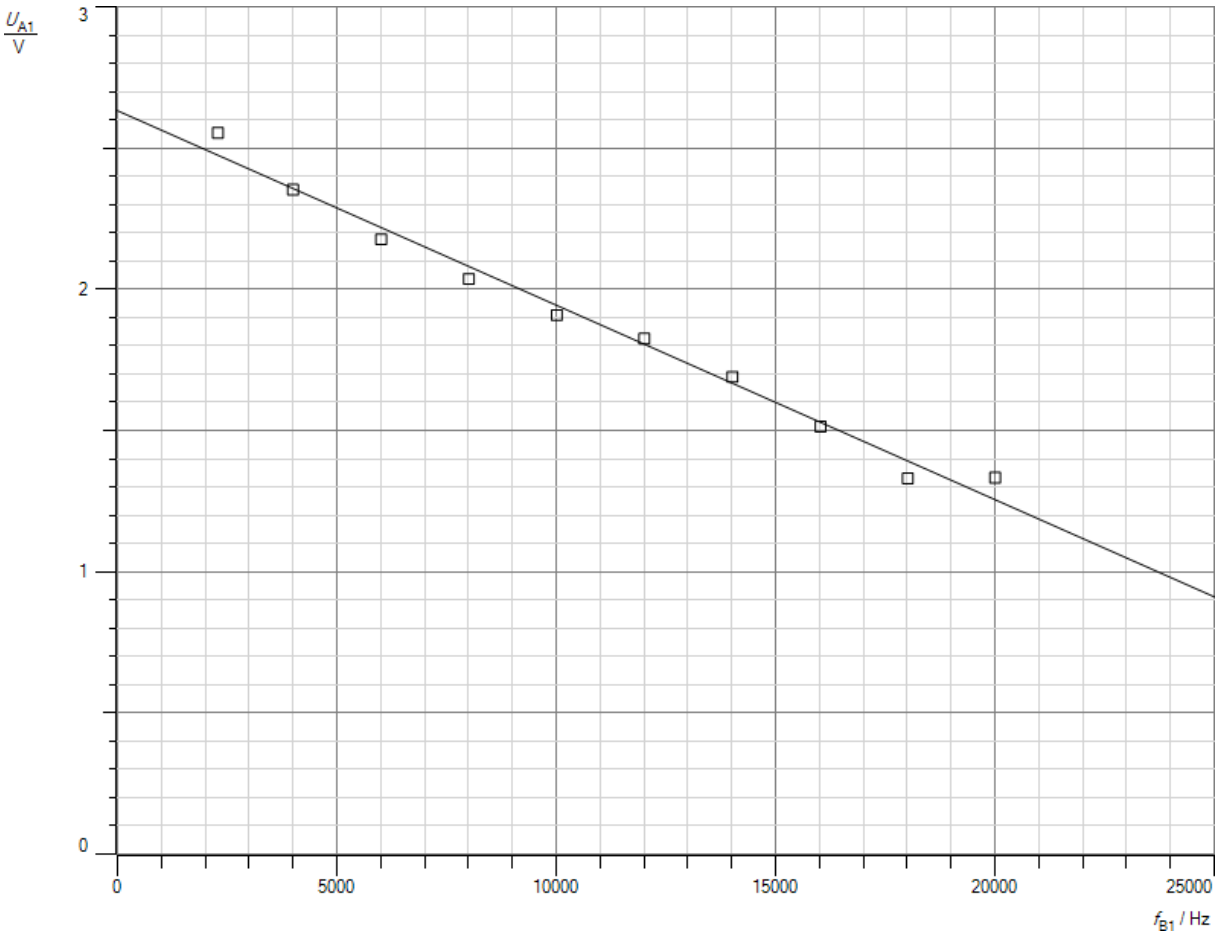
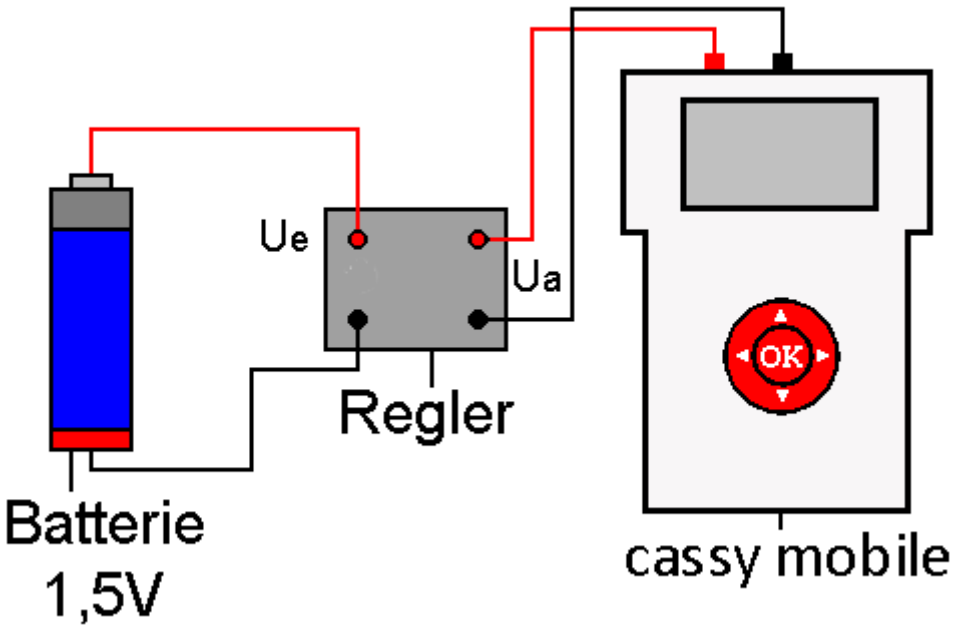


Abb.1: Messkurve

Auswertung
a. Die Ausgangsspannung nimmt näherungsweise linear mit der Frequenz ab.
b. Mit steigender Frequenz und damit kleinerer Durchschaltzeit des Transistors steigt der Strom wegen der größeren Selbstinduktion in der Spule auf eine geringere Höhe an. Die mittlere Stromstärke in der Spule und dem nachgeschalteten Widerstand sinkt und damit die Spannung am parallel geschalteten Kondensator.

Versuch 3



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „regler5.labm“ im Ordner Physik.
2. Erstellen Sie die Schaltung nach Abb.1 mit elektronischen Bauteilen auf einem Steckbrett.
3. Bauen Sie den gesamten Versuch gemäß der Abb. auf.
4. Verbinden Sie die Eingänge der Schaltung mit einer Batterie von U = 1,5 V. Sie können als Spannungsquelle auch einen Goldcap mit C = 10 – 100 F verwenden, den Sie auf eine Spannung von U ≈ 1,5 V aufladen. Achten Sie unbedingt auf die richtige Polung.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt automatisch nach t = 1 ms.
6. Klemmen Sie die Spannungsquelle ab. Ersetzen Sie die weiße LED durch eine rote LED bzw. durch zwei in Reihe geschaltete weiße oder rote LEDs. Verbinden Sie den Regler wieder mit der Spannungsquelle und starten Sie cassy. Die LEDs dürfen Sie in der Schaltung nur bei abgeklemmter Spannungsquelle austauschen. Ansonsten brennen die neu eingebauten LEDs sofort durch.
7. Verbinden Sie die weiße bzw. rote LED direkt mit der Spannungsquelle. Achten Sie auch dabei auf die richtige Polung.

Aufgaben

a. Beschreiben und deuten Sie die Messkurven und ihre Beobachtungen.
b. Erklären Sie den Aufbau der Schaltung.
c. Überlegen Sie, was man mit dieser kleinen Schaltung praktisch anfangen könnte.

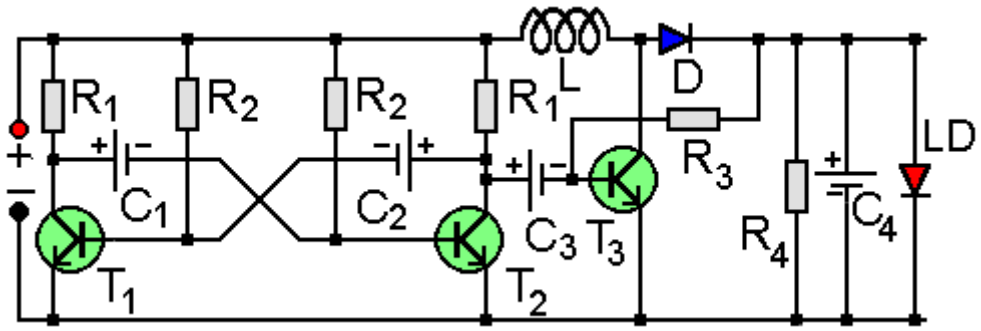


Abb.1: LED-Treiber

Die Bauteile haben folgende Werte:
Widerstände R_1: 1 kΩ, R_2: 10 kΩ, R_3: 2,2 kΩ, R_4: 22 kΩ
Kondensatoren C_1: 1 nF, C_2: 1 nF, C_3:1 µF, C_4: 100 µF
Transistoren T_1, T_2, T_3: BC 547
Ringkerndrossel L: 120 µH
Diode D: SB 130 oder 1N5818
Leuchtdioden LD: LED(rot 2,2 V, 20 mA) bzw. LED(weiß 3,1 V, 20 mA)

Entscheidend für die Leistung der Schaltung und damit die Helligkeit der LED sind die Induktivität L und der Innenwiderstand R_i der Drossel, sowie die Schaltfrequenz f. Den größten Einfluss hat die Frequenz f, sowie die Art der Diode. Man sollte eine Schottkydiode verwenden, da sie die kleinere Durchlassspannung hat im Vergleich zu einer normalen Si-Diode. Somit reduzieren sich die Verluste durch die Diode und die Ausgangsspannung an der LED steigt.

Beobachtung
Man erhält für eine weiße LED folgende Messkurve.

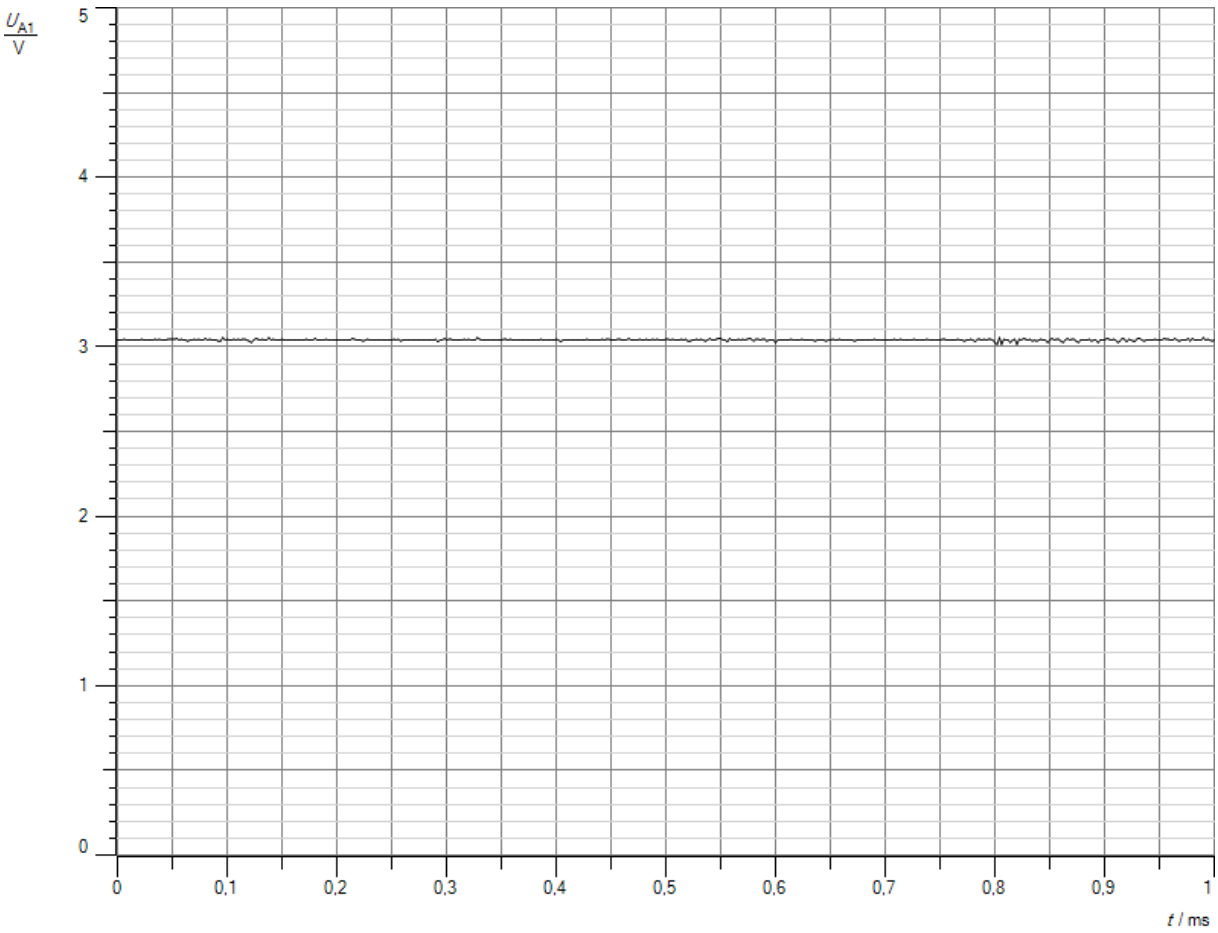


Abb.1: Spannungsverlauf für eine weiße LED

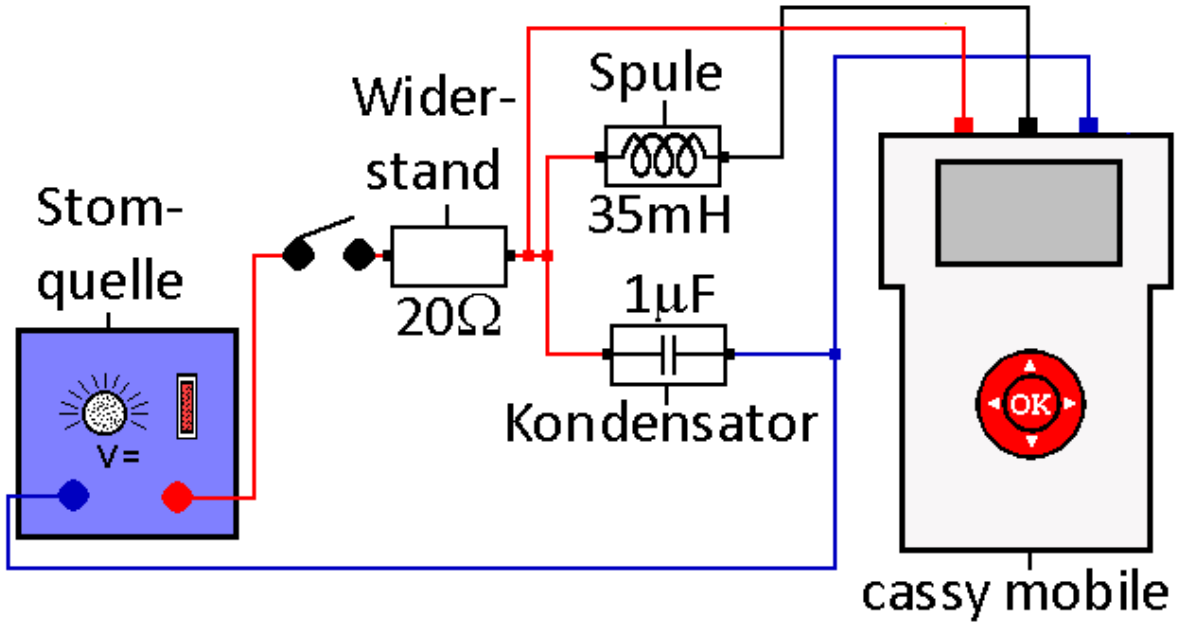
Sowohl die weiße als auch die rote LED leuchtet mit zwischen geschaltetem Regler hell auf. Sinkt die Eingangsspannung unter U_e = 0,6 V, so blinkt die LED für ein paar Sekunden und schaltet dann ab. Schließt man die LEDs direkt an die Spannungsquelle an, so leuchten beide nicht. Für die weiße LED misst man am Reglerausgang bei einer Eingangsspannung von U_e = 1,5 V eine Spannung U_1 = 3,05 V, für die rote U_2 = 2,15 V. Die Ausgangspannung passt sich der angeschlossenen LED an. Schaltet man zwei weiße LEDs in Reihe, so erhöht sich die Spannung am Ausgang auf U_3 = 5,6 V. Beide LEDs leuchten, wenn auch etwas weniger hell. Verwendet man unterschiedliche LEDs, z.B. eine rote und eine weiße, so erhält man als Ausgangsspannung U_4 = 4,85 V. Beide LEDs leuchten, wenn auch nicht optimal hell.

Auswertung
a. Die Spannung an der LED ist zeitlich sehr gut konstant. Sie beträgt im Mittel U = 3,05 V und ist damit optimal für eine weiße LED. Sie schwankt nur sehr wenig, da die Spannung durch den Kondensator sehr gut geglättet wird. Schließt man den Regler an die Spannungsquelle an, so lädt sich der Kondensator C_4 zunächst auf, bis die Durchbruchspannung der LEDs erreicht ist. Danach bringt die in der Spule bei jedem Einschaltvorgang aufgenommene Energie die LEDs zum Leuchten. Mit zwei LEDs in Reihe leuchtet jede weniger hell, da die Leistung des Reglers konstant bleibt. Mit steigender Ausgangsspannung sinkt die Ausgangsstromstärke.

b. Die Schaltung besteht aus zwei Teilen, einem Multivibrator und einem Aufwärtsregler. Der Multivibrator liefert die Rechteckspannung zum Betrieb des Reglers. Die Rückkopplung der Ausgangsspannung über R_3 auf die Basis von T_3 erhöht die Leistung des Reglers und bewirkt das Abschalten der LED, wenn die Eingangsspannung unter $U_e < 0{,}6$ V sinkt. Der Transistor T_3 schaltet nicht mehr voll durch und die von der Spule gelieferte Leistung sinkt. Der zur LED parallel geschaltete Widerstand R = 22 kΩ entlädt den Kondensator beim Abklemmen der Spannungsquelle. Ansonsten könnten beim Austausch die LEDs zerstört werden, da sich der Kondensator C_4 ohne Verbraucher auf eine hohe Spannung auflädt.
c. Man könnte die Schaltung für eine kleine Taschenlampe benutzen oder als Batterietester für 1,5 V Batterien oder 1,2 V Akkus. Sinkt die Batterie- bzw. Akkuspannung im Betriebszustand unter U < 0,6 V, so leuchtet die LED nicht mehr. In integrierten Regler wie dem LT1073 wird die Rückkopplung über einen Operationsverstärker gesteuert. Die Ausgangsspannung verdoppelt sich bei zwei in Reihe geschalteten LEDs exakt. Der OP schaltet außerdem bereits bei einer Eingangsspannung von $U_E < 0{,}9$ V den Oszillator ab und schützt so Akkus vor der Tiefenentladung, die diese zerstören könnte.

Schwingkreis

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Schwingkreis.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie die Spannungsquelle ein und legen Sie eine Spannung U = 1 – 2 V an.
4. Schließen Sie den Schalter und starten Sie die Messung.
5. Öffnen Sie den Schalter. Die Messwertaufnahme startet durch den Trigger automatisch und ist nach 10 ms beendet.
6. Speichern Sie die Messwerte für die spätere Auswertung.
7. Wiederholen Sie die Messung mit anderen Spulen (z.B. 8,7 mH) und anderen Kondensatoren (z.B. 2,2 µF, 5 µF, 10 µF, 22 µF).

Hinweis: Sollte die Messung nicht automatisch starten, so erhöhen Sie die Spannung der Spannungsquelle um etwa 1V, maximal auf 5V, und wiederholen Sie die Messung ab Punkt 4.

Aufgaben

a. Beschreiben und erläutern Sie die Kurvenverläufe.
b. Ermitteln Sie aus den Spannungskurven die Periodendauer für die verschiedenen Spulen/Kondensator-Kombinationen.
c. Berechnen Sie sie mit der Thomsonschen Schwingungsformel und vergleichen Sie sie mit den Messwerten. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen. Überprüfen Sie Ihre Vermutungen mit einem Kapazitätsmessgerät bzw. Induktivitätsmessgerät.
d. Ermitteln Sie aus der Spannungskurve die Amplituden für mehrere aufeinanderfolgende Perioden. Überprüfen Sie, ob sie einer e-Funktion folgen. Berechnen Sie den Mittelwert der Abklingkonstante.
e. Berechnen Sie den theoretischen Wert der Abklingkonstante aus den Angaben auf der Spule und vergleichen Sie ihn mit dem gemessenen Wert. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.
f. Überprüfen Sie anhand der ersten Amplituden für U und I den Energieerhaltungssatz.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

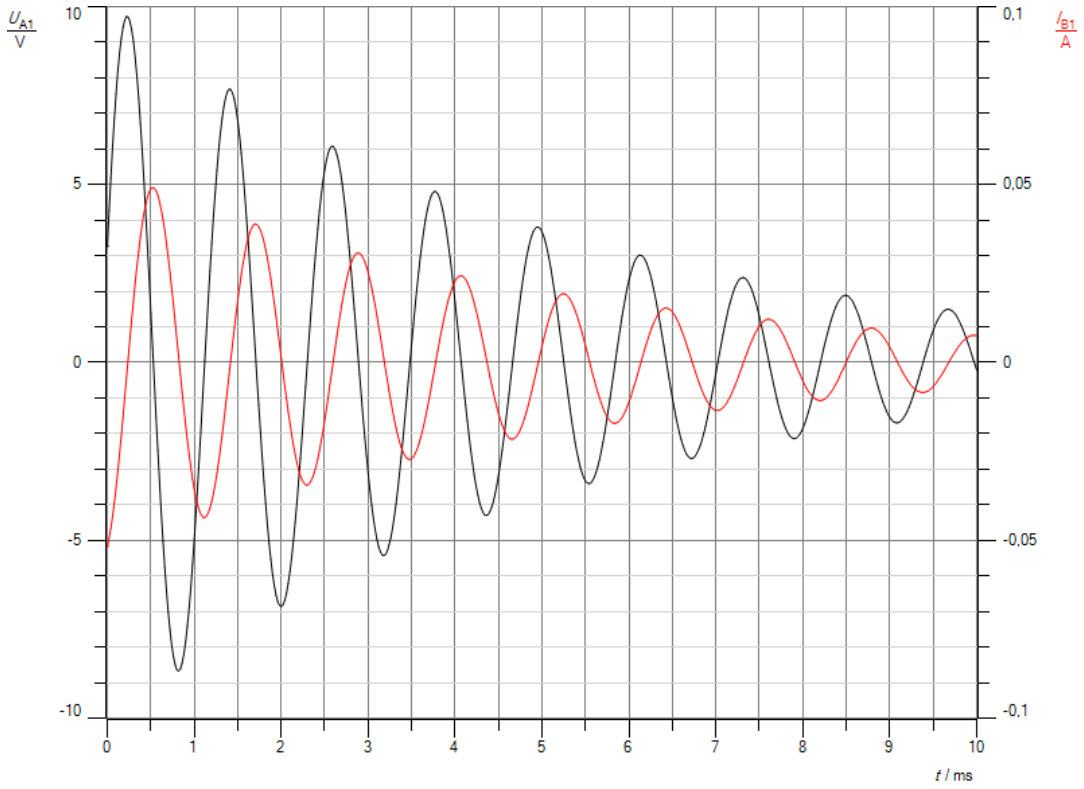


Abb.1: Schwingkreis (L = 34,8 mH, C = 1µF, R = 10,5 Ω)

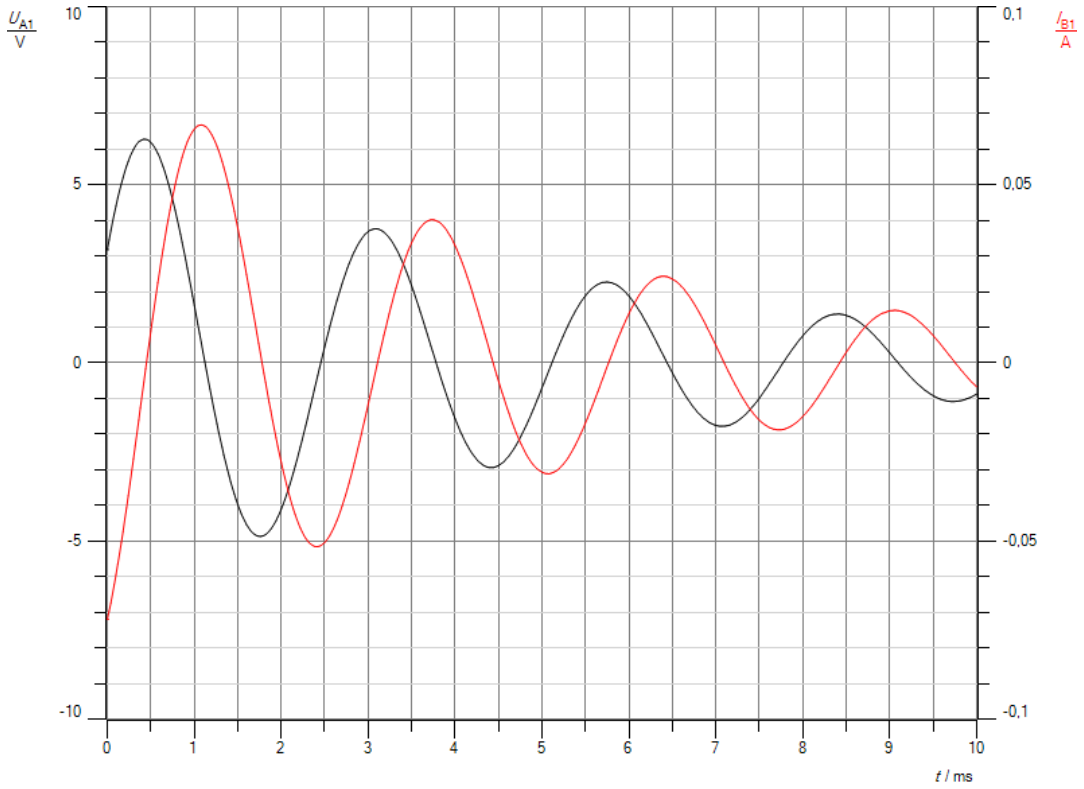


Abb.2: Schwingkreis (L = 34,8 mH, C = 5µF, R = 10,5Ω

Auswertung

a. Beim Schließen des Schalters wird Energie in den Schwingkreis gepumpt. Der Kondensator lädt sich auf und durch die parallel geschaltete Spule fließt ein Strom. Trennt man den Schwingkreis von der Spannungsquelle, so schwingt die in ihm gespeicherte Energie zwischen dem Kondensator und der Spule hin und her. Am Kondensator baut sich in einer Viertelperiode ein elektrisches Feld auf. An seinen Enden entsteht eine maximale Spannung. Eine Viertelperiode später hat sich der Kondensator entladen, die Spannung an seinen Enden ist null. Dafür fließt ein maximaler Strom durch die Spule, in ihr baut sich ein Magnetfeld auf. Wieder eine Viertelperiode später ist der Kondensator erneut geladen aber mit umgekehrten Vorzeichen. In der letzten Viertelperiode bricht die Spannung an ihm wieder zusammen und es fließt ein maximaler Strom durch die Spule aber in entgegengesetzter Richtung. Die Spannungs- und die Stromkurve sind gegeneinander phasenverschoben. Die Spannung eilt der Stromstärke jeweils um 90° voraus. Die Amplituden beider Kurve nehmen während der Schwingung ab, da die im Schwingkreis gespeicherte Energie nach und nach am Ohmschen Widerstand der Spule in Wärme umgewandelt wird.

b. Aus Abb.1 ergibt sich eine Periodendauer

$$T_1 = \frac{9{,}4ms}{8} = 1{,}18ms$$

aus Abb.2

$$T_2 = \frac{7{,}9ms}{3} = 2{,}63ms.$$

c. Die Thomsonsche Schwingungsformel lautet:

$$T = 2\pi * \sqrt{L * C}.$$

Setzt man die gegebenen Werte für L und C ein, so erhält man:

$$T_1 = 2\pi * \sqrt{1 * 10^{-6}F * 3{,}48 * 10^{-2}H} = 1{,}17ms.$$

$$T_2 = 2\pi * \sqrt{5 * 10^{-6}F * 3{,}48 * 10^{-2}H} = 2{,}62ms.$$

In beiden Fällen stimmen die gemessenen und theoretischen Werte sehr gut überein. Sollte das nicht der Fall sein, sollte man die Kapazität des Kondensators bzw. die Induktivität der Spule überprüfen. Beide unterliegen gewissen Herstellungstoleranzen.

d. Man erhält folgende Tabelle aus Abb.1. In der dritten Spalte ist die Abklingkonstante angegeben. Für sie gilt mit U als momentaner Spannung, U_0 als Spannung zum Zeitpunkt t = 0 und t als Zeit die Formel

$$\delta = -\frac{ln(U/U_0)}{t}.$$

t[s]	U[V]	δ[1/s]
0	9,71	
1,16	7,68	202
2,36	6,07	199
3,52	4,81	200
4,70	3,81	199
5,88	3,02	199
7,06	2,38	199
8,24	1,89	199
9,42	1,50	198

Alternativ kann man mit Hilfe des Cassy-Programms eine Einhüllende über die Spannungskurve legen. Man erhält dann für die Abklingkonstante

$$\delta = 198 * \frac{1}{s}.$$

Die Amplituden nehmen mit einer e-Funktion ab. Der Mittelwert der Abklingkonstanten beträgt:

$$\delta = 199{,}2\,\frac{1}{s}.$$

e. Nach der Theorie gilt für die Abklingkonstante:

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{10{,}5\Omega}{2 * 3{,}48 *^{-2} H} = 150{,}9\,\frac{1}{s}.$$

Der gemessene Wert ist deutlich höher. Dabei muss man beachten, dass auch der Strommessbereich von cassy mobile einen Innenwiderstand besitzt. Außerdem sind die Kabel nicht widerstandslos. Diese versteckten Widerstände vergrößern den Messwert, da die Abklingkonstante proportional zum Widerstand R ist.

f. Man liest aus dem Diagramm ab

$$U_1 = 9{,}7V$$
$$I_1 = 0{,}05A.$$

Damit erhält man für die elektrische Energie im Kondensator

$$W_{el} = \frac{1}{2} * C * U_1^2 = 4{,}7 * 10^{-5} J$$

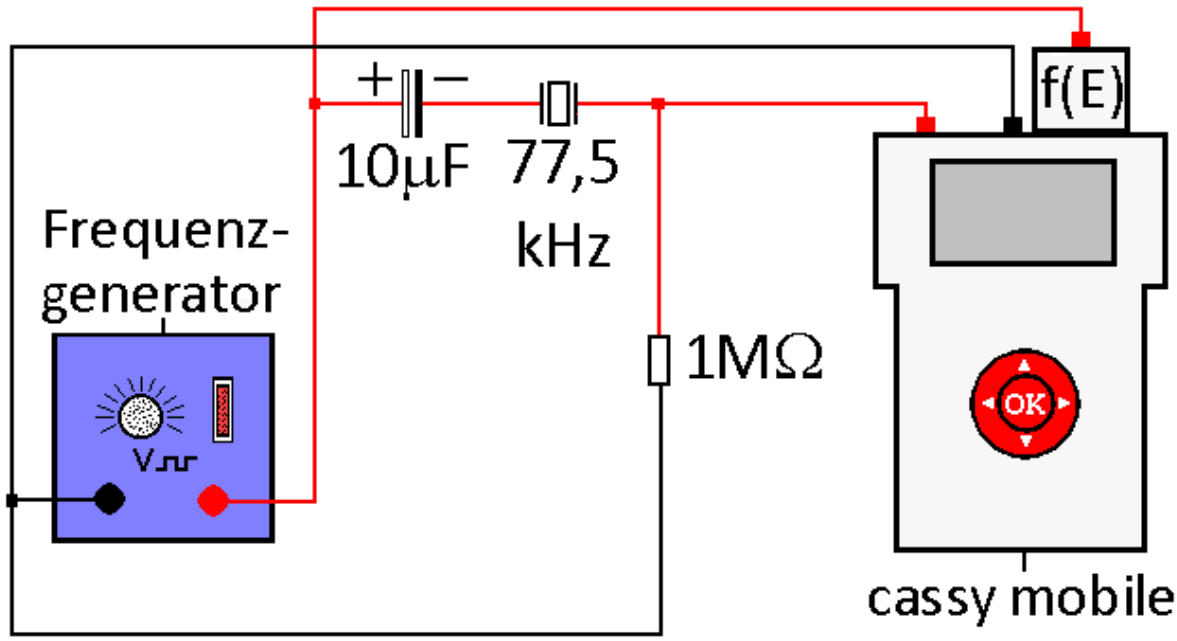
und für die magnetische Energie in der Spule

$$W_{mag} = \frac{1}{2} * L * I_1^2 = 4{,}4 * 10^{-5} J.$$

Die magnetische Energie in der Spule ist etwas kleiner als die elektrische im Kondensator, da sie eine Viertelperiode später gemessen wird und somit ein kleiner Anteil der Energie bereits in Wärme umgewandelt wurde am Ohmschen Widerstand der Spule.

Schwingquarz

Versuch:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Quarz.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie den Rechteckgenerator ein und legen Sie eine Effektivspannung von ca. U_{eff} = 2 V an. Stellen Sie eine Frequenz f_1 = 77,0 kHz ein.
4. Erhöhen Sie die Frequenz in kleinen Schritten von etwa 0,1 kHz, in der Nähe der Resonanz in Schritten von 0,01 kHz bis auf f_2 = 78 kHz. Je nach Genauigkeit des Frequenzeinstellknopfes ist dabei Fingerspitzengefühl gefragt.
5. Drücken Sie nach jedem Schritt die Ok-Taste, um das Messpaar zu speichern.

Aufgaben

a. Erstellen Sie ein U/f-Diagramm und zoomen Sie es in den Bereich 77 – 78 kHz.
b. Interpretieren Sie die Messkurve.
c. Erkundigen Sie sich im Internet, wo Schwingquarze in der Elektronik eingesetzt werden und welche Vor- und Nachteile sie gegenüber klassischen Oszillatoren aus Spule und Kondensator haben.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve

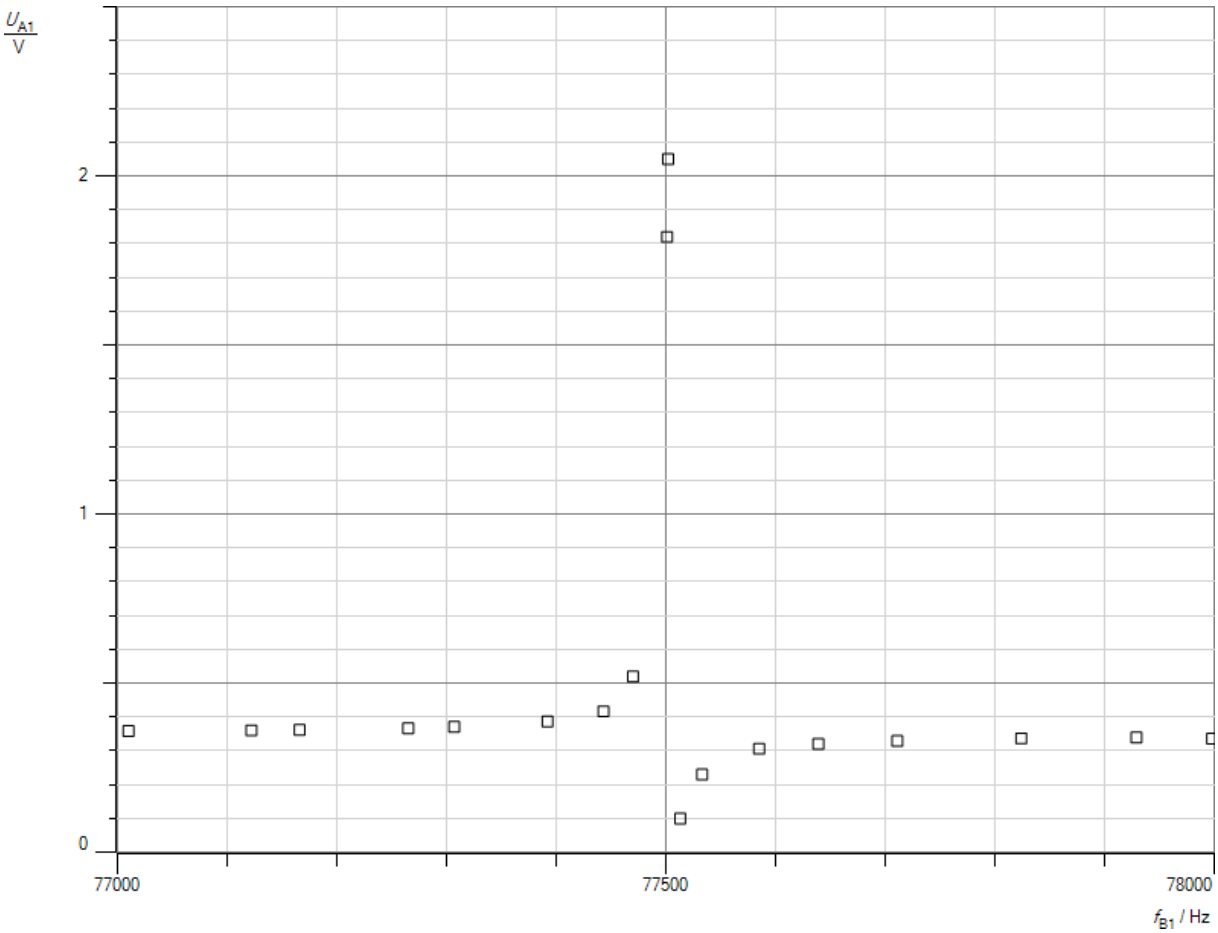


Abb.1: Messkurve

bzw. folgende Wertetabelle**:**

f [Hz]	77010	77122	77166	77265	77307	77392	77443	77470	77501
U[V]	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,39	0,42	0,52	1,82
f [Hz]	77502	77513	77533	77585	77639	77711	77824	77929	77998
U[V]	2,05	0,10	0,23	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,34

Tabelle 1: Messtabelle

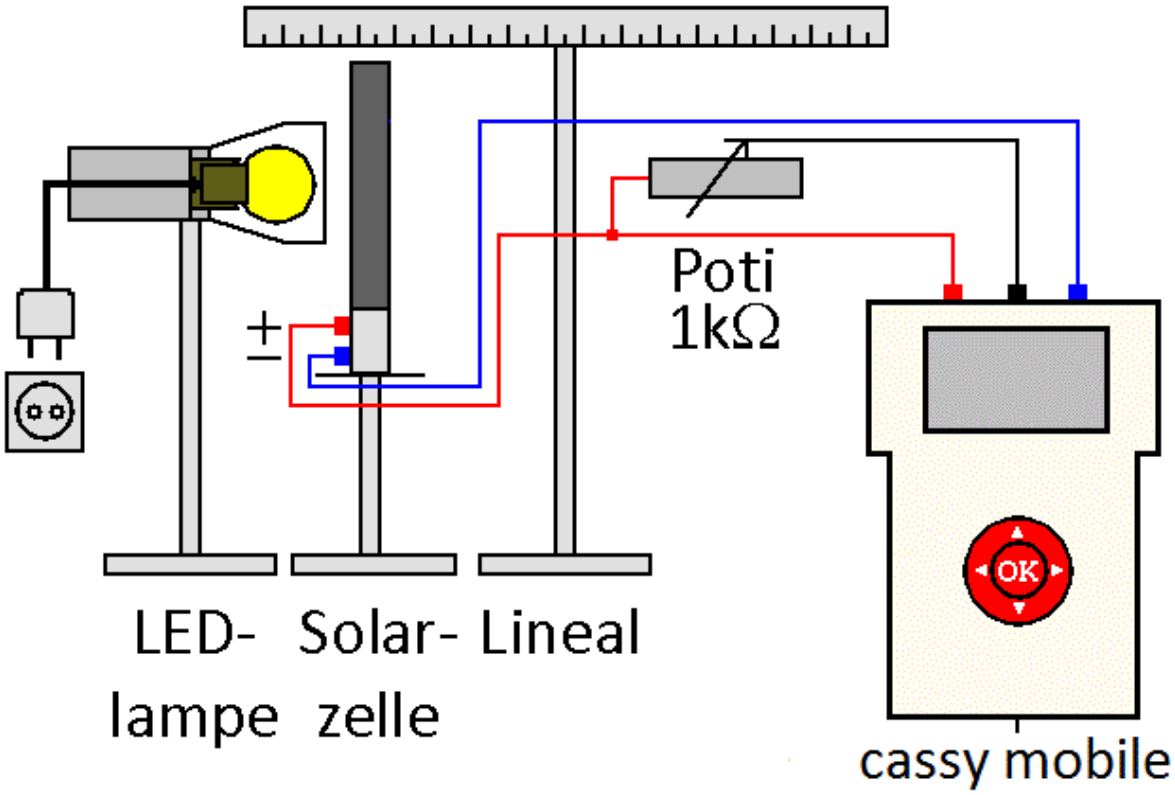
Auswertung

a. s. Messkurve
b. Aus der Messkurve wird deutlich, dass ein Schwingquarz zwei Resonanzfrequenzen besitzt, eine Resonanzfrequenz f_s für eine Längsschwingung in Stromrichtung in den Zuleitungen und eine zweite Resonanzfrequenz f_p für eine Querschwingung senkrecht dazu. Beide liegen sehr nahe beieinander. Der Quarz verhält sich zugleich wie eine Siebkette mit einem Impedanzminimum und ein Sperrkreis mit einem Impedanzmaximum.
c. Quarze werden als Taktgeber in Quarzuhren (s. Quarzuhr), in Funkuhren (s. Funkuhr), in Sendegeräten für die moderne Kommunikation wie WLan, Handy usw. aber auch in Computern verwendet. Die Frequenz ist auch unter extremen Umweltbedingungen stabil,

während sie bei klassischen Oszillatoren (s. Oszillator) mit der Temperatur stark schwankt. Für Empfangsgeräte mit variabler Frequenz wie z.B. Radios sind Quarze dagegen wenig geeignet, da sie nur auf zwei benachbarten Frequenzen schwingen. Man könnte nur einen Sender empfangen. Bei herkömmlichen Oszillatoren kann man die Frequenz durch Austausch Spulen bzw. Kondensatoren in einem weiten Bereich variieren.

Solarzelle

Versuch 1



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Solarzelle1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als Lichtquelle eine Schreibtischlampe mit einer LED-Birne mit den Daten 6 W, 470 lm, E 14.
3. Verschieben Sie das Lineal, bis sich der Nullpunkt auf Höhe des Überganges zwischen Porzellanfassung und Glashülle der Lampe befindet. Dort sitzen die LEDs. Stellen Sie die Solarzelle in einer Entfernung r = 5 cm vor der Lampe auf.
4. Drehen Sie das Potentiometer auf $R_1 = 0\ \Omega$. Drücken Sie die O.K.-Taste, um den Messwert zu speichern.
5. Erhöhen Sie den Widerstand R des Potentiometers in Schritten $\Delta R = 50\ \Omega$ bis auf $R_2 = 700\ \Omega$. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte durch Drücken der O.K.-Taste.
6. Speichern Sie die Messkurven.
7. Entfernen Sie das Potentiometer aus der Schaltung und stellen Sie die Solarzelle r = 5 cm vor der Lampe auf. Notieren Sie sich die gemessene Leerlaufspannung.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie die Messkurven. Beachten Sie bei Ihren Überlegungen, dass die Solarzelle einen Innenwiderstand R_i besitzt.
b. Berechnen Sie aus der Leerlaufspannung die Spannung, die eine Solarzelle liefert. Das Solarmodul besteht aus insgesamt 16 Solarzellen, die in zwei parallelen Reihen zu je 8 Zellen angeordnet sind.
c. Laden Sie die Messwerte ins Programm cassy lab 2. Erstellen Sie eine Formel, mit der Sie die Nummer n der Messung in den Widerstand umrechnen können. Erzeugen Sie ein U(R), I(R)- und ein P(R)-Diagramm.
d. Ermitteln Sie aus den Messkurven den Leerlaufstrom. Berechnen Sie aus der Leerlaufspannung und dem Leerlaufstrom den Innenwiderstand des Moduls.
e. Erläutern, welche Bedeutung der Innenwiderstand für die gemessene Leistung hat.
f. Diskutieren Sie, welche Vor- und Nachteile Solarzellen haben.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven

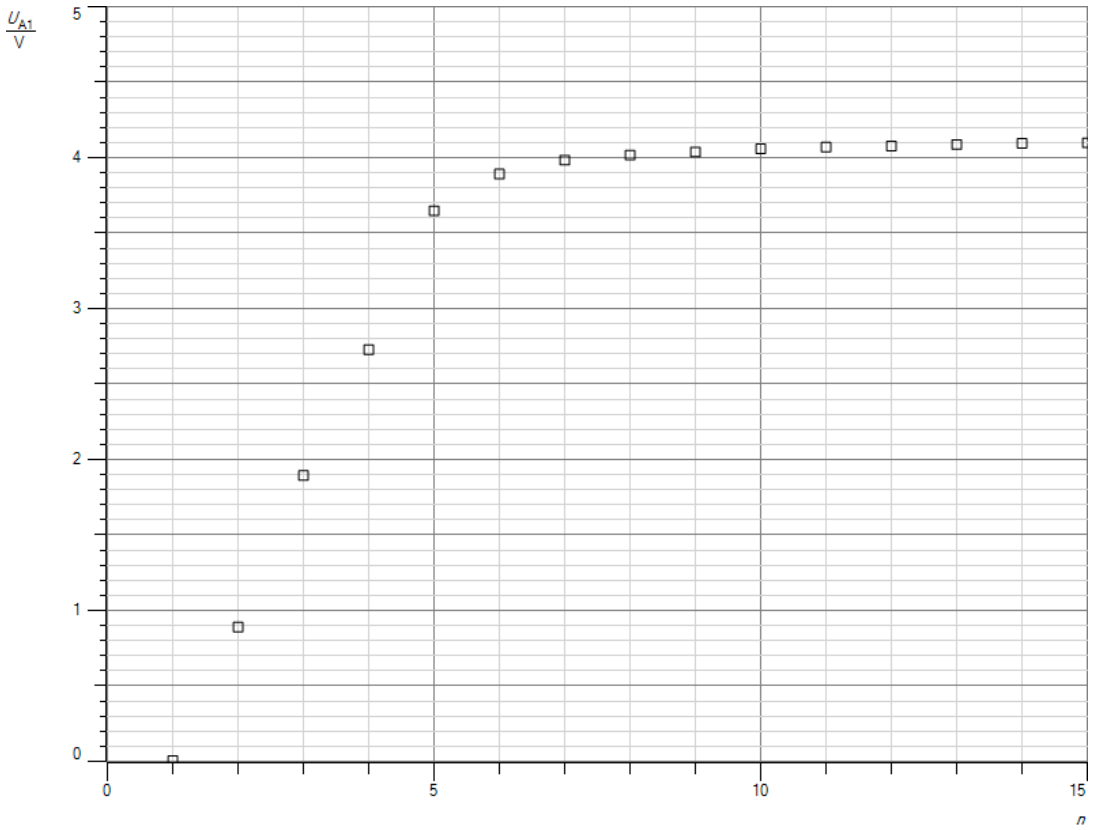


Abb. 1: U(n)-Messkurve

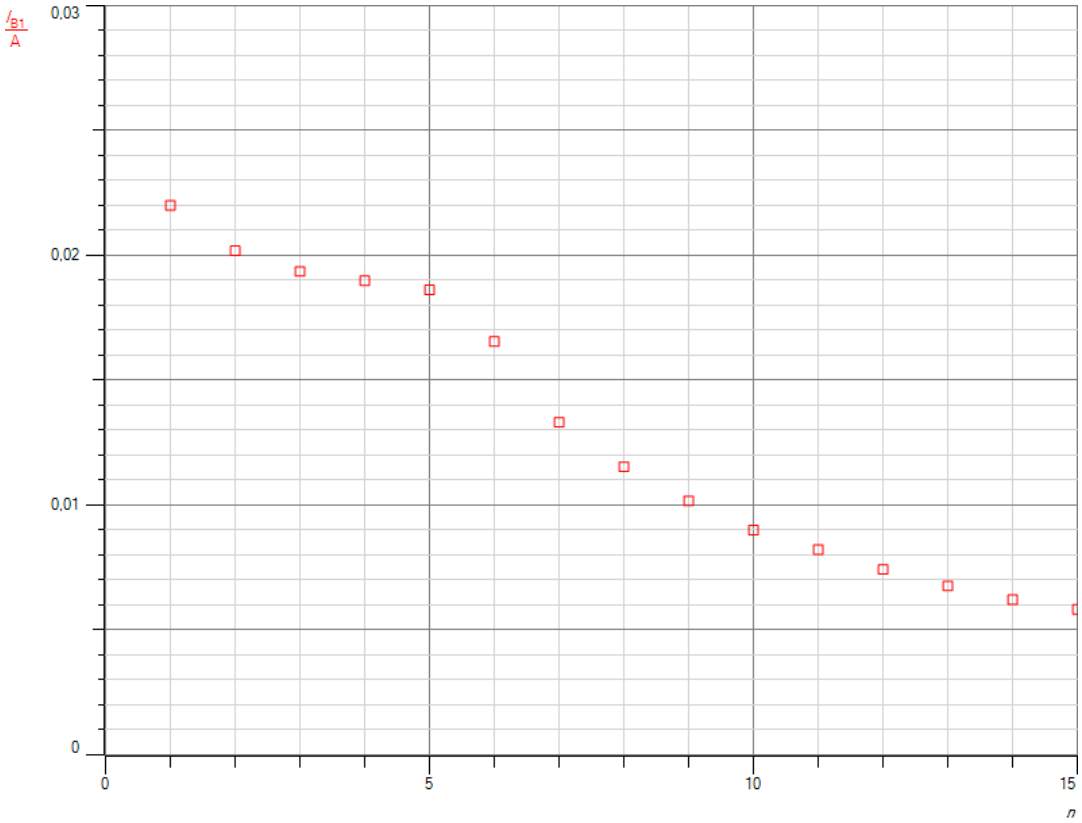


Abb. 2: I(n)-Messkurve

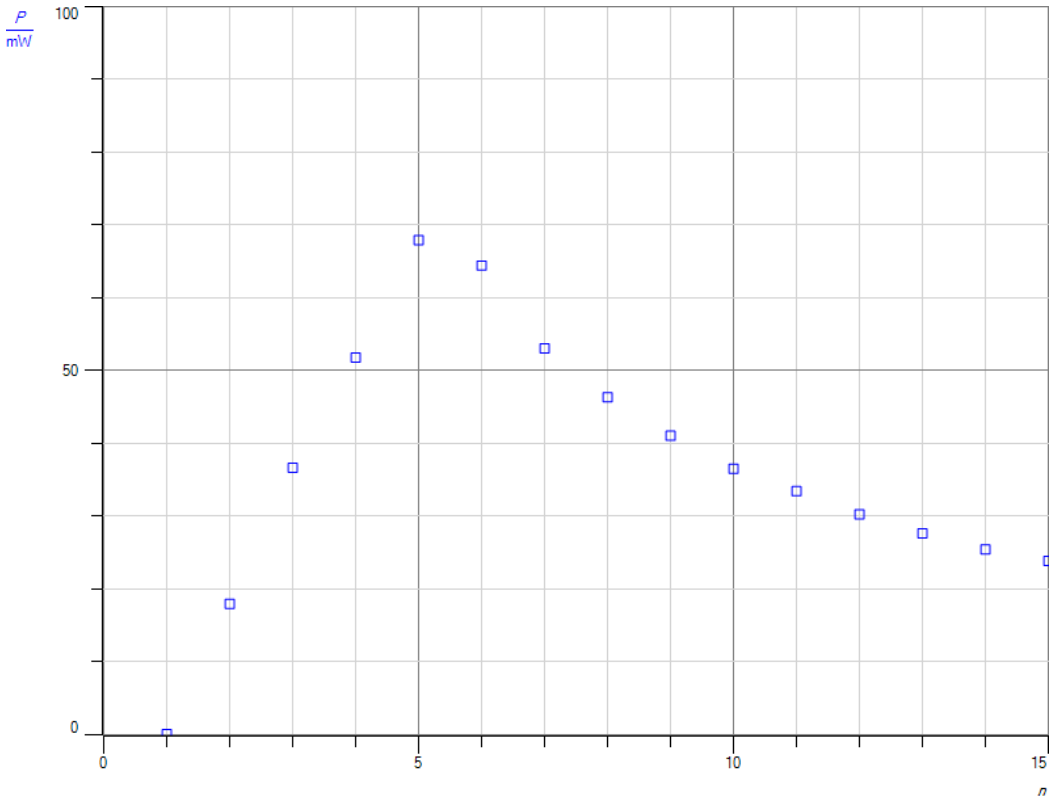


Abb. 3: P(n)-Messkurve

Auswertung

a. Die Stromstärke sinkt in zwei Stufen, die Spannung steigt am Anfang gleichmäßig an und geht dann in einen konstanten Endwert über. Die Leistung P durchläuft ein Maximum bei n = 5 und damit bei R ≈ 200 Ω. Da sie als Produkt aus Spannung U und Stromstärke I definiert ist, nimmt sie am Anfang vor allem aufgrund der steigenden Spannung zu. Nach ihrem Maximum fällt sie ab, da die Stromstärke sinkt.

b. Bei Parallelschaltung von Solarzellen ist die Gesamtspannung gleich der Spannung einer Zelle, der Strom steigt dagegen proportional zur Zahl der Zellen an. Bei Reihenschaltung addieren sich die Einzelspannungen zur Gesamtspannung, die Stromstärke ist in allen Zellen gleich. Da jeweils 8 Zellen in Reihe geschaltet sind und man eine Gesamtleerlaufspannung U_L = 4,38 V misst, beträgt die Leerspannung U_1 einer Zelle

$$\mathrm{U}_1 = \frac{4{,}38V}{8} = 0{,}55\mathrm{V}.$$

c. Die benötigte Formel lautet:

$$R = (n-1) * 50\Omega.$$

Man erhält das Diagramm in Abb. 4.

d. Den Leerlaufstrom kann man aus der Messkurve an der Stelle ablesen, an der der Messwiderstand R = 0 beträgt. Man erhält I_L = 0,022 A. Zusammen mit der Leerlaufspannung ergibt sich für den Innenwiderstand R_i des Moduls

$$R_i = \frac{4{,}38V}{0{,}022A} = 200\Omega.$$

d. Die entnehmbare Leistung ist dann am größten, wenn der Belastungswiderstand genau so groß ist wie der Innenwiderstand der Zelle. Das entspricht, wie man der Messkurve entnehmen kann, dem Punkt der Strom- bzw. Spannungskurve, an dem die Spannung fast die Leerlaufspannung erreicht hat, aber der Strom noch nicht allzu stark abgefallen ist.

e. Solarzellen können nicht leer werden wie eine galvanische Zelle. Sie können allenfalls kaputt gehen. Mit der Zeit nimmt ihre Leistung allerdings ab. Bei Solarzellen auf Dächern ist sie nach zwanzig Jahren unter die Hälfte gesunken. Sie liefern nur dann elektrische Energie, wenn sie mit Licht beschienen werden. Ihre Leistung hängt stark von der Intensität des Lichtes ab, wie der folgende Versuch 2 zeigt. Sie setzen keine Abgase frei wie Kohlekraftwerke. Und die Entsorgung ist weit weniger problematisch wie bei Atommüll, weil sie überwiegend aus Silizium bestehen.

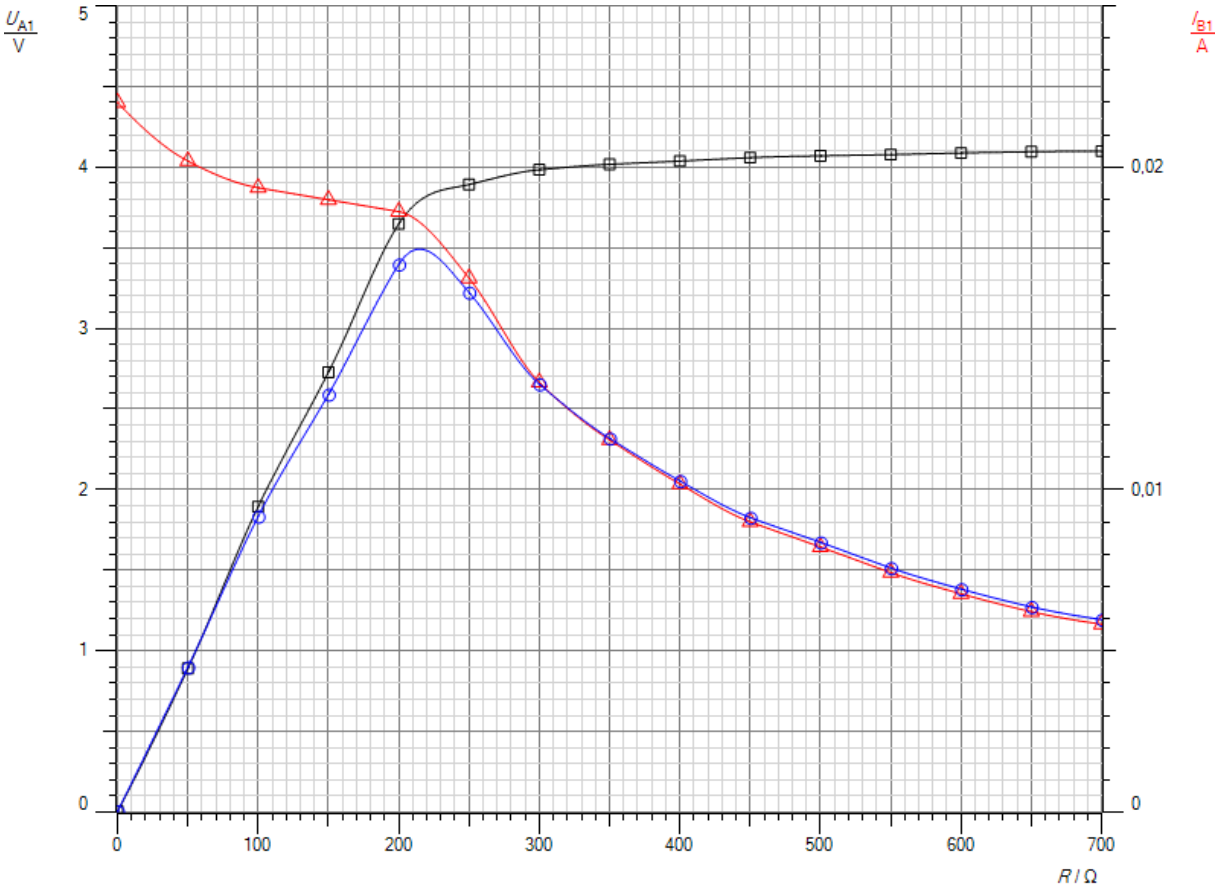
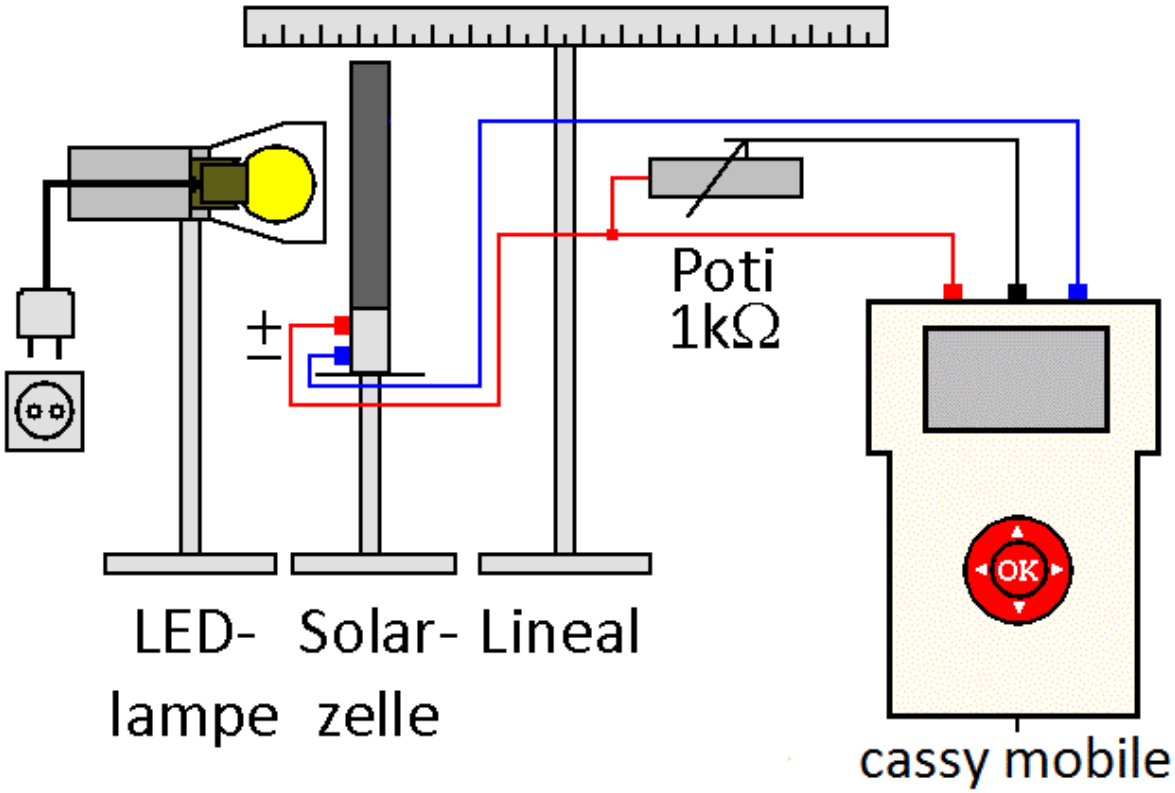


Abb. 4: U(R)-, I(R), P(R)-Diagramm

Versuch 2



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Solarzelle2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als Lichtquelle eine Schreibtischlampe mit einer LED-Birne mit den Daten 6 W, 470 lm, E 14.
3. Verschieben Sie das Lineal, bis sich der Nullpunkt auf Höhe des Überganges zwischen Porzellanfassung und Glashülle der Lampe befindet. Dort sitzen die LEDs. Stellen Sie die Solarzelle in einer Entfernung r = 5 cm vor der Lampe auf.
4. Drehen Sie das Potentiometer auf R = 200 Ω. Drücken Sie die O.K.-Taste, um den Messwert zu speichern.
5. Erhöhen Sie den Abstand der Solarzelle zur Lampe in Schritten von $\Delta r = 5$ cm bis auf $r = 30$ cm. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte durch Drücken der O.K.-Taste.
6. Speichern Sie die Messkurven.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie die Messkurven.
b. Laden Sie die Messwerte ins Programm cassy lab 2. Erstellen Sie im Programm eine Formel, mit der Sie die Nummer des Messwertes in die Entfernung r zwischen Lampe und Luxmeter umrechnen können. Erzeugen Sie ein P(r)- Diagramm.
c. Wählen Sie im Kontextmenü „Anpassung durchführen“ die Option „Hyperbel $1/x^2$“. Markieren Sie die Messwerte mit der Maus. Das Programm berechnet die Hyperbel durch die Messwerte und stellt das Ergebnis links unten in der Statuszeile dar.
d. Deuten Sie das Ergebnis.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven.

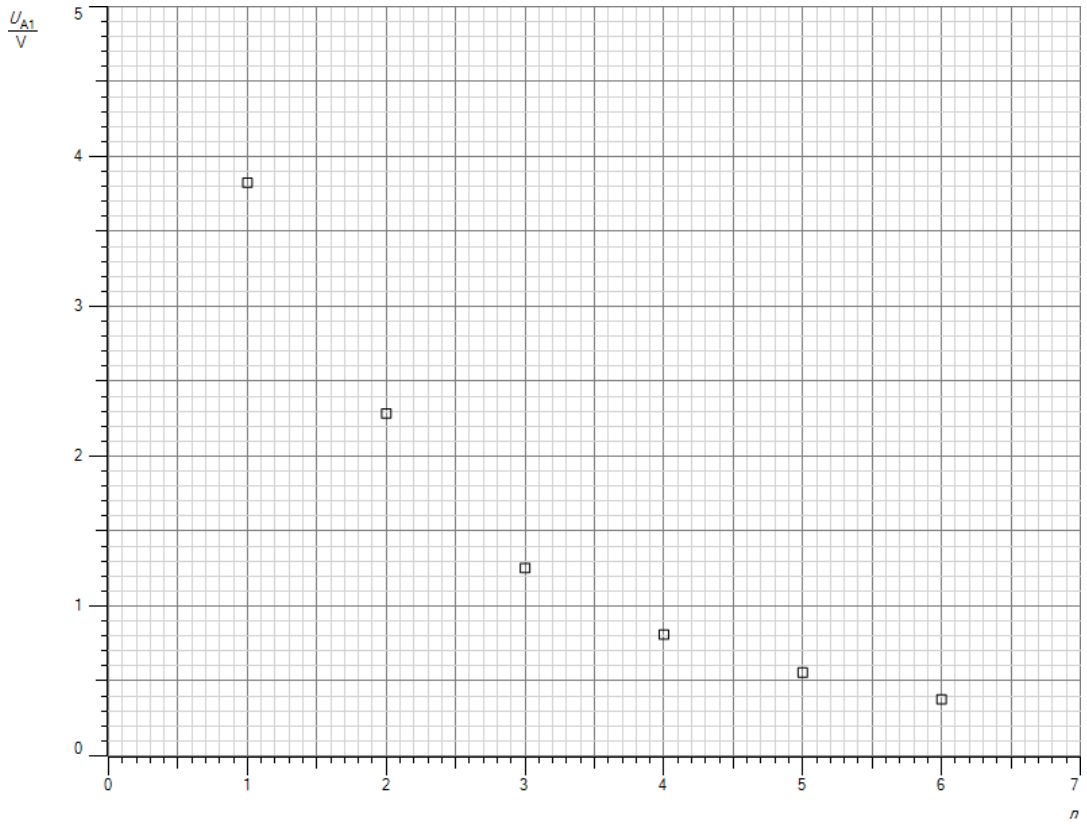


Abb.1: U(n)-Messkurve

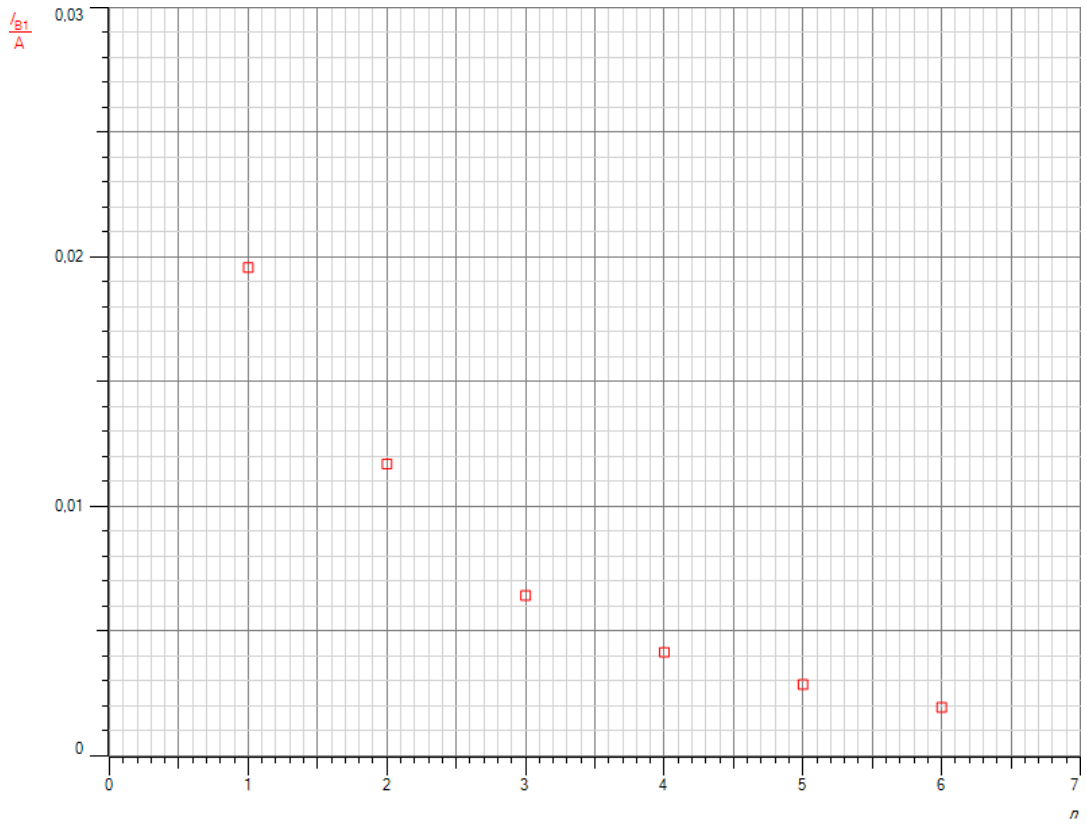


Abb.2: I(n)-Messkurven

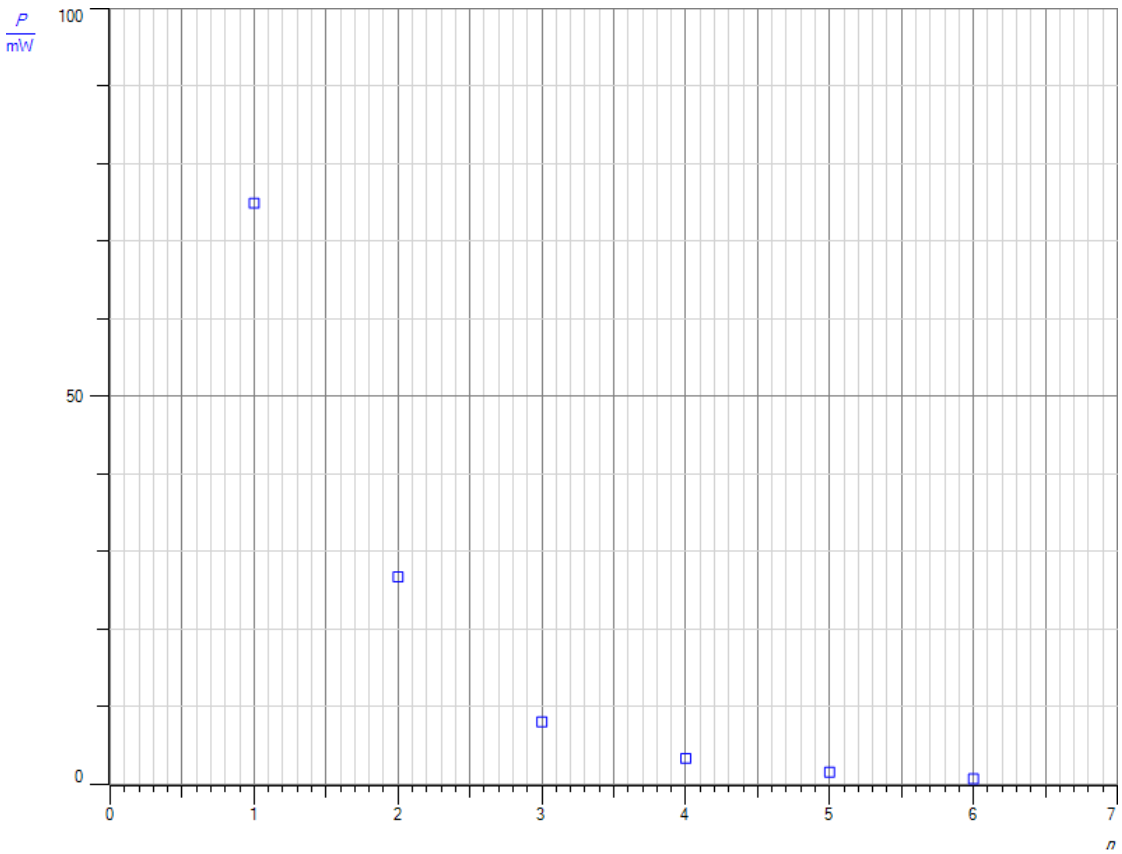


Abb.3: P(n)-Diagramm

Auswertung

a. Spannung und Stromstärke nehmen rasch mit dem Abstand r zwischen Lampe und Solarzelle ab, da die Beleuchtungsstärke quadratisch mit r sinkt (s. Leuchtstärke). Die Leistung fällt schneller ab, da sie das Produkt aus Spannung und Stromstärke ist.

b. Die benötigte Formel lautet:

$$r = n * 5cm$$

Man erhält das Diagramm in Abb. 4.

c. Das Programm errechnet folgende Formel für die Ausgleichskurve.

$$\mathrm{P(r)} = \frac{1900\mathrm{mW} * \mathrm{cm}^2}{\mathrm{r}^2} + 0{,}3\mathrm{mW}.$$

d. Die Leistung nimmt näherungsweise mit dem Quadrat der Entfernung ab. Allerdings weichen einige Messwerte mehr oder weniger stark von der theoretischen Kurve ab. Die Fläche der Solarzelle ist mit A = 82,5 cm^2 recht groß. Daher wird sie nicht in allen Entfernungen gleichmäßig ausgeleuchtet.

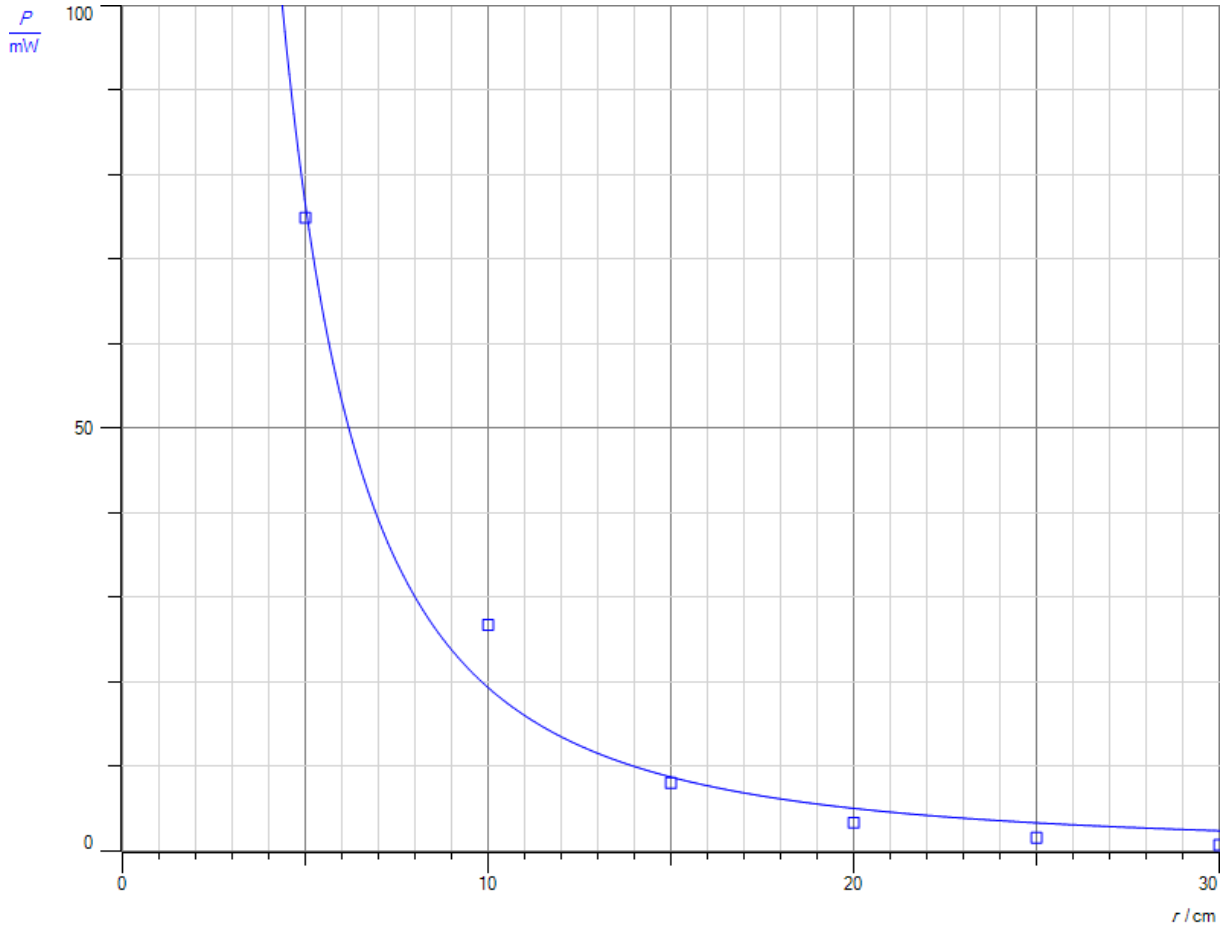
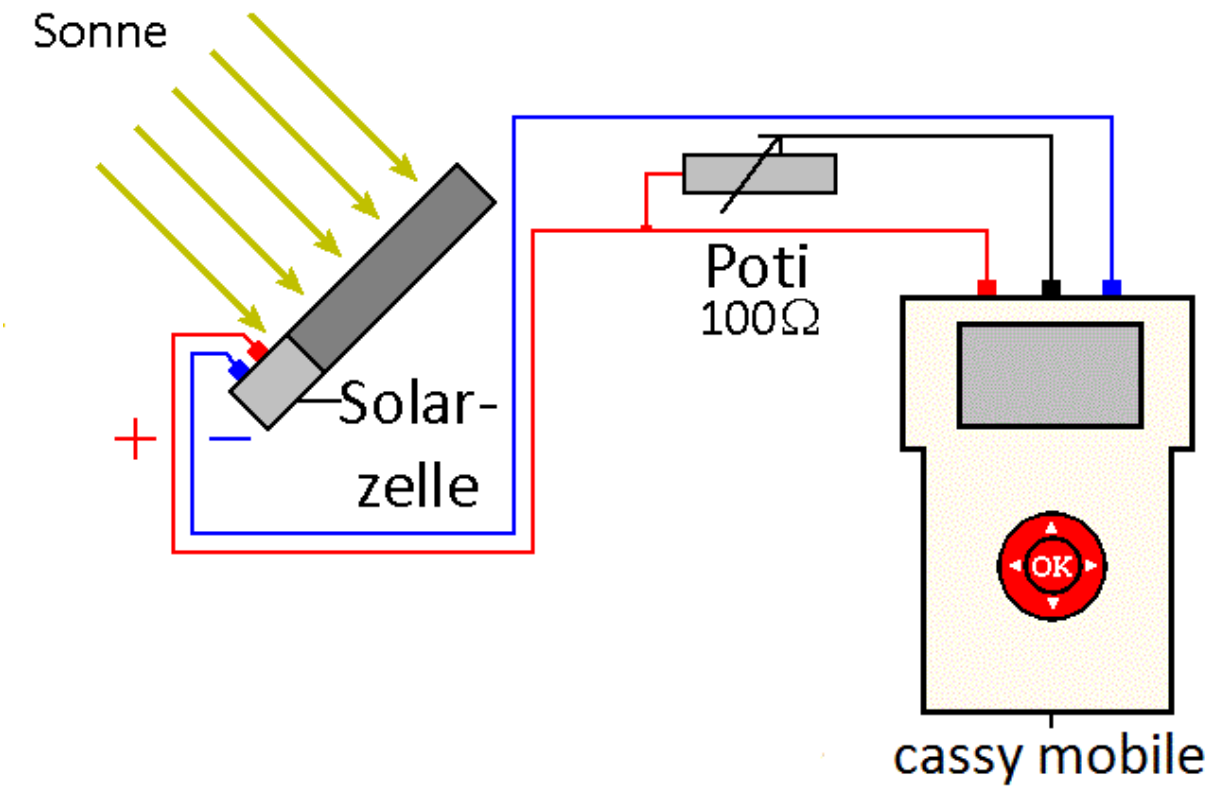


Abb.4: P(r)-Diagramm

Versuch 3



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Solarzelle3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Richten Sie die Solarzelle so aus, dass sie senkrecht zur Sonneneinstrahlung steht.
3. Drehen Sie das Potentiometer auf R_1= 0 Ω. Drücken Sie die O.K.-Taste, um den Messwert zu speichern.
4. Erhöhen Sie den Widerstand R des Potentiometers in Schritten ΔR = 10 Ω bis auf R_2 = 100 Ω. Speichern Sie nach jedem Schritt die Messwerte durch Drücken der O.K.-Taste.
5. Speichern Sie die Messkurven.
6. Entfernen Sie das Potentiometer aus der Schaltung und messen sie die Leerlaufspannung. Notieren Sie sich den Wert.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie die Messkurven. Beachten Sie bei Ihren Überlegungen, dass die Solarzelle einen Innenwiderstand R_i besitzt.
b. Berechnen Sie aus der Leerlaufspannung die Spannung, die eine Solarzelle liefert. Das Solarmodul besteht aus insgesamt 16 Solarzellen, die in zwei parallelen Reihen zu je 8 Zellen angeordnet sind. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Wert aus Versuch 1.
c. Laden Sie die Messwerte ins Programm cassy lab 2. Erstellen Sie eine Formel, mit der Sie die Nummer n der Messung in den Widerstand umrechnen können. Erzeugen Sie ein U(R), I(R)- und ein P(R)-Diagramm.
d. Ermitteln Sie aus den Messkurven den Leerlaufstrom. Berechnen Sie aus der Leerlaufspannung und dem Leerlaufstrom den Innenwiderstand des Moduls.
e. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Wert aus Versuch 1. Erklären Sie.
f. Erläutern, welche Bedeutung der Innenwiderstand für die gemessene Leistung hat.
g. Berechnen Sie den Wirkungsgrad der verwendeten Solarzelle. Sie hat eine Fläche $A = 0{,}007\ m^2$. Die Solarkonstante beträgt bei optimaler Sonneneinstrahlung $S = 1\ kW/m^2$.
h. Diskutieren Sie, welche Vor- und Nachteile Solarzellen haben.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurven.

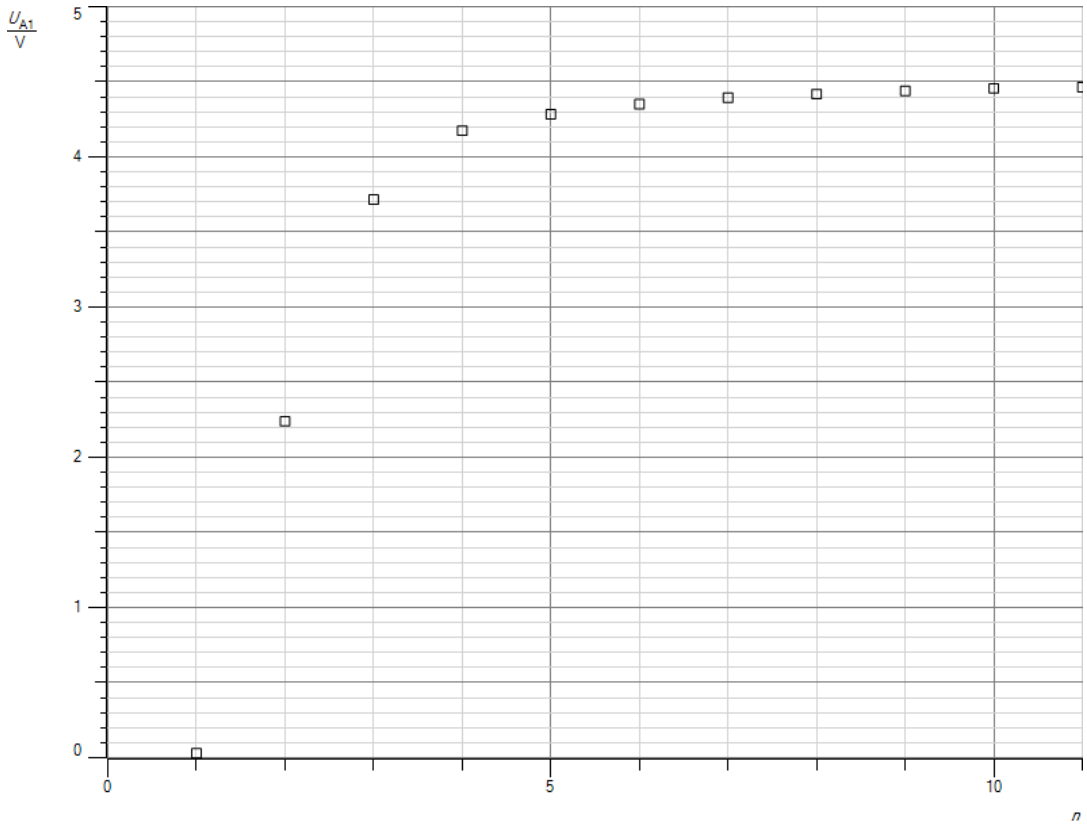


Abb.1: U(n)-Diagramm

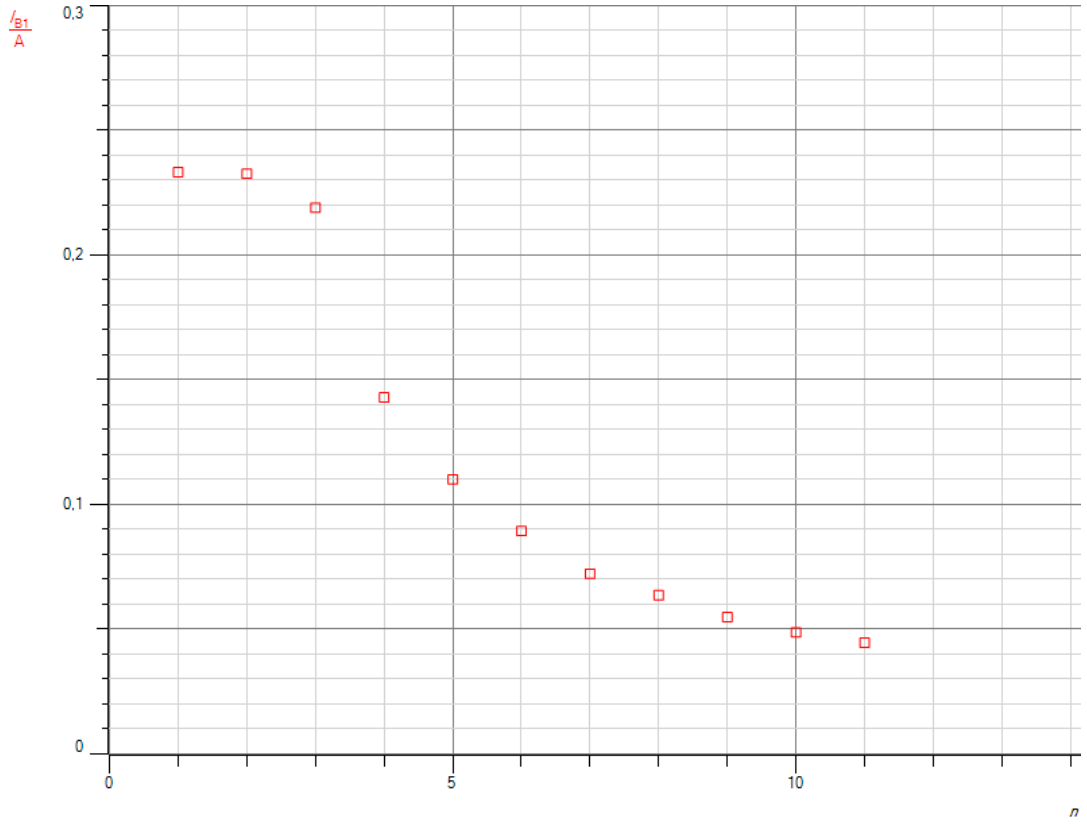


Abb.2: I(n)-Diagramm

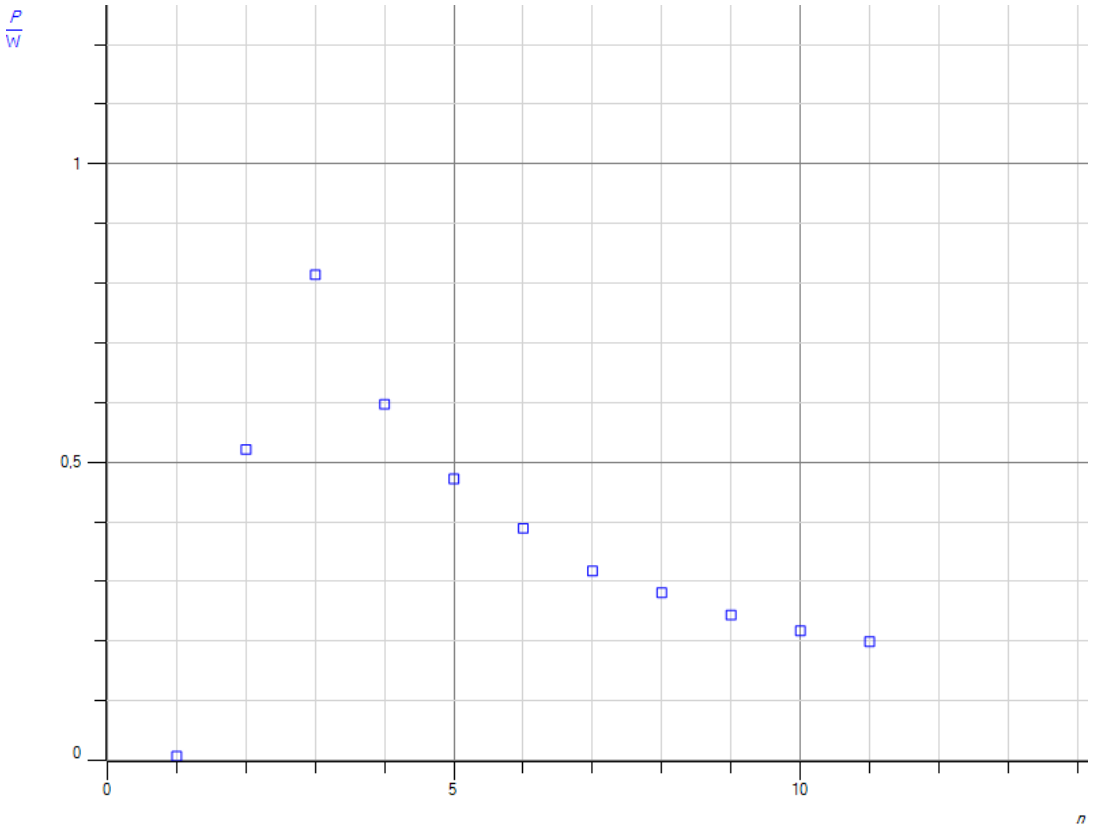


Abb.3: P(n)-Diagramm

Auswertung

b. Die Stromstärke sinkt in einer Stufe, die Spannung steigt am Anfang gleichmäßig an und geht dann in einen konstanten Endwert über. Die Leistung P durchläuft ein Maximum bei n = 3 und damit bei R ≈ 20 Ω. Da sie als Produkt aus Spannung U und Stromstärke I definiert ist, nimmt sie am Anfang vor allem aufgrund der steigenden Spannung zu. Nach ihrem Maximum fällt sie ab, da die Stromstärke sinkt.

c. Bei Parallelschaltung von Solarzellen ist die Gesamtspannung gleich der Spannung einer Zelle, der Strom steigt dagegen proportional zur Zahl der Zellen an. Bei Reihenschaltung addieren sich die Einzelspannungen zur Gesamtspannung, die Stromstärke ist in allen Zellen gleich. Da jeweils 8 Zellen in Reihe geschaltet sind und man eine Gesamtleerlaufspannung U_L = 4,8 V misst, beträgt die Leerspannung U_1 einer Zelle

$$U_1 = \frac{4{,}8V}{8} = 0{,}6\text{V}.$$

Sie ist etwa 10% höher als in Versuch 1, in dem die Solarzelle nur mit einer Schreibtischlampe beleuchtet wurde.

d. Die benötigte Formel lautet:

$$R = (n-1) * 10\Omega.$$

Man erhält das Diagramm in Abb. 4.

e. Den Leerlaufstrom kann man aus der Messkurve an der Stelle ablesen, an der der Messwiderstand R = 0 beträgt. Man erhält I_L = 0,233 A. Zusammen mit der Leer-

laufspannung ergibt sich für den Innenwiderstand R_i des Moduls

$$R_i = \frac{4{,}8V}{0{,}233A} = 20{,}6\Omega.$$

e. Der Innenwiderstand ist rund 10mal kleiner als in Versuch 1, in dem die Solarzelle mit einer Schreibtischlampe beleuchtet wurde. Er hängt von der Beleuchtungsstärke ab. Je höher sie ist, umso mehr bewegliche Ladungsträger werden in der Solarzelle freigesetzt und umso geringer ist der Innenwiderstand.

f. Die entnehmbare Leistung ist dann am größten, wenn der Belastungswiderstand genau so groß ist wie der Innenwiderstand der Zelle. Das entspricht, wie man der Messkurve entnehmen kann, dem Punkt der Strom- bzw. Spannungskurve, an dem die Spannung fast die Leerlaufspannung erreicht hat, aber der Strom noch nicht allzu stark abgefallen ist.

g. Die maximale Leistung der Solarzelle beträgt P_{max} = 0,812 W. Auf die Fläche der Solarzelle strahlt die Sonne eine Leistung

$$P_{Sonne} = S * A = 1000W/m^2 * 0{,}007m^2 = 7W.$$

Damit erhält man für den Wirkungsgrad

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{Sonne}} * 100\% = \frac{0{,}812W}{7W} * 100\% = 11{,}6\%.$$

h. Solarzellen können nicht leer werden wie eine galvanische Zelle. Sie können allenfalls kaputt gehen. Mit der Zeit nimmt ihre Leistung allerdings ab. Bei Solarzellen auf Dächern ist sie nach zwanzig Jahren unter die Hälfte gesunken. Sie liefern nur dann elektrische Energie, wenn sie mit Licht beschienen werden. Ihre Leistung hängt stark von der Intensität des Lichtes ab, wie Versuch 2 zeigt. Sie setzen keine Abgase frei wie Kohlekraftwerke. Und die Entsorgung ist weit weniger problematisch wie bei Atommüll, weil sie überwiegend aus Silizium bestehen.

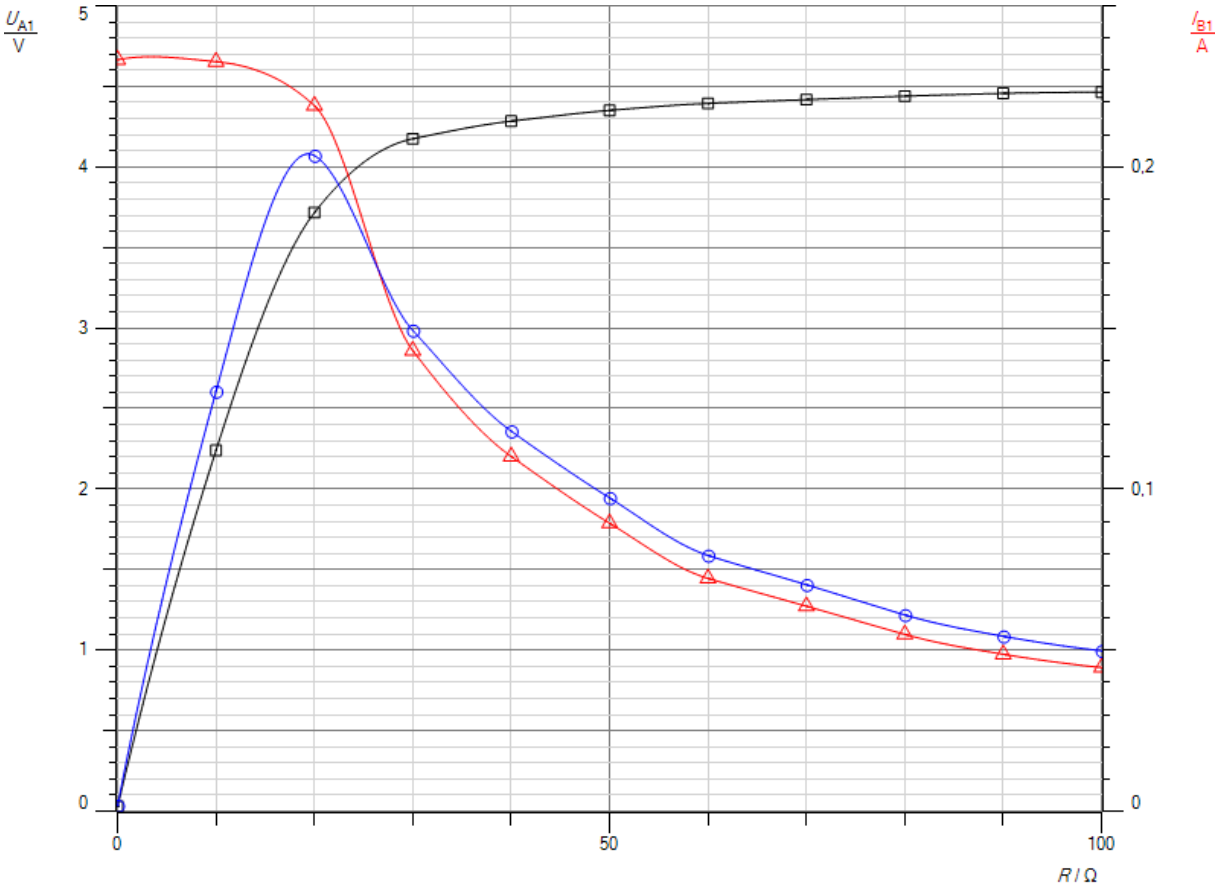
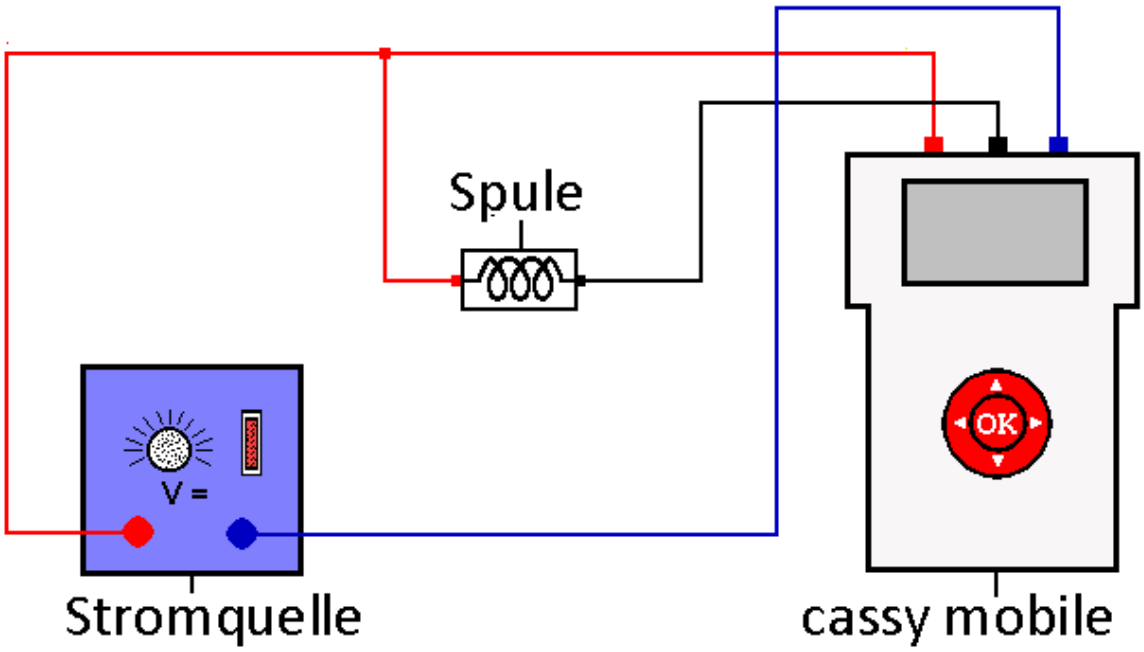


Abb.4: U(R), I(R)- und P(R)-Diagramm

Spule

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Spule1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. zunächst mit einer Spule mit n = 1000 Windungen und der Gleichspannungsquelle auf.
3. Stellen Sie eine Spannung von U = 2V ein.
4. Lesen Sie U und I ab und notieren Sie sich die Werte.
5. Stecken Sie einen Eisenkern in die Spule und wiederholen Sie die Messung. Wiederholen Sie beide Messungen für die Spule mit n = 500 Windungen.
6. Ersetzen Sie die Gleichspannungsquelle durch eine Wechselspannungsquelle. Schalten Sie in cassy mobile die Spannungs- und Strommessung auf Effektivwerte (AC) um.
7. Benutzen Sie zunächst die Spule mit n = 500 Windungen. Legen Sie eine Spannung von U = 2 V an.
8. Lesen Sie U, I, P und cosφ ab und notieren Sie sich die Werte.
9. Stecken Sie einen Eisenkern in die Spule und wiederholen Sie die Messung. Führen Sie beide Messungen für die Spule mit n = 1000 Windungen durch.

Aufgaben

a. Berechnen Sie aus den Messwerten für alle vier Messungen den Ohmschen Widerstand R, die Impedanz Z, den induktiven Widerstand R_L, die Induktivität L, die Phasenverschiebung φ zwischen U und I, die Scheinleistung P_S, die Wirkleistung P_W und die Blindleistung P_B.
b. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den Angaben auf den Spulen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messwerte:

Spule: n = 1000 Wdg
Gleichspannung mit und ohne Eisenkern: U = 2V, I = 0,205A
Wechselspannung ohne Eisenkern: U_{eff} = 2V, I_{eff} = 0,136A, cosφ = 0,66
Wechselspannung mit Eisenkern: U_{eff} = 2V, I_{eff} = 0,028A, cosφ = 0,145

Spule: n = 500 Wdg
Gleichspannung mit und ohne Eisenkern: U = 2V, I = 0,83A
Wechselspannung ohne Eisenkern: U_{eff} = 2V, I_{eff} = 0,556A, cosφ = 0,66
Wechselspannung mit Eisenkern: U_{eff} = 2V, I_{eff} = 0,111A, cosφ = 0,145

Auswertung
a. Für die Spule mit n = 1000 Windungen erhält man folgende Ergebnisse.
Spule ohne Eisenkern
Ohmscher Widerstand R, Impedanz Z, induktiver Widerstand R_L

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2V}{0{,}205A} = 9{,}8\Omega$$

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2V}{0{,}136A} = 14{,}7\Omega$$

$$R_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(14{,}7\Omega)^2 - (9{,}8\Omega)^2} = 10{,}96\Omega$$

Induktivität L, Phasenverschiebung φ

$$L = \frac{R_L}{2\pi f} = \frac{10{,}96\Omega}{2\pi * 50Hz} = 34{,}9mH$$

$$\varphi = cos^{-1}(0{,}66) = 48{,}7°$$

Scheinleistung P_S, Wirkleistung P_W, Blindleistung P_B

$$P_S = U_{eff} * I_{eff} = 2V * 0{,}136A = 0{,}276W$$

$$P_W = U_{eff} * I_{eff} * cos\,\varphi = 0{,}276W * 0{,}66 = 0{,}182W$$

$$P_B = \sqrt{P_S^2 - P_W^2} = \sqrt{(0{,}276W)^2 - (0{,}182W)^2} = 0{,}207W$$

Spule mit Eisenkern

Ohmscher Widerstand R, Impedanz Z, induktiver Widerstand R_L

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2V}{0{,}205A} = 9{,}8\Omega$$

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2V}{0{,}028A} = 71{,}42\Omega$$

$$R_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(71{,}42\Omega)^2 - (9{,}8\Omega)^2} = 70{,}75\Omega$$

Induktivität L, Phasenverschiebung φ

$$L = \frac{R_L}{2\pi f} = \frac{70{,}75\Omega}{2\pi * 50Hz} = 225mH$$

$$\varphi = cos^{-1}(\,0{,}145) = 81{,}7°$$

Scheinleistung P_S, Wirkleistung P_W, Blindleistung P_B

$$P_S = U_{eff} * I_{eff} = 2V * 0{,}028A = 0{,}056W$$

$$P_W = U_{eff} * I_{eff} * cos\,\varphi = 0{,}056W * 0{,}145 = 0{,}0081W$$

$$P_B = \sqrt{P_S^2 - P_W^2} = \sqrt{(0{,}056W)^2 - (0{,}0081W)^2} = 0{,}0554W$$

Für die Spule mit n = 500 Windungen erhält man folgende Ergebnisse.

Spule ohne Eisenkern

Ohmscher Widerstand R, Impedanz Z, induktiver Widerstand R_L

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2V}{0{,}83A} = 2{,}4\Omega$$

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2V}{0{,}556A} = 3{,}6\Omega$$

$$R_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(3{,}6\Omega)^2 - (2{,}4\Omega)^2} = 2{,}68\Omega$$

Induktivität L, Phasenverschiebung φ

$$L = \frac{R_L}{2\pi f} = \frac{2{,}68\Omega}{2\pi * 50Hz} = 8{,}5mH$$

$$\varphi = cos^{-1}(0{,}66) = 48{,}7°$$

Scheinleistung P_S, Wirkleistung P_W, Blindleistung P_B

$$P_S = U_{eff} * I_{eff} = 2V * 0{,}556A = 1{,}112W$$

$$P_W = U_{eff} * I_{eff} * cos\,\varphi = 1{,}112W * 0{,}66 = 0{,}734W$$

$$P_B = \sqrt{P_S^2 - P_W^2} = \sqrt{(1{,}112W)^2 - (0{,}734W)^2} = 0{,}835W$$

Spule mit Eisenkern

Ohmscher Widerstand R, Impedanz Z, induktiver Widerstand R_L

$$R = \frac{U}{I} = \frac{2V}{0{,}205A} = 9{,}8\Omega$$

$$Z = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{2V}{0{,}111A} = 18{,}02\Omega$$

$$R_L = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{(18{,}02\Omega)^2 - (9{,}8\Omega)^2} = 15{,}12\Omega$$

Induktivität L, Phasenverschiebung φ

$$L = \frac{R_L}{2\pi f} = \frac{15{,}12\Omega}{2\pi * 50Hz} = 48{,}2mH$$

$$\varphi = cos^{-1}(0{,}145) = 81{,}7°$$

Scheinleistung P_S, Wirkleistung P_W, Blindleistung P_B

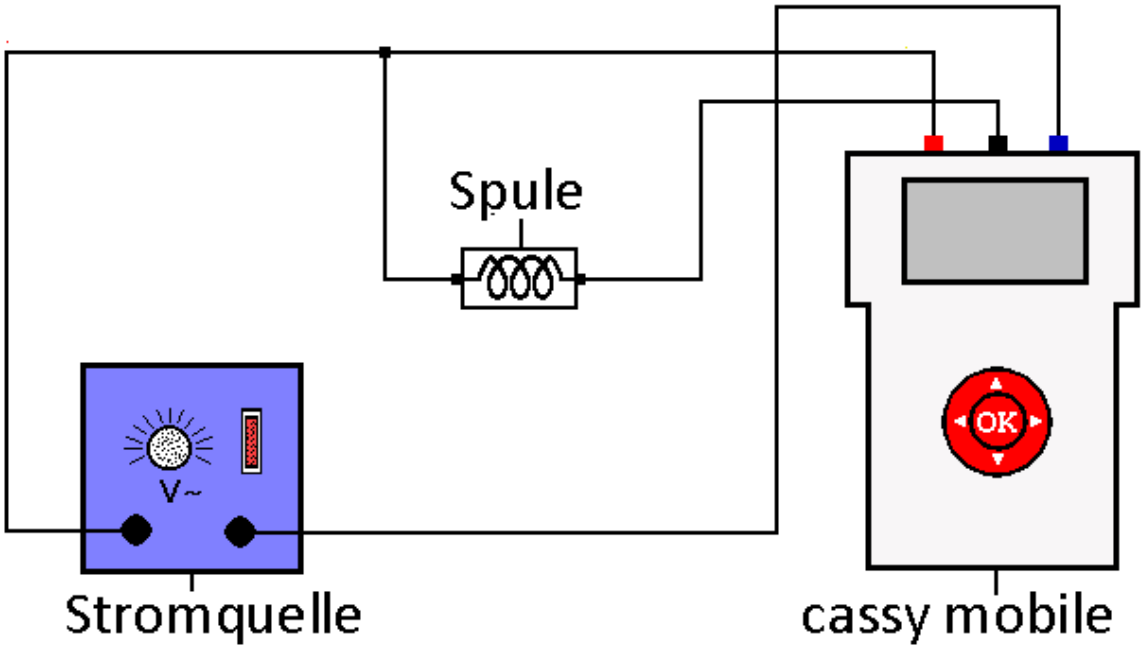
$$P_S = U_{eff} * I_{eff} = 2V * 0{,}111A = 0{,}222W$$

$$P_W = U_{eff} * I_{eff} * cos\,\varphi = 0{,}222W * 0{,}145 = 0{,}032W$$

$$P_B = \sqrt{P_S^2 - P_W^2} = \sqrt{(0{,}222W)^2 - (0{,}032W)^2} = 0{,}22W$$

b. Die Ergebnisse für den Ohmschen Widerstand R und die Induktivität L stimmen gut mit den Angaben auf den Spulen überein.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Spule2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. mit der großen Leybold-Spule mit n = 1000 Windungen auf.
3. Stellen Sie eine Spannung von U = 5 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet. Speichern Sie die Messwerte.
5. Stecken Sie den Eisenkern in die Spule und wiederholen Sie die Messung. Speichern Sie die Messwerte.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
b. Ermitteln Sie aus den Kurven U_{max}, I_{max} und φ.
c. Berechnen Sie die Impedanz Z, die Scheinleistung P_S, die Wirkleistung P_W und die Blindleistung P_B.
d. Vergleichen Sie die Ergebnisse der Messungen mit und ohne Eisenkern und erklären Sie.
e. Erstellen Sie für beide Messungen I(U) und P(U)-Diagramme und interpretieren Sie sie.
f. Laden Sie beide Dateien ins Programm cassy lab 2. Definieren Sie die Größe Energie als zeitliches Integral der Leistung. Passen Sie den Maßstab der Energiekurve an und deuten Sie sie für beide Spulen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

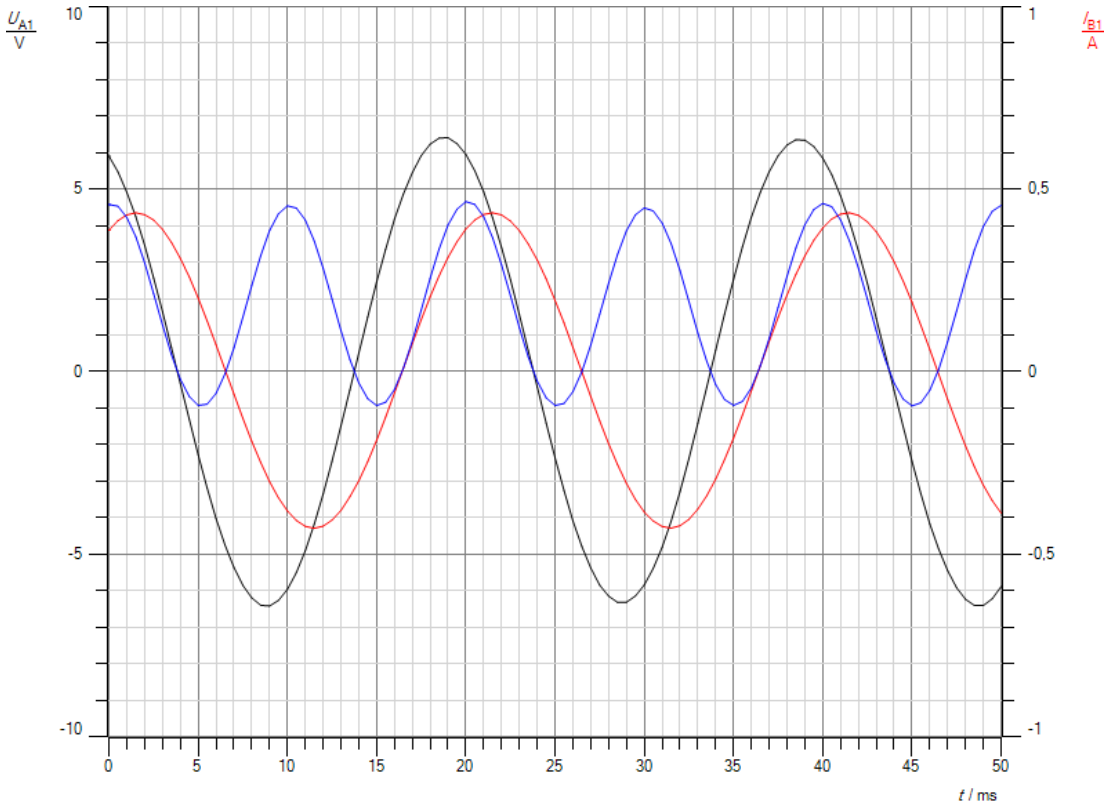


Abb.1: U(t), I(t) und P(t)-Diagramm für eine Spule ohne Eisenkern

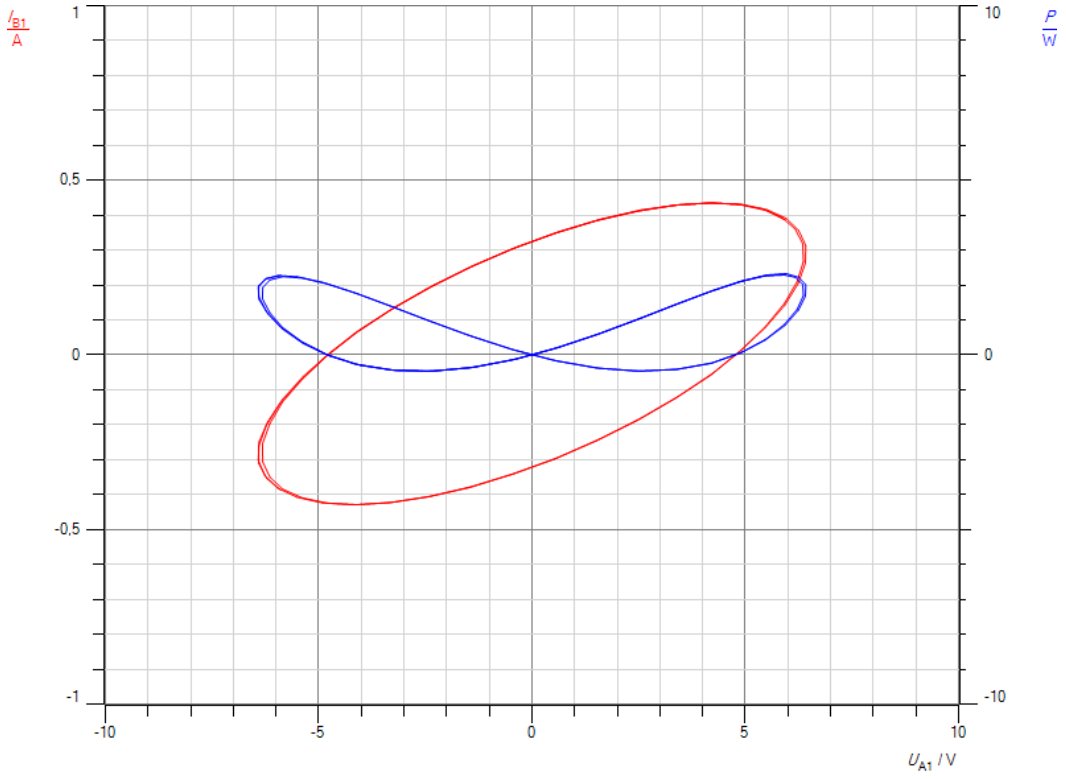


Abb 2: I(U) und P(U)-Diagramm für eine Spule ohne Eisenkern

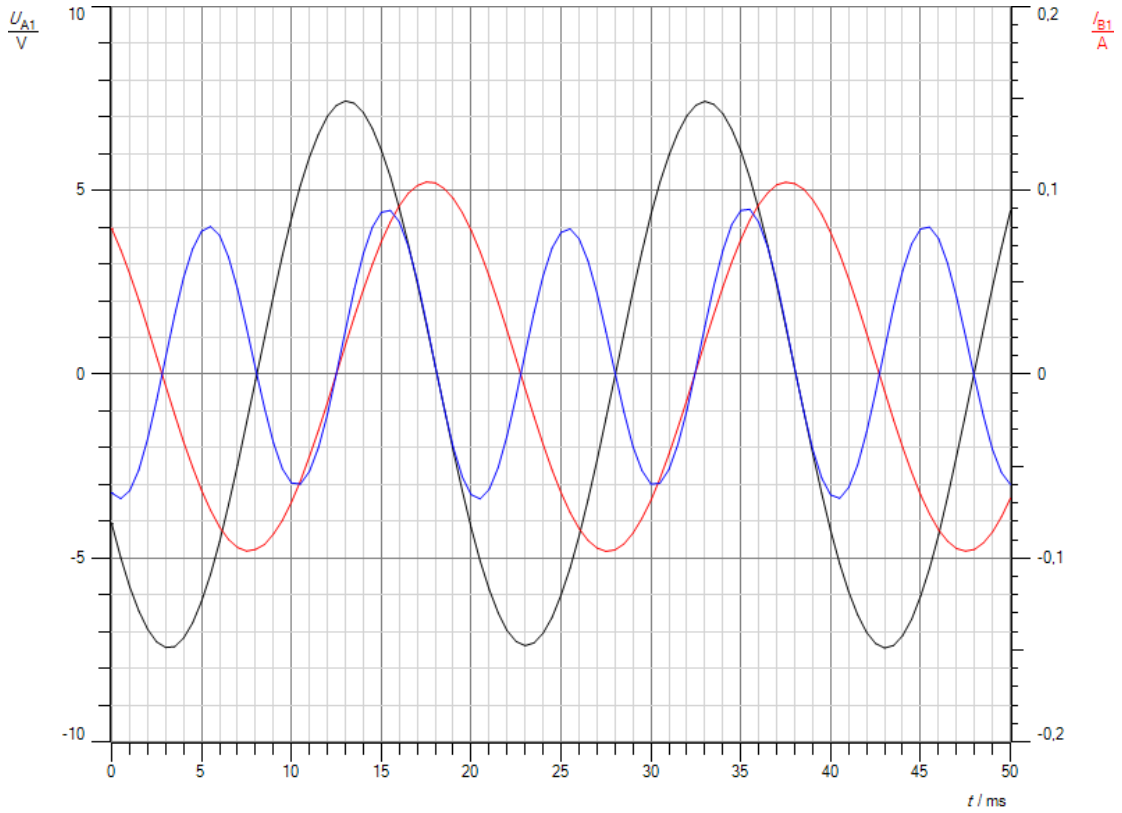


Abb.3: U(t), I(t) und P(t)-Diagramm für eine Spule mit Eisenkern

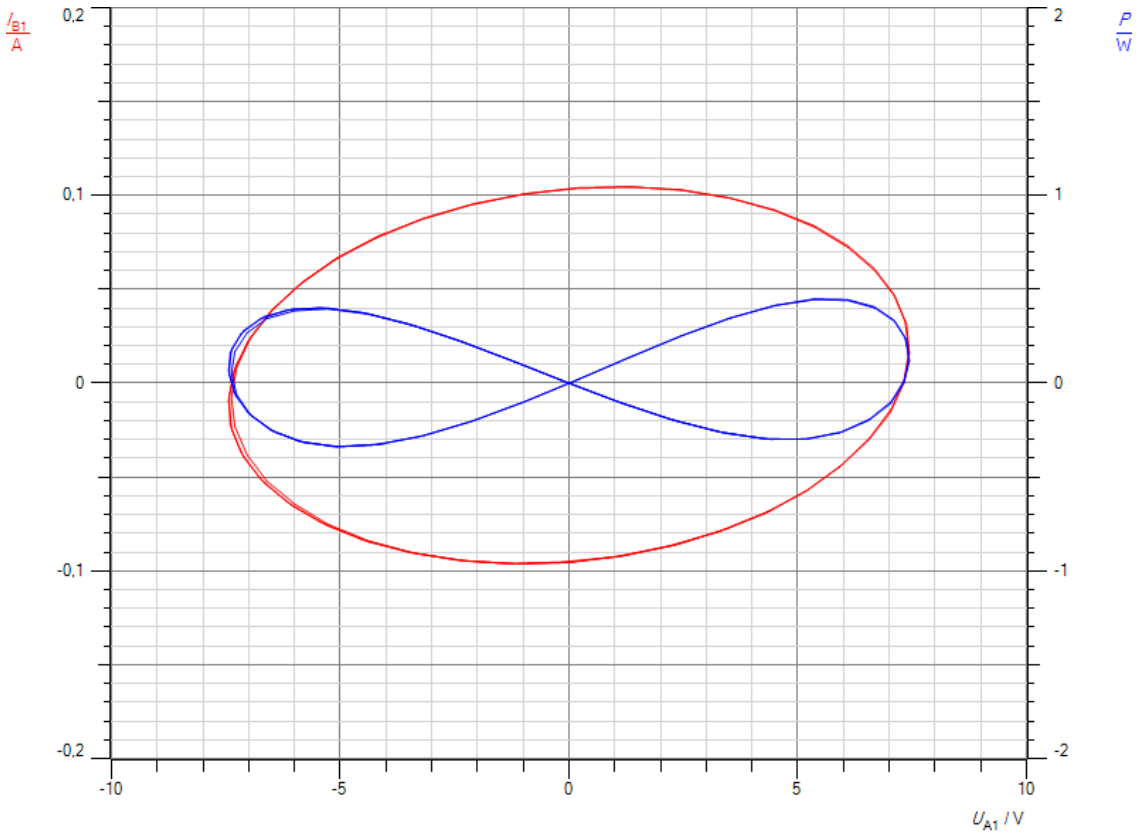


Abb.4: I(U) und P(U)-Diagramm für eine Spule mit Eisenkern

Auswertung

a. Bei den Kurven mit und ohne Eisenkern eilt stets die Spannung dem Strom voraus, beim Versuch mit Eisenkern mehr als beim Versuch ohne Eisenkern. Beim Versuch ohne Eisenkern liegt die Leistung zu einem großen Teil im positiven Bereich, beim Versuch mit Eisenkern etwa symmetrisch zum Nulldurchgang, wobei der positive Bereich leicht überwiegt. Ohne Eisenkern sind der Ohmsche Widerstand und der induktive Widerstand etwa gleich groß. Damit ergibt sich zwischen U und I eine Phasenverschiebung von etwa 45°. Mit Eisenkern ist der induktive Widerstand deutlich größer als der Ohmsche Widerstand, die Phasenverschiebung nähert sich 90°.
   Beim Versuch ohne Eisenkern sind die Wirkleistung und die Blindleistung etwa gleich groß, da Ohmscher und induktiver Widerstand etwa den gleichen Wert haben. Mit Eisenkern überwiegt die Blindleistung, da der induktive Widerstand weit größer ist als der Ohmsche Widerstand.

b. Aus den Diagrammen liest man ab:
   ohne Eisenkern:

$$U_{max} = 6{,}4V$$
$$U(14ms) = 0V$$
$$I_{max} = 0{,}43A$$
$$I(14ms) = 0{,}3A.$$

   Damit erhält man für die Phasenverschiebung φ

$$\varphi = sin^{-1}\left(\frac{0{,}3A}{0{,}43A}\right) = 44{,}2°.$$

   mit Eisenkern:

$$U_{max} = 7{,}4V$$
$$U(8ms) = 0V$$
$$I_{max} = 0{,}1A$$
$$I(8ms) = 0{,}099A.$$

   Damit erhält man für die Phasenverschiebung φ

$$\varphi = sin^{-1}\left(\frac{0{,}099A}{0{,}1A}\right) = 81{,}9°.$$

c. Mit den Werten aus Teilaufgabe b gilt:

ohne Eisenkern

$$Z = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \frac{6{,}4V}{0{,}43A} = 14{,}9\Omega.$$

$$P_S = U_{eff} * I_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} * \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 4{,}53V * 0{,}304A$$

$$= 1{,}377W$$

$$P_W = U_{eff} * I_{eff} * cos\varphi = 4{,}53V * 0{,}304A * cos(44{,}2°)$$

$$= 0{,}987W$$

$$P_B = U_{eff} * I_{eff} * sin\varphi = 4{,}53V * 0{,}304A * sin(44{,}2°)$$

$$= 0{,}960W.$$

mit Eisenkern

$$Z = \frac{U_{max}}{I_{max}} = \frac{7{,}4V}{0{,}1A} = 74\Omega.$$

$$P_S = U_{eff} * I_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} * \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 5{,}23V * 0{,}0707A$$

$$= 0{,}37W$$

$$P_W = U_{eff} * I_{eff} * cos\varphi = 5{,}23V * 0{,}0707A * cos\, 81{,}9°$$

$$= 0{,}052W$$

$$P_B = U_{eff} * I_{eff} * sin\varphi = 5{,}23V * 0{,}0707A * sin(81{,}9°)$$

$$= 0{,}366W.$$

d. Ohne Eisenkern beträgt die Phasenverschiebung zwischen U und I etwa 45°. Ohmscher und induktiver Widerstand sind etwa gleich groß, ebenso die Wirkleistung und die Blindleistung. Mit Eisenkern nähert sich die Phasenverschiebung 90°, da der induktive Widerstand überwiegt. Gleiches gilt für die Blindleistung im Vergleich zur Wirkleistung. Es bestätigen sich die qualitativen Überlegungen aus Teilaufgabe a.
e. Abb. 2 zeigt die Diagramme für die Spule ohne Eisenkern, Abb. 4 mit Eisenkern. Auch diese Diagramme bestätigen die Überlegungen zum Verhältnis von induktivem und Ohmschen Widerstand bzw. zur Blind- und Wirkleistung. Mit Eisenkern liegt die Hauptachse der I(U)-Ellipse fast auf der horizontalen Achse, zwischen U und I besteht eine Phasenverschiebung von fast 90°, ohne ist sie gegen die horizontale Achse geneigt aufgrund der kleineren Phasenverschiebung von etwa 45°. Mit Eisenkern liegt das P(U)-Diagramm fast

symmetrisch zur horizontalen Achse, positive und negative Anteile gleichen sich fast aus. Ohne Eisenkern überwiegen die positiven Anteile. Die Spule entnimmt aus der Spannungsquelle deutlich mehr Energie auf als sie zurückgibt und wandelt sie in Wärme um. Bei der Spule mit Eisenkern ist die aufgenommene Energie insgesamt sehr viel geringer, da adie Stromstärke sehr viel kleiner ist. Außerdem wird ein Teil in der negativen Halbwelle wieder an die Spannungsquelle zurückgegeben.

f. Dass die Deutung aus Teilaufgabe e richtig ist, zeigen die violetten Energiekurven in den Abb. 5 und 6, die man mit cassy lab 2 erstellen kann. Man kann die Energiemessung auch bereits bei der Aufnahme der Kurve aktivieren. Allerdings ist die Auflösung für die Energie in cassy mobile bei kleinen Energien nicht besonders gut. Die Eigenschaft von Spulen in einem Wechselstromkreis den Strom im Gegensatz zu einem Ohmschen Widerstand fast ohne Wärmeverluste zu reduzieren, wird in der Elektronik häufig genutzt. Man spricht von Drosselspulen. Hinzu kommt eine Filterwirkung, da sie hohe Frequenzen stärker drosseln als niedere Frequenzen, weil der induktive Widerstand umso größer ist, je höher die Frequenz ist.

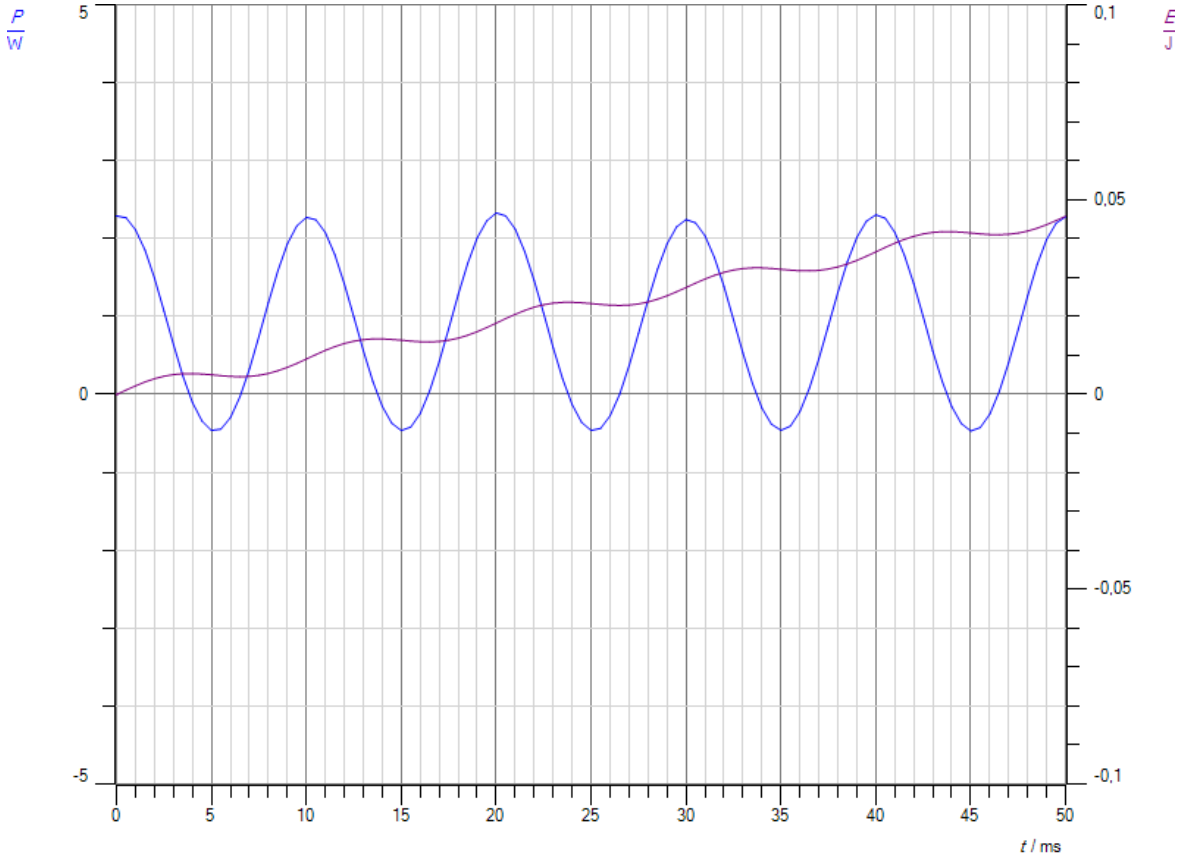


Abb. 5: Energiekurve ohne Eisenkern

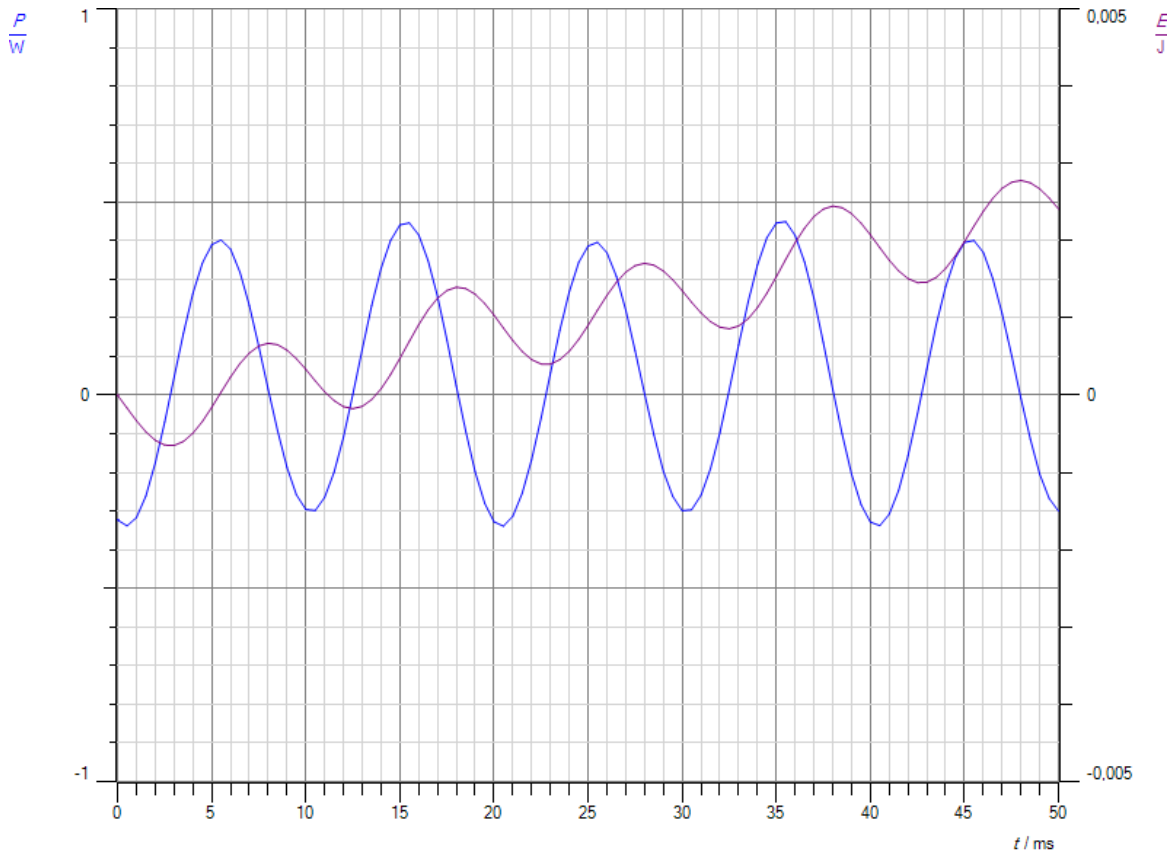
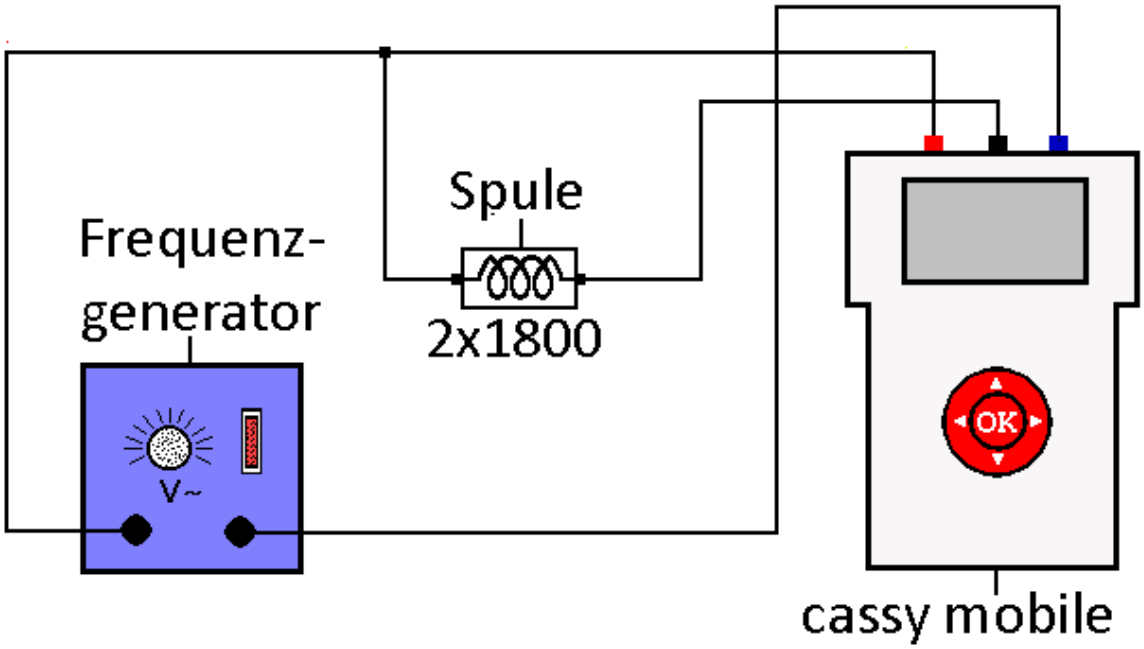


Abb.6: Energiekurve mit Eisenkern

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Spule3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Stellen Sie den Frequenzgenerator auf Rechteckspannung mit einer Frequenz f = 50 Hz und einer Spannung U = 8 - 9 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet.
5. Betrachten Sie die erhaltene Kurve. Regulieren Sie den Offset am Frequenzgenerator so lange nach, bis die Kurven für U und I komplett im positiven Bereich liegen.
6. Speichern Sie die Messwerte für die spätere Auswertung.
7. Wiederholen Sie den Versuch mit einem Eisenkern in der Spule.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
b. Ermitteln Sie aus der Kurve ohne Eisenkern U_{max}, I_{max} und die Halbwertszeit T_H für den Ausschaltvorgang.
c. Berechnen Sie den Ohmschen Widerstand R und die Induktivität L der Spule ohne Eisenkern. Überprüfen Sie die Werte mit einem Ohmmeter bzw. Henrymeter.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven

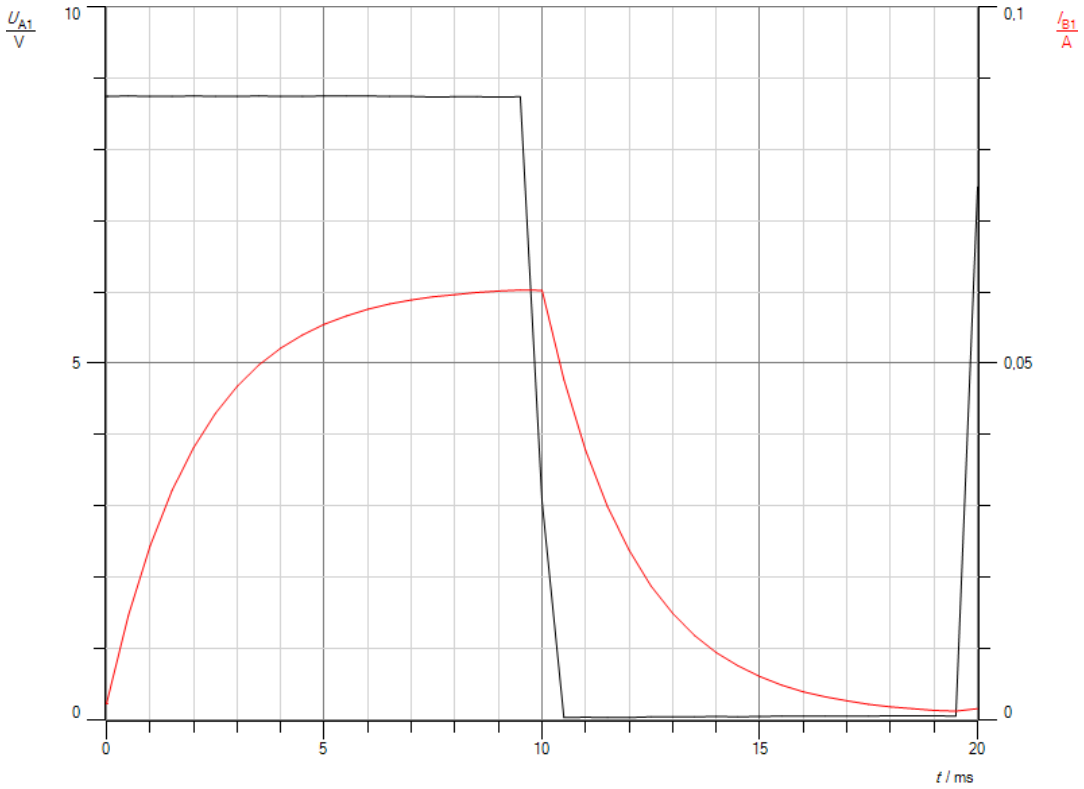


Abb.1: Einschaltvorgang Spule (2*1800) ohne Eisenkern

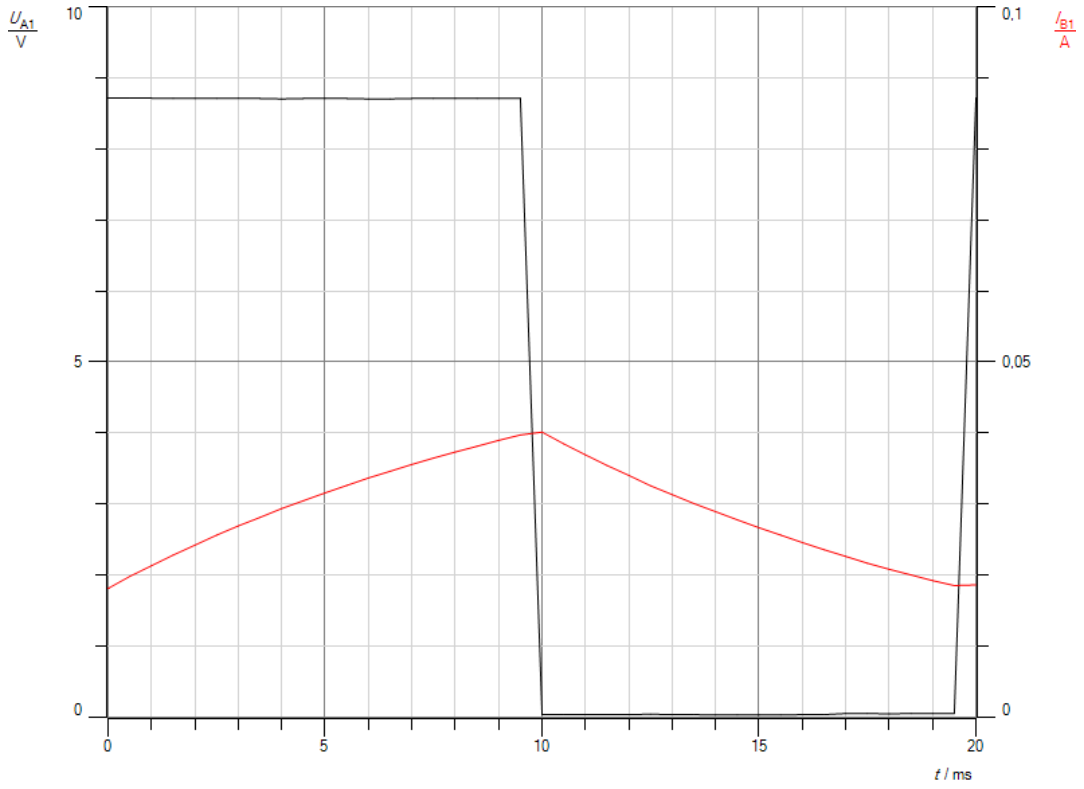


Abb.2: Einschaltvorgang Spule(2x1800) mit Eisenkern

Auswertung

a. An der Spule liegt stets die volle Betriebsspannung des Funktionsgenerators. Der Strom erreicht erst verzögert seinen Maximalwert wegen der Eigeninduktivität der Spule. Der Stromanstieg aufgrund der äußeren Spannung erzeugt ein sich änderndes Magnetfeld, das seinerseits eine Induktionsspannung induziert. Diese ist der von außen angelegten Spannung entgegengesetzt gerichtet. Die Differenz beider Spannungen treibt den Strom an. Mit Eisenkern steigt die Stromstärke deutlich langsamer an, da die Induktivität der Spule größer ist und damit die induzierte Gegenspannung.

b. Aus dem ersten Diagramm liest man ab:

$$U_{max} = 8{,}8V$$

$$I_{max} = 0{,}06A$$

$$T_H = 1{,}5ms.$$

c. Für den Ohmschen Widerstand gilt:

$$R = \frac{U_{max}}{I_{max}.} = \frac{8{,}8V}{0{,}06A} = 146{,}7\Omega$$

Die Formel für die Halbwertszeit lautet

$$T_H = \frac{L * ln\,2}{R}.$$

Löst man diese Gleichung nach L auf, so folgt:

$$L = \frac{R * T_H}{ln\,2} = 0{,}317H.$$

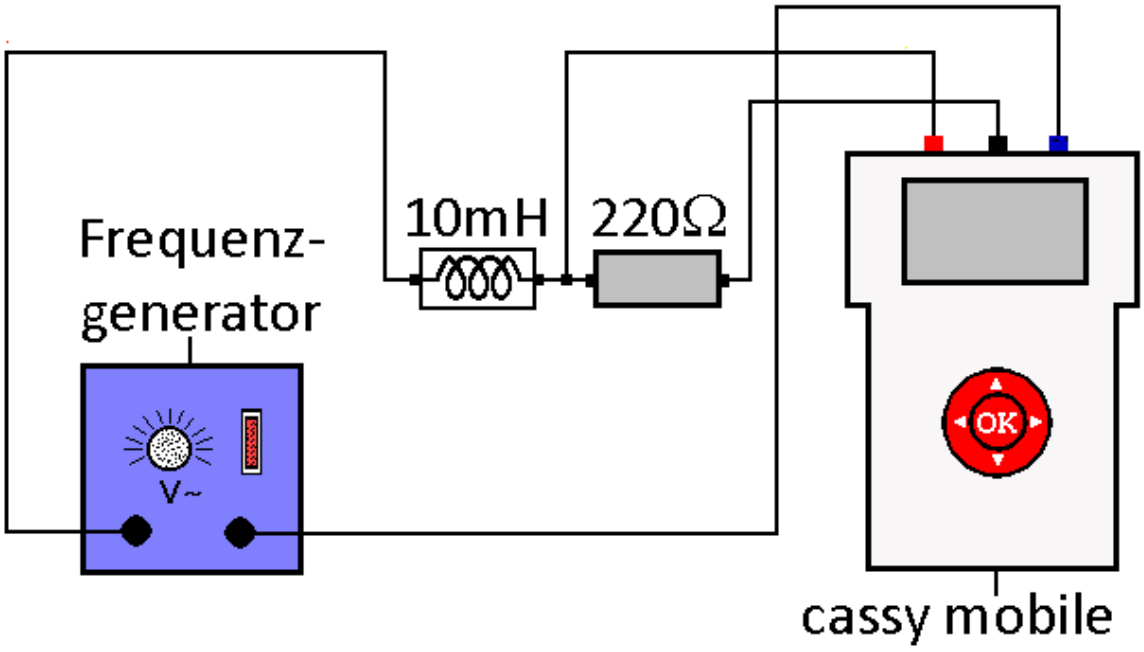
Mit einem Ohmmeter bzw. Henrymeter erhält man folgende Werte:

$$R = 143\Omega$$

$$L = 0{,}3H.$$

Für beide Größen stimmen die Ergebnisse beider Messungen sehr gut überein.

Versuch 4:
Für den Versuch benötigt man eine Hochstromdrossel mit wenigen Drahtwindungen und einem Ferritkern mit einer Induktivität L = 10 mH und einem Drahtwiderstand $R_D < 1\ \Omega$ sowie eine Niederstromdrossel mit L = 10 mH und $R_D = 100\ \Omega$. Beide sind im Elektronikhandel erhältlich. Als Ersatz für die Hochstromdrossel kann man auch die große Leybold-Spule mit n = 500 Windungen ohne Eisenkern benutzen.



Durchführung
1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Spule4.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. mit der Hochstromdrossel auf.
3. Stellen Sie den Frequenzgenerator auf Rechteckspannung mit einer Frequenz f ≈ 2200 Hz und einer Spannung U = 2-3 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach t = 1 ms beendet.
5. Speichern Sie die Messkurve für die spätere Auswertung.
6. Vertauschen Sie in der Schaltung die Induktivität und den Widerstand, so dass die Spannung an der Induktivität gemessen wird. Wiederholen Sie die Versuchsschritte 4 und 5.
7. Führen Sie beide Teilversuche mit der Niederstromdrossel durch. Speichern Sie beide Messkurven.

Aufgaben
a. Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
b. Erkundigen Sie sich im Physikbuch nach der Gleichung mit der man den Abfall der Stromstärke beim Ausschalten beschreiben kann. Leiten Sie daraus die Gleichungen für den Spannungsverlauf am Widerstand und an der Induktivität her.
c. Ermitteln Sie aus der Ausschaltkurve für beide Drosseln die Zeit T_e, in der der Strom auf den e-ten Teil sinkt, in dem Sie sie mit der Exponentialfunktion in cassy lab 2 auswerten.
d. Bestimmen Sie aus der Spannung- und der Stromstärkekurve den Vorwiderstand R und den Drahtwiderstand R_D der Niederstromdrossel.
e. Berechnen Sie aus dem Ohmschen Widerstand R und der Zeit T_e aus Teilaufgabe c die Induktivität L beider Spulen. Vergleichen Sie das Ergebnis mit den Angaben auf den Bauteilen.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurven:

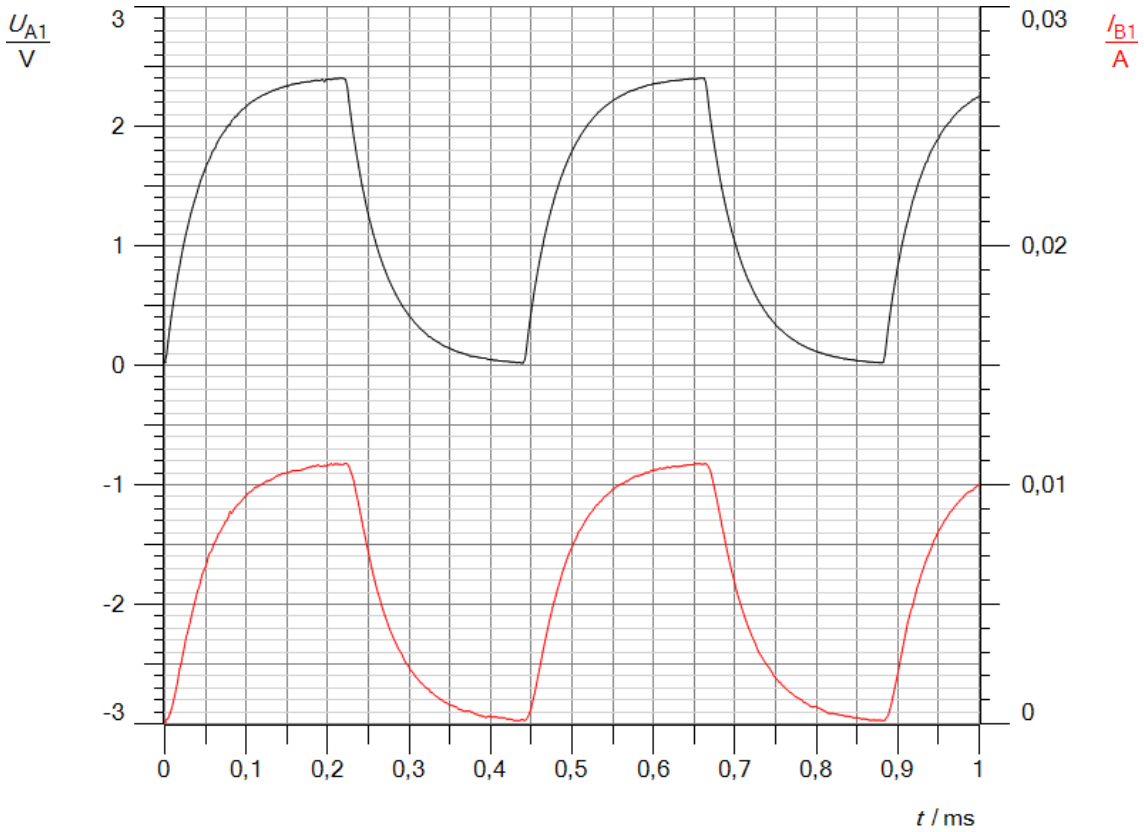


Abb.1a: Spannungsverlauf am Widerstand $U_R(t)$ für die Hochstromdrossel

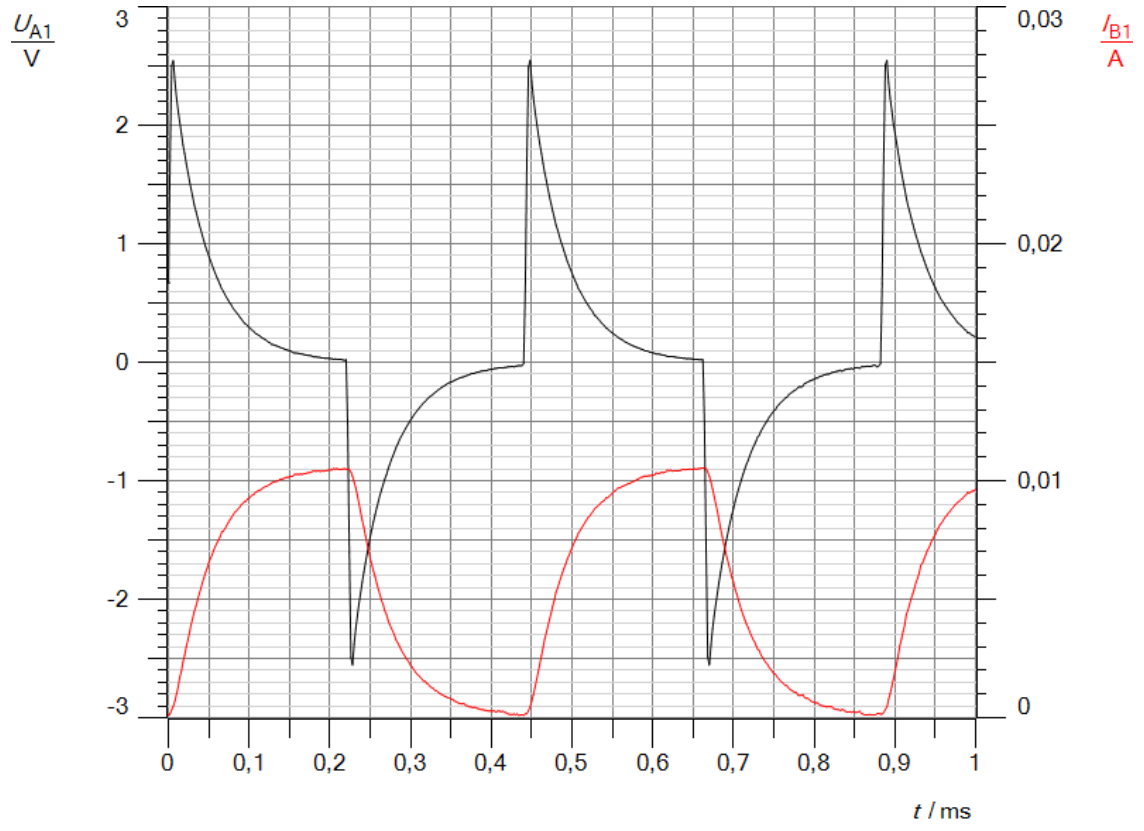


Abb.1b: Spannungsverlauf an der Drossel $U_L(t)$ für die Hochstromdrossel

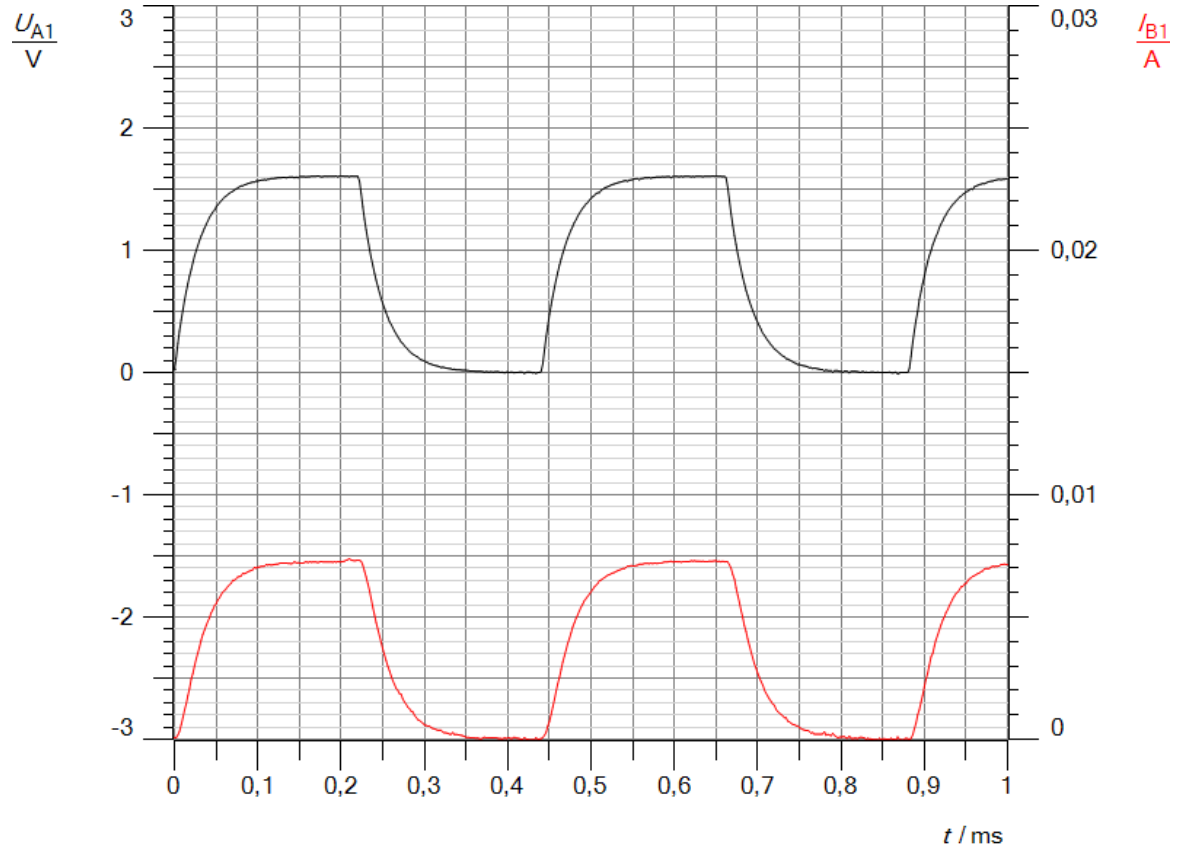


Abb.2a: Spannungsverlauf am Widerstand $U_R(t)$ für die Niederstromdrossel

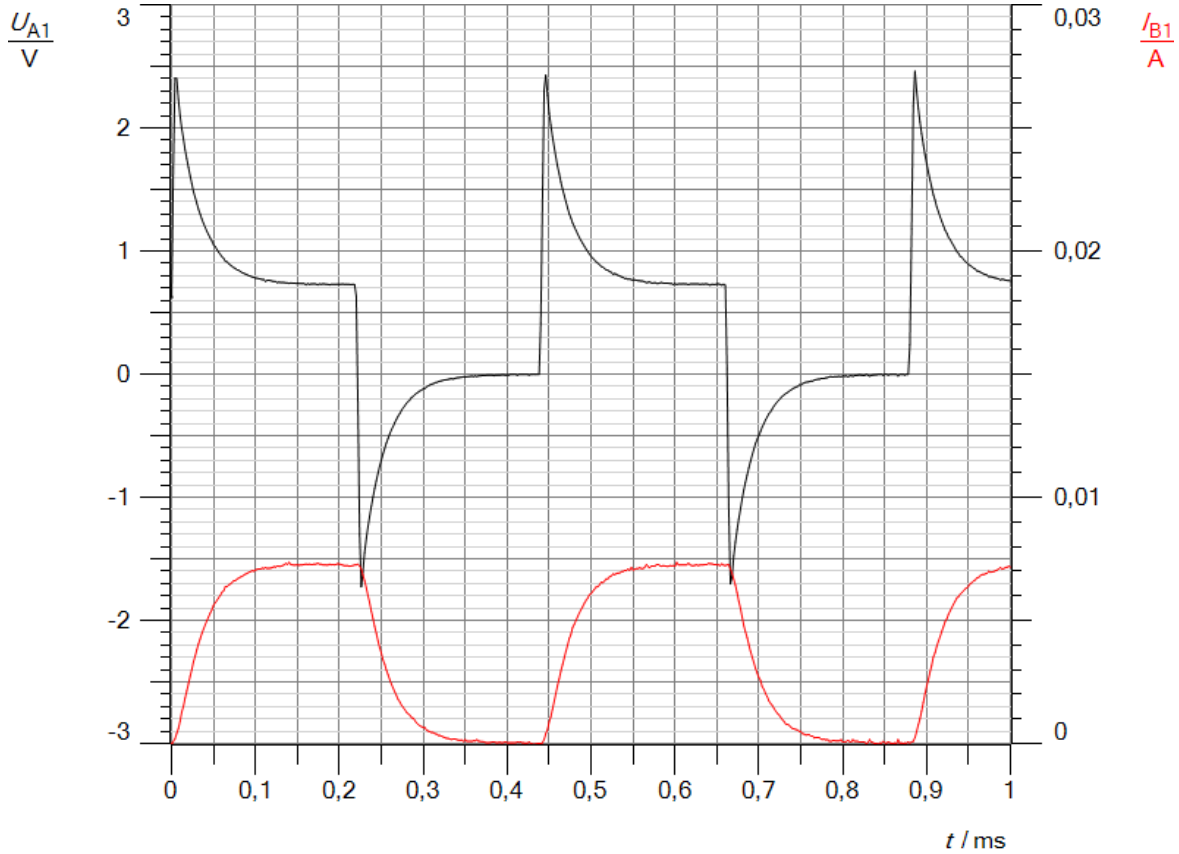


Abb.2b: Spannungsverlauf an der Drossel $U_L(t)$ für die Niederstromdrossel

Auswertung

a. Aus den Kurven 1a und 2a erkennt man, dass der Spannungsverlauf am Vorwiderstand R den gleichen Verlauf zeigt wie die Stromstärke I. Das entspricht der Aussage des Ohmschen Gesetzes, nach dem Spannung U und Stromstärke I an einem Ohmschen Widerstand stets in Phase und proportional zueinander sind. Zu Beginn des Einschaltvorganges ist der Strom null und folglich auch die Spannung U_R am Widerstand R. Die von außen angelegte Spannung U_0 wird an ihm durch die Selbstinduktionsspannung U_{ind} der Spule kompensiert. Die Spannung U_0 fällt vollständig an der Induktivität der Spule ab. Die Energie der Spannungsquelle wird benötigt, um das Magnetfeld aufzubauen. Steigt die Stromstärke, so nimmt die Spannung am Ohmschen Widerstand zu. Die Spannung U_L an der Induktivität sinkt, da die Summe aus beiden Spannungen in jedem Augenblick nach den Kirchhoffschen Gesetzen gleich der Spannung U_0 sein muss. Sie erreicht bei der Hochstromdrossel am Ende des Einschaltvorganges den Wert null, da die Drossel keinen nennenswerten Ohmschen Widerstand besitzt. Beim Ausschalten muss die Summe aus beiden stets null ergeben, da U_0 = 0 V gilt. Zu Beginn des Ausschaltvorganges fließt noch der gesamte Strom durch den Widerstand, an ihm fällt die Spannung U_0 ab. Sie wird durch die Selbstinduktionsspannung U_{ind} der Spule erzeugt. Damit die Summe aus U_R und U_L null ergibt, muss an der Spule eine negative Spannung U_L entstehen, deren Wert der Spannung U_R am Widerstand entspricht. Mit sinkender Stromstärke fallen beide ab und erreichen am Ende des Ausschaltvorganges den Wert $U_R = U_L = 0$ V. Besitzt die Spule selbst einen nicht zu vernachlässigenden Ohmschen Drahtwiderstand, so sinkt die Spannung U_L an ihr beim Einschaltvorgang nicht auf null. Die Spannung U_0 teilt sich nach den Gesetzen der Reihenschaltung auf beide Ohmschen Widerstände auf.

b. Der Verlauf der Stromstärke I(t) lässt sich beim Einschalten gemäß dem Selbstinduktionsgesetz mit der Gleichung

$$I(t) = I_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{L} * t\right)\right)$$

und beim Ausschalten mit der Gleichung

$$I(t) = I_0 * \exp\left(-\frac{R}{L} * t\right)$$

beschreiben. Damit erhält man mit dem Ohmschen Gesetz für den Spannungsverlauf am Ohmschen Widerstand für den Einschaltvorgang

$$U_R(t) = U_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{L} * t\right)\right)$$

und für den Ausschaltvorgang

$$U_R(t) = U_0 * \exp\left(-\frac{R}{L} * t\right).$$

Für die Spule ergibt sich für den Einschaltvorgang:

$$U_L(t) = U_0 - U_R(t) = U_0 * \exp\left(-\frac{R}{L} * t\right)$$

und beim Ausschalten

$$U_L(t) = 0 - U_R(t) = -U_0 * \exp\left(-\frac{R}{L} * t\right).$$

Die Gleichungen bestätigen die Kurvenverläufe der Messungen.

c. Für die Hochstromdrossel erhält man für die Zeit Te, in der der Strom auf den e-ten teil sinkt:

$$T_e = 0{,}047\ ms$$

und für die Niederstromdrossel

$$T_e = 0{,}032\ ms.$$

d. Für den Vorwiderstand R erhält man aus Abb. 1a:

$$R = \frac{2{,}39\ V}{0{,}01085\ A} = 220\ \Omega$$

und für den Drahtwiderstand R_{DN} der Niederstromdrossel aus Abb. 2b:

$$R_{DN} = \frac{0{,}729\ V}{0{,}00723\ A} = 101\ \Omega.$$

e. Für die Zeit Te gilt:

$$T_e = \frac{L}{R}$$

Und damit für L

$$L = R * T_e.$$

Setzt man die Werte ein, so erhält man für die Hochstromdrossel

$$\mathrm{L}_H = 220\ \Omega * 0{,}047\ \mathrm{ms} = 10{,}34\ \mathrm{mH}$$

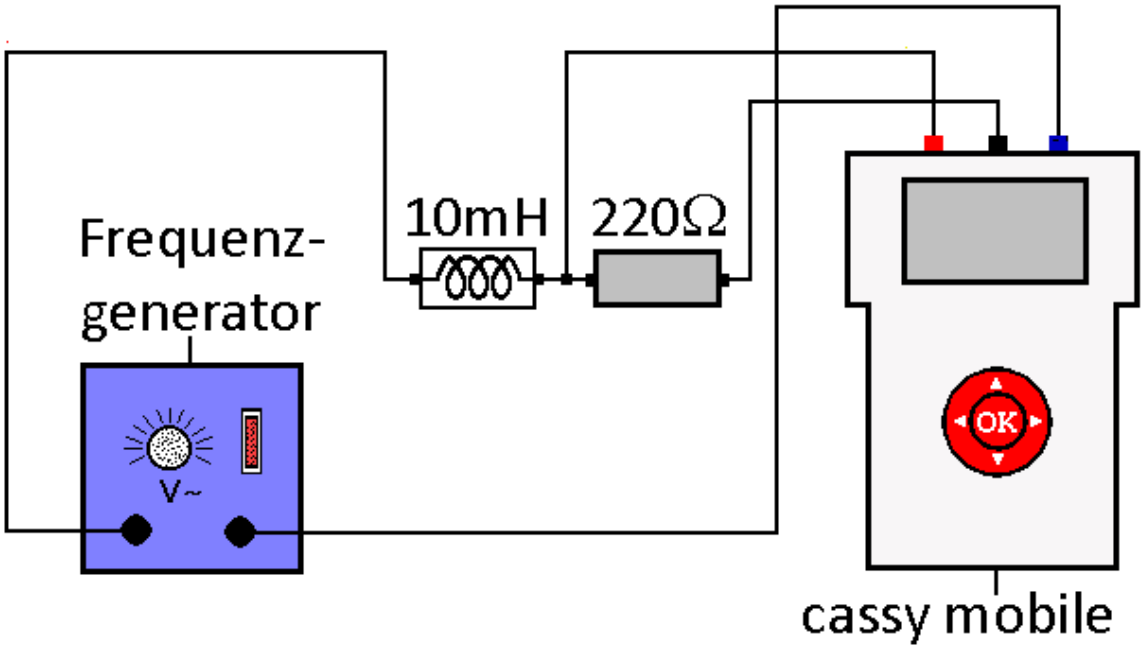
und für die Niederstromdrossel

$$L_N = (220\ \Omega + 101\ \Omega) * 0{,}032\ ms = 10{,}27\ mH.$$

Die gemessenen Werte stimmen sehr gut mit den Angaben auf den Bauteilen überein.

Versuch 5 a:

Für den Versuch benötigt man drei Stromdrosseln mit jeweils der Induktivität L ≈ 10 mH und verschiedenen Ohmschen Widerständen, $R_1 < 1\ \Omega$, $R_2 \approx 10\ \Omega$ bzw. $R_3 \approx 100\ \Omega$. Sie sind im Elektronikhandel erhältlich.



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Spule5.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Benutzen sie als Induktivität L die Stromdrossel mit R < 1 Ω.
3. Stellen Sie den Frequenzgenerator auf Rechteckspannung mit einer Frequenz f ≈ 500 Hz und einer Spannung U = 3 - 4 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach t = 2 ms beendet. Speichern Sie die Messkurve.
5. Vertauschen Sie in der Schaltung den Widerstand und die Spule. Wiederholen Sie die Messung aus Teilaufgabe 4 und speichern Sie die Kurve.
6. Führen Sie beide Messungen für die beiden anderen Stromdrosseln durch. Passen Sie den Vorwiderstand so an, dass der gesamte Ohmsche Widerstand der Schaltung konstant bleibt. Schalten Sie dazu für die Drossel mit R = 10 Ω einen Widerstand R = 4,7 kΩ zum Vorwiderstand parallel, für die Spule mit R = 100 Ω einen Widerstand R = 270 Ω.

Aufgaben

a. Laden Sie die Messkurven nacheinander ins Programm cassy lab 2 und passen Sie die Maßstäbe für alle Größen an, um übersichtlichere Diagramme zu erhalten. Speichern Sie die angepassten Kurven als labx-Dateien.
b. Interpretieren Sie die Messkurven.
c. Ermitteln Sie für jede Spule die insgesamt umgesetzte Joulesche Wärme. Vergleichen Sie die Ergebnisse miteinander und erklären Sie.

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurven.

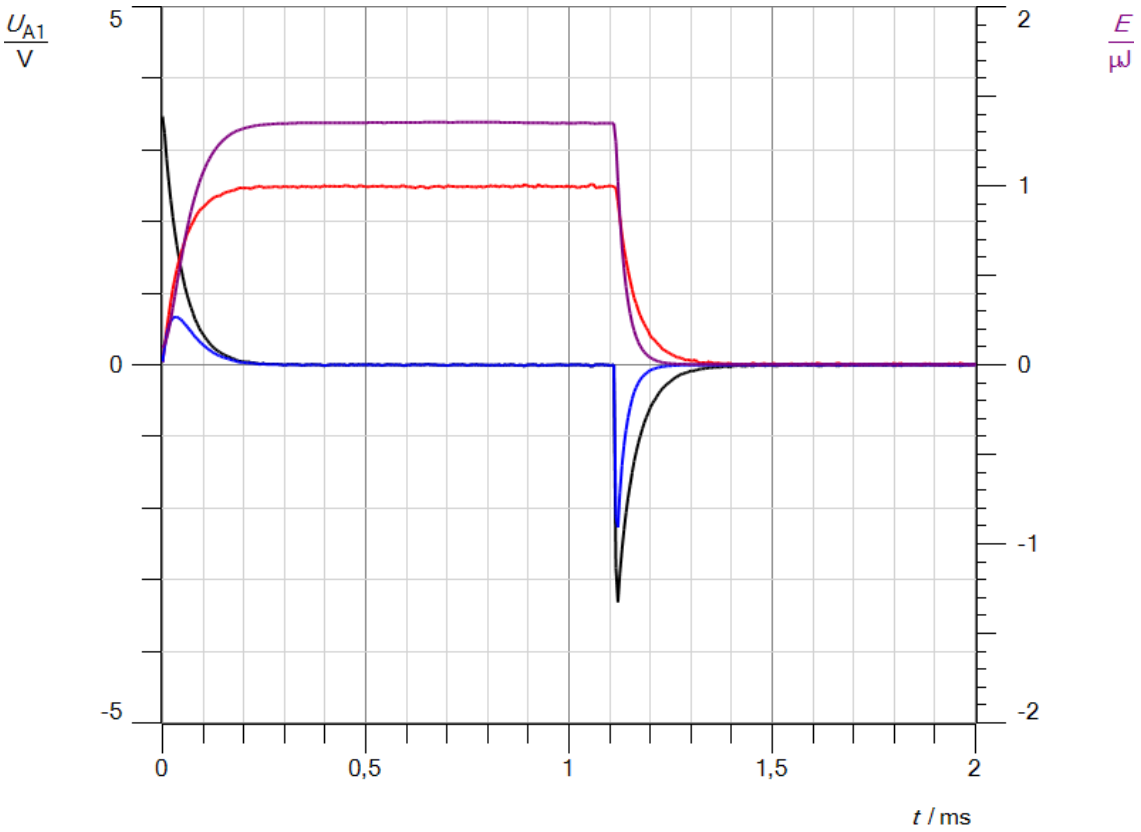


Abb. 1a: Messkurven Spule für die Spule R < 1 Ω

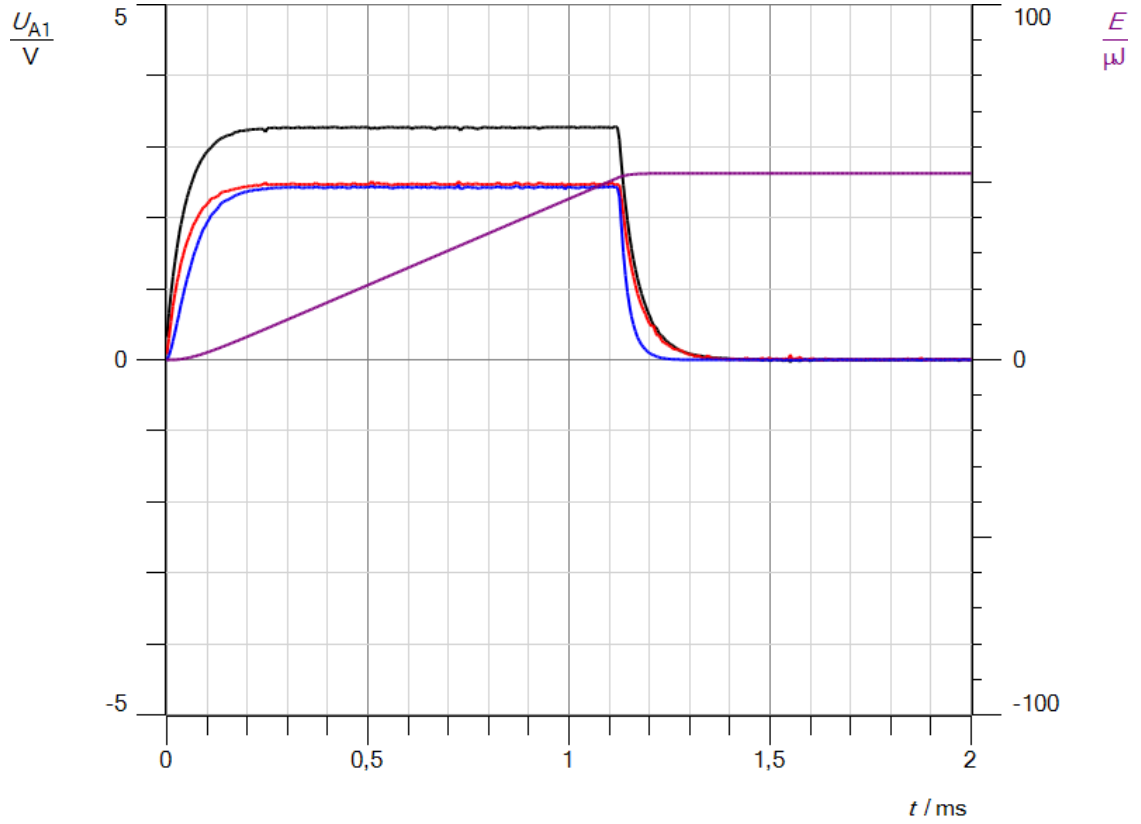


Abb. 1b: Messkurven Vorwiderstand für die Spule R < 1 Ω

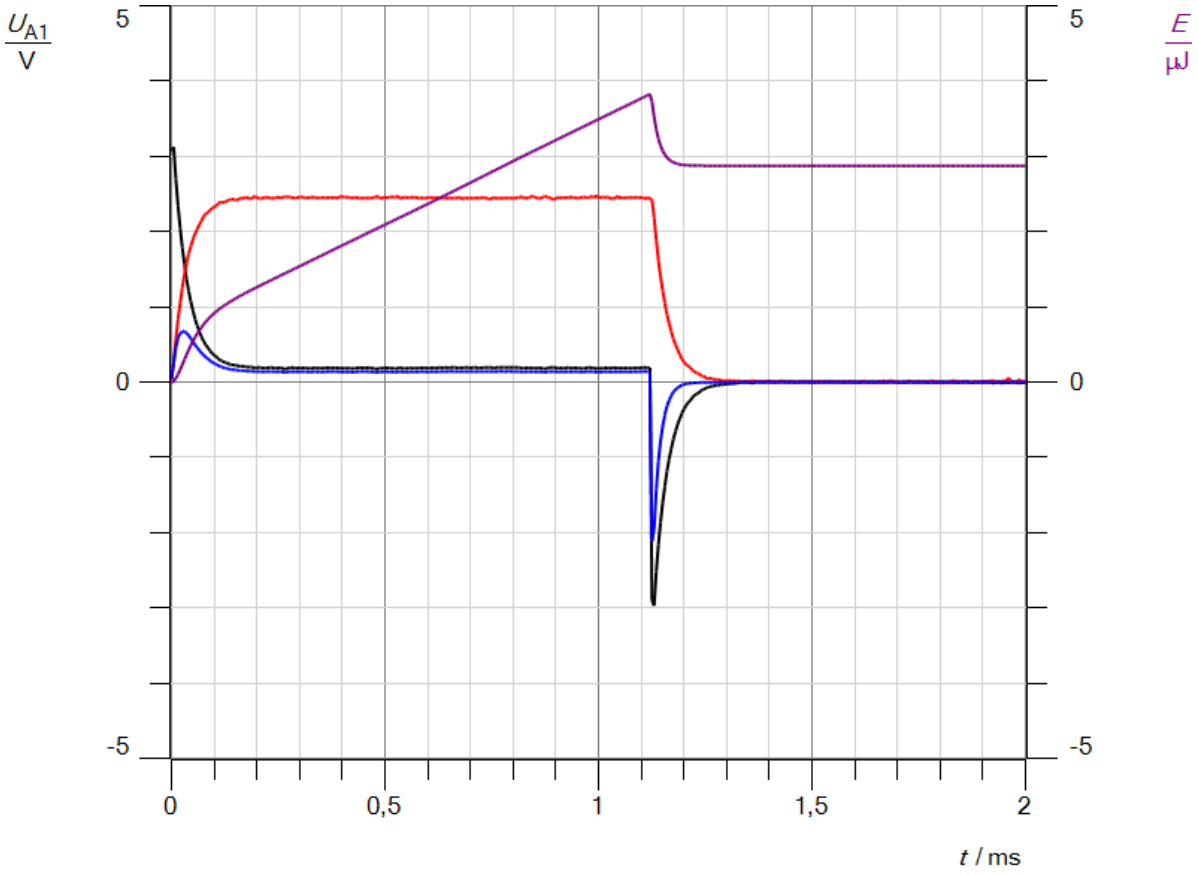


Abb. 2a: Messkurven Spule für die Spule R = 10 Ω

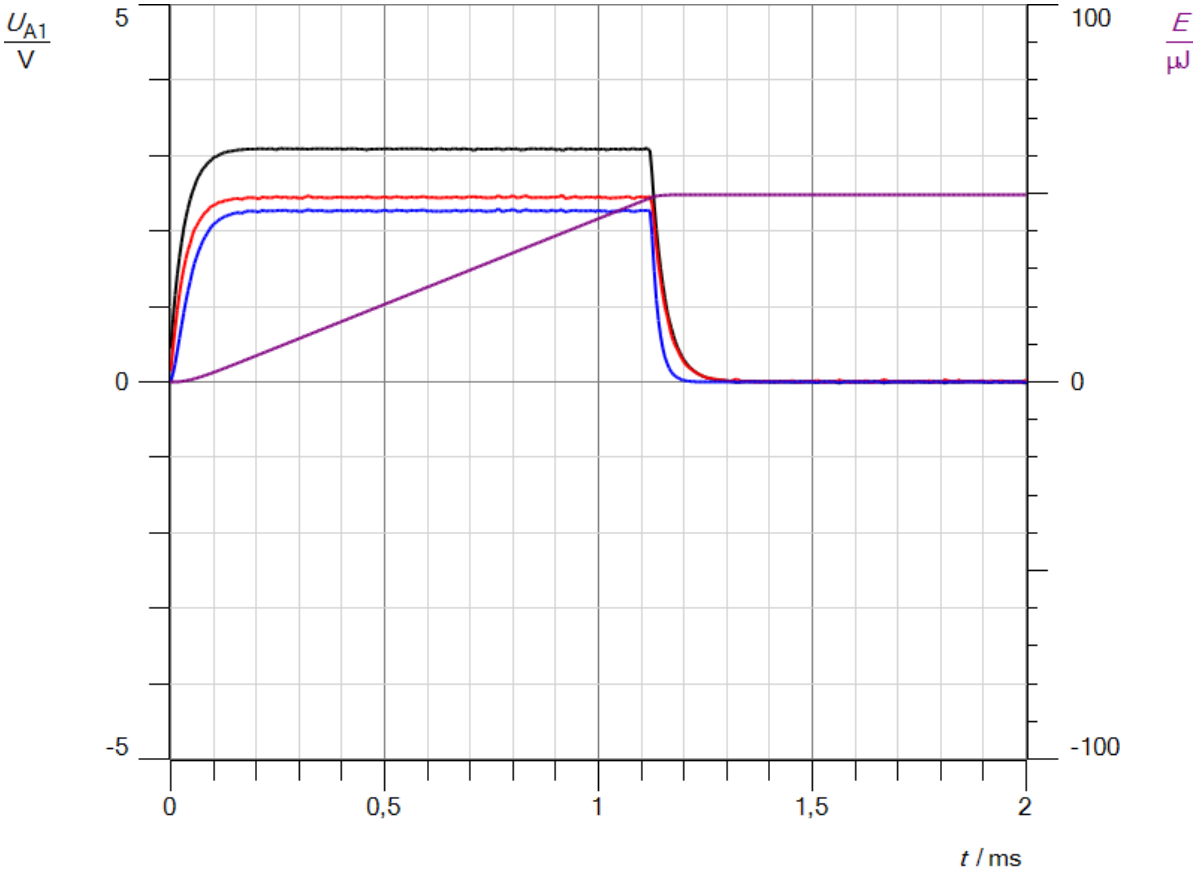


Abb. 2b: Messkurven Vorwiderstand für die Spule R = 10 Ω

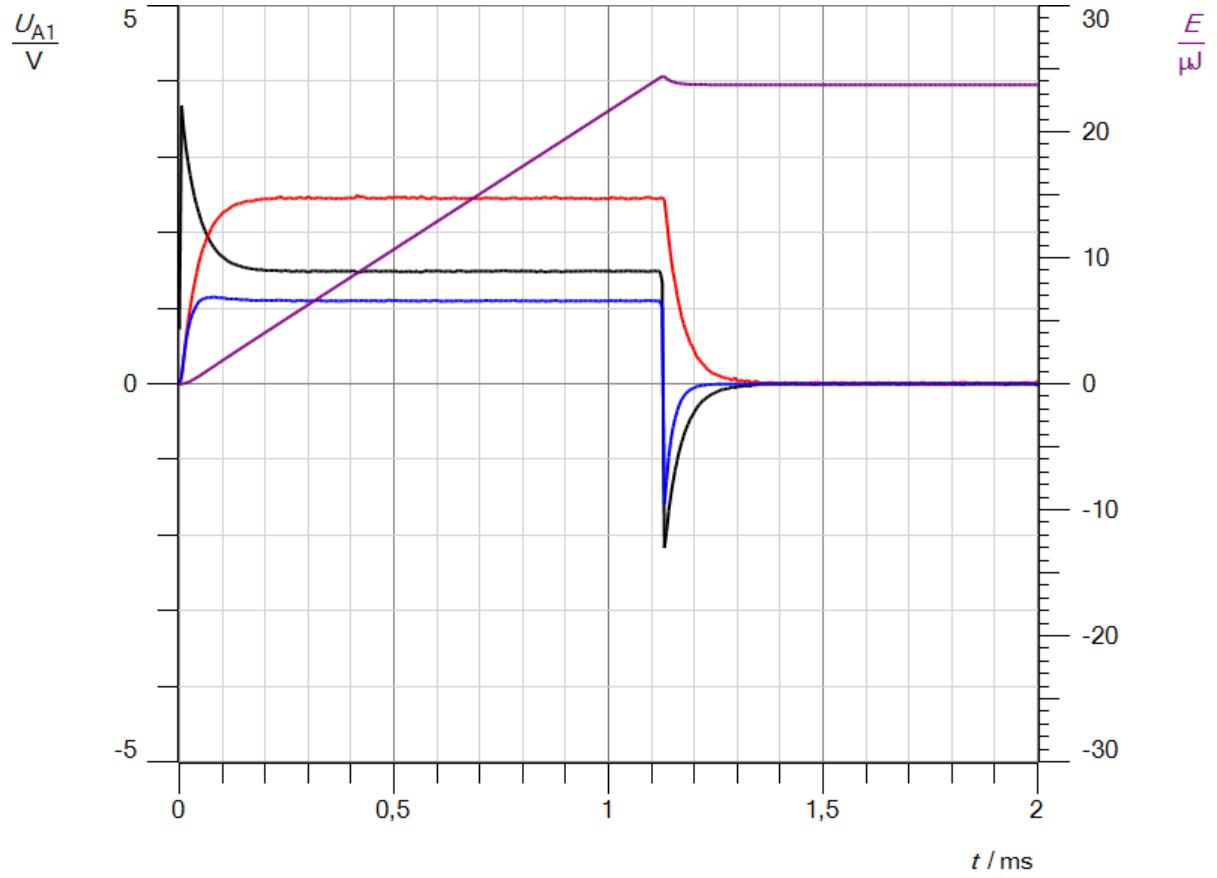


Abb. 3a: Messkurven Spule für die Spule R = 100 Ω

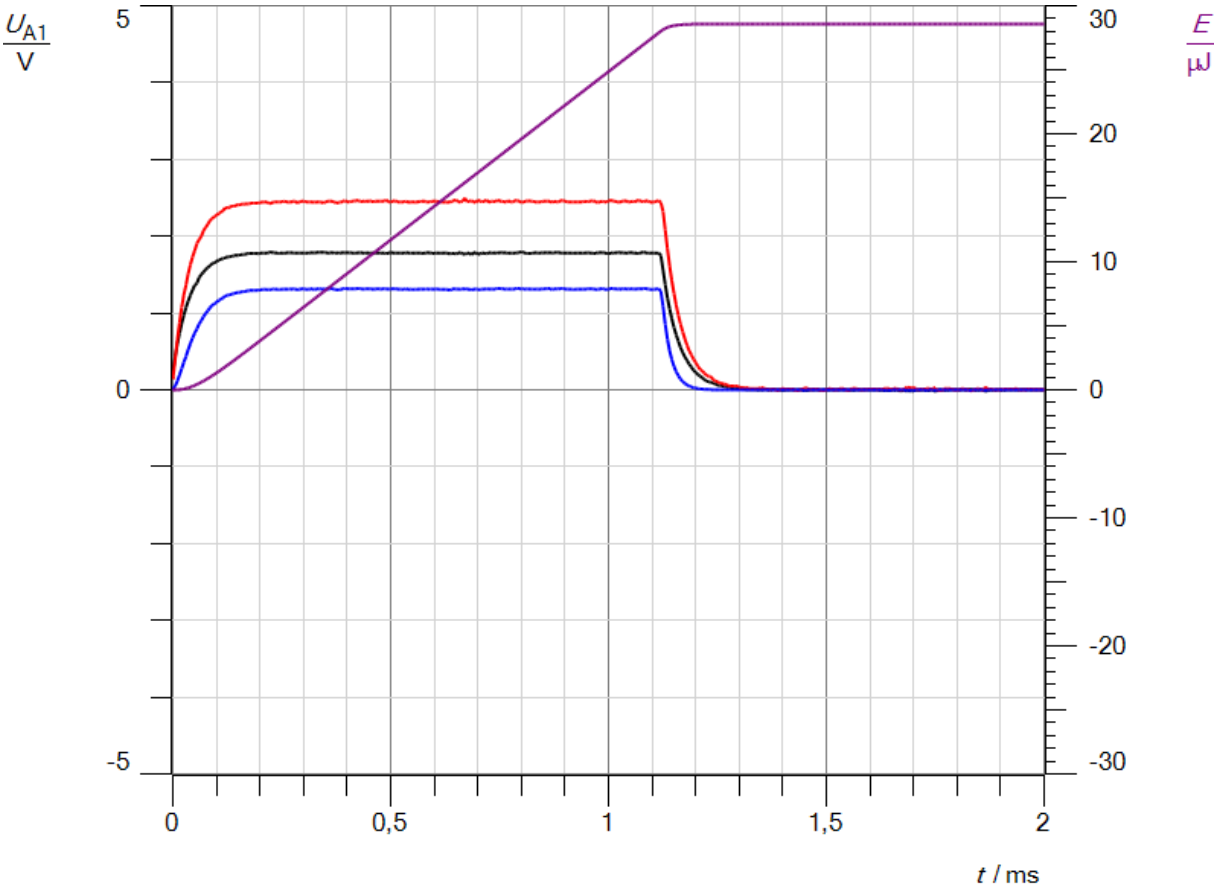


Abb. 3b: Messkurven Vorwiderstand für die Spule R = 100 Ω

Die schwarzen Kurven entsprechen jeweils der Spannung, die roten der Stromstärke, die blauen der Leistung und die violetten der Energie.

Auswertung

a. Man erhält die Diagramme in den Abb. 1- 3. Die Anpassung mit dem Programm casy lab 2 ist erforderlich, da sich in cassy mobile die Einheit der Energie nicht einstellen lässt.
b. Zu Beginn fällt an jeder Spule die gesamte angelegte Spannung U_0 ab, da kein Strom fließt und die Energie der Spannungsquelle benötigt wird, das Magnetfeld aufzubauen (vgl. Versuch 4). Sie sinkt rasch, wenn der Strom steigt, da sich die Spannung U_0 der Spannungsquelle und damit ihre Energie auf den Widerstand und die Spule aufteilt. Die Leistung durchläuft in der niederohmigen Hochstromdrosseln bei der mittleren Spannung und Stromstärke ein Maximum. Zu Beginn ist sie null, weil die Stromstärke null ist und zum Ende geht sie gegen null, da die Spannung U_L an der Spule gegen null geht. Energie und Stromstärke erreichen einen nahezu konstanten Endwert, wenn sich das Magnetfeld der Spule voll aufgebaut hat. Bei Spulen mit nicht vernachlässigbarem Ohmschen Widerstand sinkt die Leistung nach dem Maximum auf einen konstanten Endwert, da ständig Energie am Ohmschen Widerstand in Wärme umgewandelt wird. Daher strebt die Energiekurve keinem konstanten Endwert zu, sondern steigt linear weiter mit der Zeit an. Die Spannung an ihnen fällt nicht auf null, die Stromstärke erreicht einen konstanten Endwert, wenn das Magnetfeld vollständig ausgebildet ist. Beim Ausschalten wird bei der niederohmigen Drossel die gesamte in ihr gespeicherte Energie an die Stromquelle zurückgegeben, so dass während eines Durchlaufes an der Spule in der Summe keine Energie freigesetzt wird. Bei Spulen mit Ohmschen Widerstand wird nur ein Teil der in der Spule umgesetzten Energie wieder an die Spannungsquelle zurückgeliefert, der andere Teil wird als Wärme abgestrahlt und kann nicht wieder zurückgewonnen werden. Der Teil, der zurückgegeben wird, ist umso größer, je kleiner der Ohmsche Widerstand der Spule ist.
c. Bei der Spule mit vernachlässigbarem Ohmschen Widerstand wird elektrische Energie nur am Vorwiderstand in Wärme umgewandelt. Aus den Kurven in Abb. 1a und 1b erhält man

$$E_1 = E_{R1} + E_{L1} = 52{,}4\ \mu J + 0 \mu J = 52{,}4\ \mu J.$$

Für die zweite Spule liest man aus den Abb. 2a und 2b folgende Werte ab:

$$E_2 = E_{R2} + E_{L2} = 49{,}6\ \mu J + 2{,}9\ \mu J = 52{,}5\ \mu J.$$

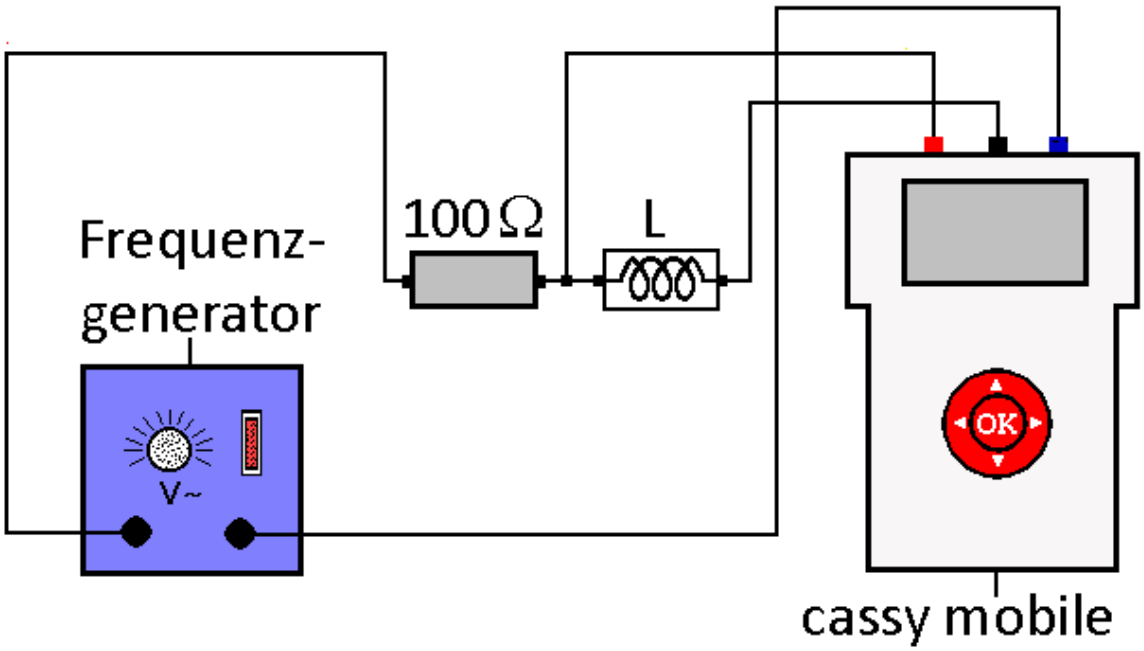
Für die dritte Spule ergibt sich aus den Abb. 3a und 3b:

$$E_3 = E_{R3} + E_{L3} = 28{,}6\ \mu J + 23{,}7\ \mu J = 52{,}3\ \mu J.$$

In allen drei Schaltungen wird die gleiche Energie in Wärme umgewandelt, da alle in der Summe den gleichen Ohmschen Widerstand R aufweisen, durch alle der gleiche Strom I fließt und sie alle die gleiche Zeit t betrieben werden. Für die in einem Stromkreis umgesetzte Wärmeenergie gilt die Formel:

$$E = R * I^2 * t.$$

Versuch 5 b:
Für den Versuch benötigt man zwei Stromdrosseln, eine mit einer Induktivität L ≈ 10 mH und einem Ohmschen Widerstand R < 1 Ω und eine Doppeldrossel mit zwei Spulen zu je L = 5 mH und R < 1 Ω auf einem gemeinsamen Ferritkern. Alternativ kann man die großen Spulen von Leybold mit n = 500 bzw. 1000 Windungen benutzen. Sie liefern allerdings keine so guten Ergebnisse wie die Drosselspulen.



Durchführung
1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Spule6.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Benutzen sie als Induktivität L die niederohmige Stromdrossel mit L ≈ 10 mH.
3. Stellen Sie den Frequenzgenerator auf Rechteckspannung mit einer Frequenz f ≈ 200 Hz und einer Spannung U = 1 - 4 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach t = 1 ms beendet.
5. Legen Sie eine Tabelle mit dem Endwert der Stromstärke I und der Energie E an.
6. Wiederholen Sie die Messung für andere Stromstärken, indem sie die Spannung am Frequenzgenerator variieren. Tragen Sie jeweils die Endstromstärke und die Endenergie in die Tabelle ein.
7. Führen Sie den Versuch mit der gleichen Stromstärke für verschiedene Reihenschaltungen der niederohmigen Drosselspule L = 10 mH mit der niederohmigen Doppeldrossel aus. Messen Sie die Induktivität der Kombinationen im ausgebauten Zustand mit einem Henrymeter. Erstellen Sie eine Tabelle mit den Induktivitäten und den Endwerten der Energie.

Aufgaben
a. Werten Sie die Tabelle 1 mit den Energiewerten und der Stromstärke aus, in dem Sie für jedes Messpaar den Quotienten aus der Energie und dem Quadrat der Stromstärke bilden. Deuten Sie das Ergebnis und berechnen Sie den Mittelwert des Quotienten.
b. Bilden Sie für jedes Messpaar der Tabelle 2 mit den Energiewerten und den Induktivitäten den Quotienten aus der Energie und der Induktivität. Interpretieren Sie das Ergebnis und berechnen Sie den Mittelwert des Quotienten.

c. Leiten Sie die Formel für den Energieinhalt einer Spule aus dem Selbstinduktionsgesetz her. Benutzen Sie das Physikbuch oder das Internet.
d. Überprüfen Sie die Mittelwerte der Proportionalitätskonstanten aus den Teilaufgaben b und c mit Hilfe der Formel für den Energieinhalt einer Spule. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messtabellen.

I [mA]	33,3	30,2	28,9	25,9	21,8	17,4	13,7	8,3
E [µJ]	5,92	5,02	4,63	3,69	2,64	1,66	1,05	0,39
E/I^2 [J/A^2]	0,00534	0,0055	0,00554	0,0055	0,00556	0,00548	0,00559	0,00566

Tabelle 1: Energie E und Stromstärke I

L [mH]	33,2	22,0	16,7	11,2	5,5
E [µJ]	13,8	9,25	6,97	4,58	2,25
E/L[J/H]	$4{,}16*10^{-4}$	$4{,}20*10^{-4}$	$4{,}17*10^{-4}$	$4{,}09*10^{-4}$	$4{,}09*10^{-4}$

Tabelle 2: Energie E und Induktivität L

Auswertung

a. Man erhält Zeile 3 in Tabelle 1. Da sich ein nahezu konstanter Wert ergibt, der um einen Mittelwert schwankt, ist die Energie E einer Spule proportional zum Quadrat der Stromstärke I. Es gilt

$$E = m * I^2$$

mit m als Proportionalitätsfaktor. Sein Mittelwert beträgt

$$m = 0{,}00552 \ \frac{J}{A^2}.$$

b. Es ergibt sich Zeile 3 in Tabelle 2. Der Quotient schwankt nur leicht um einen Mittelwert. Damit ist die Energie E einer Spule proportional zur Induktivität der Spule L. Es gilt

$$E = k * L$$

mit k als Proportionalitätsfaktor. Sein Mittelwert beträgt

$$k = 4{,}14 * 10^{-4} \frac{J}{H}.$$

c. Für die Energie gilt allgemein mit P(t) als Leistung, U(t) als Spannung und I(t) als Stromstärke

$$E = \int_0^t P(t)dt = \int_0^t U(t) * I(t)dt.$$

Der durch die Spule fließende zeitlich veränderliche Strom induziert an den Enden der Spule eine Spannung, für die gilt:

$$U_{ind} = -L * \dot{I} = -L * \frac{dI}{dt}.$$

Sie entspricht der an der Spule anliegenden Spannung bis auf das Vorzeichen, wie der Versuch 4 zeigt. Einsetzen der Spannung U ins Integral liefert:

$$E = \int_0^t L * \frac{dI}{dt} * I(t)dt = \int_0^I L * I(t)dI.$$

Da die Integrationsvariable dt durch dI ersetzt wurde, müssen auch die Integrationsgrenzen angepasst werden. Zu Beginn fließt kein Strom, am Ende des Einschaltvorganges der Strom I. Führt man die Integration durch, so erhält für die in der Spule gespeicherte Energie:

$$E = \frac{1}{2} * L * I^2.$$

d. Vergleicht man diese Formel für die Energie der Spule mit dem Messergebnis aus Teilversuch 1, so besteht zwischen ihrer Induktivität L und dem Proportionalitätsfaktor m der Zusammenhang

$$L = 2 * m = 2 * 0{,}00552 \ \frac{J}{A^2} = 0{,}01104 \ \frac{J}{A^2}.$$

Laut der vorletzten Spalte in Tabelle 2 erhält man für die Spule mit einem Henrymeter die Induktivität L = 0,0112 H. Die Ergebnisse beider Messungen stimmen sehr gut überein. Die Einheiten sind identisch, wie folgende Einheitenanalyse zeigt.

$$\left[\frac{J}{A^2}\right] = \frac{As * V}{A^2} = \frac{Vs}{A} = H.$$

Für die Proportionalitätskonstante k der zweiten Teilmessung ergibt der Vergleich mit der Energieformel aus Teilaufgabe d

$$k = \frac{I^2}{2} = \frac{(0{,}0288\ A)^2}{2} = 4{,}15 * 10^{-4} A^2.$$

Zahlenmäßig stimmen gemessener und theoretischer Wert sehr gut überein. Sie weisen auch die gleiche Einheit auf, wie die folgende Einheitenanalyse zeigt:

$$\left[\frac{J}{H}\right] = \frac{As * V}{Vs/A} = A^2.$$

Anmerkung
Hat man kein Henrymeter zur Verfügung, so kann man die Induktivität der Drosselspulen auch ermitteln, in dem man sie in einen Colpitsoszillator (s. Oszillator Versuch 1) einbaut und dessen Frequenz bestimmt. Um einen möglichst genauen Wert für L zu erhalten, sollte man einerseits die Kapazität der Reihenschaltung der beiden Kondensatoren C_1 und C_2 (s. Oszillator, Versuch 1, Abb.1) mit einem Kapazitätsmessgerät überprüfen und andererseits die Rückkopplung mit dem Poti P so einstellen, dass man die mittlere Frequenz erhält. Sie hängt in der Größenordnung von 1 – 2 % vom Wert des Rückkopplungswiderstandes ab, da es bei nicht optimaler Rückkopplung zu leichten Verzerrungen der Sinusschwingung kommt. Weil die Frequenz quadratisch in die Formel für die Induktivität eingeht, bewirkt ein kleiner Fehler in der Frequenzmessung einen relativ großen Fehler im Wert der Induktivität. Für die einfache Drossel ergibt sich mit Hilfe der Thomsonschen Schwingungsformel für C = 90,2 nF und f = 5020 Hz

$$L_1 = \frac{1}{4 * \pi^2 * C * f^2} = \frac{1}{4 * \pi^2 * 9{,}02 * 10^{-8}\, F * (5020\ Hz)^2} = 11{,}2\ mH$$

und für eine Drossel der Doppelspule mit C = 90,2 nF und f = 7135 Hz

$$L_2 = \frac{1}{4 * \pi^2 * C * f^2} = \frac{1}{4 * \pi^2 * 9{,}02 * 10^{-8}\, F * (7135\ Hz)^2} = 5{,}5\ mH.$$

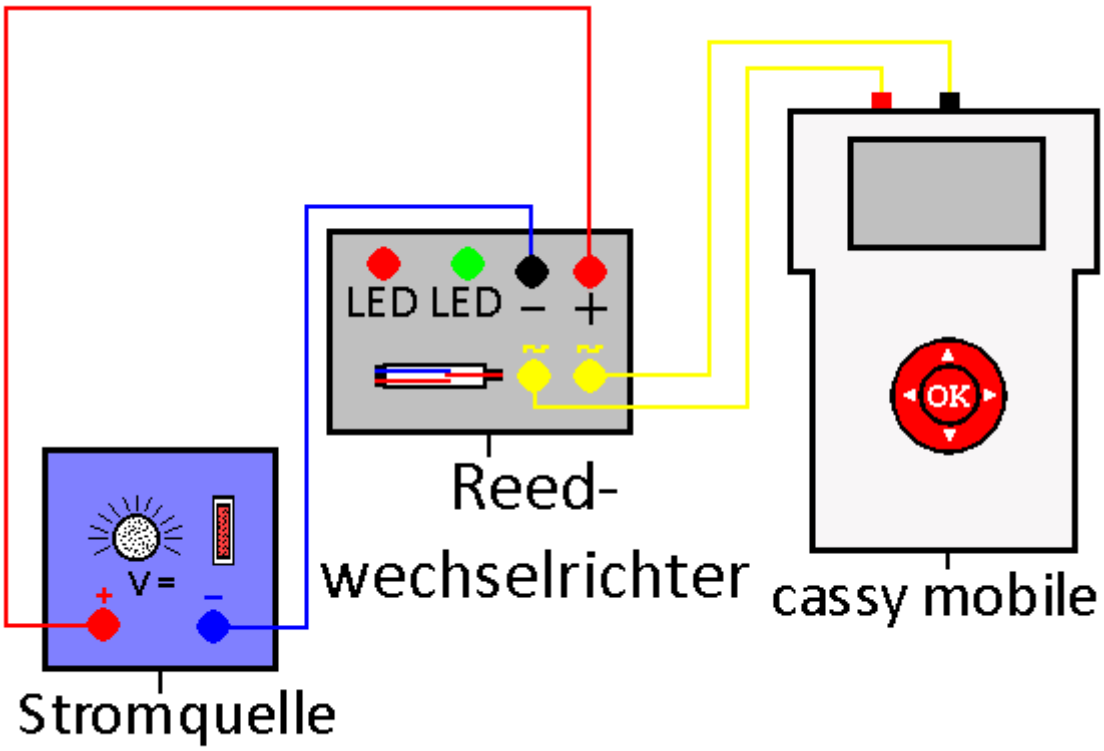
Um die Induktivitäten der Reihenschaltungen zu erhalten, wendet man das Additionstheorem für Spulen an. Dabei muss man bei der Reihenschaltung der beiden Spulen der Doppeldrossel beachten, dass sie, obwohl sie hintereinander auf einen gemeinsamen Eisenkern gewickelt sind, wie eine einzige Spule wirken, deren Windungen übereinander gewickelt wurden. Die Selbstinduktionsspannung einer Spule überträgt sich auf die jeweils andere und addiert sich zu deren eigener Selbstinduktionsspannung. Da die Induktivität L einer Spule bei gleicher Länge l mit dem Quadrat der Windungszahl n zunimmt, vervierfacht sie sich, wenn man die Windungszahl n verdoppelt. Dass diese Deutung richtig ist, zeigt die Messung der Doppelspule mit einem Henrymeter. Somit gilt

$$L_3 = L_1 + L_2 = 11{,}2\ mH + 5{,}5\ mH = 16{,}7\ mH$$
$$L_4 = 4 * L_2 = 4 * 5{,}5\ mH = 22{,}0\ mH$$
$$L_5 = L_1 + L_4 = 11{,}2\ mH + 22{,}0\ mH = 33{,}2\ mH.$$

Die Werte stimmen sehr gut mit den Werten überein, die man mit einem Henrymeter erhält.

Wechselrichter

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Reed1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Den genauen Aufbau des Reedwechselrichters finden sie im Skript „Richter“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de (s. a. Abb.1).
3. Legen Sie eine Spannung U = 5 V an den Eingang der Schaltung.
4. Starten Sie cassy mobile.
5. Fahren Sie mit dem Magneten quer zur Längsrichtung über den Eingang des Reedschalters mehrfach hin und her. Beobachten Sie die beiden LEDs.
6. Die Messung stoppt nach zwei Sekunden automatisch. Speichern Sie die Messkurve.
7. Wiederholen Sie Teilversuch 5 mit dem anderen Pol des Magneten. Achten Sie auf die LEDs.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve und das Verhalten der LEDs.
b. Erklären Sie anhand von Abb. 1, wie die Schaltung aus Gleichspannung Wechselspannung erzeugt. Erläutern Sie, warum die Amplitude der Wechselspannung kleiner ist als die angelegte Gleichspannung.
c. Die Schaltung heißt auch mechanischer Zerhacker. Erläutern Sie diese Aussage. Sie wird heute kaum noch genutzt, um Wechselspannung zu erzeugen. Erklären Sie.
d. Will man mit der Schaltung andere Verbraucher betreiben, so benutzt man den Aufbau nach Abb.2. Erläutern Sie den Aufbau.

e. Erkundigen Sie sich im Internet, wie ein Reedschalter aufgebaut ist und warum er mit einem Magneten geschaltet werden kann.

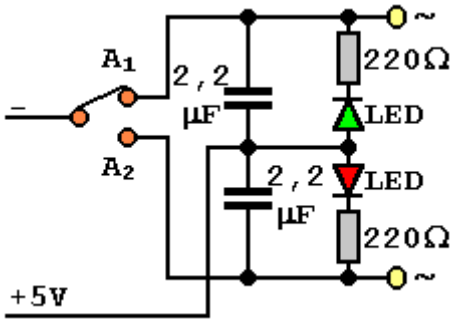


Abb.1: Reedwechselrichter

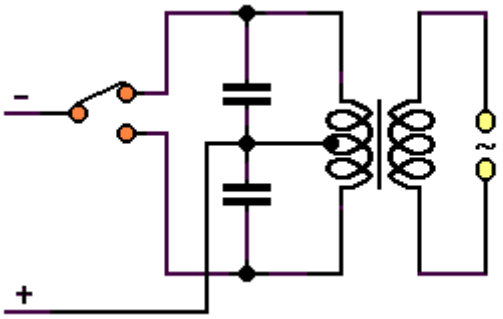
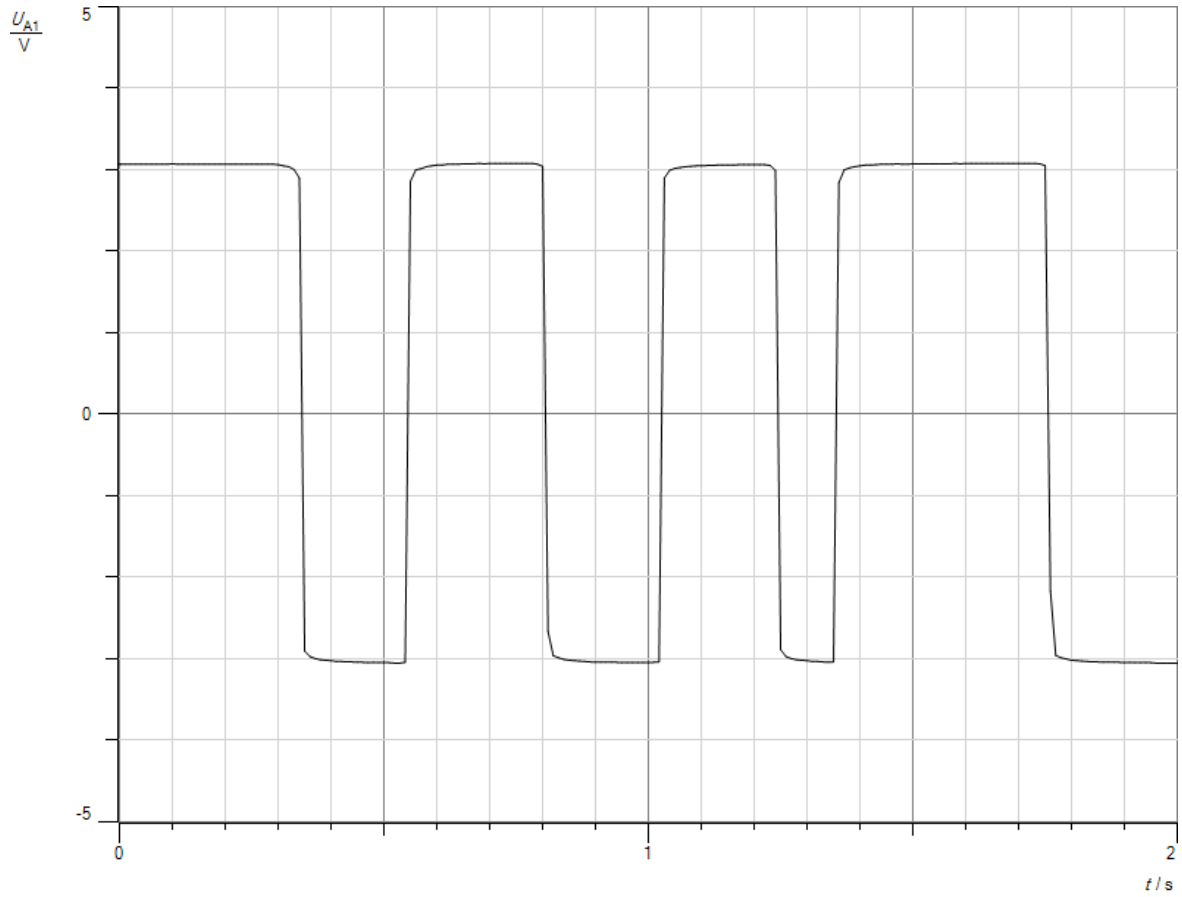


Abb.2: mechanischer Zerhacker

Beobachtung

Zu Beginn leuchtet die grüne LED. Befindet sich der Magnet in der Nähe des Einganges des Reedschalters, so leuchtet die rote LED. Ist der Magnet außerhalb des Wirkungsbereiches des Reedschalters, so leuchtet wieder die grüne LED. Interessant ist außerdem, dass die grüne auch dann leuchtet, wenn sich der Magnet genau in der Mitte über dem Reedschalter befindet. Hält man ihn über die Ausgänge des Reedschalters, so leuchtet die rote LED. Beide Pole des Magneten haben die gleiche Wirkung. Bei der Vor- und Rückwärtsbewegung des Magneten über ein Ende des Schalters erhält man z.B. folgende Messkurve:



Messkurve 1: Ausgangswechselspannung

Auswertung

a. Aus der angelegten Gleichspannung entsteht eine rechteckförmige Wechselspannung. In der einen Halbwelle leuchtet die grüne LED, in der anderen die rote.
b. Befindet sich der Ausgang des Reedschalters in Abb.3 in Position A_1, so ist der obere gelbe Ausgang der Schaltung mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden. Die grüne LED leuchtet. Der untere gelbe Ausgang liegt über die rote LED und den Vorwiderstand am Pluspol der Spannungsquelle. Schaltet der Reedkontakt um, in dem man mit einem Magneten über seinen Eingang oder seine Ausgänge fährt, so kehrt sich die Polung an den beiden gelben Ausgängen der Schaltung um, der obere gelbe ist über die grüne LED und den Vorwiderstand mit dem Pluspol, der untere mit dem Minuspol verbunden. Die Amplitude der Wechselspannung ist geringer als die angelegte Wechselspannung, da die LEDs eine Durchlassspannung von je ungefähr U_D = 2 V haben. Die Schaltung liefert außerdem nur einen begrenzten Strom, da er in jeder Halbwelle durch eine der beiden LEDs und den Vorwiderstand begrenzt wird.

c. Die Umpolung der Ausgangswechselspannung geschieht über einen mechanischen Kontakt. Sie oxidieren an der Luft sehr schnell und werden dadurch nicht leitend, zumal die Umschaltung bei Netzwechselspannung mit f = 50 Hz erfolgt. Daher verwendet man heute elektronische Umschalter, Thyristoren genannt (s. Versuch 4).
d. Durch den Überträger kann man die Ausgangswechselspannung beliebig an den Verbraucher anpassen. Außerdem liefert die Schaltung so einen höheren Ausgangsstrom, da der Verbraucher nicht in Reihe geschaltet ist mit einer LED und ihrem Vorwiderstand. Die Wechselspannung ist galvanisch sauber von der Eingangsgleichspannung getrennt.
e. Den Aufbau eines Reedumschalters zeigt Abb. 3. Der Eingangskontakt E und der Ausgangskontakt A_2 sind aus Nickel, der andere A_1 aus einem nicht magnetischen Metall. Im Grundzustand ist der Eingangskontakt E mit dem nicht magnetischen Ausgangskontakt A_1 verbunden. Hält man den Pol eines Magneten über den Eingangskontakt E, so wird er magnetisiert und wird vom nickelhaltigen Ausgangskontakt A_2 angezogen. Der Reedschalter schaltet um. Entfernt man den Magneten, so klappt er wieder in seine Ausgangsposition zurück. Das gleiche geschieht, wenn man den Magneten über die Ausgänge hält. Befindet sich der Magnet in der Mitte des Reedschalters, so werden beide magnetischen Kontakte gleichartig magnetisiert und stoßen sich ab. Der Reedschalter bleibt im Grundzustand.

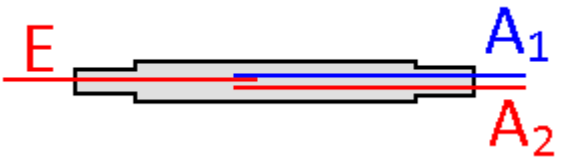
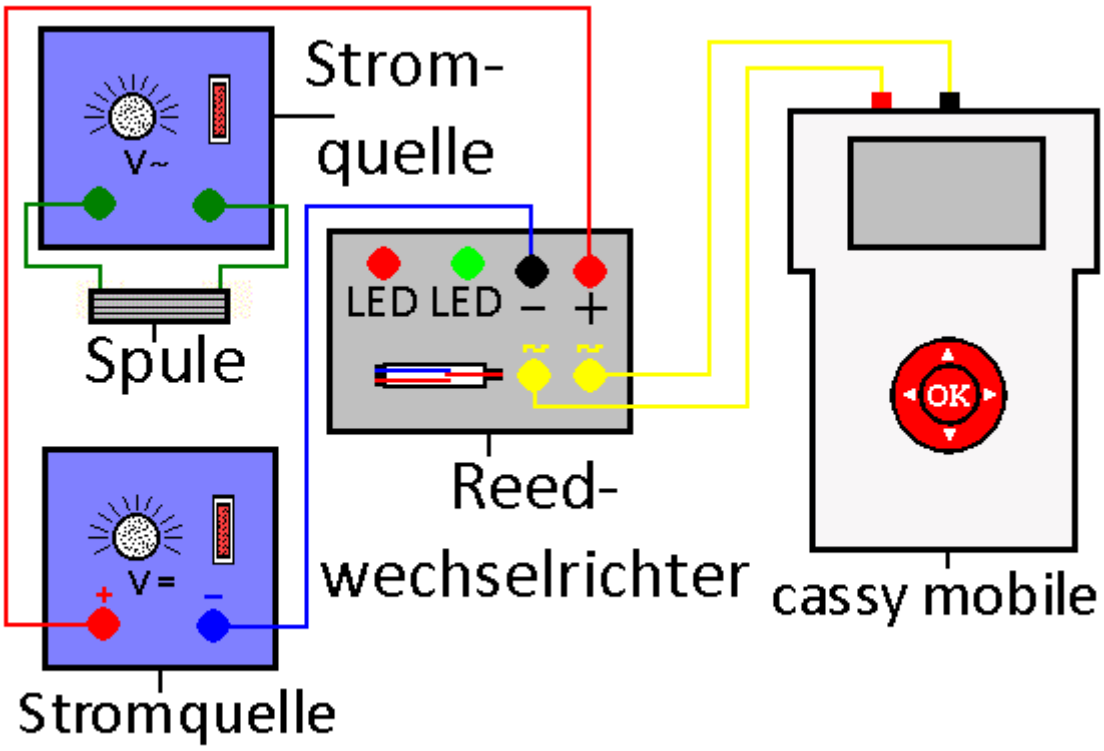


Abb. 3: Reedumschalter

Versuch 2:



Durchführung

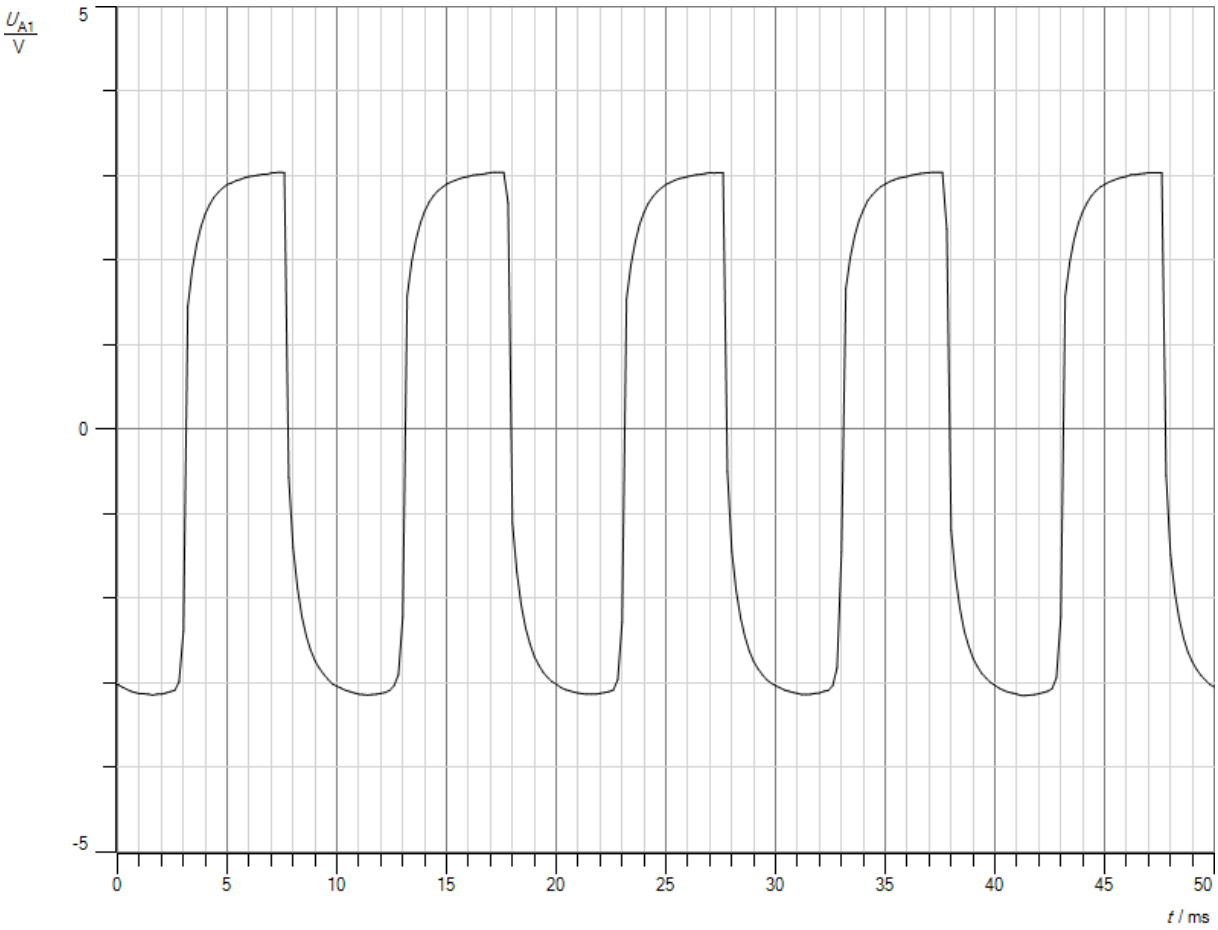
1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Reed2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Den genauen Aufbau des Reedwechselrichters finden sie im Skript „Richter“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de (s. a. Abb.1). Die Spule sollte mindestens 100 Windungen haben.
3. Legen Sie eine Gleichspannung U = 5 V an den Eingang des Reedwechselrichters. Verbinden Sie die Anschlüsse der Spule mit U = 2 - 4 V Wechselspannung.
4. Halten Sie die Spule über den Reedkontakt des Wechselrichters. Beobachten Sie die beiden LEDs.
5. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt nach 50 ms automatisch. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve und das Verhalten der LEDs.
b. Bestimmen Sie die Frequenz der Wechselspannung am Ausgang des Reedwechselrichters und vergleichen Sie sie mit der Frequenz der Wechselspannung, die an der Spule anliegt. Erklären Sie.

Beobachtung

Beide LEDs scheinen gleichzeitig zu leuchten, allerdings jeweils nur halb so hell wie wenn nur eine von beiden leuchtet. Man erhält folgende Messkurve:



Messkurve 1: Ausgangswechselspannung

Auswertung

a. In der Spule entsteht ein magnetisches Wechselfeld, dass den Reedumschalter ständig zwischen den Ausgängen A_1 und A_2 hin und herschaltet. Im Reedwechselrichter wird eine fast rechteckförmige Wechselspannung erzeugt. Die beiden LEDs blinken mit der Frequenz dieser Wechselspannung. Da sie f = 100 Hz beträgt, wie in b) gezeigt wird, sieht es für unser Auge so aus, als würden sie dauerhaft leuchten. Dass sie blinken, erkennt man an ihrer verminderten Helligkeit.

b. Aus der Kurve erhält man für die Periodendauer der erzeugten Wechselspannung

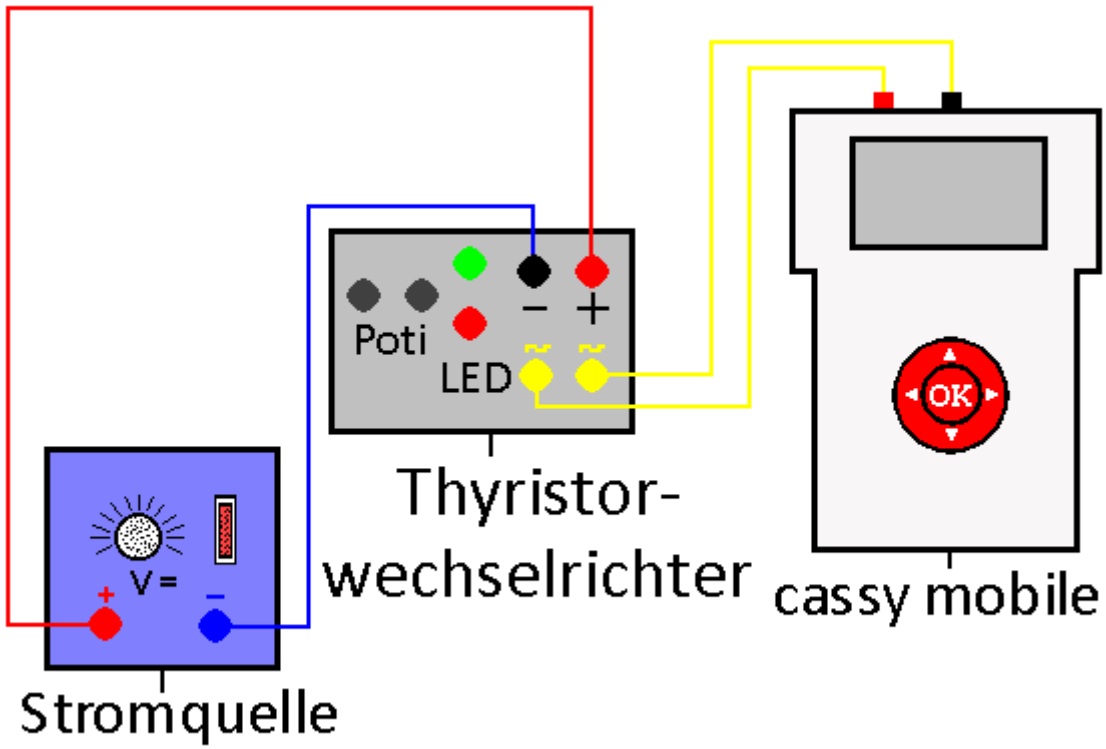
$$T = 10\ ms.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{10ms} = 100Hz.$$

Die an der Spule anliegende Wechselspannung hat eine Frequenz f = 50 Hz und damit auch das Magnetfeld, das die Spule erzeugt. Die Spule besitzt am unteren Ende direkt über dem Reedkontakt 50mal pro Sekunde einen Südpol und 50mal einen Nordpol. Da für den Schaltvorgang eines Reedschalters der Pol des Magneten nicht von Bedeutung ist, schaltet der Reedkontakt 100mal in der Sekunde hin und her. Die Ausgangsspannung hat damit eine Frequenz von f = 100 Hz.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Thyristor1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Den genauen Aufbau des Thyristorwechselrichters finden sie im Skript „Richter“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de (s. a. Abb.1).
3. Legen Sie eine Spannung U = 5 V an den Eingang der Schaltung.
4. Drehen Sie an beiden Potis. Beobachten Sie die LEDs.
5. Bringen Sie die Potis in eine mittlere Stellung, so dass beide LEDs gleich lang leuchten.
6. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt nach zwei Sekunden automatisch.
7. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie das Verhalten der LEDs und die erhaltene Messkurve.
b. Erklären Sie anhand von Abb.1, wie ein Thyristorwechselrichter aus Gleichspannung Wechselspannung erzeugt. Erläutern Sie, warum die Amplitude der Wechselspannung kleiner ist als die angelegte Gleichspannung.
c. Will man mit der Schaltung andere Verbraucher als die LEDs betreiben, so benutzt man einen Aufbau nach Abb. 2 mit einem Überträger. Erläutern Sie den Aufbau.
d. Erkundigen Sie sich im Internet, wie ein Thyristor aufgebaut ist und wozu man ihn sonst noch verwendet.

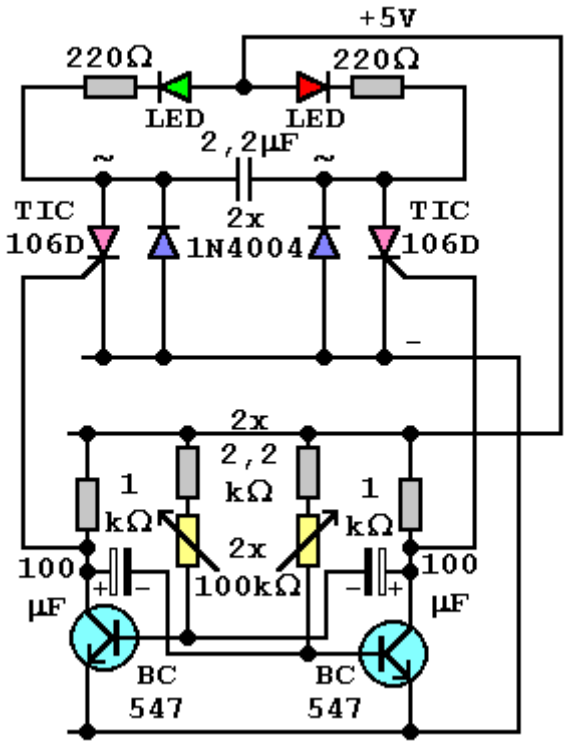


Abb. 1: Testschaltung Thyristorwechselrichters

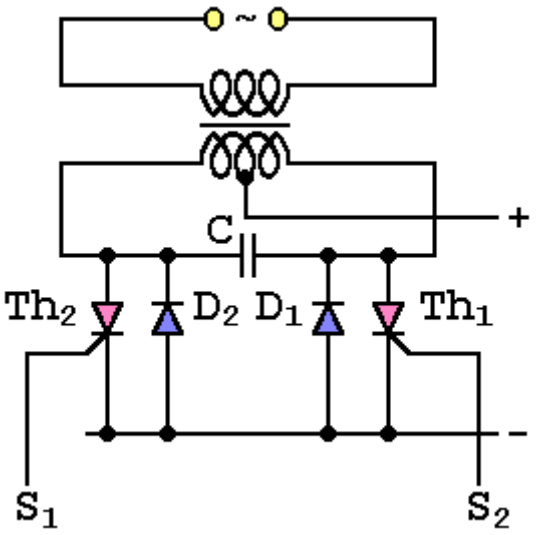


Abb.2: Thyristorwechselsrichter allgemein

Beobachtung

Die beiden LEDs blinken abwechselnd. Mit einem der beiden Potis kann man die Einschaltzeit der roten LED, mit dem anderen die Einschaltzeit der grünen LED in einem weiten Bereich einstellen. Man erhält folgende Messkurve:

Messkurve 1: Ausgangswechselspannung

Auswertung

a. Die Schaltung erzeugt eine rechteckförmige Wechselspannung. In einer Halbwelle wird die rote LED mit einer Spannung versorgt, in der anderen die grüne. Sie leuchten abwechselnd. Über die beiden Potis kann für beide LEDs unabhängig voneinander die Einschaltzeiten der LEDs steuern.
b. Die Schaltung besteht aus zwei Teilen, einem Multivibrator und dem eigentlichen Wechselrichter aus zwei Thyristoren. Die LEDs zeigen die Polung der Wechselspannung an. Die Thyristoren werden über die beiden Ausgänge des Multivibrators abwechselnd durch einen positiven Spannungsimpuls am Gate eingeschaltet. Der Kondensator C = 2,2 µF löscht den jeweils gerade durchgeschalteten Thyristor durch einen negativen Spannungsimpuls an der Anode des Thyristors bzw. der Kathode der parallel liegenden Diode, wenn der andere durchschaltet. Die Diode leitet und der Strom durch den Thyristor wird für einen kurzen Moment unterbrochen und kann sich von selbst nicht wieder aufbauen. Erst ein positiver Impuls am Gate macht den Thyristor wieder leitend, wodurch der andere gelöscht wird.
c. Durch den Überträger kann man die Ausgangswechselspannung beliebig an den Verbraucher anpassen. Außerdem liefert die Schaltung so einen höheren Ausgangsstrom, da der

Verbraucher nicht in Reihe geschaltet ist mit einer LED und ihrem Vorwiderstand. Die Wechselspannung ist galvanisch sauber von der Eingangsgleichspannung getrennt.

d. Ein Thyristor besitzt wie ein Transistor drei Anschlüsse, einen Kollektor, einen Emitter und ein Gate, beim Transistor auch Basis genannt. Er besteht anders als der Transistor jedoch aus vier Siliziumschichten, die unterschiedlich dotiert sind und zwar in der Reihenfolge pnpn[3)] (s. Abb. 1). Die äußere p-dotierte entspricht dem Kollektor bzw. der Anode, die mittlere positiv dotierte Schicht dem Gate und die äußere negativ dotierte Schicht dem Emitter bzw. der Kathode. Durch einen positiven Spannungsimpuls am Gate schaltet der Thyristor durch, es fließt ein Strom vom Kollektor zum Emitter. Anders als beim Transistor kann der Strom nicht dadurch unterbrochen werden, dass man das Signal am Gate unterbindet. Erst wenn der Strom zwischen Kollektor und Emitter unter einen gewissen Wert sinkt, schaltet er sich von selbst ab und muss durch einen neuen Impuls am Gate wieder eingeschaltet werden. Er wirkt wie ein Schalter, den man durch einen Impuls einschaltet und durch einen zweiten wieder ausschaltet. Er hat mechanische Relais in der Elektronik weitgehend verdrängt, da er keine Schaltkontakte besitzt, die schnell oxidieren können.

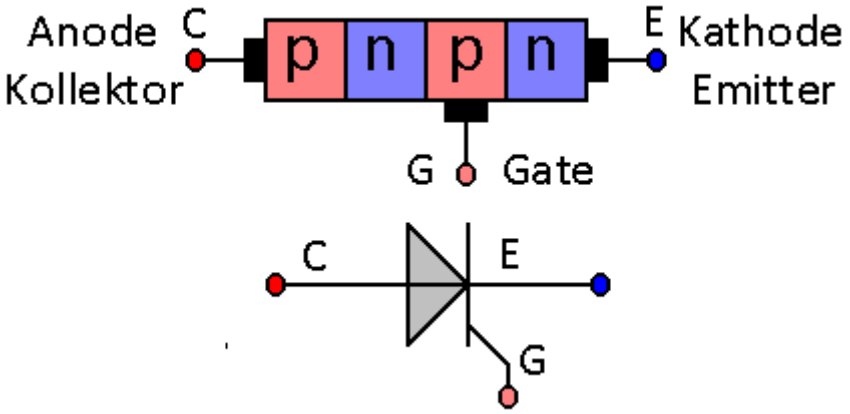
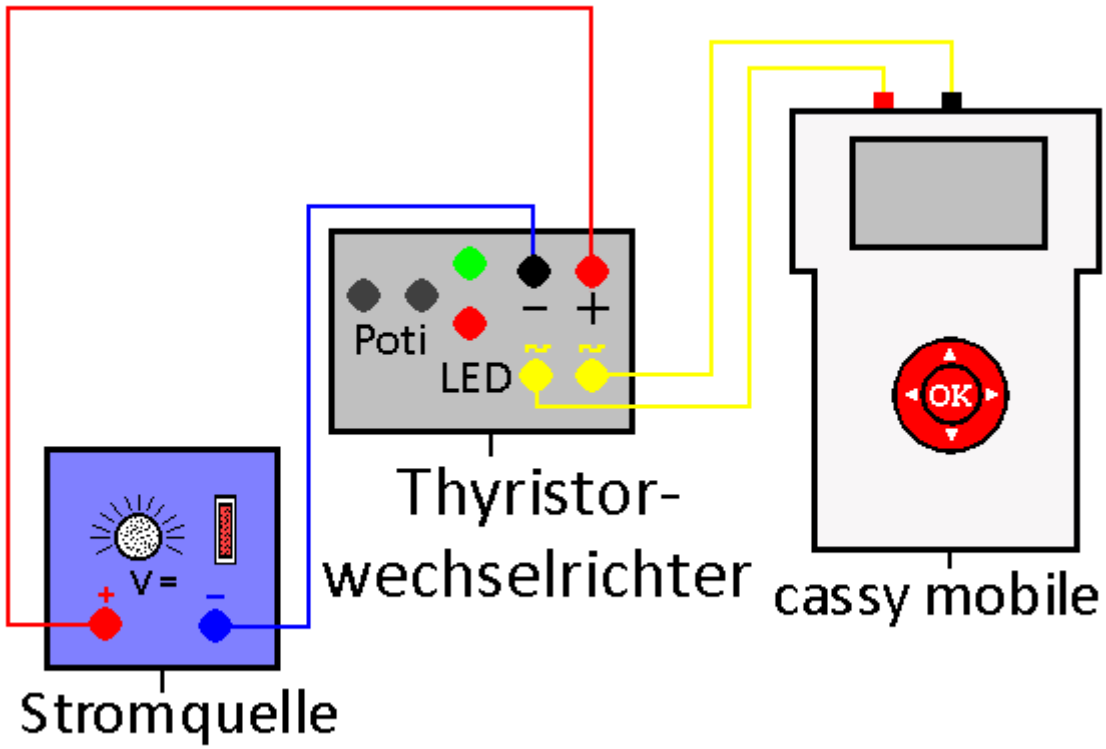


Abb.1: Aufbau und Schaltzeichen eines Thyristors

Versuch 4:



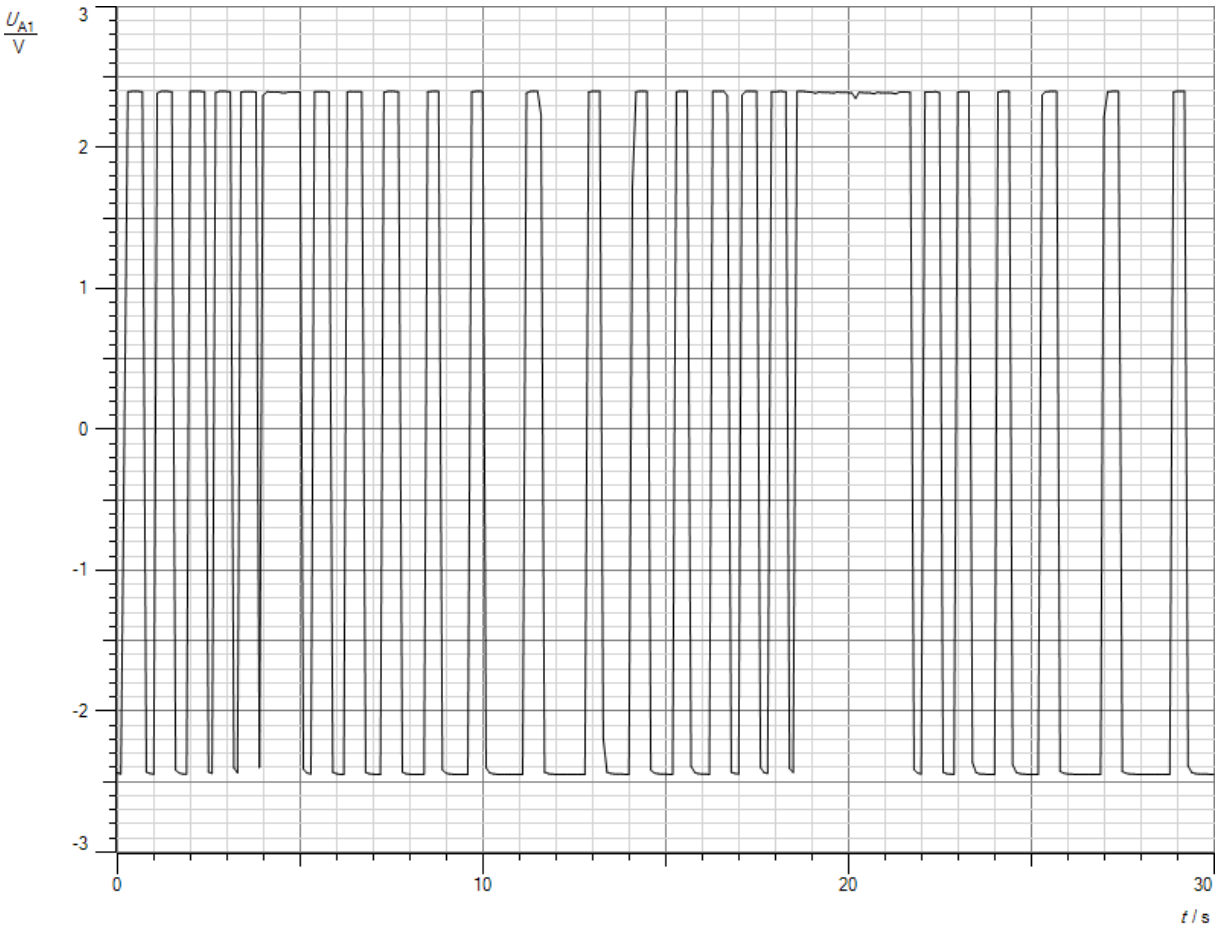
Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Thyristor2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Den genauen Aufbau des Thyristorwechselrichters finden sie im Skript „Richter“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de (s. a. Abb.1).
3. Legen Sie eine Spannung U = 5 V an den Eingang der Schaltung.
4. Bringen Sie die Potis in eine mittlere Stellung, so dass beide LEDs gleich lang leuchten.
5. Starten Sie cassy mobile.
6. Drehen Sie eines der beiden Potis aus seiner Mittelstellung langsam bis zum rechten Anschlag, dann bis zum linken und wieder zurück zur Mitte. Wiederholen Sie den Vorgang mit dem anderen Poti. Beobachten Sie die LEDs. Nach dreißig Sekunden stoppt die Messung automatisch. Sollte die Zeit zu kurz oder zu lang sein, stellen Sie im Messmenü eine andere Messzeit ein.
7. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve.
b. Ermitteln Sie den Mittelwert der Spannung jeweils in Intervallen der Länge $\Delta t = 2s$, also im Bereich 0-2 s, 2-4 s usw. Tragen Sie die Mittelwerte mit einem Grafikprogramm in die Messkurve ein oder erstellen Sie mit Excel aus den Mittelwerten ein Diagramm. Deuten Sie die erhaltene Kurve.
c. Erkundigen Sie sich im oben angegebenen Skript, welche Form und welchen Effektivwert die Wechselspannung besitzt, die ein Wechselrichter für die Autobatterie erzeugt.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:



Messkurve 1: Ausgangsspannung

Auswertung

a. Die Breite der Rechtecksignale ändert sich je nach Stellung der beiden Potis. Mal ist die positive Halbwelle zeitlich länger, mal die negative. In einigen Phasen sind sie gleich lang. Mal leuchtet die rote LED länger, mal die grüne. In anderen Phasen leuchten sie gleich lang. Verändert man den Widerstand an der Basis der beiden Transistoren im Multivibrator (s. Versuch 3 Abb.1), so ändert sich ihre Einschaltzeit und damit die Einschaltzeit des jeweiligen Thyristors. Man spricht von Pulsweitenmodulation PWM.
b. Man erhält folgende Tabelle für die Mittelwerte:

Δt[s]	0-2	2-4	4–6	6–8	8–10	10–12	12-14	14-16
U[V]	0,2	1,4	1,6	-0,3	-0,5	-1,1	-1,5	-0,4
Δt[s]	16-18	18-20	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	
U[V]	0,6	1,9	1,7	-0,1	-0,4	-1,3	-1,5	

Tabelle: Mittelwerte der Spannung

Trägt man die Mittelwerte in die Messkurve ein, so ergibt sich folgendes Diagramm:

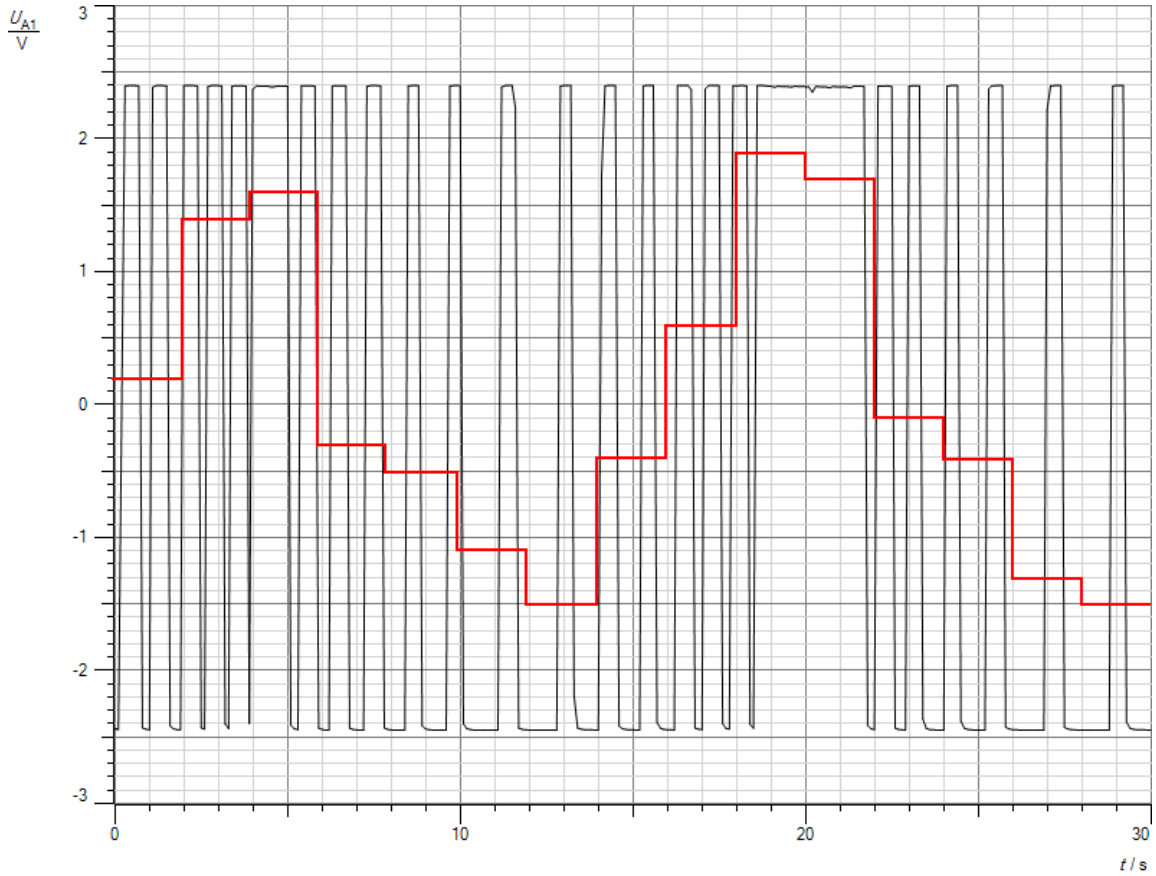


Abb.2: Mittelwerte der Spannung

Durch Modulation der Pulsweite der Rechtecksignale kann man die Ausgangsspannung beliebig formen. Sind die positiven und negativen Halbwellen der Rechtecksignale zeitlich gleich lang, so ist der Mittelwert der Ausgangsspannung null. Überwiegt die zeitliche Länge der positiven Halbwellen die der negativen, so erhält man eine positive Ausgangsspannung, im umgekehrten Fall eine negative. Wählt man die Zeitintervalle für die Mittelwertbildung kürzer, so verläuft die Ausgangsspannung kontinuierlicher mit weniger steilen Stufen. In Wechselrichtern einer Solaranlage benutzt man Kondensatoren zum Glätten des Signals.

c. Die Wechselspannung des Autowechselrichters besitzt die Form in Abb.3. Die Kurve wurde mit einem Messwiderstand R = 10 Ω, einer Lampe P = 40 W und cassy mobile aufgenommen (s. Abb. 4). Am Messwiderstand fällt aus Sicherheitsgründen nur ein kleiner Teil der gesamten Wechselspannung ab. Außerdem kann cassy mobile maximal Effektivspannungen bis U_{eff} = 21 V messen. Ferner muss man eine Sicherheitssteckdose verwenden. Der Versuch darf zudem nur von einer Lehrperson ausgeführt werden. Aus der Kurve in Abb.3 erhält man in den Hoch- und Tiefpunkten der Kurve eine Spannung U = ±2,05 V. Die Gesamtspannung in diesen Phasen beträgt U_{max} = ± 267 V. Daraus ergibt sich ein Effektivwert wie bei der Netzspannung von U_{eff} = 230 V. Die genaue Rechnung kann man im oben genannten Skript nachlesen. Mit dem Wechselrichter kann man Geräte an der Autobatterie betreiben, die für die normale Netzspannung ausgelegt sind, etwa Lampen, kleine Campingkocher usw.

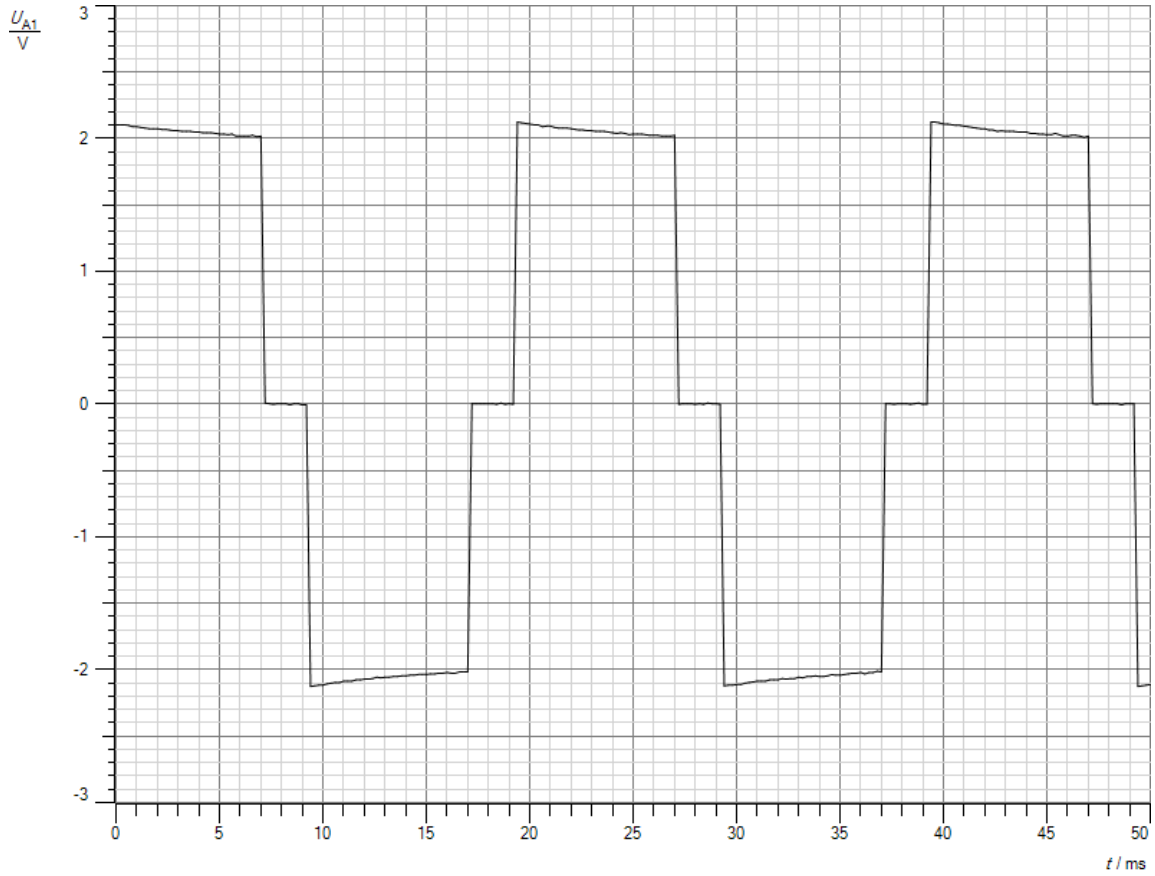


Abb. 3: Ausgangswechselspannung eines Autowechselrichters

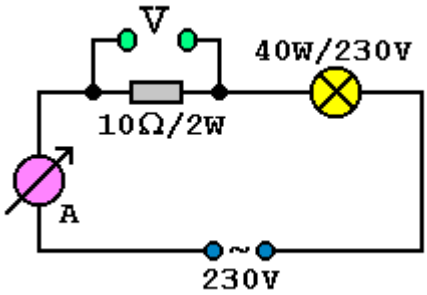
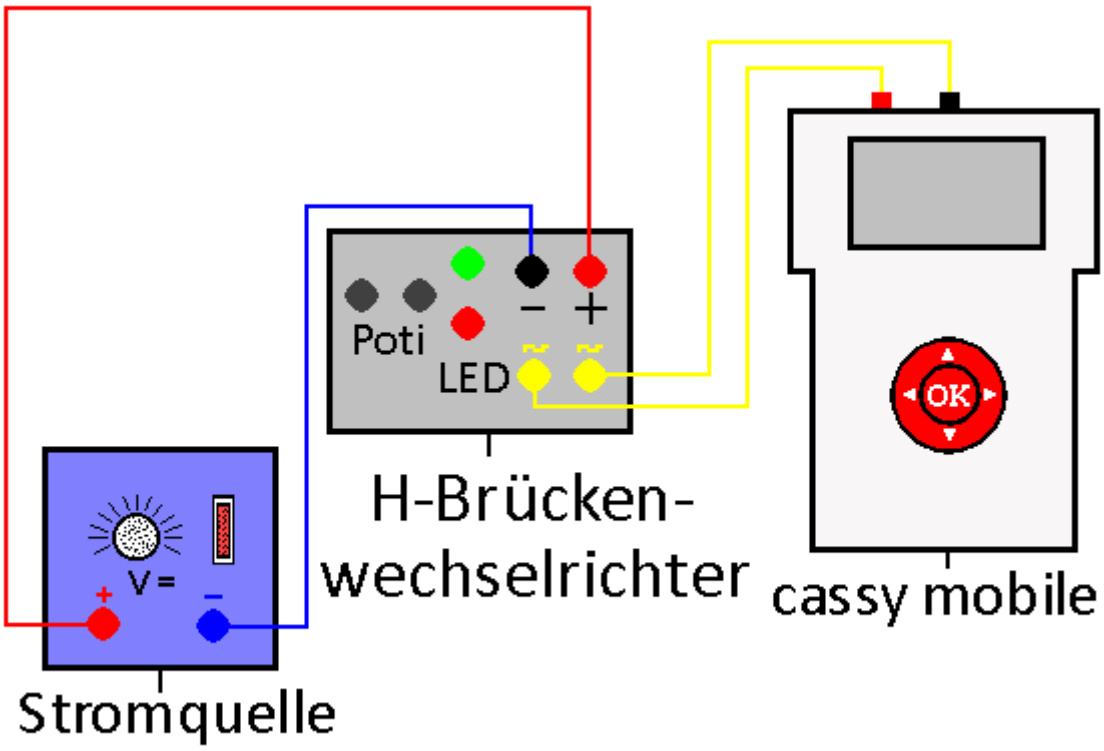


Abb.4: Prüfschaltung

Versuch 5:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „HBruecke.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Den genauen Aufbau des H-Brückenwechselrichters finden sie im Skript „Richter“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de (s. a. Abb.1).
3. Legen Sie eine Spannung U = 5 V an den Eingang der Schaltung.
4. Drehen Sie an beiden Potis. Beobachten Sie die LEDs.
5. Bringen Sie die Potis in eine mittlere Stellung, so dass beide LEDs gleich lang leuchten.
6. Starten Sie cassy mobile. Die Messung stoppt nach fünf Sekunden automatisch.
7. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messkurve und das Verhalten der LEDs.
b. Erklären Sie anhand von Abb.1, wie ein H-Brückenwechselrichter aus Gleichspannung Wechselspannung erzeugt. Erläutern Sie, warum die Amplitude der Wechselspannung kleiner ist als die angelegte Gleichspannung.
c. Will man mit der Schaltung andere Verbraucher als die LEDs betreiben, so benutzt man einen Aufbau nach Abb. 2 mit einem Überträger. Erläutern Sie den Aufbau.
d. Erklären Sie die Bezeichnung H-Brücke für die Schaltung.
e. Erkundigen Sie sich im Internet, wo H-Brückengleichrichter verwendet werden.

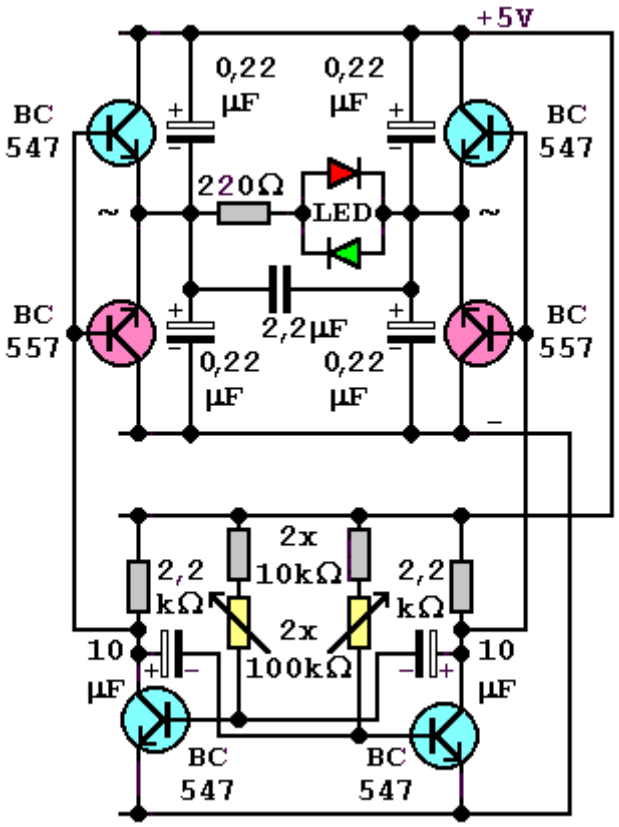


Abb.1: Testschaltung H-Brückenwechselrichter

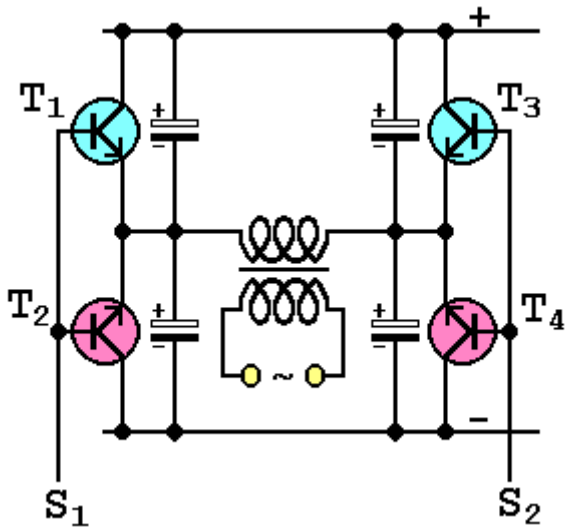
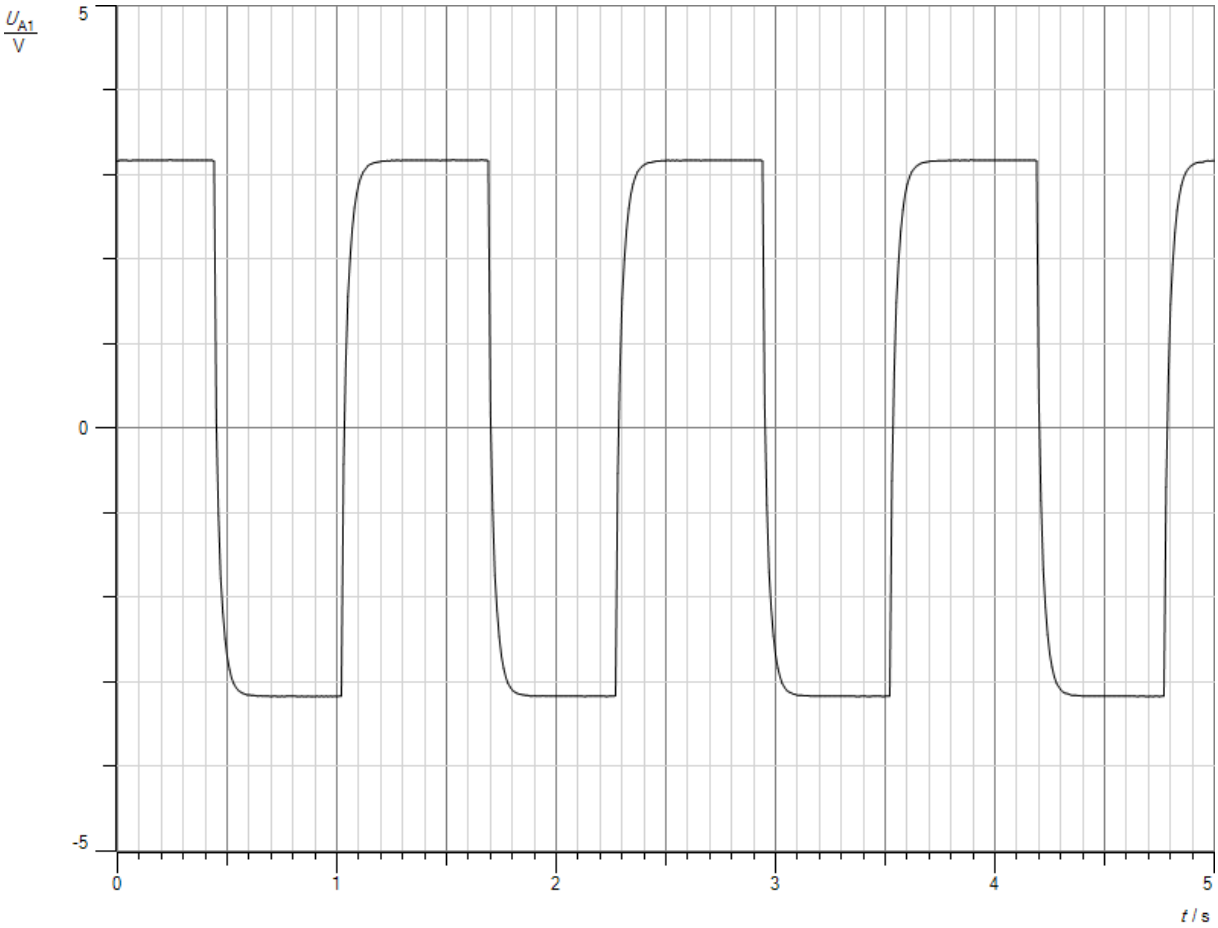


Abb.2: H-Brückenwechselrichter allgemein

Beobachtung

Die beiden LEDs blinken abwechselnd. Mit einem der beiden Potis kann man die Einschaltzeit der roten LED, mit dem anderen die Einschaltzeit der grünen LED in einem weiten Bereich einstellen. Man erhält folgende Messkurve:



Messkurve 1: Ausgangsspannungswechselspannung

Auswertung

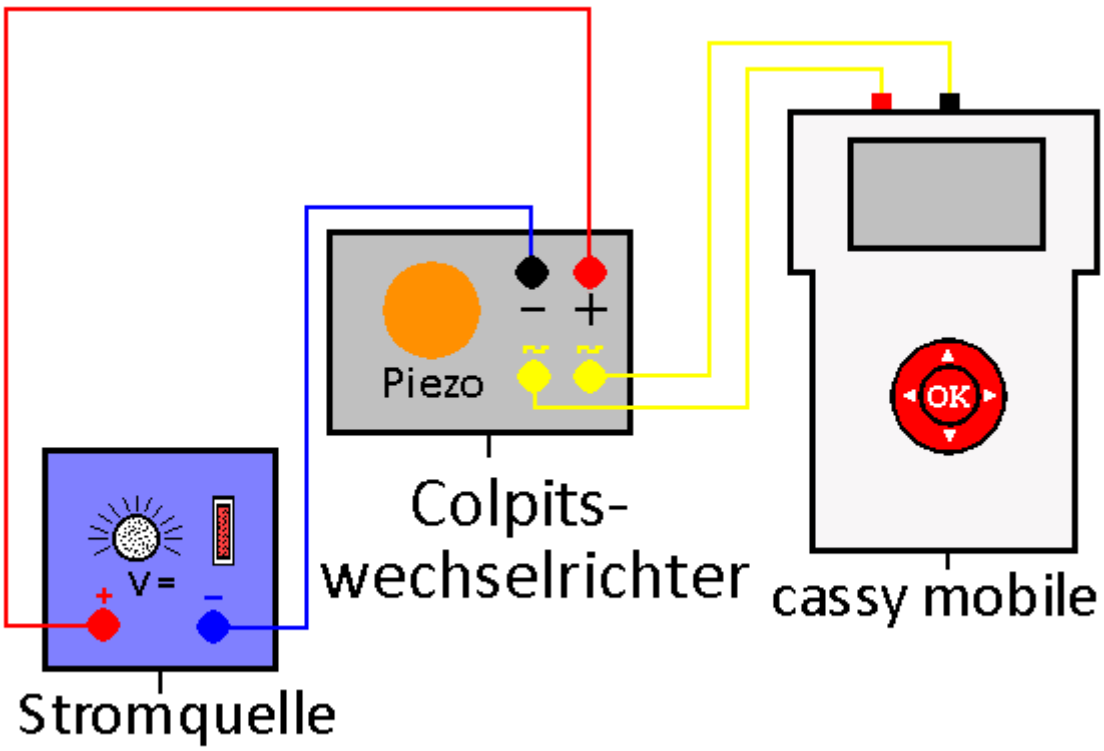
a. Die Schaltung erzeugt eine rechteckförmige Wechselspannung. In einer Halbwelle wird die rote LED mit einer Spannung versorgt, in der anderen die grüne. Sie leuchten abwechselnd. Über die beiden Potis kann für beide LEDs unabhängig voneinander die Einschaltzeiten der LEDs steuern.

b. Die Schaltung besteht aus zwei Teilen, einem Multivibrator und dem eigentlichen Wechselrichter aus vier Transistoren (s. Abb.1). Die LEDs zeigen die Polung der Wechselspannung an. In einer Halbwelle werden die Transistoren links oben und rechts unten durch den Multivibrator eingeschaltet. Der linke Pol der Wechselspannung ist damit mit dem Pluspol, der rechte mit dem Minuspol verbunden. In der zweiten Halbwelle leiten die Transistoren rechts oben und links unten. Der rechte Pol der Wechselspannung liegt damit am Pluspol, der linke am Minuspol. Da die linken Transistoren komplementär zueinander sind, schaltet ein positiver Steuerimpuls am linken Ausgang des Multivibrators den oberen ein und den unteren aus, ein negativer Impuls dagegen den oberen aus und den unteren ein. Gleiches gilt für die rechten Transistoren bezüglich des Steuerimpulses am rechten Ausgang des Multivibrators. Da die beiden Ausgänge des Multivibrators zu jedem Zeitpunkt entgegen gesetztes Potential besitzen, werden die Transistoren über Kreuz

eingeschaltet. Die Ausgangsspannung ist kleiner als die angelegte Gleichspannung, da an jedem Transistor im durchgeschalteten Zustand eine Spannung von etwa U = 0,8 V abfällt.

c. Durch den Überträger kann man die Ausgangswechselspannung beliebig an den Verbraucher anpassen. Außerdem ist die Wechselspannung galvanisch sauber von der Eingangsgleichspannung getrennt.
d. Man spricht von einem H-Brückenwechselrichter, da die Transistoren durch die Steuerschaltung, z.B. durch einen Multivibrator über Kreuz eingeschaltet werden.
e. H-Brückenwechselrichter werden in der Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung, HGÜ genannt, verwendet. Dabei wird die hohe Wechselspannung zunächst durch Gleichrichter in eine hohe Gleichspannung umgewandelt. Sie wird durch die Hochspannungsleitung übertragen. Bei sehr großen Entfernungen sind die Verluste bei Gleichspannung deutlich geringer als bei Wechselspannung, da keine Strahlungsverluste durch elektromagnetische Wellen auftreten. Vor Ort wird die Gleichspannung durch H-Brückenwechselrichter wieder in Wechselspannung zurückverwandelt, da die Verbraucher für das Wechselstromnetz ausgelegt sind.

Versuch 6:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Colpitsw.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf. Den genauen Aufbau des Colpitswechselrichters finden sie im Skript „Richter“ auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de (s. a. Abb.1).
3. Legen Sie eine Spannung U = 5 V an den Eingang der Schaltung.
4. Starten Sie cassy mobile.
5. Die Messung stoppt nach 10 ms automatisch.
6. Speichern Sie die Messkurve.

Aufgaben

a. Deuten ihre Beobachtungen und die erhaltene Messkurve.
b. Erklären Sie anhand von Abb.1, wie die Schaltung aus Gleichspannung Wechselspannung erzeugt. Erläutern Sie, warum die Amplitude der Wechselspannung größer ist als die angelegte Gleichspannung.
c. Bestimmen Sie die Frequenz der erzeugten Wechselspannung.
d. Erkundigen Sie sich im Internet, wozu Colpitsoszillatoren noch verwendet werden.

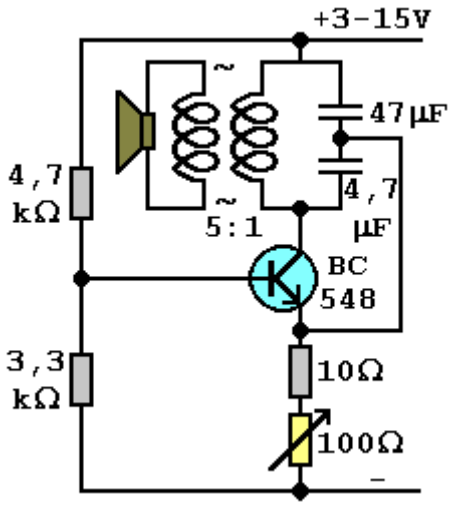
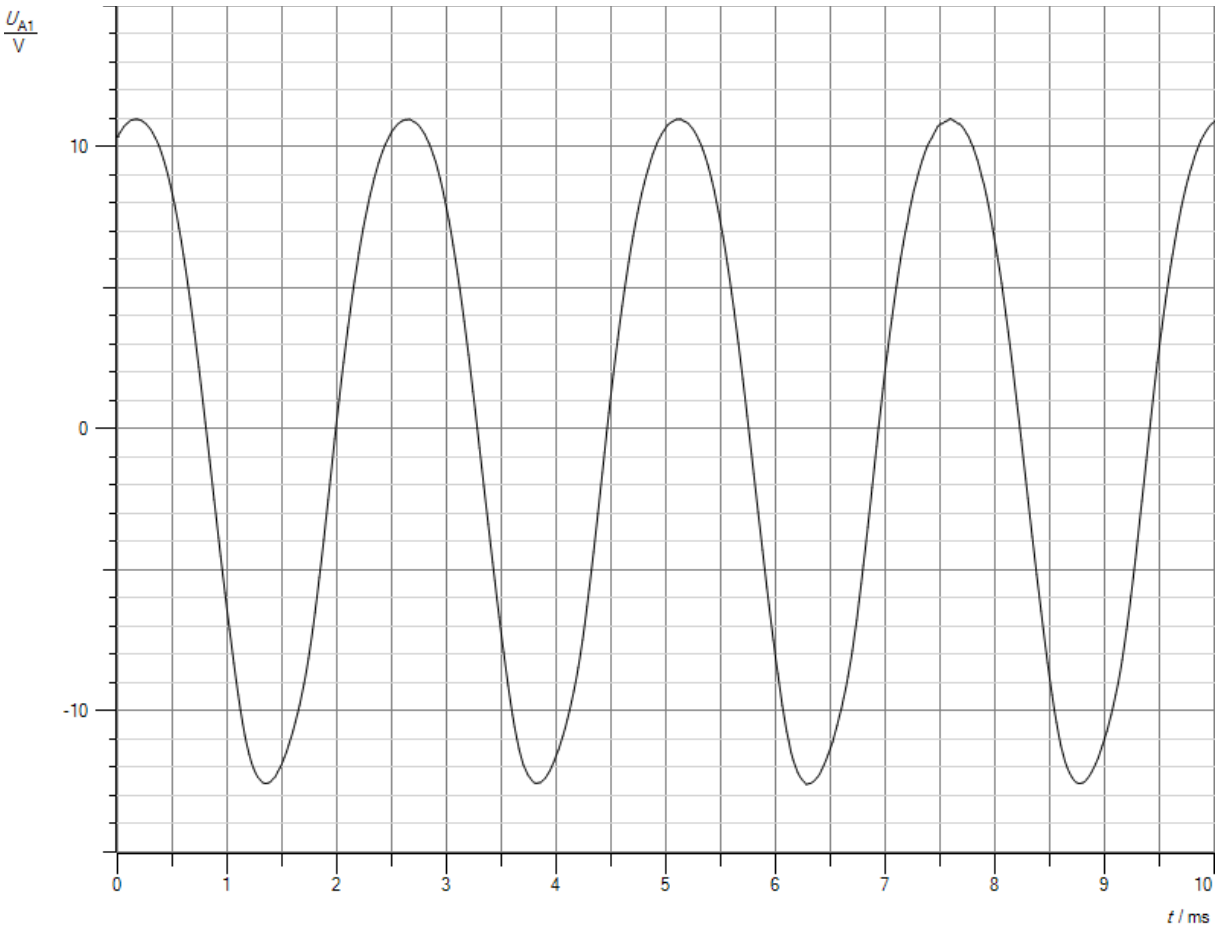


Abb.1: Colpitswechselrichter

Beobachtung
Man erhält folgende Messkurve. Der Piezolautsprecher strahlt einen Ton mittlerer Frequenz ab.



Messkurve 1: Ausgangswechselspannung

Auswertung
a. Die Schaltung besteht aus einem Colpitsoszillator mittlerer Frequenz, wie in b. gezeigt wird. Die Schwingung wird über einen Überträger von einem Piezolautsprecher abgestrahlt.
b. Aus der Messkurve erhält man eine Periodendauer

$$\mathrm{T} = 2{,}5\ \mathrm{ms}.$$

Daraus ergibt sich eine Frequenz

$$\mathrm{f} = \frac{1}{\mathrm{T}} = 400\mathrm{Hz}.$$

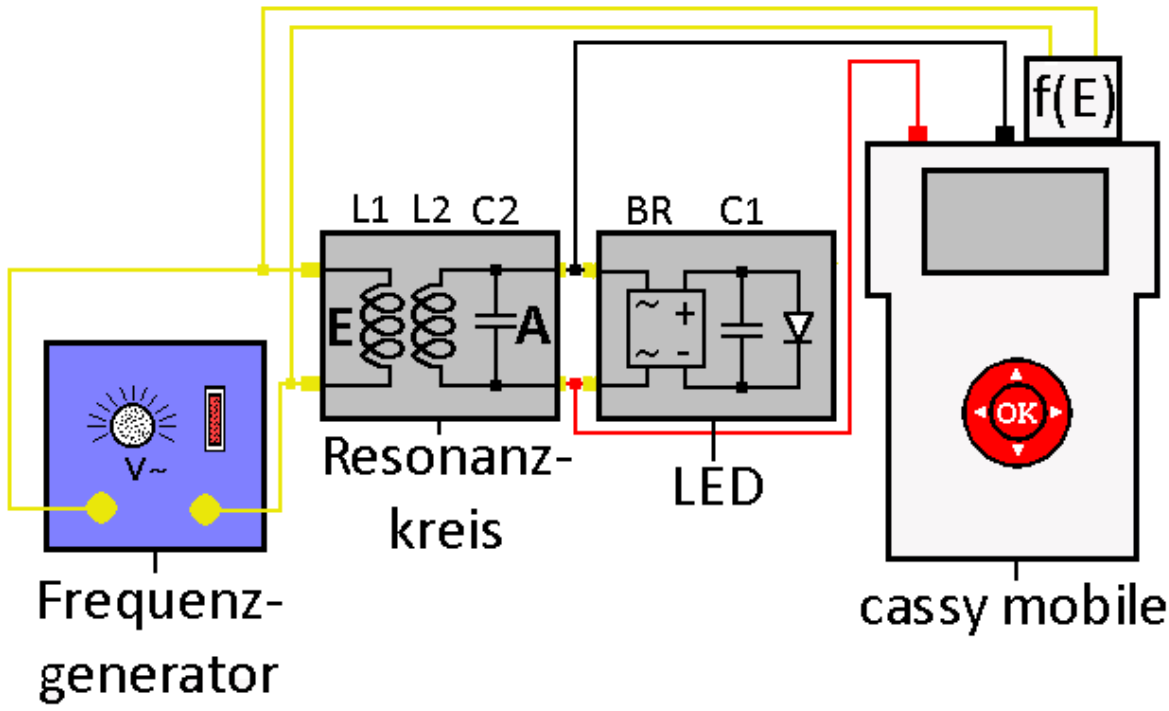
c. Der Transistor wird durch Rückkopplung im Takt der Schwingung ein- und ausgeschaltet. Entscheidend dafür ist der Emitterwiderstand, bestehend aus einem Festwiderstand und einem Poti. Dessen eine Seite ist mit dem Mittenabgriff zwischen den beiden Kondensatoren verbunden. Das Potential dieses Punktes schwankt im Takte der Schwingung. Ist es positiv, so wird das Potential am Emitter des Transistors angehoben, die Spannung an der

Basis-Emitter-Strecke sinkt, der Transistor sperrt. Liegt es in der nächsten Halbperiode auf negativem Niveau, so sinkt das Potential am Emitter, die Basis-Emitter-Spannung am Transistor steigt. Er schaltet durch. Es fließt zusätzliche Ladung auf die beiden Kondensatoren C_1 und C_2 und durch die Spule L. Die Energie im Schwingkreis steigt und gleicht die Verluste aus. Über das Potentiometer und den Kondensator C_1 kann man die Stärke der Rückkopplung regeln. Ist sie zu stark, ist das Schwingungssignal verzerrt, ist sie zu klein, schwingt der Oszillator nicht. Die Amplitude der Ausgangswechselspannung ist größer als die Eingangsgleichspannung, da sie durch den Überträger im Verhältnis 1:5 verstärkt wird.

d. Der Colpits-Oszillator wird in Ladeteilen von Zahnbürsten (s. Skript Zahnbürste auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de) und Akkutaschenlampen (s. Skript LED-Nachtlicht auf der Webseite www.chemiephysikskripte.de) verwendet. Seine Frequenz lässt sich in einem weiten Frequenzbereich variieren, in dem man die Spule L und die beiden Kondensatoren C_1 und C_2 austauscht.

Wechselstrom

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Resonanz.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf mit L1 = L2 = 100 µH, C2 = 570 nF und C1 = 100 µF. BR ist ein Brückengleichrichter. Die beiden Induktivitäten sollten sich mit ihren Stirnflächen berühren.
3. Schalten Sie den Frequenzgenerator an.
4. Wählen Sie als Signalform Sinusspannung und als Frequenz f = 21000 Hz.
5. Stellen Sie die Amplitude so ein, dass die LED hell leuchtet.
6. Regeln Sie die Frequenz auf f = 10000 Hz herunter.
7. Erhöhen Sie die Frequenz anschließend in Schritten von ca. 1000 Hz bis auf 30000 Hz.
8. Drücken Sie nach jedem Schritt die OK-Taste, um die Messwerte zu speichern. Beobachten Sie jeweils die LED.

Aufgaben

a. Erläutern Sie den Aufbau der Schaltung.
b. Interpretieren Sie die U/f-Kurve. Ermitteln Sie das Maximum der Kurve. Deuten Sie das Verhalten der LED.
c. Berechnen Sie die Resonanzfrequenz und vergleichen Sie sie mit dem gemessenen Wert.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

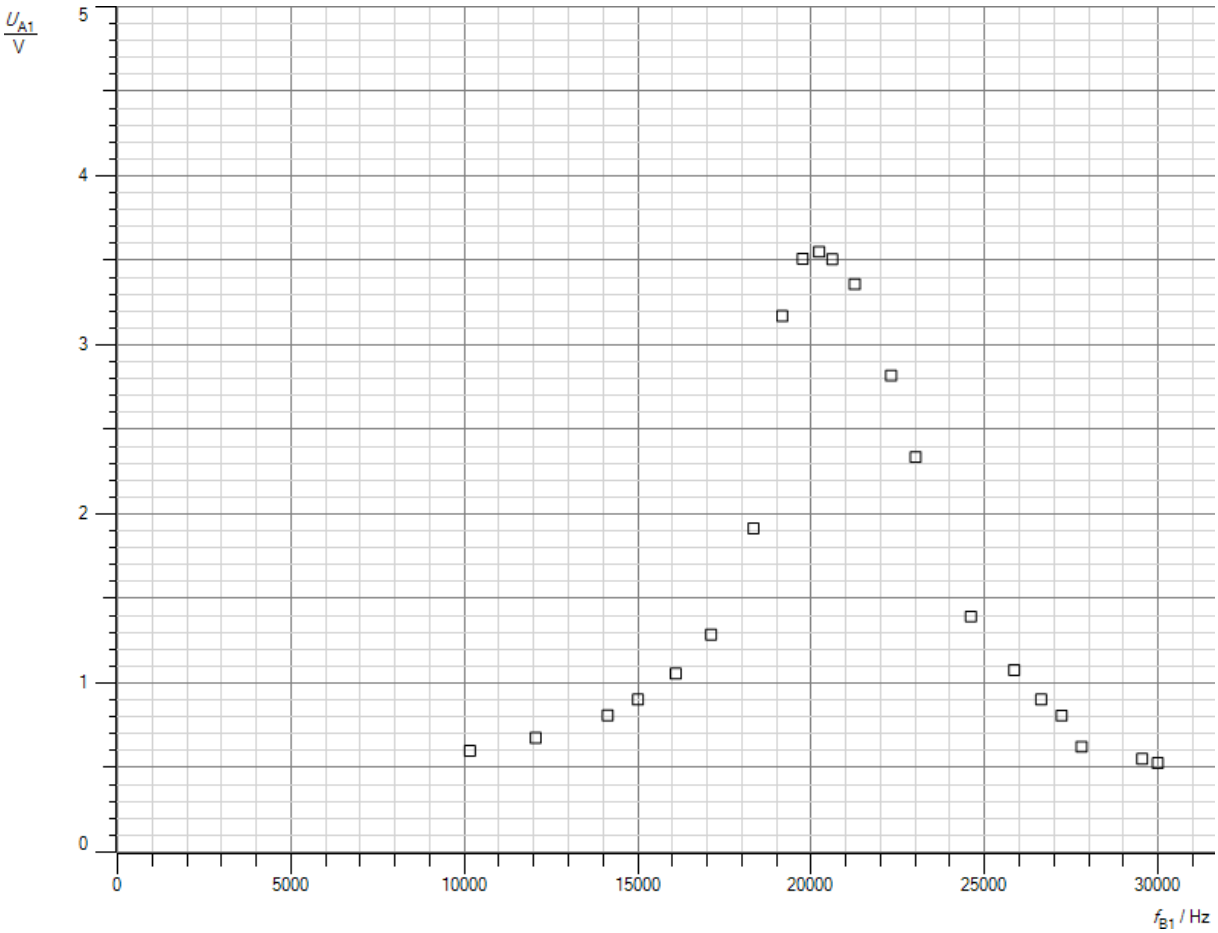


Abb.1: Resonanzkurve

Auswertung

a. Der Resonanzkreis besteht aus zwei gleichen Spulen und einem Kondensator. Die beiden Spulen sind induktiv gekoppelt. Die erste Spule L1 dient als Sender. Die zweite Spule L2 bildet mit dem Kondensator C2 einen Schwingkreis als Empfänger. Da eine LED Gleichspannung benötigt, wird das Sinussignal des Empfangskreises durch einen Brückengleichrichter zunächst gleich gerichtet und dann durch den Kondensator C1 geglättet.
b. Legt man an die Anregungsspule des Resonanzkreises eine Wechselspannung, so induziert sie in der Spule des Schwingkreises eine Induktionsspannung, die ihn zum Schwingen anregt. Stimmen Anregungsfrequenz und Eigenfrequenz des Schwingkreises überein, so erreicht die Amplitude der Schwingung ein Maximum. Es tritt Resonanz auf. Bei zu hohen oder zu tiefen Frequenzen schwingt der Schwingkreis nur mit der Anregungsspannung mit. Eine weiße LED braucht eine Mindestspannung von etwa U = 2,7 V, damit sie leuchten kann. Diese Spannung wird nur im Resonanzfall überschritten. Er tritt bei einer Frequenz f = 21 kHz ein.
c. Im Resonanzfall sind der induktive Widerstand der Spule und der kapazitative Widerstand des Kondensators gleich groß. Es gilt:

$$2\pi f * L = \frac{1}{2\pi f * C}$$

Löst man die Gleichung nach f auf, so erhält man:

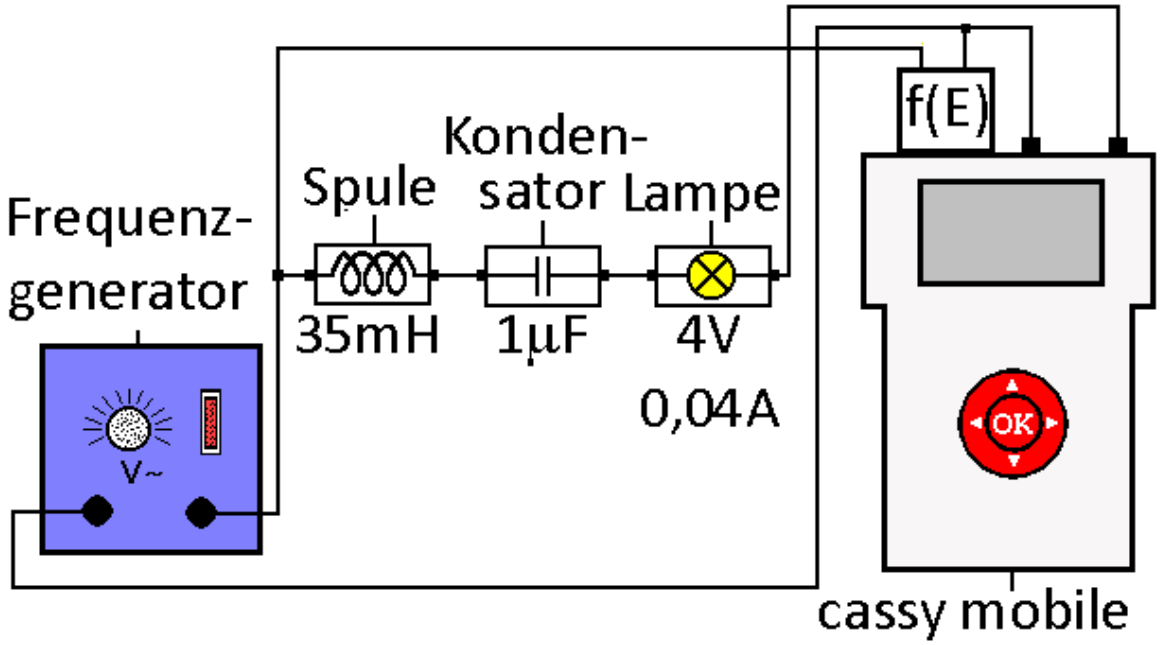
$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}}$$

$$= \frac{1}{2\pi * \sqrt{1 * 10^{-4}H * 5{,}7 * 10^{-7}F}}$$

$$= 21{,}09kHz.$$

Gemessener und theoretischer Wert stimmen sehr gut überein.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Siebkette.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie den Frequenzgenerator ein.
4. Wählen Sie als Signalform Sinusspannung und als Frequenz f = 850 Hz.
5. Erhöhen Sie die Amplitude der Wechselspannung bis das Lämpchen hell leuchtet.
6. Regeln Sie die Frequenz auf 100 Hz herunter. Speichern Sie dieses Messwertpaar, in dem Sie die OK-Taste drücken.
7. Erhöhen Sie die Frequenz in Schritten von 100 Hz, zwischen 800 und 900 Hz in kleineren Schritten von 20 Hz, bis auf 1500 Hz.
8. Speichern Sie für jede Frequenz das Messwertpaar, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Beschreiben und erklären Sie anhand der Messkurve das Verhalten der Lampe.
b. Ermitteln Sie aus der Kurve die Resonanzfrequenz.
c. Berechnen Sie mit den in der Abb. angegebenen Daten die Resonanzfrequenz und vergleichen Sie sie mit der gemessenen Frequenz. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

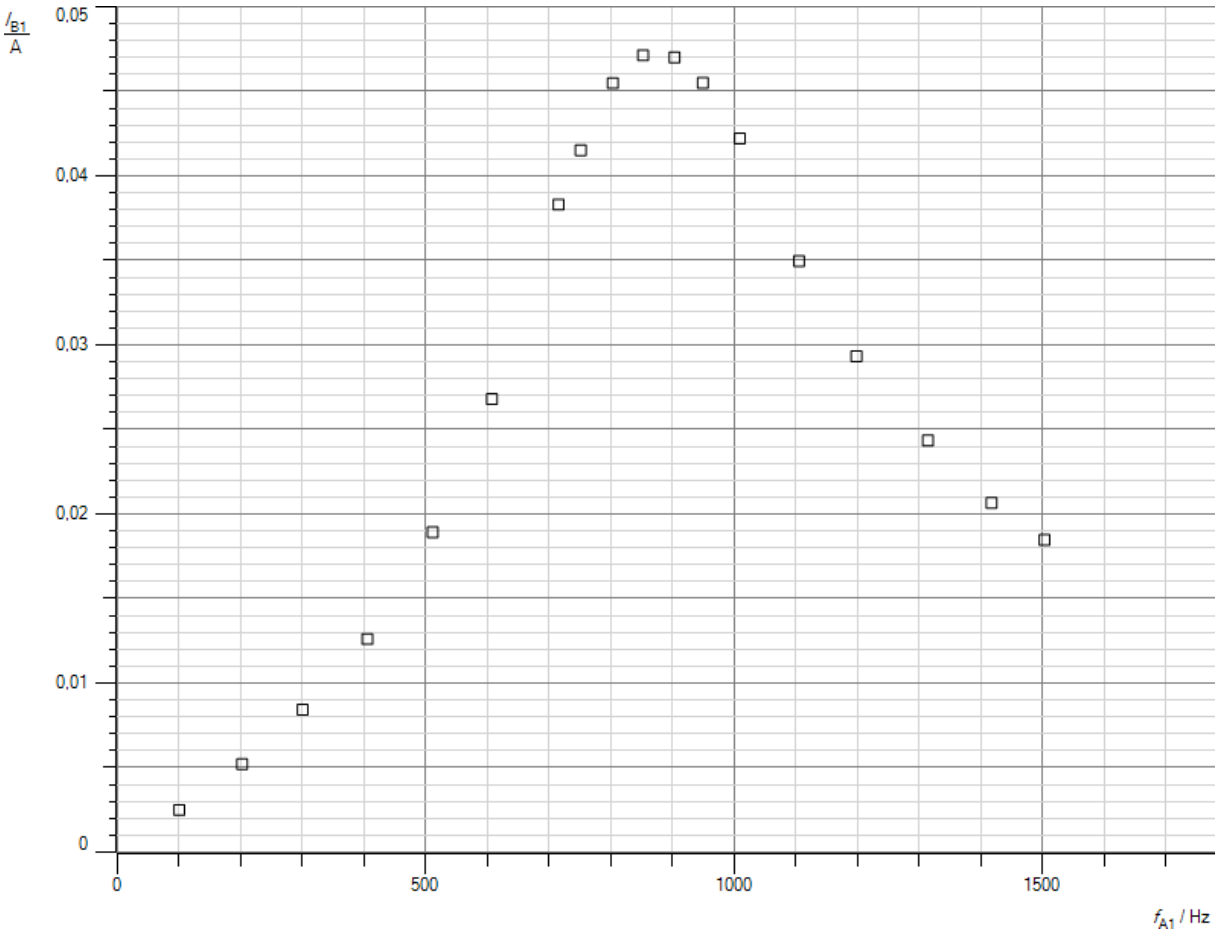


Abb.1: Stromverlauf Siebkette

Auswertung

a. Bei tiefen Frequenzen besitzt der Kondensator einen hohen Widerstand und sperrt den Strom. Bei hohen Frequenzen ist der induktive Widerstand der Spule groß. Es kann nur wenig Strom durch die Reihenschaltung fließen. In beiden Fällen reicht der Strom nicht, die Lampe zum Leuchten zu bringen. Bei einer mittleren Frequenz sind der induktive Widerstand der Spule und der kapazitative Widerstand des Kondensators gleich groß. Sie heben sich in ihrer Wirkung gegenseitig auf, da die Spannungen an beiden um 180° phasenverschoben sind. Es fließt ein Strom durch beide, obwohl die Summe der Spannungen an beiden gleich null ist. Die gesamte Spannung der Spannungsquelle fällt an der Lampe ab. Sie leuchtet hell.
b. Man erhält eine Resonanzfrequenz f = 850 Hz.
c. Im Resonanzfall sind der induktive Widerstand der Spule und der kapazitative Widerstand des Kondensators gleich groß. Es gilt:

$$2\pi f * L = \frac{1}{2\pi f * C}$$

Löst man die Gleichung nach f auf, so erhält man:

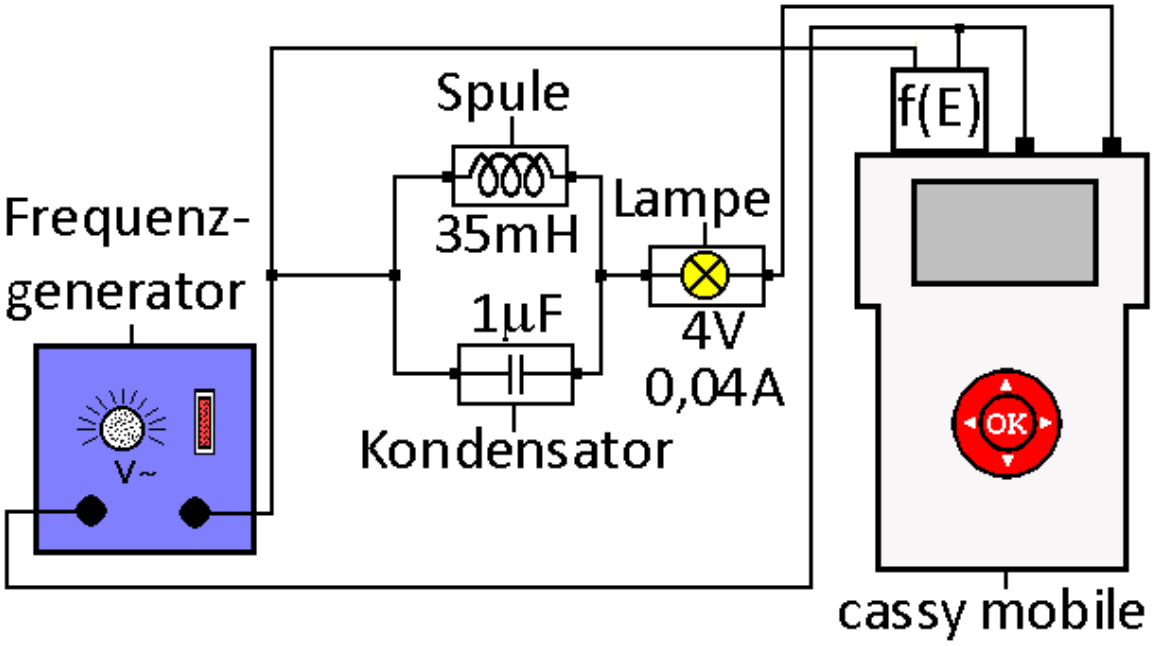
$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}}$$

$$= \frac{1}{2\pi * \sqrt{3{,}5 * 10^{-2}H * 1 * 10^{-6}F}}$$

$$= 851Hz.$$

Gemessener und theoretischer Wert stimmen sehr gut überein.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Sperrkreis.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie den Frequenzgenerator ein.
4. Wählen Sie als Signalform Sinusspannung und als Frequenz f = 100 Hz.
5. Erhöhen Sie die Amplitude der Wechselspannung bis das Lämpchen hell leuchtet.
6. Speichern Sie dieses Messwertpaar, in dem Sie die OK-Taste drücken.
7. Erhöhen Sie die Frequenz in Schritten von 100 Hz, zwischen 800 und 900 Hz in kleineren Schritten von 20 Hz, bis auf 1500 Hz.
8. Speichern Sie für jede Frequenz das Messwertpaar, in dem Sie die OK-Taste drücken.

Aufgaben

a. Beschreiben und erklären Sie anhand der Messkurve das Verhalten der Lampe.
b. Ermitteln Sie aus der Kurve die Resonanzfrequenz.
c. Berechnen Sie sie mit den in der Abb. angegebenen Daten und vergleichen Sie sie mit der gemessenen Frequenz. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

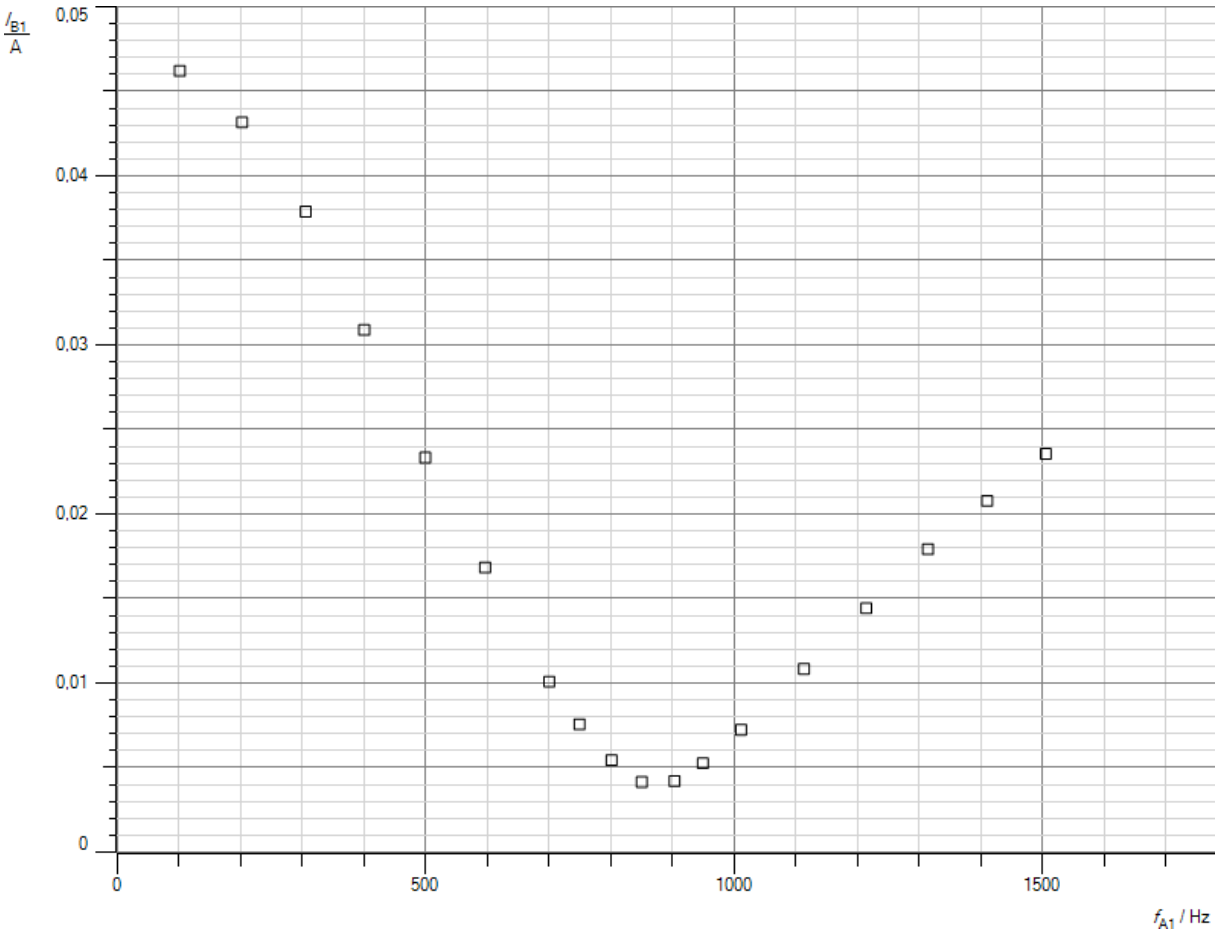


Abb.1: Stromverlauf Sperrkreis

Auswertung

a. Bei tiefen Frequenzen besitzt der Kondensator einen hohen Widerstand und sperrt den Strom. Er fließt durch die Spule und die Lampe. Sie leuchtet. Bei hohen Frequenzen ist der induktive Widerstand der Spule groß. Es kann nur wenig Strom durch die Spule fließen. Dafür leitet der Kondensator. Der Strom fließt durch ihn und die Lampe. Sie leuchtet. Bei einer mittleren Frequenz sind der induktive Widerstand der Spule und der kapazitative Widerstand des Kondensators gleich groß. Die Ströme durch beide heben sich weitgehend auf, da sie gegeneinander phasenverschoben sind. Der Gesamtstrom fällt nicht auf null, da die Spule neben dem induktiven Widerstand auch einen Ohmschen Widerstand besitzt, so dass die Phasenverschiebung etwas weniger als 180° beträgt. Der Reststrom durch die in Reihe geschaltete Lampe ist aber so gering, dass die Lampe nicht leuchtet.
b. Man erhält eine Resonanzfrequenz f = 850 Hz.
c. Im Resonanzfall sind der induktive Widerstand der Spule und der kapazitative Widerstand des Kondensators gleich groß. Es gilt:

$$2\pi f * L = \frac{1}{2\pi f * C}$$

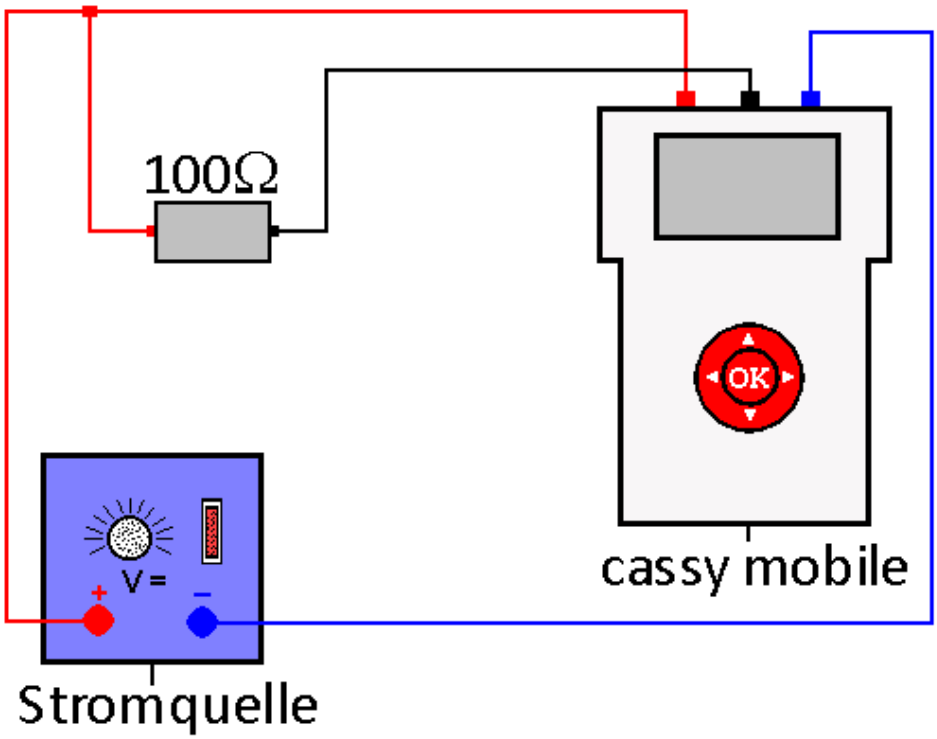
Löst man die Gleichung nach f auf, so erhält man:

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}}$$
$$= \frac{1}{2\pi * \sqrt{3{,}5 * 10^{-2}H * 1 * 10^{-6}F}}$$
$$= 851Hz.$$

Gemessener und theoretischer Wert stimmen sehr gut überein.

Widerstand

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Widerstand1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Achten Sie auf die richtige Polung.
3. Erhöhen Sie die Gleichspannung, beginnend bei 0 V in kleinen Schritten von ca. 0,5 V und speichern Sie jeweils den Messwert durch Drücken der OK-Taste.
4. Beenden Sie den Versuch, wenn Sie eine Spannung von U = 10 V erreicht haben.

Aufgaben

a. Werten Sie das U/I-Diagramm grafisch aus und stellen Sie das Gesetz auf, das sich ergibt.
b. Werten Sie das P/I-Diagramm grafisch aus und stellen Sie das Gesetz auf, das sich ergibt.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

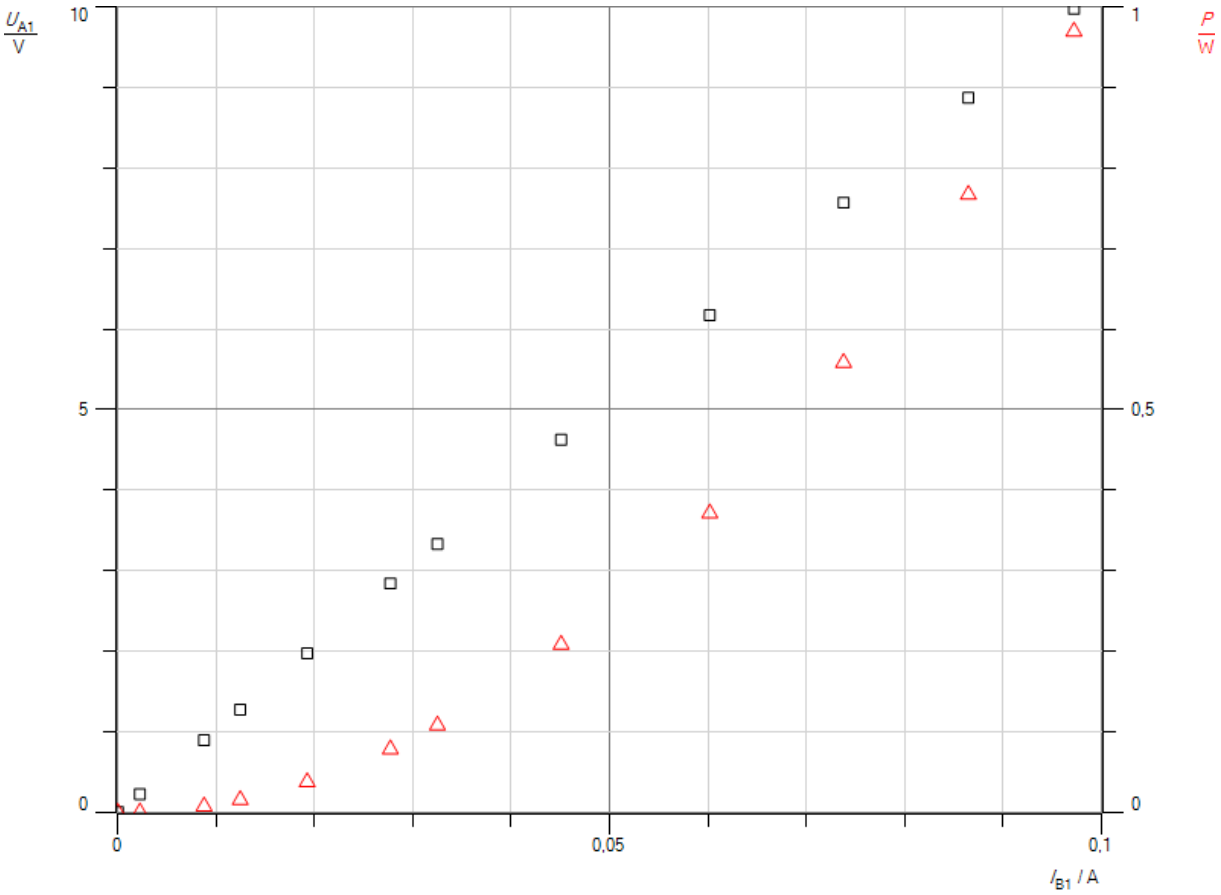


Abb.1: Spannung und Leistung in Abhängigkeit von der Stromstärke

Auswertung

a. Die Spannung U und die Stromstärke I sind proportional zueinander. Ihre Abhängigkeit lässt sich durch eine Geradengleichung beschreiben mit dem Widerstand R als Steigung. Die gesuchte Gesetzmäßigkeit zwischen U, R und I lautet:

$$U = R * I.$$

Die Geradenauswertung liefert für R:

$$R = 102{,}6\frac{V}{A} = 102{,}6\Omega.$$

Der eingesetzte Messwiderstand trägt die Aufschrift 100 Ω. Gemessener und angegebener Wert stimmt sehr gut überein.

b. Die Leistung P ist definiert als Produkt aus U und I. Gemäß der in Teilaufgabe a erhaltenen Gesetzmäßigkeit nimmt sie parabelförmig mit der Stromstärke zu. Es gilt

$$P = U * I = R * I * I = R * I^2.$$

Entsprechend gilt für die Leistung in Abhängigkeit von der Spannung U

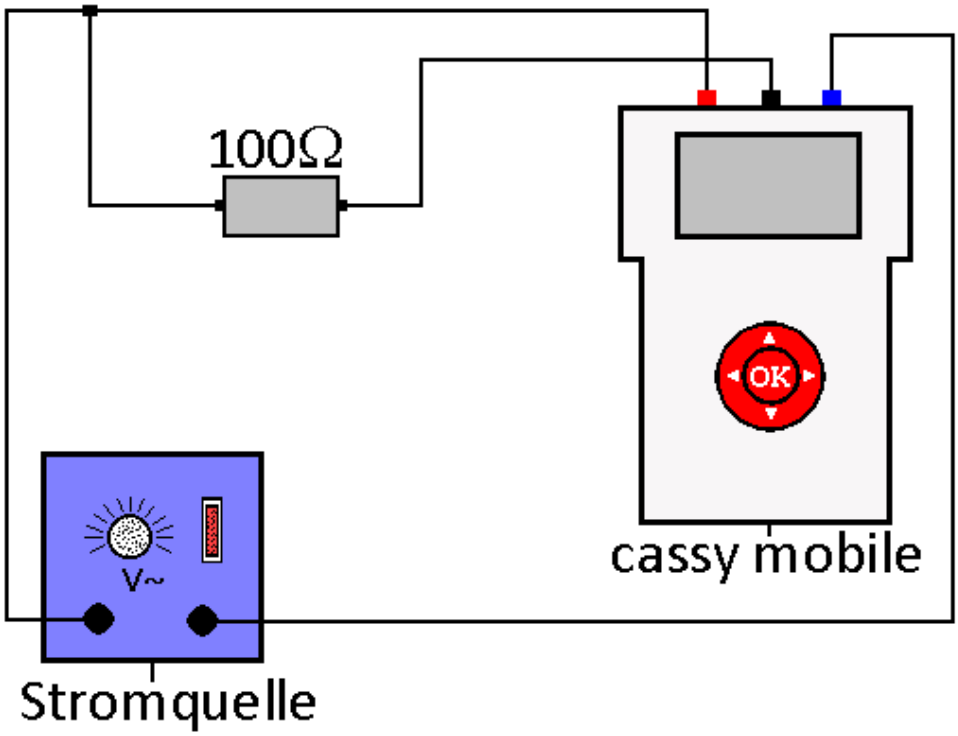
$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Die grafische Auswertung des P/I-Diagrammes liefert für die Steigung R der Parabel

$$R = 102{,}6\,\frac{W}{A^2} = 102{,}6\Omega.$$

Sie stimmt exakt mit dem aus dem U/I-Diagramm erhaltenen Wert für den Widerstand überein.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Widerstand2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie die Schaltung gemäß der Abb. auf.
3. Stellen Sie eine Spannung von U = 3 V ein.
4. Starten Sie die Messung. Sie ist nach 50 ms beendet.

Aufgaben

a. Interpretieren Sie das U(t), I(t) und P(t)-Diagramm.
b. Bestimmen Sie I_{max} und U_{max} und errechnen Sie damit den Ohmschen Widerstand.
c. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Aufschrift auf dem Bauteil und diskutieren Sie eventuelle Abweichungen.
d. Erstellen Sie ein I(U)- und ein P(U)-Diagramm und deuten Sie sie.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurven:

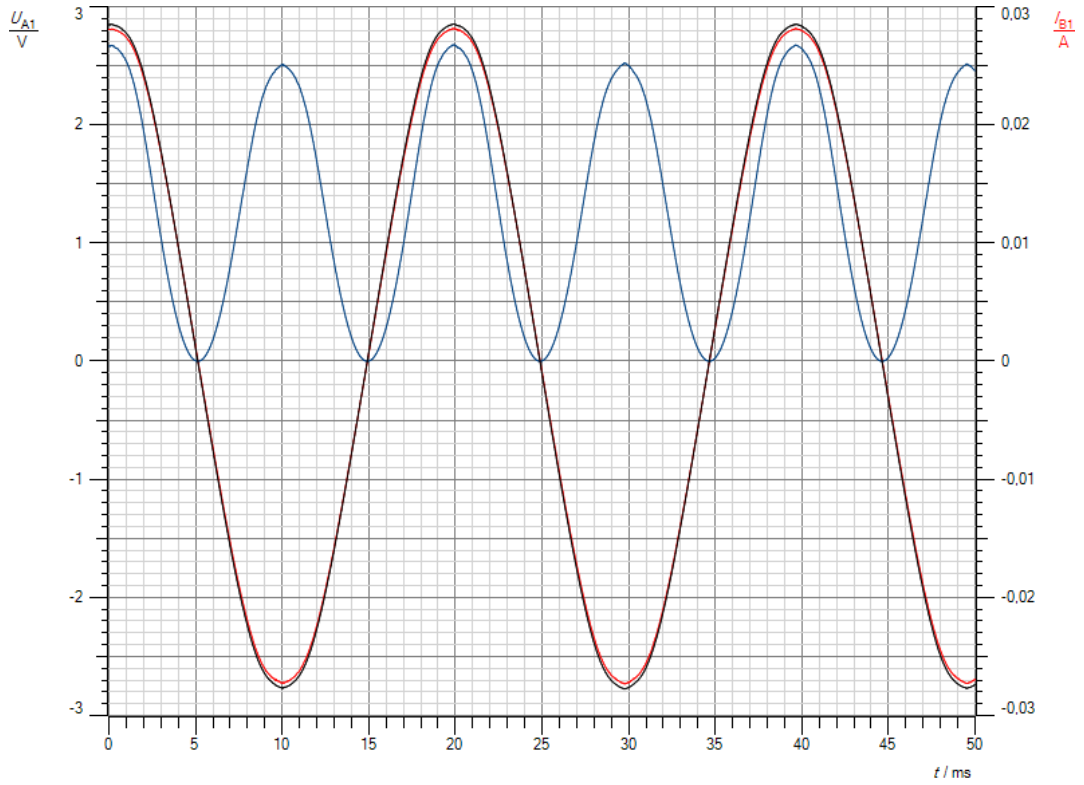


Abb.1: U(t), I(t) und P(t)-Diagramm für einen Ohmschen Widerstand

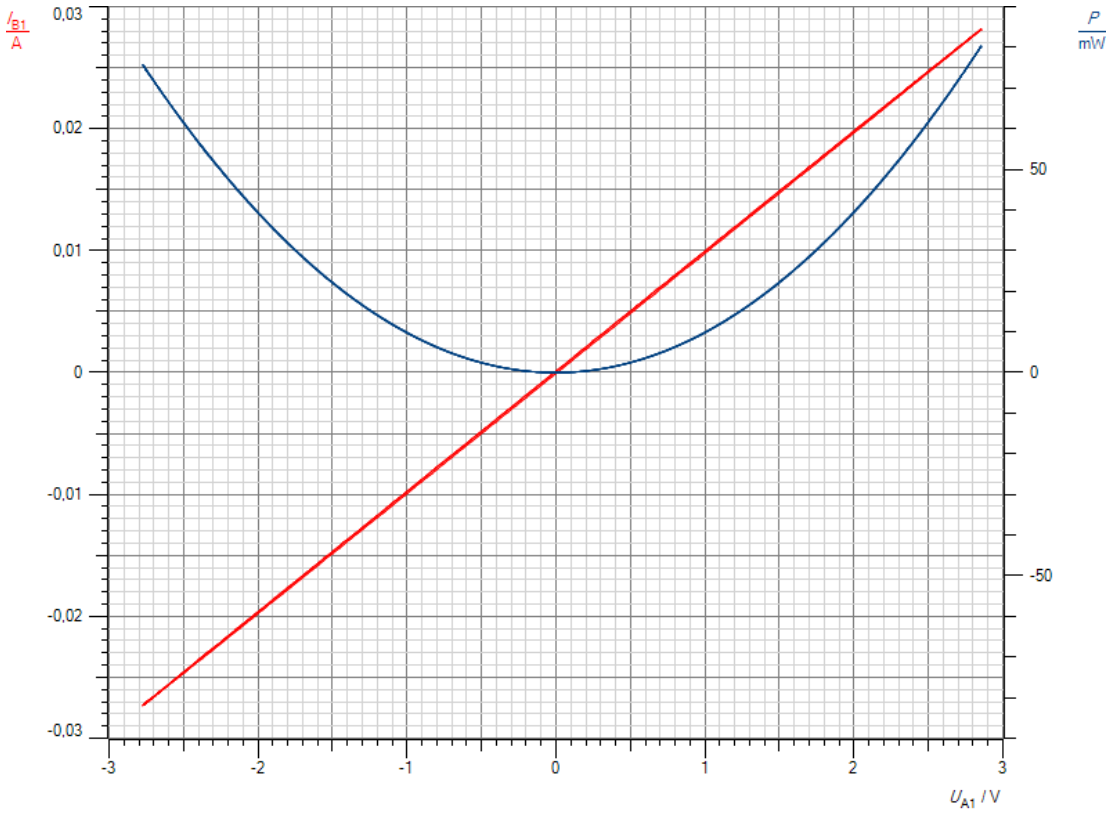


Abb.2: I(U) und P(U)-Diagramm für einen Ohmschen Widerstand

Auswertung

a. Die Spannung U und die Stromstärke I sind zu jedem Zeitpunkt in Phase. Da die Leistung stets im positiven Bereich verläuft, liegt reine Wirkleistung vor. Die Leistungskurve besitzt die doppelte Frequenz der Spannungs- und Stromstärkekurve, da die Leistung quadratisch von der Spannung bzw. Stromstärke abhängt, wie die Überlegungen zum 1. Teilversuch zeigen.
b. Aus der Kurve liest man ab:

$$U_{max} = 2{,}85V$$

$$I_{max} = 0{,}028A.$$

Damit erhält für den Widerstand den Wert

$$R = \frac{2{,}85V}{0{,}028A} = 101{,}8\Omega.$$

c. Dieser Wert stimmt sehr gut mit der Aufschrift 100 Ω auf dem Messwiderstand überein.
d. Abb.2 zeigt das I(U)- und das P(U)-Diagramm. U und I sind in Phase, da sich eine exakte Gerade ergibt. Außerdem erkennt man deutlich die parabelförmige Abhängigkeit der Leistung P von der Spannung U. Die Geradenauswertung des I(U)-Diagramms liefert die Steigung

$$m = 0{,}00986\frac{A}{V}$$

und damit für den Widerstand R

$$R = \frac{1}{m} = 101{,}4\Omega.$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit der Aufschrift 100 Ω auf dem Messwiderstand überein.

Zahnbürste

Versuch:

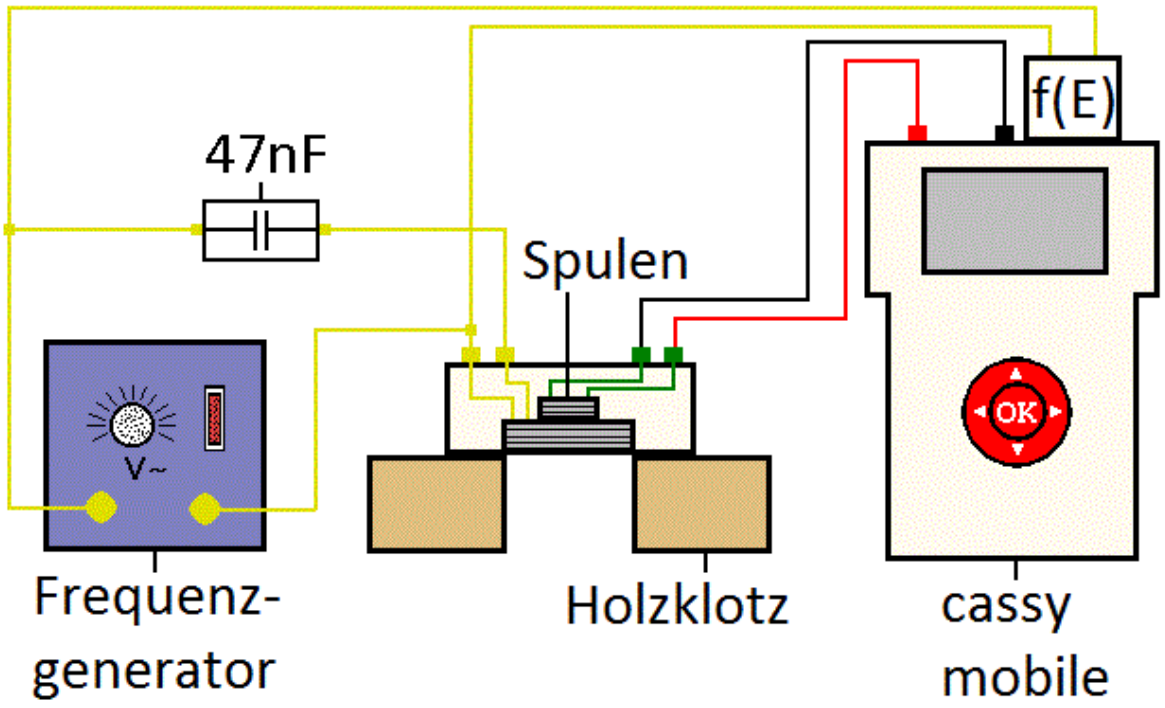


Abb.1: Versuchsaufbau

Durchführung:

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Zahnbuerste.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Schalten Sie den Frequenzgenerator ein.
4. Wählen Sie als Signalform Sinusspannung und als Effektivspannung U_{eff} = 2 V.
5. Erhöhen Sie die Frequenz in Schritten von 1 kHz von 1 kHz auf 20 kHz.
6. Speichern Sie das Messpaar nach jedem Schritt, in dem Sie die OK-Taste drücken.
7. Ersetzen Sie den Kondensator durch einen mit der Kapazität C = 2,2 nF. Erhöhen Sie die Frequenz in Schritten von 1kHz von 20kHz auf 45 kHz.
8. Speichern Sie das Messpaar nach jedem Schritt, in dem Sie die OK-Taste drücken.
9. Wiederholen Sie den Versuch ohne Kondensator im Frequenzbereich 20 kHz bis 45 kHz.

Aufgaben

a. Erklären Sie den Kurvenverlauf der Induktionsspannung mit und ohne Kondensator.
b. Berechnen Sie die Resonanzfrequenz für L = 8,7 mH und C = 2,2 nF bzw. C = 47 nF.
c. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den gemessenen Resonanzfrequenzen. Diskutieren Sie mögliche Abweichungen.
d. Bei elektrischen Zahnbürsten und LED-Taschenlampen wird analog zum obigen Versuch Energie vom Ladeteil auf die Bürste bzw. Lampe mit einer Frequenz f = 35 kHz übertragen. Erklären Sie, warum man als Frequenz nicht f = 7 kHz oder gar Netzfrequenz mit f = 50 Hz benutzt.

Beobachtung:
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

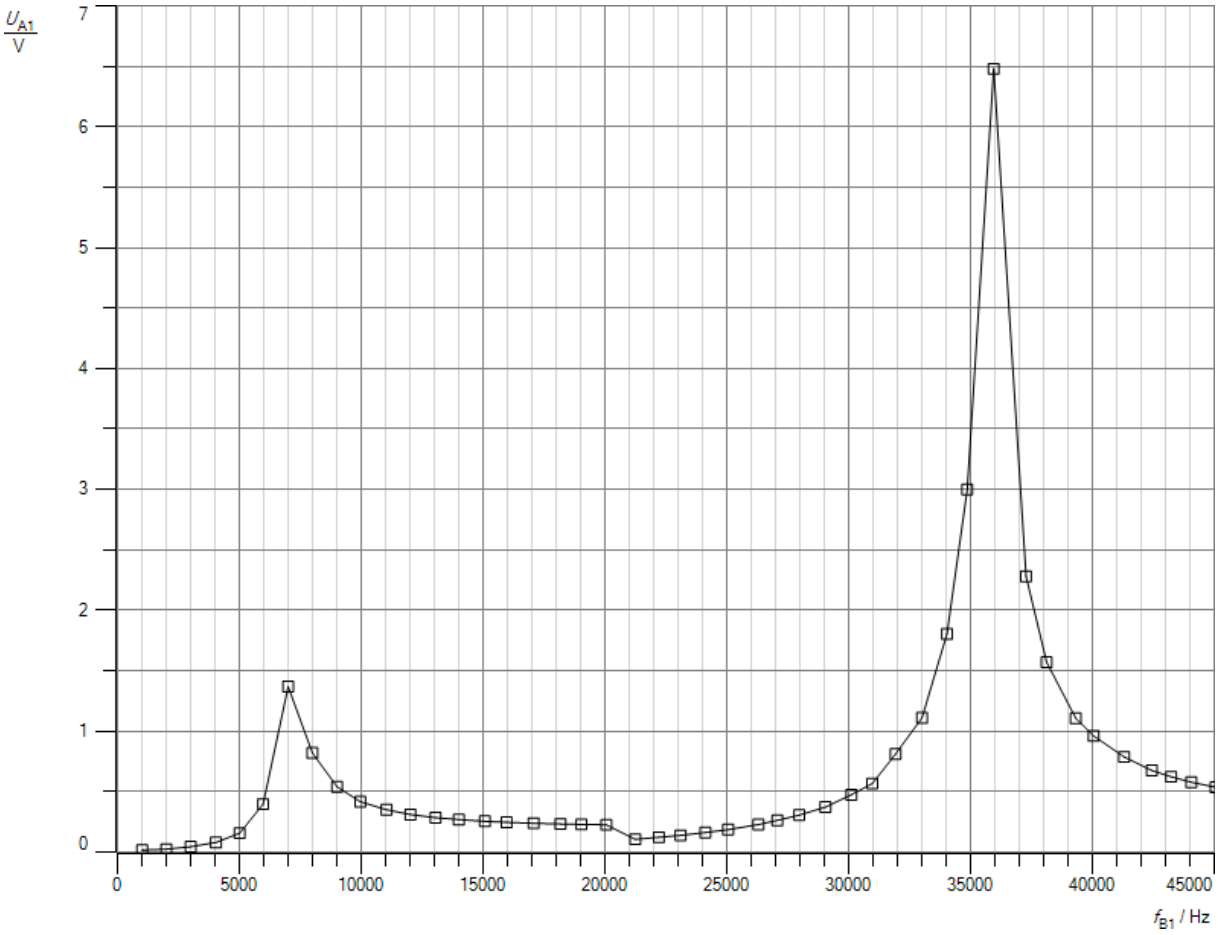


Abb.1: Modellversuch elektrische Zahnbürste

Ohne Kondensator erhält man im untersuchten Frequenzbereich eine nahezu konstante Induktionsspannung von U = 0,18V.

Auswertung

a. Ohne Kondensator sollte die Induktionsspannung gemäß Induktionsgesetz proportional zur Frequenz ansteigen. Dieses Ergebnis erhält man bei kleinen Frequenzen (s. Induktion Versuch 3), solange der induktive Widerstand der Magnetfeldspule klein ist im Vergleich zum Ohmschen Widerstand. Bei hohen Frequenzen übersteigt der induktive Widerstand den Ohmschen Widerstand um ein Vielfaches und bestimmt den Gesamtwiderstand, da er proportional zur Frequenz zunimmt, während der Ohmsche Widersatnd unabhängig von der Frequenz konstant bleibt. Infolgedessen sinkt die Stromstärke und damit die Stärke des Magnetfeldes antiproportional zur Frequenz. Da die Induktionsspannung einerseits zur Frequenz, andererseits zur Stärke des Magnetfeldes proportional ist (s. Induktion Versuche 2 und 3), heben sich beide Einflüsse auf und die Induktionsspannung bleibt konstant. Schaltet man zur Spule einen Kondensator in Reihe, so verringert sich der Wechselstromwiderstand bis zur Resonanz auf Null, ab da steigt er wieder (s. Wechselstrom Versuch 2) . Im Resonanzfall begrenzt nur der Ohmsche Widerstand den Stromfluss und die Stärke des Magnetfeldes entspricht der bei kleinen Frequenzen. Die

Induktionsspannung wird allein durch die Frequenz beeinflusst und erreicht hohe Werte. Außerdem erhält man bei höherer Resonanzfrequenz eine höhere Induktionsspannung.

b. Für die Resonanzfrequenz mit C = 2,2 nF gilt:

$$f = \frac{1}{2\pi * \sqrt{L * C}}$$

$$= \frac{1}{2\pi * \sqrt{8{,}7 * 10^{-3}H * 2{,}2 * 10^{-9}F}}$$

$$= 36{,}4kHz.$$

Für C = 47 nF erhält man:

$$f_2 = 7{,}87kHz.$$

c. Aus dem Diagramm liest man ab:

$$f_1 = 36kHz$$

$$f_2 = 7{,}2kHz.$$

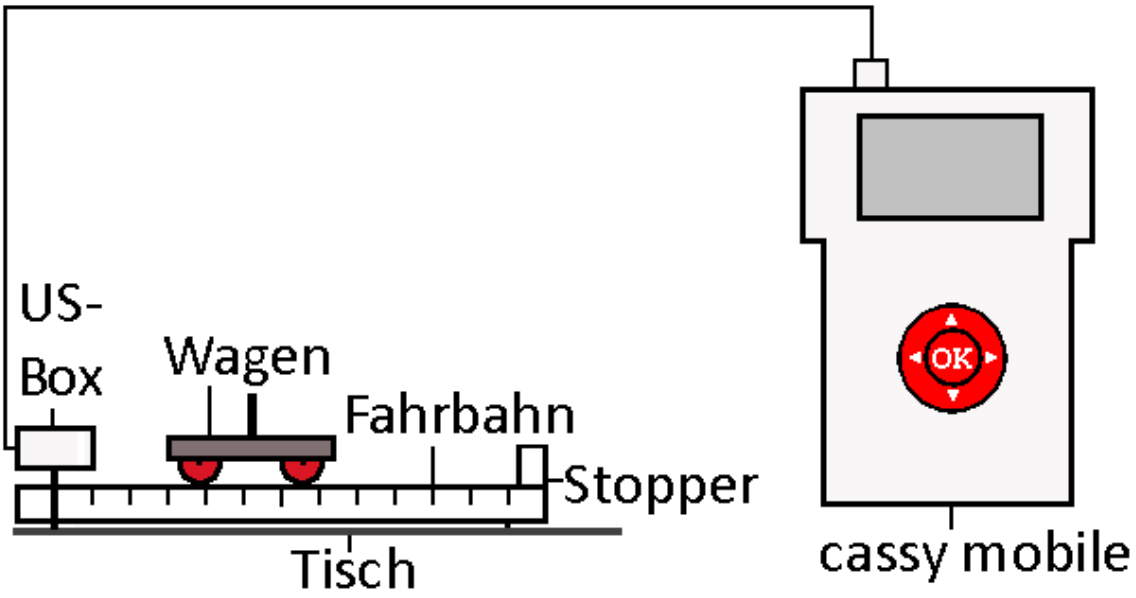
Theoretische und gemessene Werte stimmen recht gut überein. Die Abweichungen sind auf die großen Toleranzen der Kondensatoren zurückzuführen. Außerdem lassen sich die einzelnen Frequenzen am Frequenzgenerator nicht sehr genau einstellen.

d. Bei der Netzfrequenz f = 50 Hz ist die Induktionsspannung mit den verwendeten Spulen viel zu gering, um den Akku laden zu können (s. Induktion Versuch 3). Man bräuchte Spulen mit sehr viel mehr Windungen und zusätzlich einen geschlossenen Eisenkern. Dadurch würden das Ladeteil und die Bürste bzw. die Lampe sehr unhandlich. Bei der mittleren Frequenz f = 7,87 kHz reicht die Spannung ebenfalls noch nicht aus, um einen Lithiumionenakku aufzuladen. Dazu benötigt man mindestens U = 4 V. Nur die Ladefrequenz f = 35 kHz liefert die benötigte Spannung, da die Induktionsspannung mit steigender Frequenz zunimmt, wie in Teilaufgabe a) erläutert.

Mechanik

Bewegungsgesetze

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Newton1.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Bringen Sie den Wagen in eine Position, mindestens 30 cm vor der US-Box.
4. Stellen Sie die Wegmessung in cassy mobile auf -->0<--.
5. Stoßen Sie den Wagen am Pin leicht an und starten Sie gleichzeitig die Messung. Üben Sie den Vorgang mehrfach, damit Sie ein Gefühl für das richtige Timing bekommen.

Aufgaben

a. Werten Sie die s/t-Kurve und v/t-Kurve graphisch aus.
b. Stellen Sie das Weg-Zeit-Gesetz auf, das diese Bewegung beschreibt.
c. Überlegen Sie, was sich am Kurvenverlauf ändert, wenn die Fahrbahn wesentlich länger ist. Erklären Sie.
d. Beschreiben Sie die Fahrt eines Autos, bei dem man die gleichen Kurven erhalten würde.

Beobachtung

Je nachdem wie man den Wagen anstößt, erhält man z.B. folgende Messkurven:

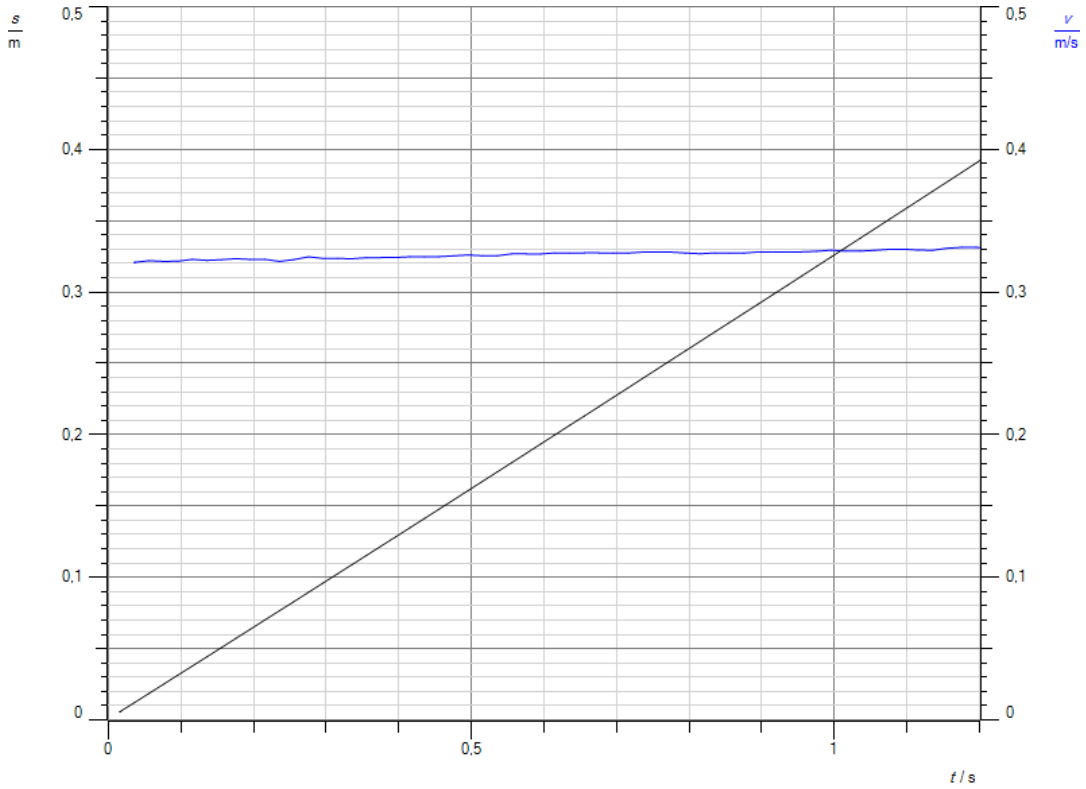


Abb.1: gleichmäßige Bewegung

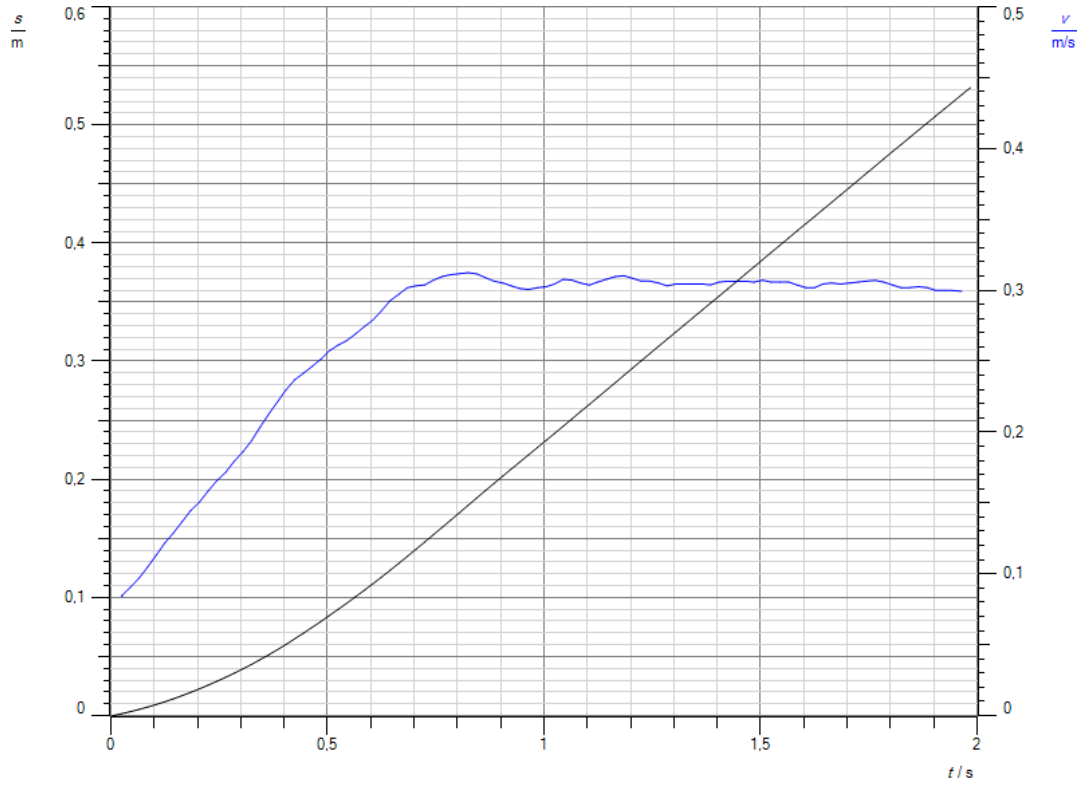


Abb.2: gleichmäßige Bewegung mit Beschleunigungsphase

Auswertung (Kurve 1)

a. In Abb.1 kann man das s/t-Diagramm durch eine Gerade sehr gut annähern. Die zurückgelegte Strecke nimmt gleichmäßig mit der Zeit zu. Die Geschwindigkeit ist dagegen konstant. Für die Steigung m der s/t-Kurve gilt:

$$m = \frac{0{,}39m - 0m}{1{,}2s - 0s} = 0{,}325\frac{m}{s}.$$

Aus der v/t-Kurve erhält man eine mittlere Geschwindigkeit

$$v = 0{,}325\frac{m}{s}.$$

Die Steigung im s/t-Diagramm entspricht der Geschwindigkeit des Wagens.

b. Mit den Überlegungen aus Teilaufgabe a ergibt sich folgendes Weg-Zeit-Gesetz für diese Bewegung:

$$s = 0{,}325\frac{m}{s} * t.$$

Dabei ist v konstant. Man spricht von einer gleichförmigen Bewegung.

c. Wäre die Bahn länger, so würde das Auto ohne Reibung mit der gleichen Geschwindigkeit weiterfahren. Der zurückgelegte weg würde proportional mit der Zeit zunehmen. Tritt Reibung auf, so wird das Auto immer langsamer, die Geschwindigkeit sinkt, bis sie null erreicht. Dann bleibt das Auto stehen.

d. Das Auto müsste mit konstanter Geschwindigkeit fahren, etwa auf der Autobahn. Es dürfte weder beschleunigen noch bremsen.

Auswertung (Kurve 2)

a. Im ersten Bewegungsabschnitt nimmt die Geschwindigkeit zu, weil das Auto beschleunigt wird. Danach fährt es mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Das s/t-Diagramm verläuft im ersten Teil der Bewegung parabelförmig und geht dann in einen linearen Bereich über. Die Steigung im linearen Bereich beträgt:

$$m = \frac{0{,}53m - 0{,}23m}{2s - 1s} = 0{,}3\frac{m}{s}.$$

Die mittlere Geschwindigkeit in diesem Bereich beträgt

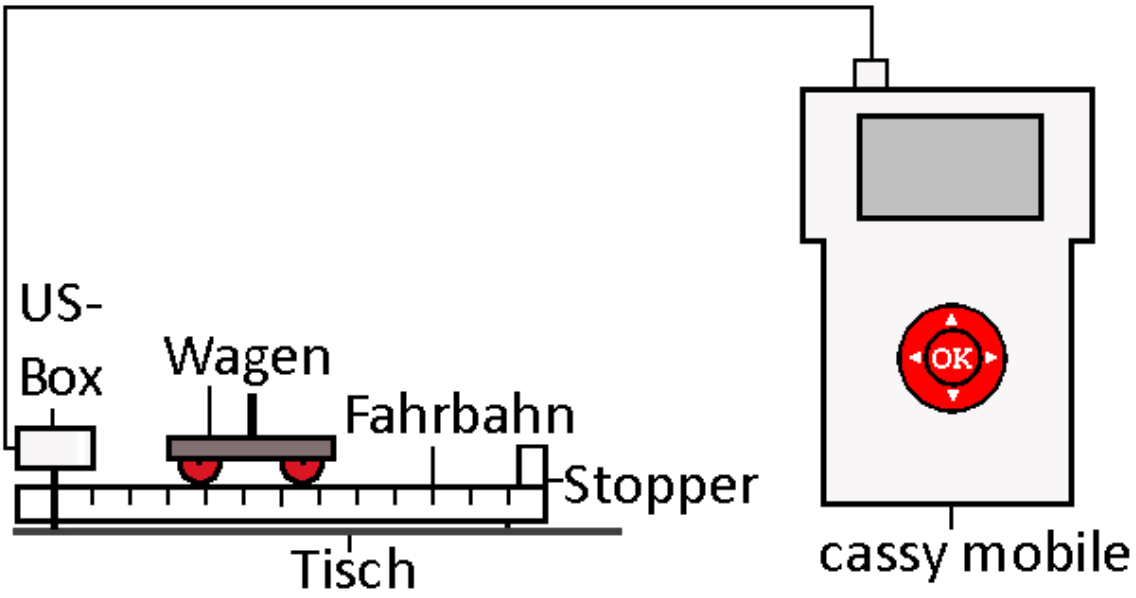
$$v = 0{,}3\frac{m}{s}.$$

b. Für den linearen Bereich gilt folgendes Weg-Zeit-Gesetz:

$$s = 0{,}23m + 0{,}3\frac{m}{s} * (t - 1s).$$

c. Wäre die Bahn länger, so würde das Auto ohne Reibung mit der gleichen Geschwindigkeit weiterfahren. Der zurückgelegte Weg würde proportional mit der Zeit zunehmen. Tritt Reibung auf, so wird das Auto immer langsamer, die Geschwindigkeit sinkt, bis sie null erreicht. Dann bleibt das Auto stehen.
d. Das Auto müsste nach der Beschleunigungsphase mit konstanter Geschwindigkeit weiter fahren, etwa auf der Autobahn. Es dürfte danach weder beschleunigen noch bremsen.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Newton2.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Stecken Sie die Prallfeder an der Seite auf den Wagen, die zum Stopper zeigt.
3. Bringen Sie den Wagen in eine Position, mindestens 30 cm vor der US-Box.
4. Stellen Sie die Wegmessung in cassy mobile auf -->0<--.
5. Stoßen Sie den Wagen am Pin leicht an und starten Sie gleichzeitig die Messung. Üben Sie den Vorgang mehrfach, damit Sie ein Gefühl für das richtige Timing bekommen.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven:

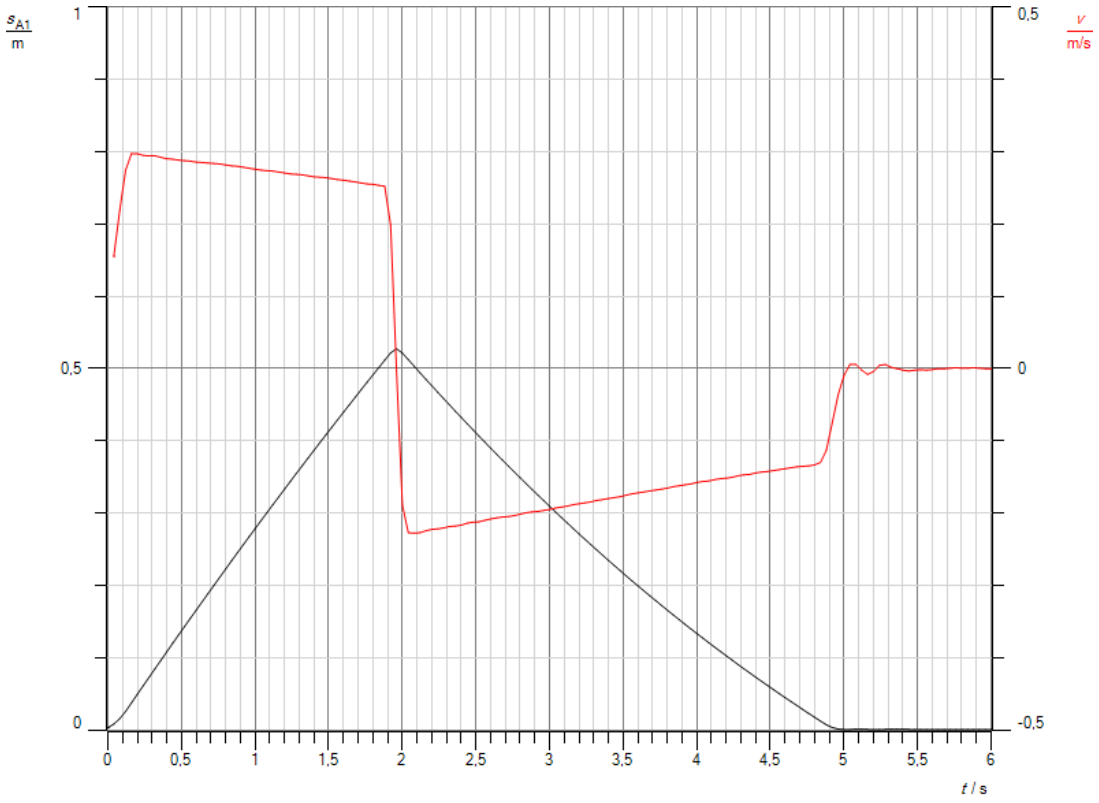


Abb.1: Bewegung mit Hin- und Rückfahrt

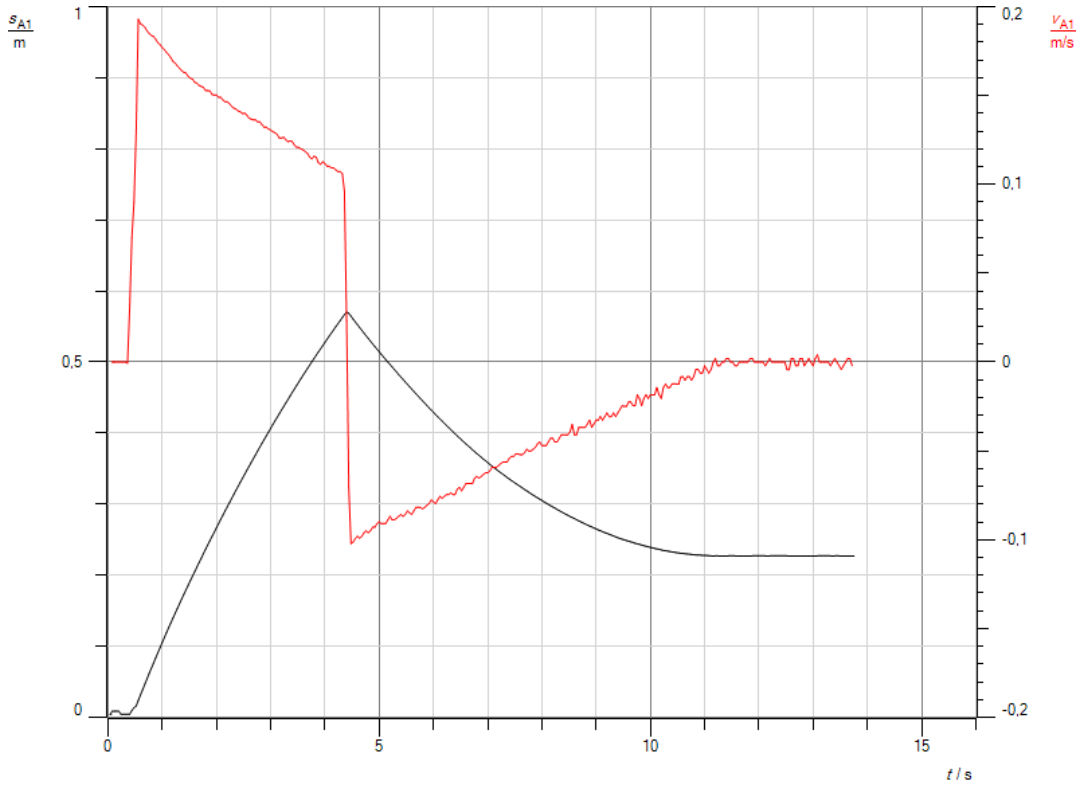
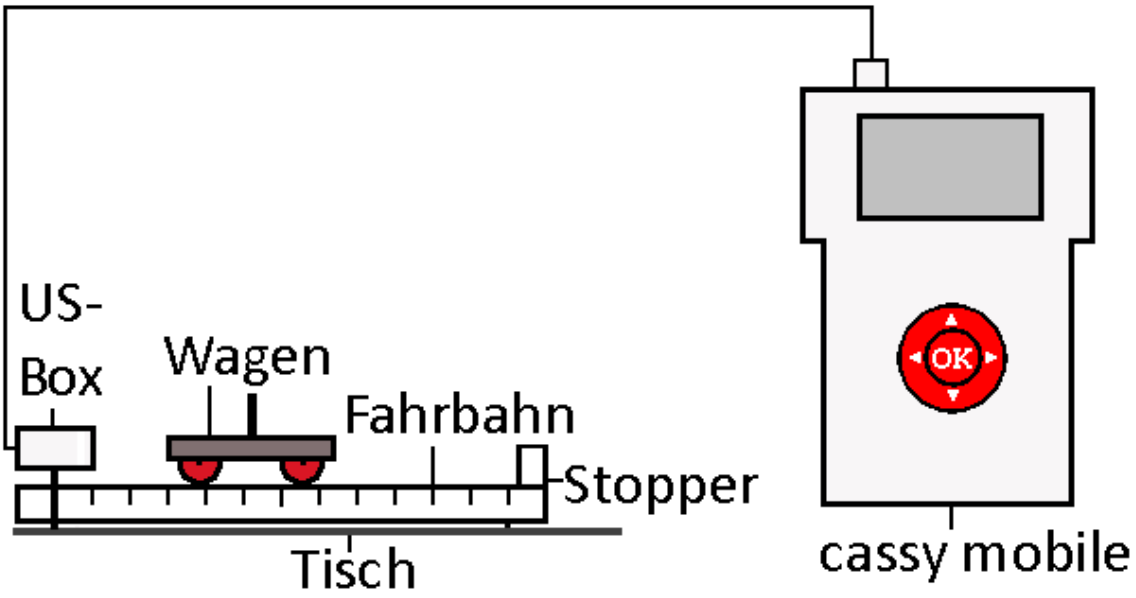


Abb. 2: Bewegung mit Hin- und Rückfahrt zum Stillstand

Auswertung

a. In Diagramm 1 sieht man, dass der Wagen zunächst mit leicht abnehmender Geschwindigkeit die Bahn entlang fährt. Am Stopper kehrt er seine Bewegungsrichtung um und fährt wieder zurück, bis er nach ca. 5 s gestoppt wird und zum Stillstand kommt. Das t-s-Diagramm verrät dabei zu jedem Zeitpunkt den Abstand des Autos vom Startpunkt. Die maximale Entfernung beträgt ca. s_{max} = 52 cm zum Zeitpunkt t = 2 s.
   Auch in Diagramm 2 fährt der Wagen zunächst mit abnehmender Geschwindigkeit die Bahn entlang. Den Umkehrpunkt (Stopper) erreicht er hier nach etwa t = 4,5 s. Dort kehrt sich seine Bewegungsrichtung um und der Wagen fährt zurück in Richtung Startpunkt. Anhand der s/t-Kurve erkennt man aber, dass er den Startpunkt nicht erreicht, sondern in einem Abstand s = 22 cm nach einer Fahrzeit t = 11 s von selbst zum Stillstand kommt und stehen bleibt.

Versuch 3:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Newton3.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3. Unterlegen Sie die Fahrbahn an der Seite, an der sich die US-Box befindet, zusätzlich mit einem Buch.
4. Bringen Sie den Wagen in eine Position, mindestens 30 cm vor der US-Box.
5. Stellen Sie die Wegmessung in cassy mobile auf -->0<--.
6. Lassen Sie den Wagen los und starten Sie gleichzeitig die Messung.
7. Üben Sie den Vorgang mehrfach, damit Sie ein Gefühl für das richtige Timing bekommen.

Aufgaben

a. Stellen Sie die Gesetze auf, die diese Bewegung beschreiben.
b. Überlegen Sie, was sich am Kurvenverlauf ändert, wenn man die Fahrbahn stärker neigt.
c. Führen Sie den Versuch durch und überprüfen Sie Ihre Vermutungen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

Abb.1: beschleunigte Bewegung

Auswertung
a. Das Diagramm zeigt eine beschleunigte Bewegung. Es gelten folgende Gesetze

$$s = \frac{1}{2} * a * t^2$$

$$v = a * t.$$

Darin ist s der zurückgelegte Weg, v die Geschwindigkeit und a die Beschleunigung. Wertet man die Kurven graphisch aus, so erhält man aus der s(t)-Kurve eine Steigung

$$m_1 = 0{,}097 \frac{m}{s^2}$$

und aus der v/t-Kurve

$$m_2 = 0{,}194 \frac{m}{s^2}.$$

Die Steigung m_2 ist doppelt so groß wie m_1. Damit sind die Gesetze bestätigt. Der Wagen wird mit

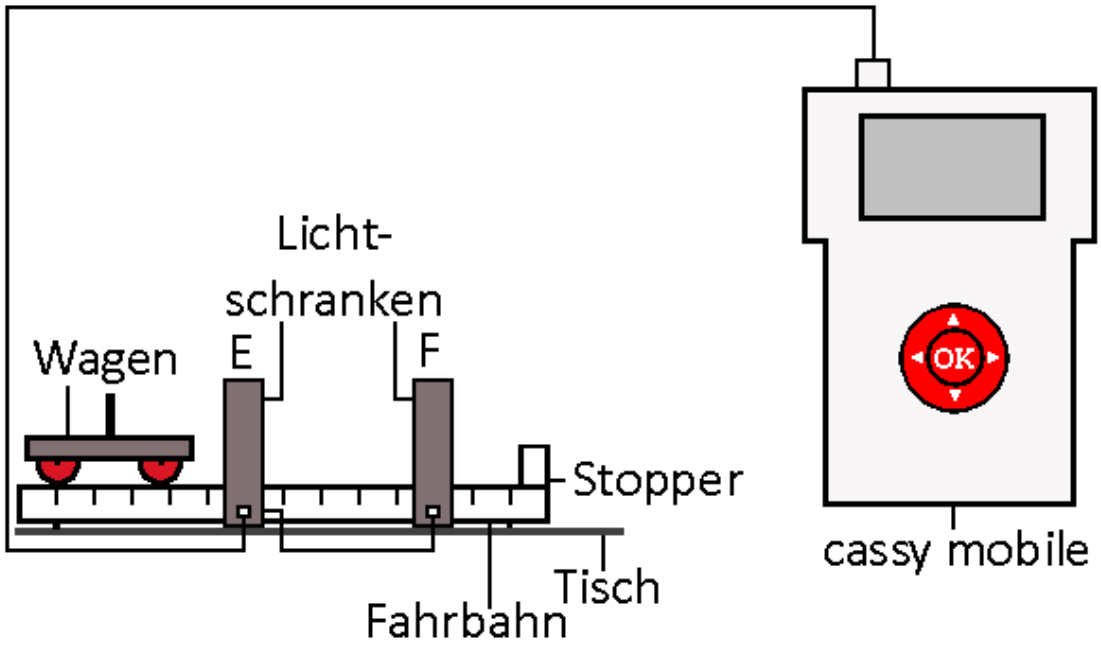
$$a = 0{,}194 \frac{m}{s^2}$$

die schiefe Ebene hinab beschleunigt.

b. Wenn man die Fahrbahn stärker neigt, erfährt der Wagen eine stärkere Beschleunigung (vgl. Versuche mit dem Beschleunigungsmesser an der schiefen Ebene).
c. Bestimmt man die Beschleunigung für verschiedene Neigungen der Bahn, so stellt man fest, dass sie nach folgender Gesetzmäßigkeit vom Neigungswinkel abhängt (vgl. Versuche mit dem Beschleunigungsmesser an der schiefen Ebene):

$$a = g * sin\,\alpha.$$

Versuch 4:



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Stellen Sie die Lichtschranken in einem gegenseitigen Abstand von $\Delta s = 0{,}5$ m auf. Richten Sie die Fahrbahn mit einer Wasserwaage möglichst genau waagerecht aus.
2. Starten Sie cassy mobile. Aktivieren Sie im Menü Δt_A die Zeitmessung und in den Menüs v_{A1} und v_{A2} jeweils die Geschwindigkeitsmessung. Wählen Sie zusätzlich folgende Einstellungen: Fahne: 4 mm, Bereich: 1 m/s.
3. Bringen Sie den Wagen in eine Position links von der Lichtschranke E.
4. Stoßen Sie den Wagen an.
5. Notieren Sie sich in einer Tabelle folgende Messwerte: Δt_A, v_{A1} und v_{A2}.
6. Wiederholen Sie die Messung dreimal mit unterschiedlichem Anschub des Wagens.

Aufgaben

a. Berechnen Sie aus der gesamten Fahrzeit Δt_A und dem Abstand Δs der beiden Lichtschranken die Durchschnittsgeschwindigkeiten für alle Teilversuche und tragen Sie sie in eine eigene Spalte der Messtabelle ein.
b. Berechnen Sie jeweils aus den beiden gemessenen Geschwindigkeiten die Mittelwerte und legen Sie eine eigene Spalte für die Ergebnisse an. Vergleichen Sie die Werte mit den in a) errechneten Durchschnittsgeschwindigkeiten und deuten Sie das Vergleichsergebnis.
c. Erklären Sie, warum die Geschwindigkeiten von links nach rechts sinken.
d. Berechnen Sie die Beschleunigungen für alle Teilversuche und notieren Sie sie in einer zusätzlichen Spalte der Tabelle. Interpretieren Sie das Ergebnis. Erklären Sie, warum sie negativ ist.
e. Beschreiben und erklären Sie, wie man erreichen könnte, dass die Geschwindigkeit während der jeweiligen Bewegung konstant bleibt. Überprüfen Sie Ihre Vermutung in einem Versuch. Vergleichen Sie die Versuchsbedingungen mit einem alltäglichen Vorgang.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messtabelle.

Δt_A [s]	v_{A1} [m/s]	v_{A2}[m/s]	v_M[m/s	v_D[m/s]	a[m/s^2]
1,1222	0,5098	0,4238	0,4668	0,4456	-0,0766
1,0699	0,5375	0,4464	0,4920	0,4673	-0,0851
0,8283	0,6666	0,6060	0,6363	0,6063	-0,0732
0,7549	0,7289	0,6675	0,6982	0,6623	-0,0813

Tabelle 1: Messtabelle

Auswertung
a. Die benötigte Formel lautet:

$$v_D = \frac{\Delta s}{\Delta t_A} .$$

Setzt man die Messwerte ein, so erhält man die Geschwindigkeiten v_D in Spalte 5 der obigen Tabelle.

b. Man benutzt folgende Formel:

$$v_M = \frac{v_{A1} + v_{A2}}{2} .$$

Es ergeben sich aus den Messwerten die Geschwindigkeiten in Spalte 4 der obigen Tabelle. Sie sind jeweils größer als die Durchschnittsgeschwindigkeiten in Spalte 5. Da die Geschwindigkeit des Wagens während der Fahrt abnimmt, benötigt der Wagen für die erste Hälfte der Strecke weniger Zeit als für die zweite Teilstrecke. Er fährt damit länger mit der kleineren Geschwindigkeit als mit der größeren. Seine Durchschnittsgeschwindigkeit ist somit kleiner als die mittlere Geschwindigkeit. Mit einem Beispiel lassen sich die Überlegungen besser verdeutlichen. Angenommen, der Wagen legt die erste Teilstrecke s_1 = 1 m mit der Geschwindigkeit v_1 = 1 m/s zurück, die zweite s_2 = 1 m mit v_2 = 0,5 m/s. Seine mittlere Geschwindigkeit beträgt dann

$$v_M = \frac{(1 + 0{,}5)m/s}{2} = 0{,}75m/s.$$

Er benötigt für die 1. Teilstrecke t_1 = 1s und für die 2. t_2 = 2s. Damit besitzt er eine Durchschnittsgeschwindigkeit

$$v_D = \frac{2m}{(1 + 2)s} = 0{,}667m/s.$$

Sie ist kleiner als seine mittlere Geschwindigkeit. Das gilt auch, wenn der Wagen während der Fahrt schneller wird, da sich an den Rechnungen dadurch nichts ändert.

c. Der Wagen wird durch die Rollreibung der Räder auf der Schiene leicht abgebremst.

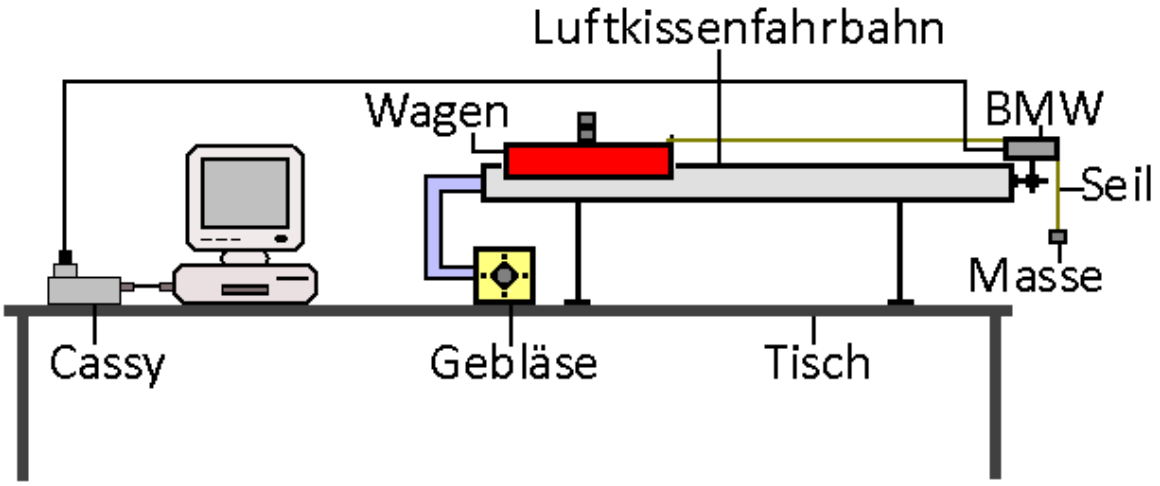
d. Man erhält die Werte in Spalte 6 der obigen Tabelle. Sie schwanken um einen konstanten Mittelwert. Da der Wagen während der Fahrt abgebremst wird, wird er negativ beschleunigt.

e. Man müsste die Fahrbahn etwas nach rechts neigen, um die Reibungskraft durch eine kleine Hangabtriebskraft auszugleichen. Da die negative Beschleunigung im Mittel a_M = - 0,079 m/s^2 beträgt und die Fahrbahn s = 1 m lang, muss man die linke Seite nach dem Gesetz der schiefen Ebene mit einem Holzklotz um die Höhe

$$h = \frac{0{,}079 m/s^2}{9{,}81 m/s^2} * 1m = \ 8{,}1\ mm$$

anheben. Beide Lichtschranken registrieren dann im Rahmen der Messgenauigkeit die gleiche Geschwindigkeit, wenn man den Wagen von links nach rechts anstößt. Wenn man mit einem Fahrrad auf ebener Straße fährt, muss man ein wenig in die Pedale treten, um die Geschwindigkeit konstant zu halten. Die Muskelkraft kompensiert die Reibungskraft durch die Räder und die Luft.

Versuch 5:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Newton.labx“ im Ordner Physik. Sie benötigen das große cassy und die Software cassy lab2.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Sie benötigen für cassy den Bewegungsmesswandler BMW und die BMW-Cassybox. Stecken Sie die Box auf Eingang A. Befestigen Sie zwei Massestücke auf den Wagen und das dritte am Seil.
3. Richten Sie die Fahrbahn zunächst mit einer Wasserwaage waagerecht aus. Schalten Sie das Gebläse ein, so dass die Fahrbahn von Luft durchströmt wird. Bringen Sie den Wagen ohne Faden in die Mitte der Bahn und lassen Sie ihn los. Sollte er sich zu einer Seite bewegen, müssen Sie die Fahrbahn an dieser Seite etwas erhöhen.
4. Bewegen Sie den Wagen ans linke Ende der Fahrbahn und halten Sie ihn fest. Legen Sie den Faden auf die Rolle des BMW und befestigen Sie ihn mit der Schlaufe am Haken auf der rechten Seite des Wagens. Stellen Sie in cassy die Wegmessung auf null, in dem Sie im Weg-Menü die Option →0← anklicken.
5. Lassen Sie den Wagen los und starten Sie möglichst gleichzeitig die Messung mit cassy.
6. Die Messung stoppt automatisch nach t = 2s.
7. Nehmen Sie ein Massestück vom Wagen und hängen es zusätzlich ans Seil. Wiederholen Sie den Messvorgang gemäß Schritt 4 - 6.
8. Führen Sie den Versuch ein drittes Mal durch mit allen drei Massestücken am Seil. Speichern Sie die Messwerte.

Aufgaben

a) Erläutern und erklären Sie den Versuchsaufbau. Erkundigen Sie sich im Internet, wie der Bewegungsmesswandler BMW aufgebaut ist und wie er funktioniert.
b) Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
c) Überprüfen Sie anhand der Ergebnisse eines Teilversuches die Gesetze für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
d) Überprüfen Sie anhand der Messergebnisse aus allen drei Teilmessungen das zweite Newtonsche Axiom. Der Wagen wog mit den Massestücken m_1 = 101,5 g, jedes Massestück für sich jeweils m_2 = 2 g.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven.

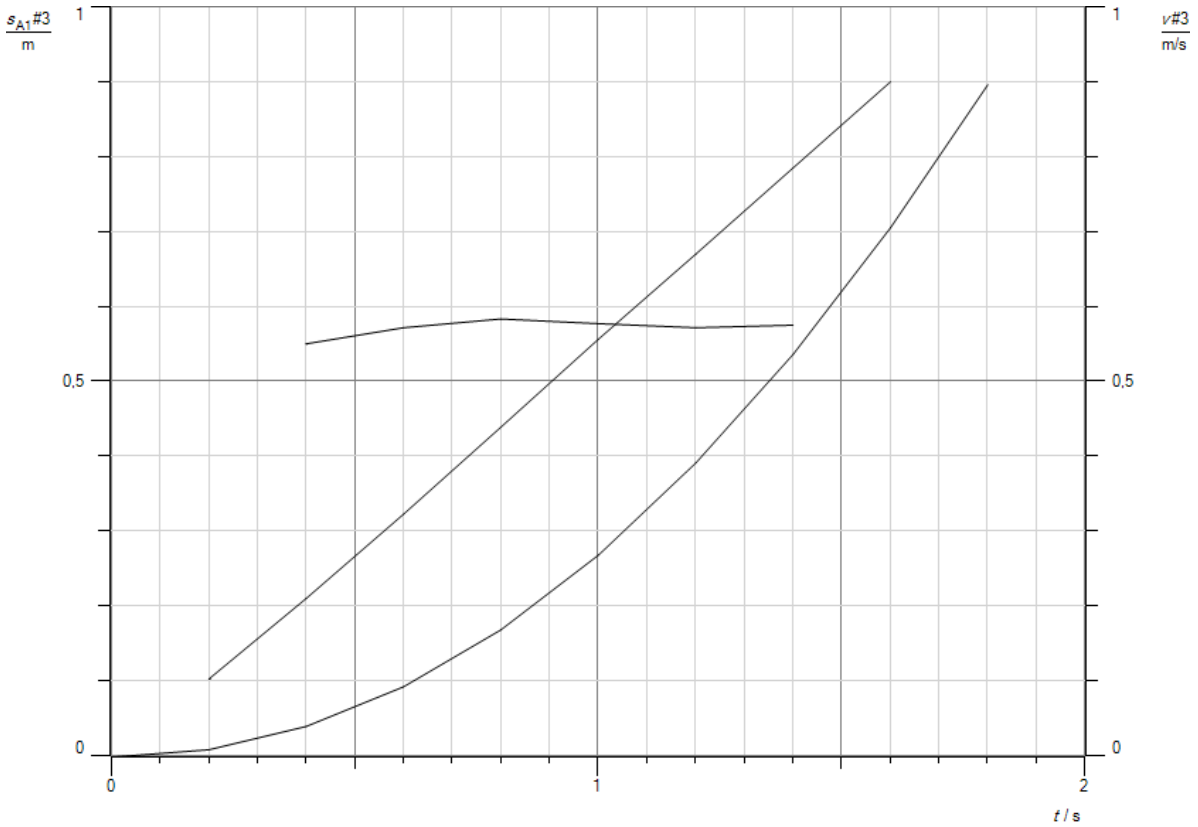


Abb.1: Messkurven der 3. Teilmessung

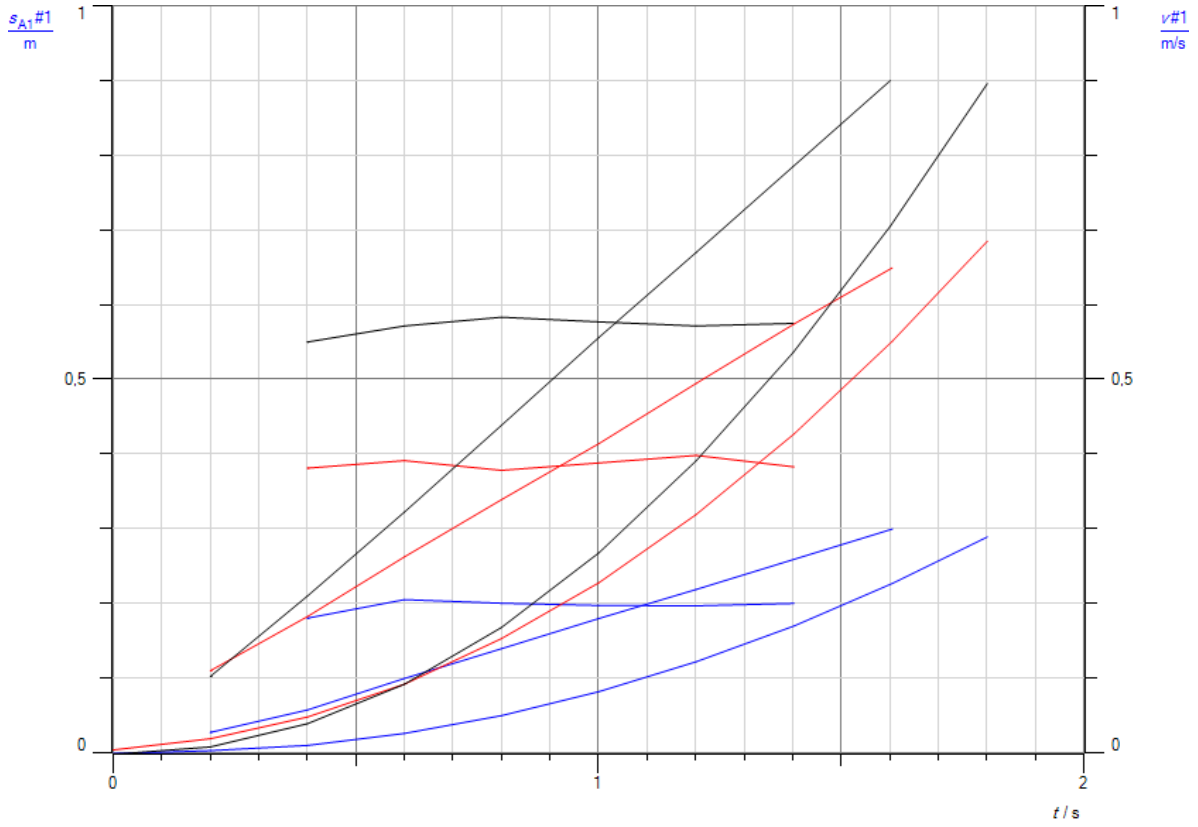


Abb.2: Messkurven aller drei Teilmessungen

Auswertung

f. Der Messwagen wird durch die Massestücke am Ende des Fadens beschleunigt und zwar umso stärker, je größer die Masse ist. Der Faden setzt im Bewegungsmesswandler ein Rädchen in Bewegung, dass an seinem Rand viele kleine Öffnungen aufweist. Diese Löcher durchlaufen eine Lichtschranke, die die Zeit zwischen zwei Impulsen registriert. Da die Löcher einen konstanten Abstand besitzen, kann der Computer aus der Zahl der Löcher, die die Lichtschranke passiert haben, den zurückgelegten weg ermitteln. Durch mathematische Ableitung errechnet er aus der Weg-Zeit-Kurve die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Wagens. Damit der Wagen fast reibungslos gleiten kann, weist die Oberfläche der Fahrbahn feine Düsen auf, aus denen die Luft, die vom Gebläse durch die Fahrbahn gepustet wird, ausströmen kann. Sie bildet zwischen Fahrbahn und Wagen ein Luftkissen, auf dem der Wagen schwebt.

g. Der Wagen führt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus. Die Beschleunigung ist konstant, die Geschwindigkeit steigt linear mit der Zeit an und die Weg-Zeit-Kurve weist einen parabelförmigen Verlauf auf.

h. Die Gesetze für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung lauten:

$$s = \frac{1}{2} * a * t^2$$
$$v = a * t$$
$$a = const.$$

Darin ist s der Weg, v die Geschwindigkeit, a die Beschleunigung und t die Zeit. Um die Gesetze anhand der Messkurven zu überprüfen, legt man in cassy durch die s(t)-Kurve eine Parabel und durch die v(t)-Kurve eine Ausgleichsgerade. Ferner bestimmt man aus der a(t)-Kurve den Mittelwert der Beschleunigung. Man erhält das Diagramm in Abb. 3. Man erkennt, dass die roten Ausgleichskurven fast exakt auf den schwarzen Messkurven liegen. Bei genauem Hinsehen stellt man fest, dass die Messkuren leicht gegen den Zeitnullpunkt verschoben sind. Bei der Versuchsdurchführung startete Cassy etwas früher als der Wagen. Beide Vorgänge exakt synchron loslaufen zu lassen, ist sehr schwierig. Für die s(t)-Kurve erhält man eine Steigung $m_1 = 0{,}286 m/s^2$ und für die v(t)-Kurve $m_2 = 0{,}572\ m/s^2$. Der Mittelwert der Beschleunigung beträgt $a = 0{,}571\ m/s^2$. Da die Steigung der s(t)-Kurve der Hälfte der Beschleunigung und die Steigung der v(t)-Kurve der Beschleunigung entspricht, bestätigen die Messkurven die Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung in glänzender Weise.

i. Für die drei Teilversuche ermittelt aus den Messkurven mit cassy man folgende Beschleunigungen und erhält folgende Tabelle:

Nr.	a(gem) [m/s^2]	F[N]	a(ber)[m/s^2]
1	0,197	0,0196	0,193
2	0,387	0,0392	0,386
3	0,571	0,0589	0,580

Das zweite Newtonsche Axiom lautet:

$$F = m * a.$$

Darin ist F die beschleunigende Kraft, m_b die beschleunigte Masse und a die Beschleunigung. Die beschleunigende Kraft entspricht in allen drei Teilversuchen der Gewichtskraft der an den Faden jeweils angehängten Masse m_b. Für sie gilt mit g = 9,81 N/kg als Ortsfaktor:

$$F = m_b * g.$$

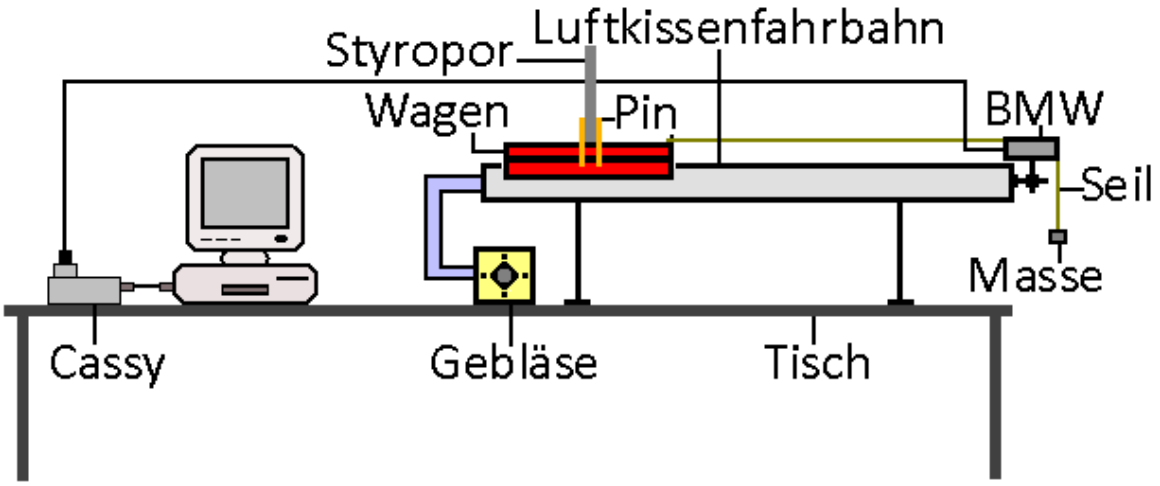
Man erhält für alle drei Teilversuche die Kraft in Spalte drei der Tabelle 1. Mit Hilfe des 2. Newtonschen Axioms kann man die theoretischen Werte der Beschleunigung errechnen. Es gilt:

$$a = \frac{F}{m}.$$

Mit m = 0,1015 kg ergibt sich Spalte 4 in Tabelle 1. Da die gemessenen und theoretischen Werte sehr gut übereinstimmen, ist das 2. Newtonsche Axiom im Rahmen dieses Versuches bestätigt.

Abb.3: mathematische Auswertung der Messkurven des 3. Teilversuches

Versuch 6:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Luftreibung.labx“ im Ordner Physik. Sie benötigen das große cassy und die Software cassy lab2.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Sie benötigen für cassy den Bewegungsmesswandler BMW und die BMW-Cassybox. Stecken Sie die Box auf Eingang A. Befestigen Sie auf dem Wagen mit vier Messpins eine Styroporplatte mit den Maßen 25xcmx25xmx2cm. Binden Sie ein Massestück m = 2 g ans freie Ende des Seils.
3. Richten Sie die Fahrbahn zunächst mit einer Wasserwaage waagerecht aus. Schalten Sie das Gebläse ein, so dass die Fahrbahn von Luft durchströmt wird. Bringen Sie den Wagen ohne Faden in die Mitte der Bahn und lassen Sie ihn los. Sollte er sich zu einer Seite bewegen, müssen Sie die Fahrbahn an dieser Seite etwas erhöhen.
4. Bewegen Sie den Wagen ans linke Ende der Fahrbahn und halten Sie ihn fest. Legen Sie den Faden auf die Rolle des BMW und befestigen Sie ihn mit der Schlaufe am Haken auf der rechten Seite des Wagens. Stellen Sie in cassy die Wegmessung auf null, in dem Sie im Weg-Menü die Option →0← anklicken.
5. Lassen Sie den Wagen los und starten Sie möglichst gleichzeitig die Messung mit cassy.
6. Die Messung stoppt automatisch nach t = 4s.

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie den Versuchsaufbau.
b. Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
c. Zeigen Sie mit cassy, dass sich die s(t)-Messwerte im Zeitbereich $\Delta t = 0 – 1$ s durch eine Normalparabel und die v(t)-Werte durch eine Ursprungsgerade annähern lassen. Ermitteln Sie aus der Steigung der beiden Kurven die Anfangsbeschleunigung des Wagens.
d. Errechnen Sie die Anfangsbeschleunigung mit dem zweiten Newtonschen Axiom. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem gemessenen Wert der Beschleunigung aus c. Erklären Sie. Der Wagen wiegt mit der Styroporplatte und dem Massestück m = 125,5 g.
e. Legen Sie durch die s(t)-Messwerte im Zeitintervall $\Delta t = 3 - 4$ s eine Gerade und lesen Sie die Steigung ab. Bestimmen Sie den Mittelwert der Geschwindigkeit im Zeitintervall $\Delta t = 3 – 4$ s und vergleichen Sie das Ergebnis mit der Steigung der s(t)-Kurve.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve.

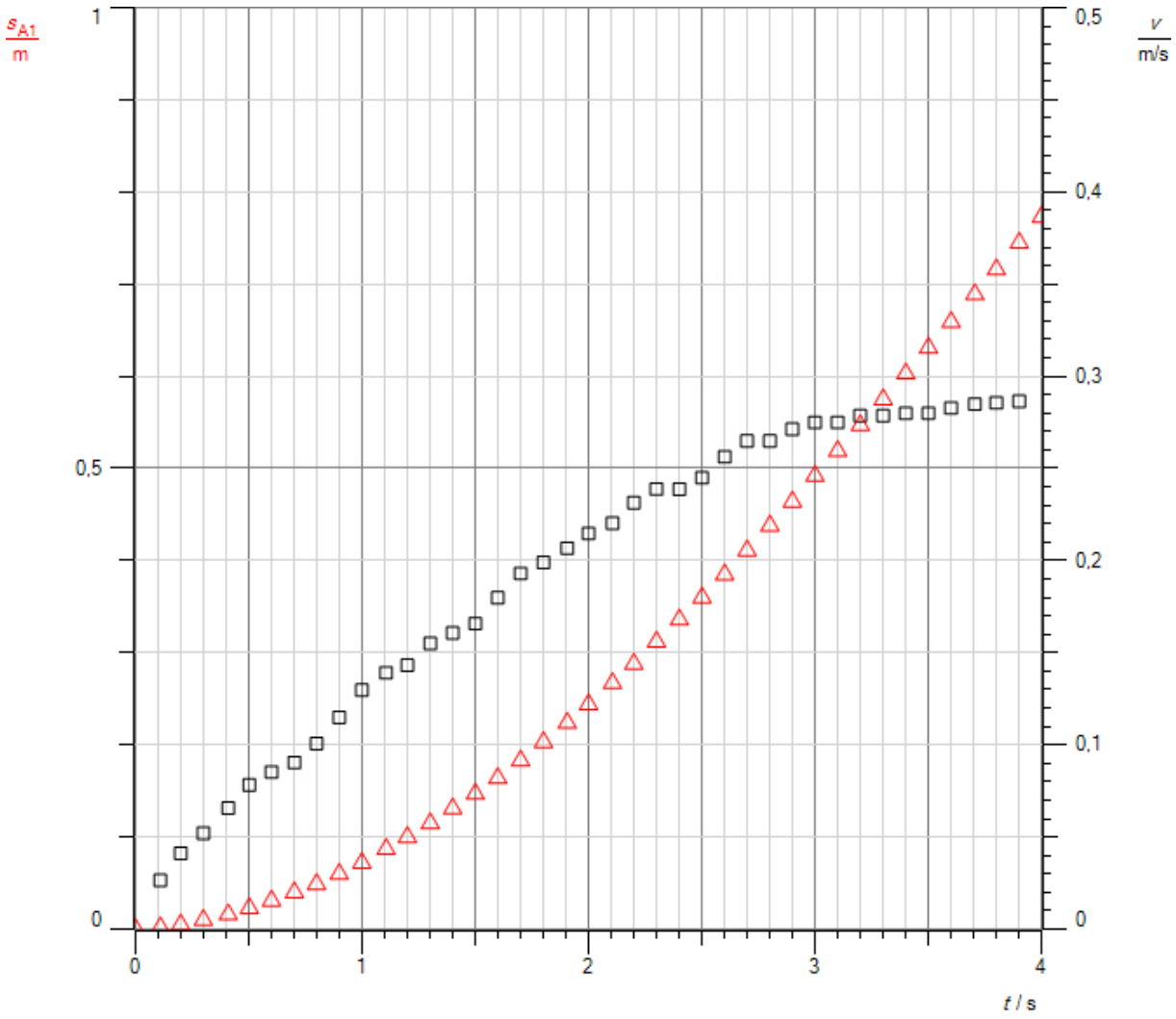


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. Der Versuchsaufbau entspricht grundsätzlich dem Aufbau aus dem vorigen Versuch. Der Wagen wird durch das Massestück am Seil beschleunigt. Damit die Reibung des Wagens auf der Fahrbahn gering, schwebt der Wagen auf einem Luftpolster, das durch das Gebläse und feine Luftdüsen in der Fahrbahn erzeugt wird. Die Styroporplatte erzeugt einen hohen Luftwiderstand, der der Beschleunigungskraft durch das Massestück entgegen wirkt.

b. Zu Beginn steigen die s(t)-Werte parabelförmig und die v(t)-Werte linear an. Mit zunehmender Geschwindigkeit des Wagens nimmt der Luftwiderstand zu und zwar quadratisch mit v. Erreicht der die gleiche Größe wie die Beschleunigungskraft des Massestückes, so haben sich die beiden am Wagen wirkenden Kräfte auf. Der Wagen wird nicht mehr beschleunigt und fährt mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Dieser Zeitpunkt ist nach etwa t = 2,5 s erreicht.

c. Man erhält die Kurve in Abb. 2. Die Steigung der Parabel beträgt $m_1 = 0{,}0799\ m/s^2$, die der Ausgleichsgeraden $m_2 = 0{,}1424\ m/s^2$. Nach den Gesetzen der gleichmäßig beschleunigten Bewegung erhält man für die mittlere Anfangsbeschleunigung a

$$a = \frac{2 * m_1 + m_2}{2}$$

$$= \frac{2 * 0{,}0799 m/s^2 + 0{,}1424 m/s^2}{2}$$

$$= 0{,}1511 m/s^2.$$

d. Mit dem zweiten Newtonschen Axiom erhält

$$a = \frac{F}{m} = \frac{m_b * g}{m} = \frac{0{,}002 kg * 9{,}81 N/kg}{0{,}1255 kg} = 0{,}156 m/s^2.$$

Die gemessene Beschleunigung ist etwas niedriger. Da sie während der Fahrt des Wagens sinkt, ist ihr Mittelwert im Zeitintervall Δt = 0 -1 s kleiner als die Beschleunigung zu Beginn der Bewegung.

e. Man erhält die Auswertungskurve in Abb. 3. Die Steigung der s(t)-Messwerte beträgt m_1 = 0,281 m/s. Der Mittelwert der Endgeschwindigkeit ergibt sich aus den v(t)-Messwerten zu v = 0,2807 m/s. Beide Werte stimmen sehr gut überein.

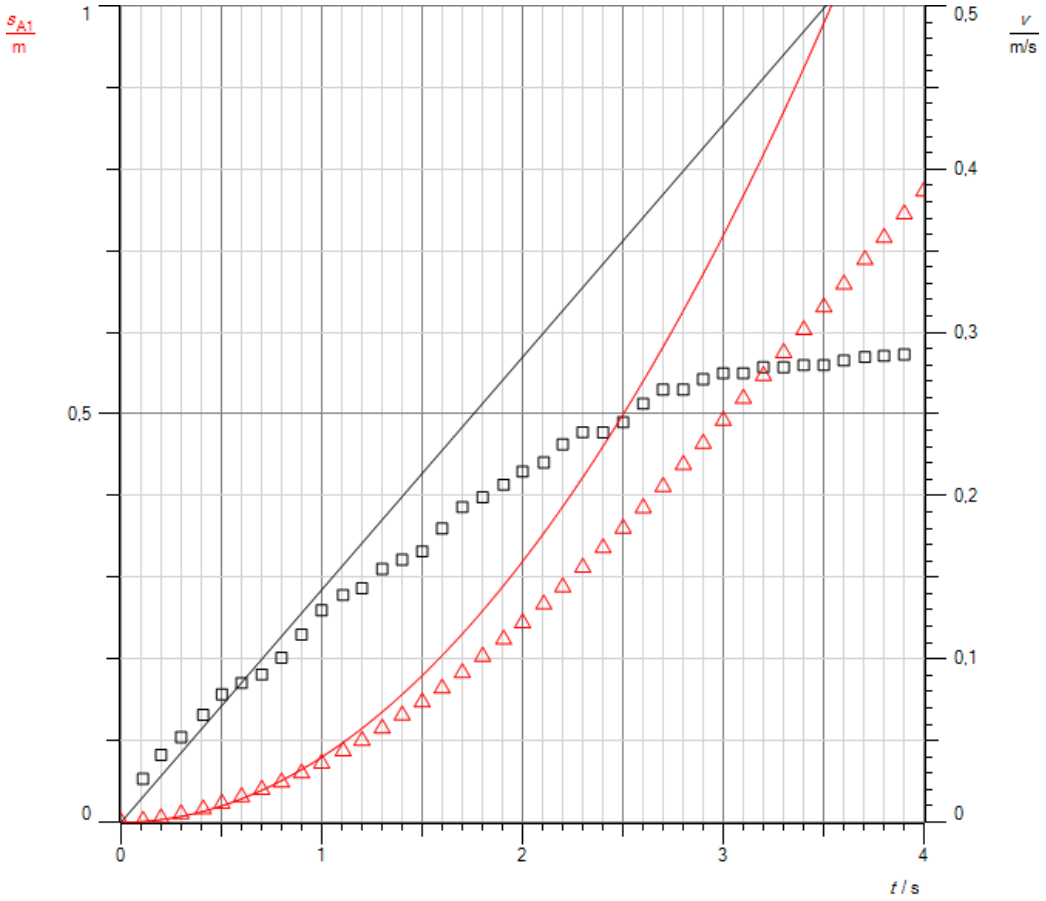


Abb.2: 1. Auswertungskurve

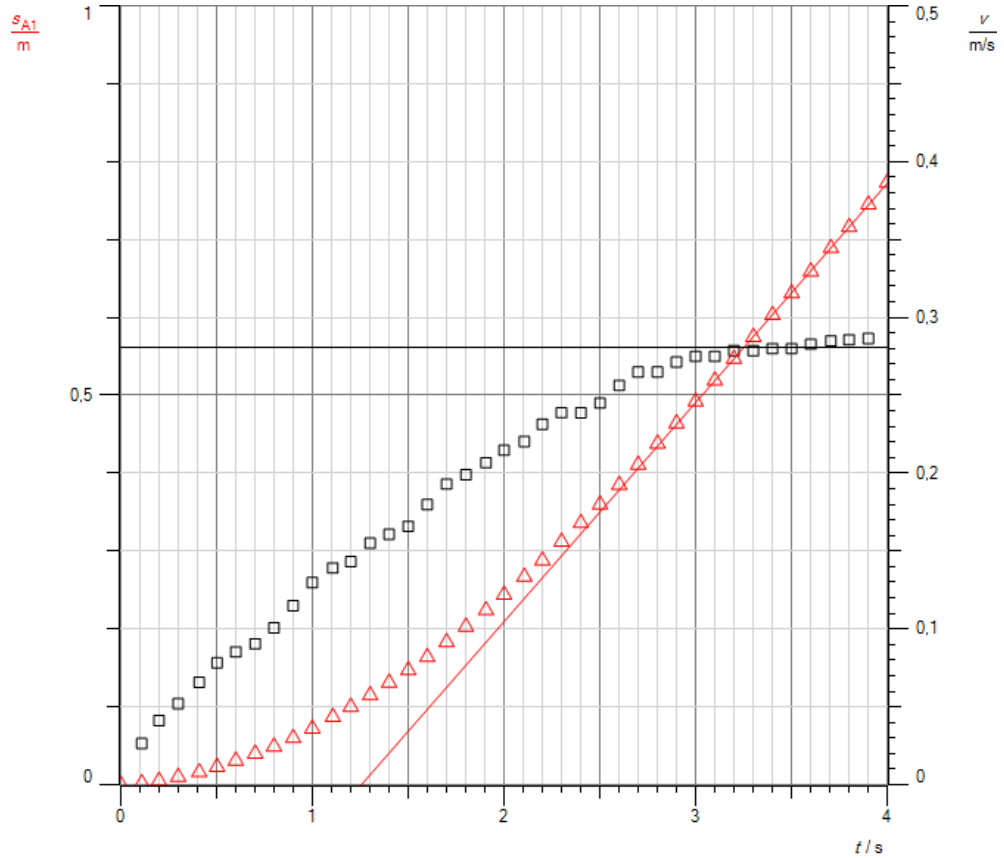
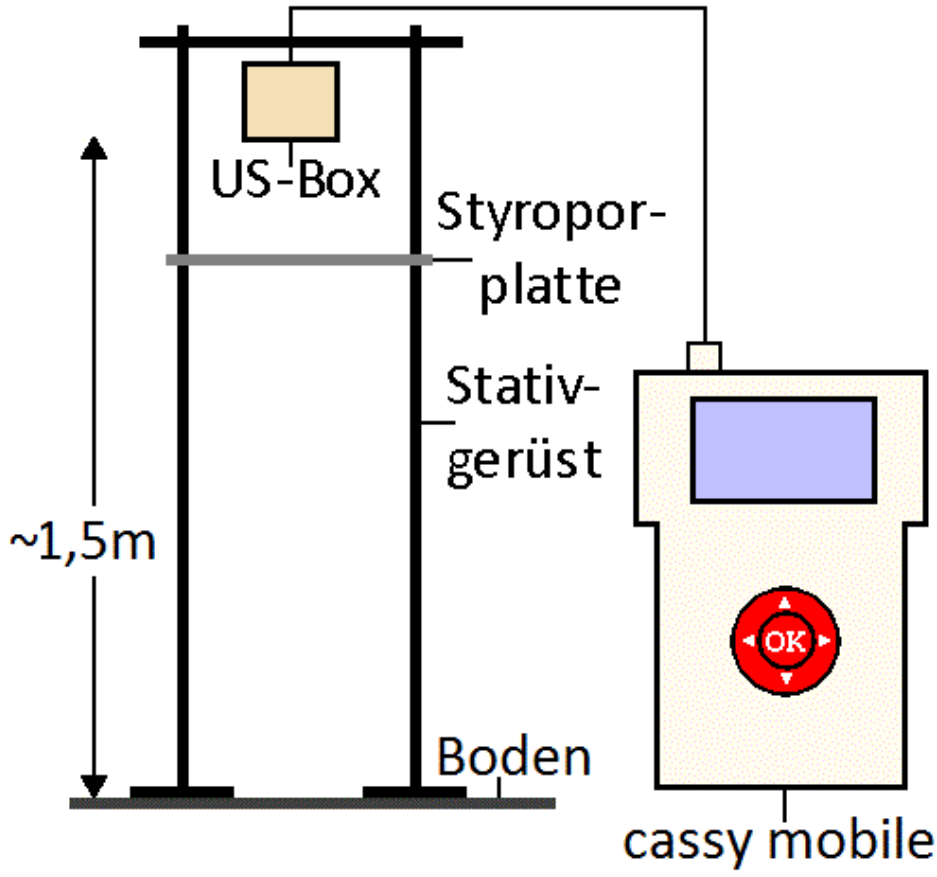


Abb.3: 2. Auswertungskurve

Fall mit Luftreibung

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Luftreibung.labm“ im Ordner Physik.
2. Stellen Sie zunächst die Styroporplatte her. Sie sollte eine Größe von 50x50 cm haben mit seitlichen Aussparungen in der Mitte zweier gegenüberliegender Seiten, damit sie zwischen den vertikalen Stativstangen frei fallen kann ohne seitlich auszubrechen.
3. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Befestigen Sie die US-Box an der Querstange des Stativs in einer Höhe von etwa h = 1,5 m über dem Boden.
4. Ein Helfer hält die Styroporplatte mindestens 30 cm unter der US-Box seitlich mit beiden Händen möglichst ruhig fest. Stellen Sie die Wegmessung in cassy mobile auf -->0<--.
5. Auf Ihr Startkommando lässt der Helfer die Platte fallen, während Sie gleichzeitig die Messung starten. Sie ist nach 1 s beendet.
6. Betrachten Sie die Messkurven. Sollte sie viele Zacken und Sprünge aufweisen, müssen Sie die Messung wiederholen, weil das Timing nicht stimmte. Meist klappt es nach ein paar Versuchen. Außerdem sollte die Platte möglichst senkrecht herunterfallen, nicht zur Seite ausbrechen und nicht kippen.

Aufgaben

a. Deuten Sie das s/t und das v/t-Diagramm.
b. Werten Sie die s/t-Kurve in beiden Teilbereichen grafisch aus.
c. Ermitteln Sie die Geradensteigung und vergleichen Sie sie mit der Endgeschwindigkeit.
d. Diskutieren Sie die Bewegung anhand der auftretenden Kräfte.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

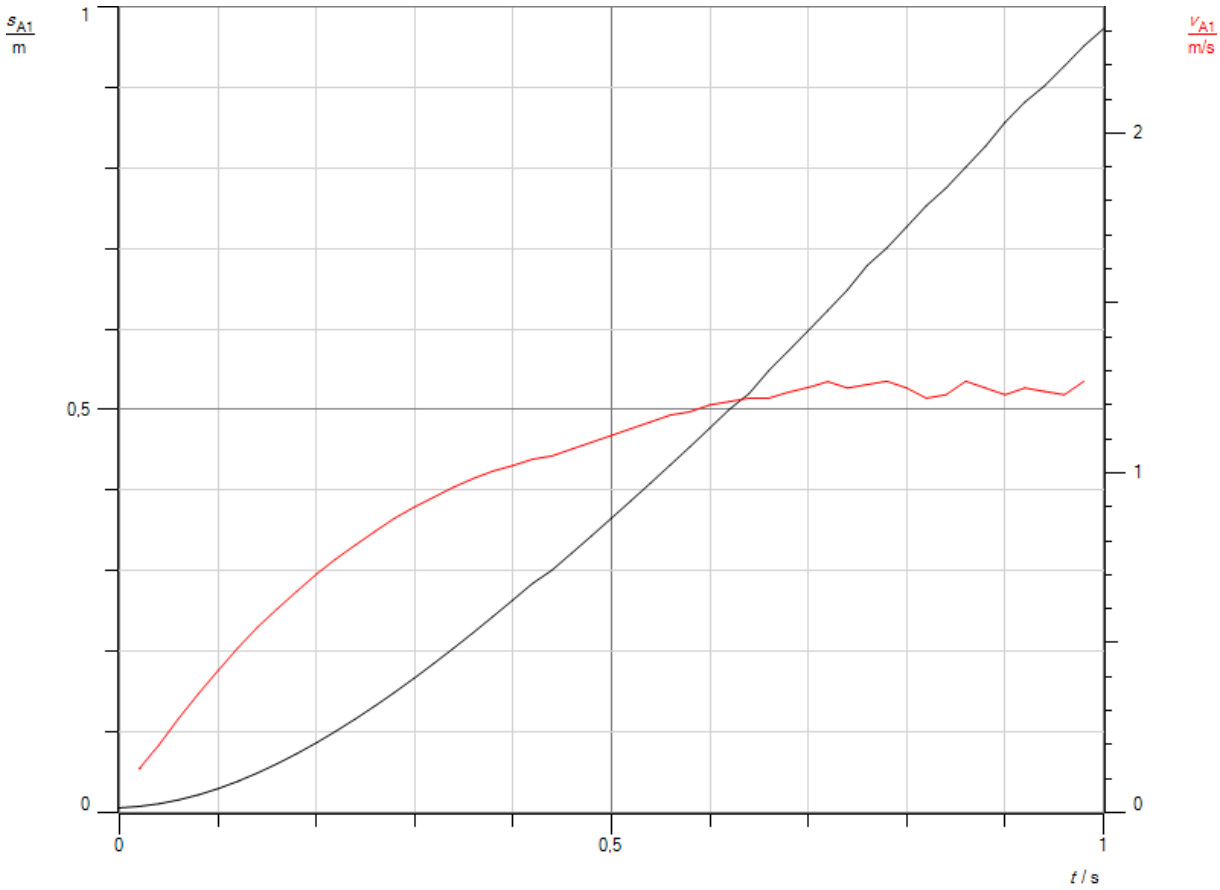


Abb.1: Fall einer Styroporplatte

Auswertung

a. Anders als beim freien Fall verläuft das s/t-Diagramm nur am Anfang parabelförmig. Nach etwa t = 0,6 s geht es in einen linearen Bereich über. Beim v/t-Diagramm erhält man statt einer Geraden eine abflachende Kurve. Beide Kurven verraten uns, dass die Geschwindigkeit am Anfang zunimmt und diese Zunahme dann immer geringer wird, bis der Körper mit konstanter Geschwindigkeit fällt, die leichten Schwankungen unterliegt.

b. Bis zu einer Fallzeit t = 0,4 s kann man das s/t-Diagramm sehr gut durch eine Parabel mit der Steigung

$$m_1 = 1{,}212 m/s^2$$

annähern. Im Bereich t_1 = 0,6 s bis t_2 = 1s erhält man eine Gerade mit der Steigung

$$m_2 = 1{,}192 \frac{m}{s}.$$

c. Berechnet man mit Cassy den Mittelwert im zweiten Abschnitt der v/t-Kurve, dann erhält man einen Wert von

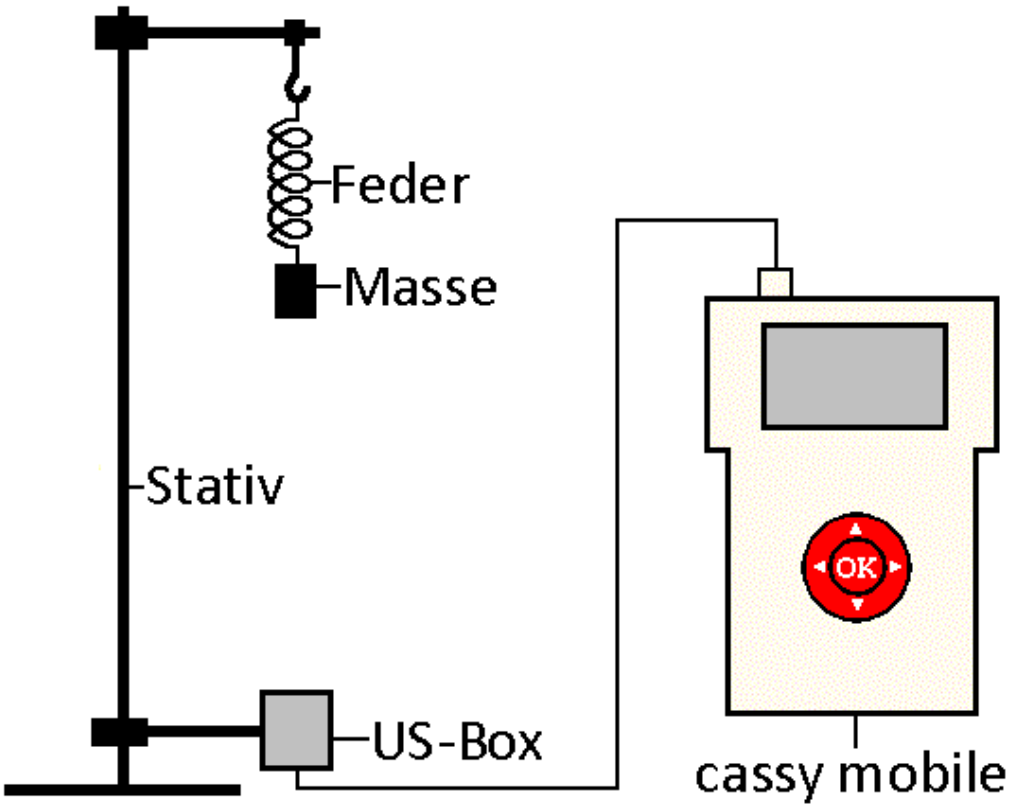
$$v_E = 1{,}198\,\frac{m}{s} \pm 0{,}025\,\frac{m}{s}.$$

Die Steigung der Geraden gemäß Teilaufgabe b liegt damit genau im durch Mittelwert und Standardabweichung vorgegebenen Bereich.

d. An der Styroporplatte greifen drei Kräfte an, die Gewichtskraft F_G, die Auftriebskraft F_A und die Luftreibungskraft F_L. Die Gewichtskraft zeigt nach unten, die Auftriebskraft nach oben und die Luftreibungskraft ebenfalls nach oben. Zu Beginn der Bewegung wird die Styroporplatte durch die Differenz der Gewichtskraft und der Auftriebskraft nach unten beschleunigt. Die Luftreibungskraft ist zunächst null. Sie wird jedoch mit zunehmender Geschwindigkeit immer größer, da sie quadratisch mit der Geschwindigkeit steigt. Die beiden anderen Kräfte bleiben konstant, da sie nicht von der Geschwindigkeit abhängen. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit, der Endgeschwindigkeit, hat sich ein Gleichgewicht der Kräfte eingestellt. Die Summe aus Auftriebskraft und Luftreibungskraft ist genauso groß wie die Gewichtskraft. Die Platte wird nicht weiter beschleunigt und fällt mit konstanter Geschwindigkeit weiter.

Federpendel

Versuch 1:



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Federpendel“ im Ordner Physik.
2) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Der Abstand zwischen dem Massestück und dem US-Sensor sollte mindestens 30 cm betragen.
3) Stellen Sie die Wegmessung in cassy mobile auf -->0<--, wenn das Massestück sich in der Ruhelage befindet.
4) Lenken Sie das Massestück etwa 5 cm nach unten aus und lassen Sie es los.
5) Starten Sie die Messung. Sie stoppt nach 5 Sekunden automatisch.

Aufgaben

a. Deuten Sie die Kurven.
b. Erklären Sie, warum das Massestück eine Schwingung ausführt.
c. Ermitteln Sie aus der s/t-Kurve die Periodendauer der Schwingung.
d. Berechnen Sie die Periodendauer aus folgenden Angaben: Masse m = 100 g, Federhärte D = 3,2 N/m.
e. Vergleichen Sie die gemessene Periodendauer mit der theoretischen. Diskutieren Sie eventuelle Abweichungen.
f. Berechnen Sie die maximale Geschwindigkeit mit der maximalen Auslenkung und der Periodendauer. Vergleichen Sie sie mit der Amplitude der v/t-Kurve. Diskutieren Sie mögliche Unterschiede zwischen dem theoretischen und dem gemessenen Wert.
g. Überprüfen Sie anhand der Messkurven den Energieerhaltungssatz. Beachten Sie die drei Energiearten Spannenergie, kinetische Energie und potentielle Energie.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve:

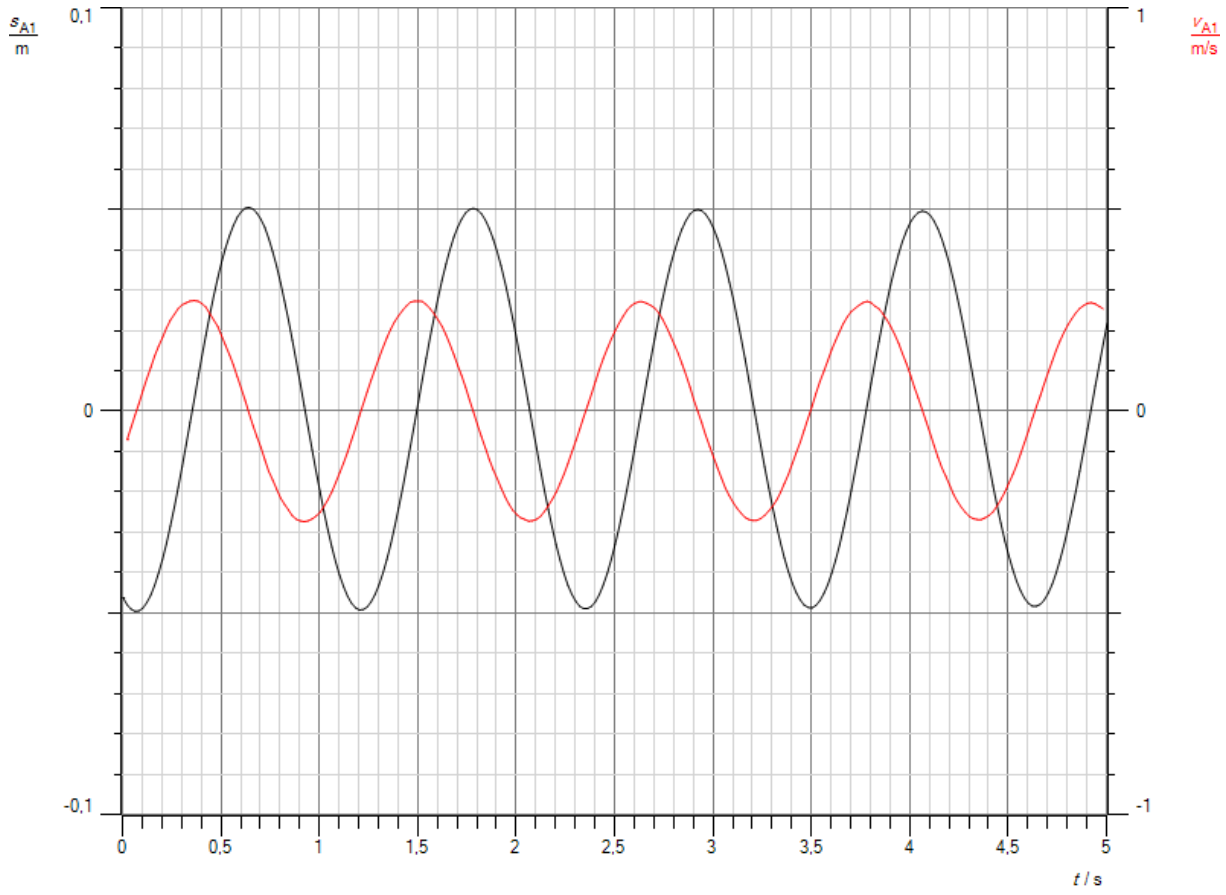


Abb.1: Federpendel

Auswertung

a. Das Massestück führt eine Schwingung aus. Die s/t-Kurve und die v/t-Kurve sind um 90° phasenverschoben. In Nulldurchgang besitzt das Massestück die größte Geschwindigkeit, an den Umkehrpunkten oben und unten jeweils die Geschwindigkeit null.

b. Es wirken zwei Kräfte am Massestück, die Gewichtskraft und die Federkraft. Die Gewichtskraft wirkt mit immer gleicher Größe nach unten, die Federkraft mit wechselnder Größe nach oben. Oberhalb der Ruhelage ist die Federkraft kleiner als die Gewichtskraft, da die Feder nur wenig ausgelenkt ist. Daher wird das Massestück nach unten beschleunigt. Unterhalb der Ruhelage überwiegt die Federkraft die Gewichtskraft, das Massestück wird nach oben beschleunigt. In der Ruhelage gleichen sich beide Kräfte aus. Das Massestück kommt dennoch nicht bei jeder Schwingung in seiner Ruhelage zur Ruhe, da es aufgrund seiner Trägheit über die Ruhelage hinaus pendelt.

c. Man erhält:

$$T = 1{,}13s.$$

d. Für die Periodendauer gilt:

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{m}{D}} = \sqrt{\frac{0{,}1kg}{3{,}2N/m}} = 1{,}11s.$$

e. Theoretischer und gemessener Wert stimmen gut überein. Kleine Fehler treten bei der Messung der einzelnen Größen auf. Außerdem müsste man die Masse der Feder zur Hälfte berücksichtigen, da sie auch in Schwingung versetzt wird.
f. Aus der Kurve liest man eine Amplitude der Bewegung

$$s_0 = 0{,}05m$$

ab. Für die maximale Geschwindigkeit v_0 gilt:

$$v_0 = \frac{2\pi}{T} * s_0 = \frac{2\pi}{1{,}13s} * 0{,}05m = 0{,}278\frac{m}{s}.$$

Aus dem v/t-Diagramm erhält man:

$$v_0 = 0{,}28\frac{m}{s}.$$

Theoretischer und gemessener Wert stimmen sehr gut überein.
g. Zunächst berechnet man die Auslenkung s_1 der Feder in der Ruhelage. Es gilt:

$$s_1 = \frac{m * g}{D} = 0{,}307m.$$

Damit besitzt die Masse in der Ruhelage eine Spannenergie

$$W_{S1} = \frac{1}{2} * D * s_1^2 = 0{,}1508J.$$

Beim Durchgang durch die Ruhelage beträgt die kinetische Energie

$$W_{kin1} = \frac{1}{2} * m * v_0^2 = 0{,}0039J.$$

Definiert man die Ruhelage als Bezugspunkt für die potentielle Energie, so besitzt die Masse dort keine potentielle Energie. Damit beträgt ihre Energie in der Ruhelage insgesamt

$$W_1 = 0{,}1508J + 0{,}0039J = 0{,}1547J.$$

Im tiefsten Punkt der Bewegung muss man die Spannenergie und die potentielle Energie berücksichtigen, da die Masse dort keine Geschwindigkeit hat. Für die Spannenergie in diesem Zustand gilt:

$$W_{S2} = \frac{1}{2} * D * (s_1 + s_0)^2 = 0{,}2039J.$$

Die potentielle Energie ist negativ bezogen auf die Ruhelage. Es gilt:

$$W_{pot2} = -m * g * s_0 = -0{,}0491J.$$

Die Gesamtenergie im tiefsten Punkt der Schwingung beträgt damit

$$W_2 = 0{,}2074J - 0{,}04905J = 0{,}1548J.$$

Es gilt der Energieerhaltungssatz. Um ihn für alle Messwerte zu überprüfen, berechnet man mit cassy lab 2 die einzelnen Energien zu jedem Zeitpunkt und die Gesamtenergie mit der Formel

$$E = E_S + E_{kin} + E_{pot}$$
$$= \frac{1}{2} * 3{,}2\frac{N}{m} * (0{,}307m - s)^2 + \frac{1}{2} * 0{,}1kg * v^2 + 0{,}1kg * 9{,}81\frac{N}{kg} * s.$$

Man erhält die Kurve in Abb.2. Die rote Linie entspricht der Spannenergie, die blaue der potentiellen Energie, die violette der kinetischen Energie und die schwarze der Gesamtenergie. Man erkennt, dass die kinetische Energie kaum eine Rolle spielt und die Spannenergie und die potentielle Energie gegenläufig sind. Im höchsten Punkt der Schwingung ist die Spannenergie am kleinsten und die potentielle Energie am größten. Am tiefsten Punkt ist es umgekehrt. Die Gesamtenergie ist zu jedem Zeitpunkt konstant und beträgt

$$E = 0{,}1546J.$$

Der Energieerhaltungssatz wird in perfekter Weise bestätigt.

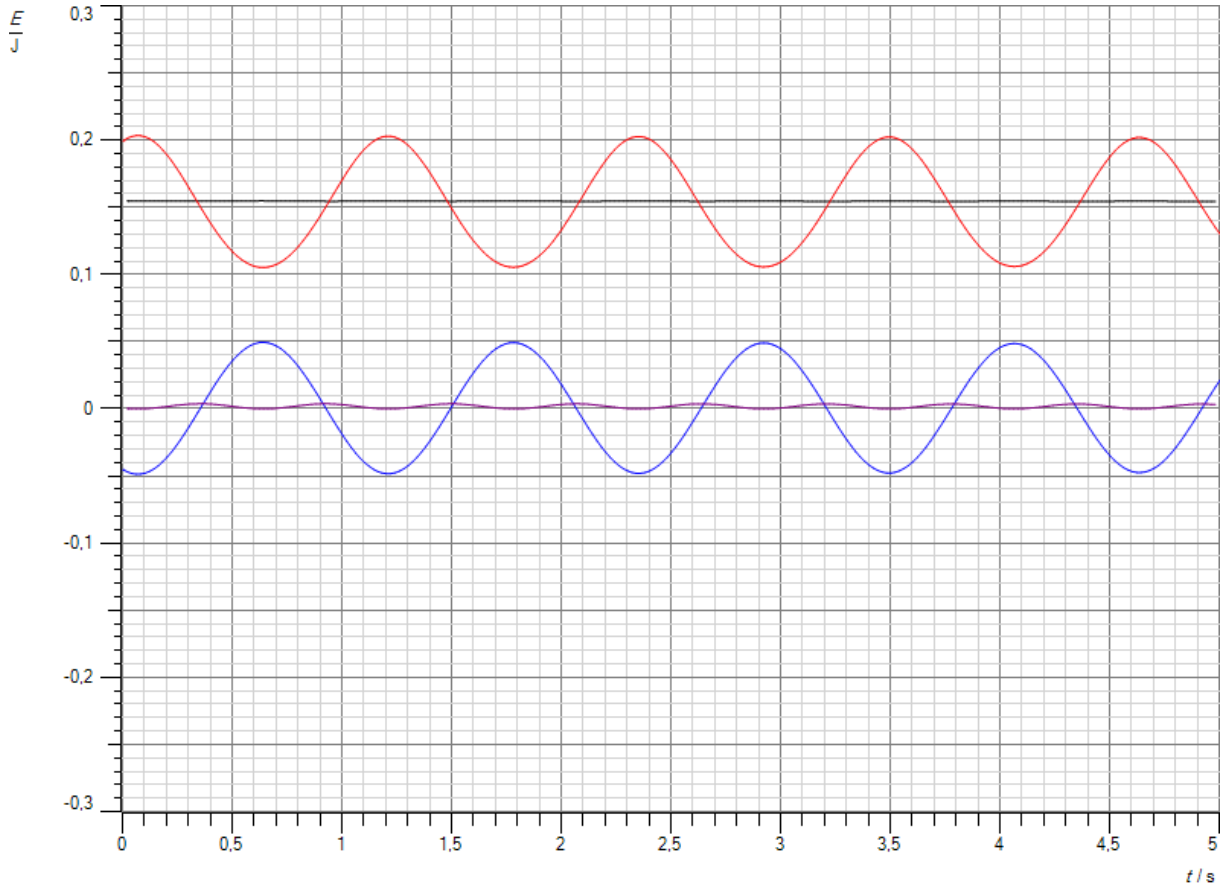
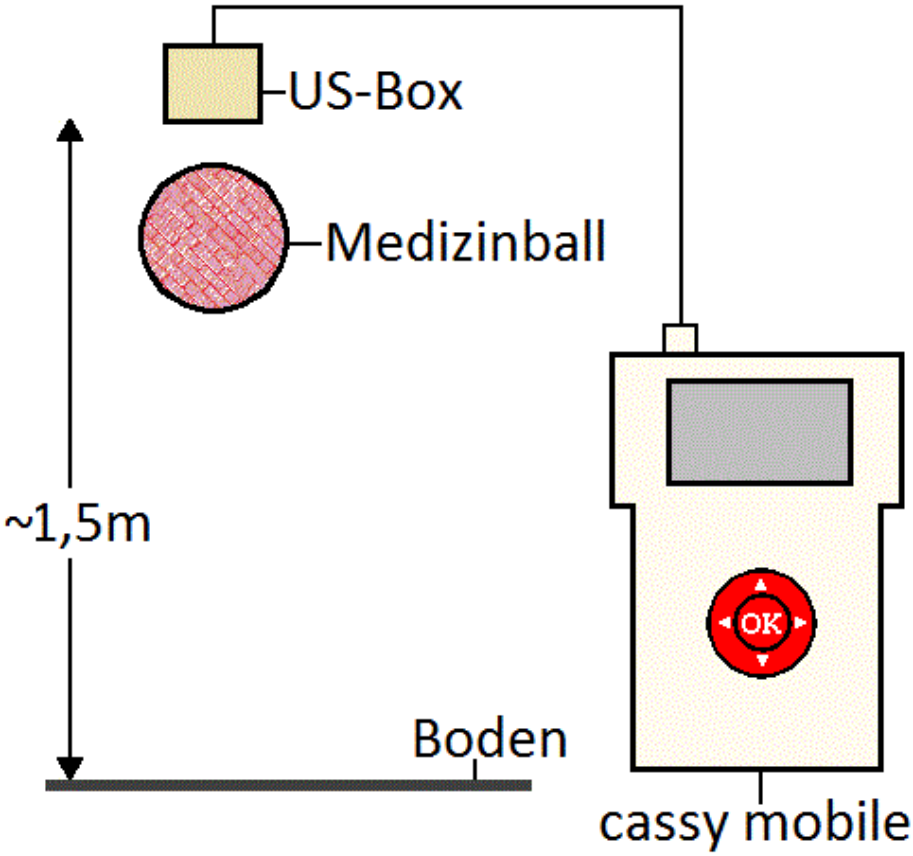


Abb.2: Energieerhaltungssatz mit einem Federpendel

Freier Fall

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „FFall.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Befestigen Sie die US-Box an einem Stativ in einer Höhe von etwa h = 1,5 – 2 m über dem Boden.
3. Ein Helfer hält den Medizinball mindestsns 30 cm unter der US-Box seitlich mit beiden Händen möglichst ruhig fest. Stellen Sie die Wegmessung in cassy mobile auf -->0<--.
4. Auf Ihr Startkommando lässt der Helfer den Medizinball fallen, während Sie gleichzeitig die Messung starten. Sie stoppt nach 0,5 s automatisch.
5. Betrachten Sie die Messkurven. Sollte sie viele Zacken und Sprünge aufweisen, müssen Sie die Messung wiederholen, weil das Timing nicht stimmte. Meist klappt es nach ein paar Versuchen.

Aufgaben

a. Werten Sie die s/t-Kurve und die v/t-Kurve grafisch aus.
b. Vergleichen Sie die Steigungen beider Kurven miteinander und ermitteln Sie die Fallbeschleunigung.
c. Formulieren Sie das s(t) und das v(t)-Gesetz für den freien Fall.
d. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Literaturwert. Diskutieren Sie mögliche Abweichungen.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

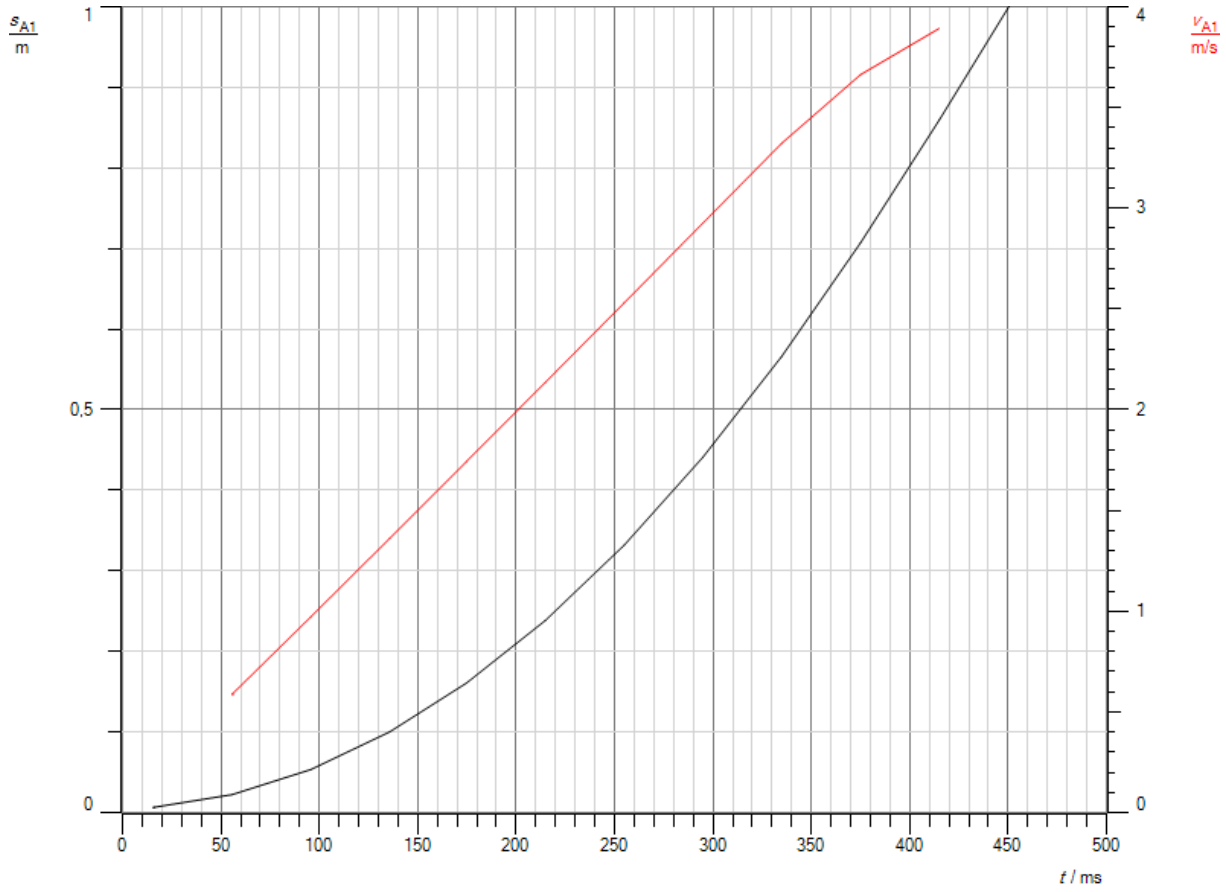


Abb.1: Freier Fall eines Medizinballes

Auswertung

a. Die Messwerte der s/t-Kurve lassen sich durch eine Parabel annähern. Die Steigung beträgt:

$$m = 4{,}87 \frac{m}{s^2}.$$

Die Messwerte der v/t-Kurve liegen auf einer Geraden. Die Steigung beträgt

$$g = 9{,}78 \frac{m}{s^2}.$$

b. Die Steigung der s(t)-Kurve ist halb so groß wie die der v(t)-Kurve.
c. Die Gesetze lauten:

$$s(t) = \frac{1}{2} * g * t^2.$$

und

$$v(t) = g * t.$$

d. Der Literaturwert beträgt

$$g = 9{,}81 \frac{m}{s^2}.$$

Die Messwerte weichen nur um

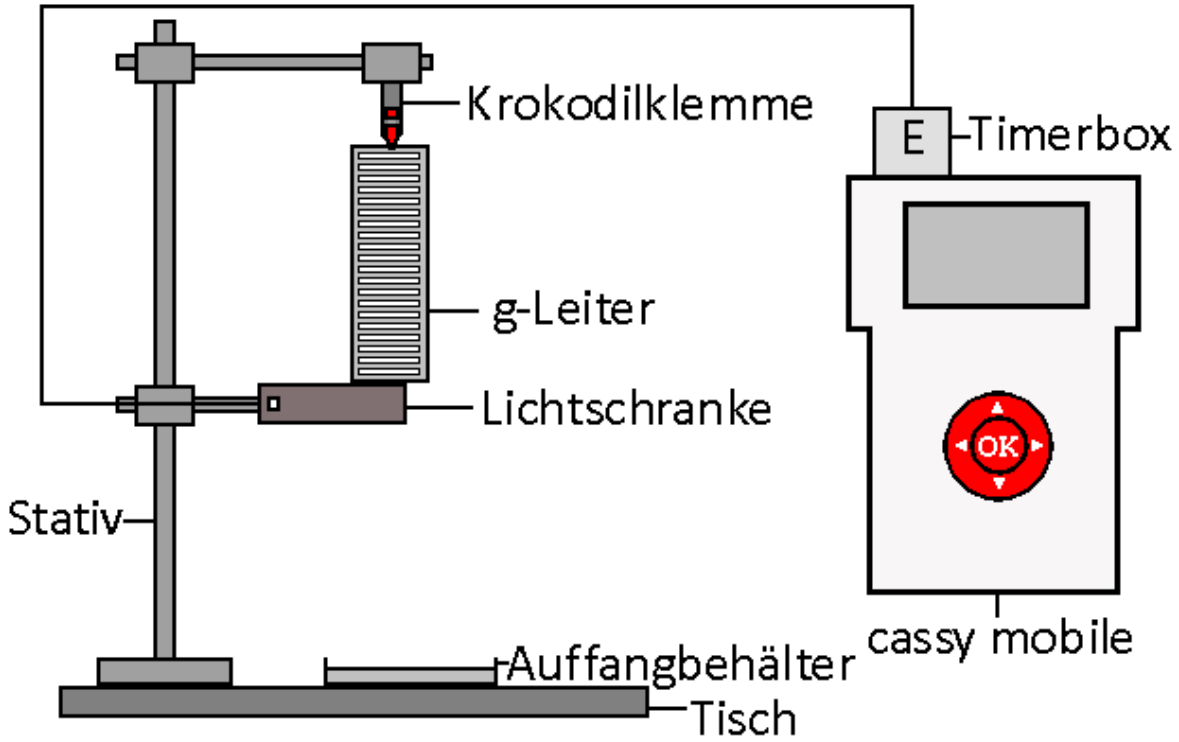
$$100\% - \frac{9{,}74}{9{,}81} * 100\% = 0{,}71\%$$

bzw. um

$$100\% - \frac{9{,}78}{9{,}81} * 100\% = 0{,}31\%$$

vom Literaturwert ab. Bei beiden Kurven ist der Zeitnullpunkt leicht verschoben, weil der Start der Messung und das Loslassen des Balles nicht genau synchron waren. Das hat auf den Wert der Fallbeschleunigung aber keinen Einfluss.

Versuch 2:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen „g-Leiter.labm“ im Ordner Physik.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Befestigen Sie die g-Leiter so über der Lichtschranke, dass die Zeitmessung gerade nicht auslöst.
3. Starten Sie cassy mobile. Öffnen Sie die Krokodilklemme.
4. Die Messung stoppt automatisch.
5. Speichern Sie die Messwerte.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltenen Messkurven qualitativ.
b. Legen Sie durch die s(t)-Kurve eine Ausgleichsparabel und lesen Sie ihre Steigung ab. Interpretieren Sie das Ergebnis.
c. Nähern Sie die v(t)-Kurve durch eine Ausgleichsgerade an und lesen Sie ihre Steigung ab. Deuten Sie die Steigung.
d. Berechnen Sie aus der Steigung der s(t)-Kurve und der v(t)-Kurve den Mittelwert der Erdbeschleunigung g.
e. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Literaturwert und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.
f. Formulieren Sie die Gesetzmäßigkeiten für den freien Fall. Erläutern und erklären Sie die Gesetze.

Beobachtung

Man erhält z.B. die Messkurven in Abb. 1 und 2.

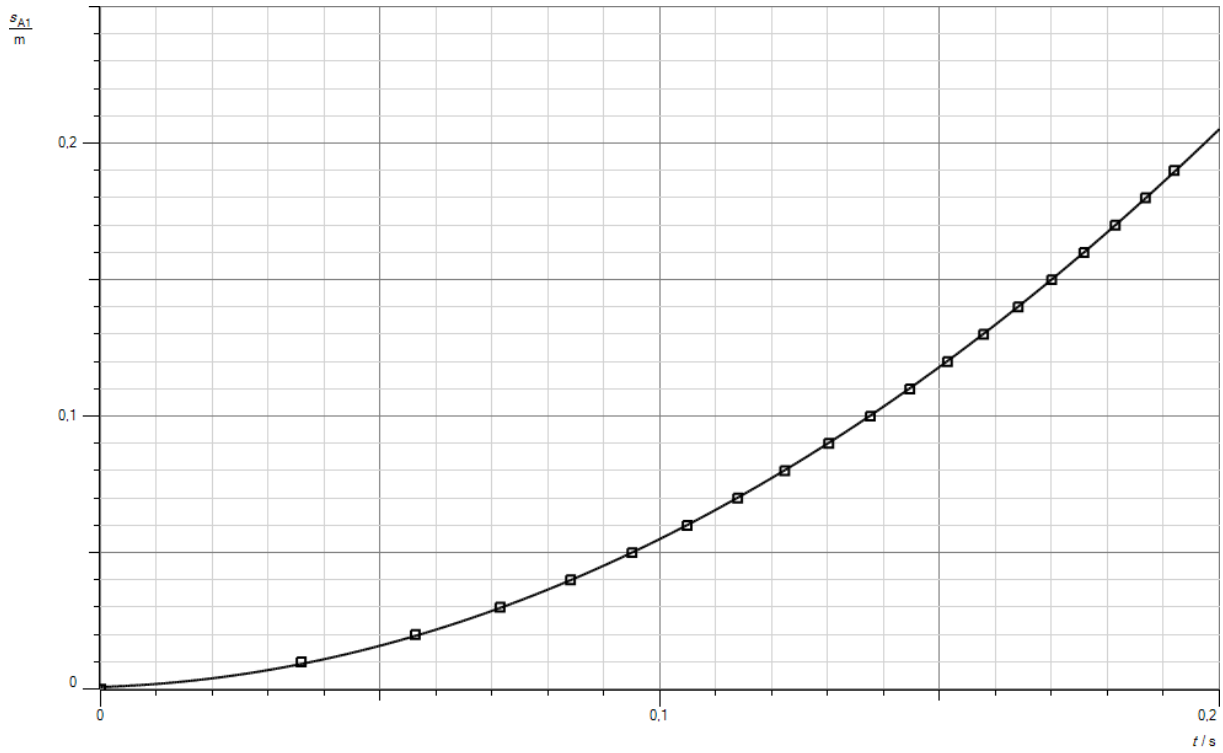


Abb.1: Weg-Zeit-Diagramm

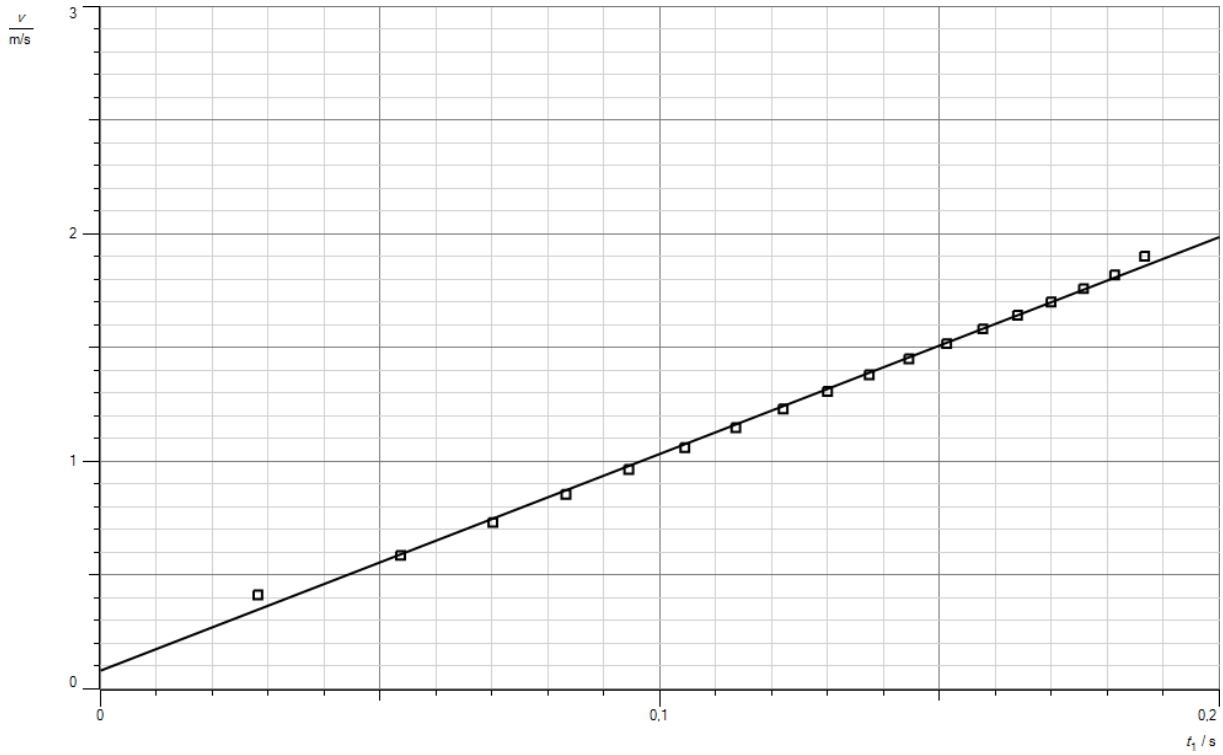


Abb.2: Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm

Auswertung

a. Der Weg steigt mit der Zeit immer steiler an, weil die Geschwindigkeit linear mit der Zeit zunimmt, wie man der v(t)-Kurve entnehmen kann. Der freie Fall ist eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.
b. Die Wegmesswerte lassen sich durch eine Parabel sehr gut beschreiben (s. Abb.1). Die Steigung beträgt $c_1 = 4{,}80\ m/s^2$.
c. Die Geschwindigkeitsmesswerte verteilen sich sehr gut um die Ausgleichsgerade (s. Abb.2). Die Steigung beträgt $c_2 = 9{,}53\ m/s^2$. Die Gerade geht nicht exakt durch den Nullpunkt, da man die g-Leiter nicht genau im Startpunkt platzieren kann, ohne die Zeitmessung auszulösen. Beim 1. Messwert besitzt die g-Leiter daher bereits eine geringe Geschwindigkeit.
d. Für die Erdbeschleunigung erhält man

$$g = \frac{2 * c_1 + c_2}{2} = 9{,}57\ m/s^2.$$

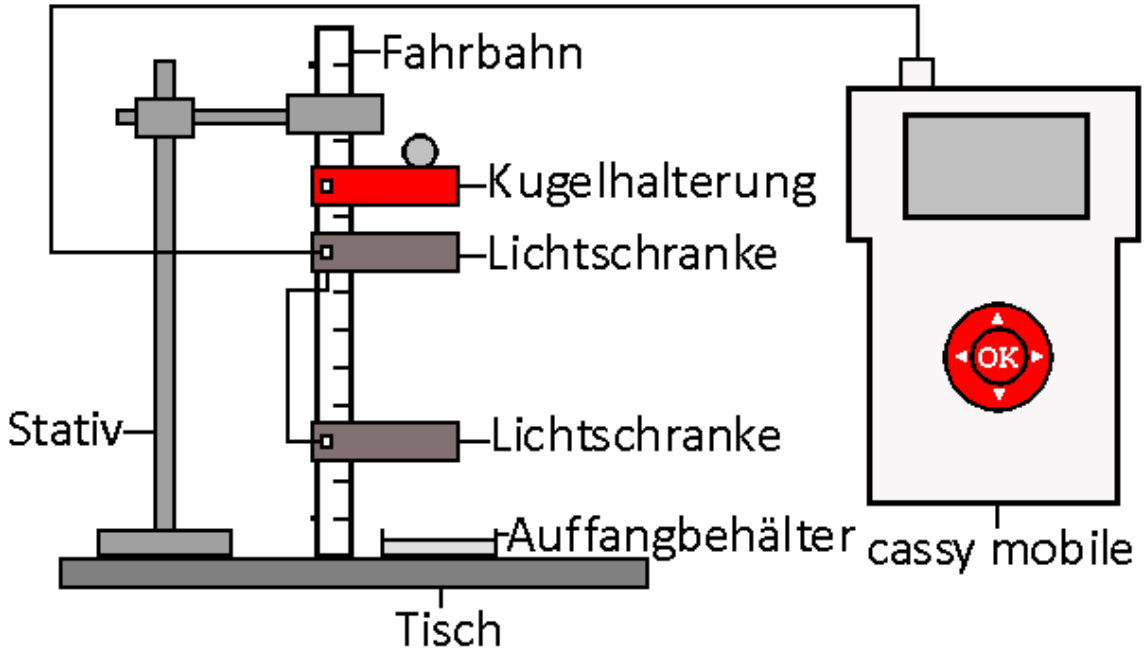
e. Der Literaturwert beträgt $g = 9{,}81\ m/s^2$. Messfehler können auftreten, wenn die Blende nicht ganz senkrecht fällt. Wiederholt man den Versuch mehrfach, so nähert sich der Mittelwert dem Literaturwert an.
f. Da es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt, lauten die Gesetze:

$$s(t) = \frac{1}{2} * g * t^2$$

$$v(t) = g * t$$

$$g(t) = const.$$

Versuch 3:



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Der Abstand zwischen der Kugelhalterung und der obersten Lichtschranke sollte etwa s_1 = 5 cm betragen, der Abstand zwischen den beiden Lichtschranken zunächst s_2 = 10 cm. Richten Sie die Fahrbahn mit einer Wasserwaage genau senkrecht aus.
2. Starten Sie cassy mobile. Aktivieren Sie im Menü Δt_A die Zeitmessung und in den Menüs v_{A1} und v_{A2} jeweils die Geschwindigkeitsmessung. Wählen Sie zusätzlich folgende Einstellungen: Fahne: 20 mm, Bereich: 2,4 m/s.
3. Legen Sie die Kugel in die Halterung und lassen Sie sie los.
4. Notieren Sie sich in einer Tabelle folgende Messwerte: Δt_A, v_{A1} und v_{A2}.
5. Wiederholen Sie die Messung zweimal.
6. Erhöhen Sie den Abstand der beiden Lichtschranken auf s_2 = 15 cm. Wiederholen Sie den Messvorgang gemäß Punkt 3 – 5.
7. Führen Sie die Messung anschließend auch noch für s_2 = 20 cm durch.

Aufgaben

a. Deuten Sie die erhaltene Messtabelle qualitativ.
b. Berechnen Sie für jedes Messpaar die Erdbeschleunigung und für jede Messreihe ihren Mittelwert. Mitteln Sie die Erdbeschleunigung über alle drei Messreihen. Interpretieren Sie das Ergebnis.
c. Vergleichen Sie die gemessene Erdbeschleunigung mit dem Literaturwert. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.
d. Überlegen Sie, von welchen Größen die Erdbeschleunigung abhängt. Erklären Sie jeweils.

Beobachtung
Man erhält folgende Messtabelle.

s_2 [m]	Δt_A [s]	v_{A1} [m/s]	v_{A2} [m/s]	g [m/s^2]	g_M [m/s^2]
0,1	0,0765	1,1176	1,8306	9,32	9,51
	0,0737	1,1110	1,8329	9,78	
	0,0764	1,1179	1,8374	9,42	
0,15	0,0991	1,1165	2,0544	9,46	9,73
	0,099	1,1077	2,0867	9,89	
	0,0987	1,1149	2,0863	9,84	
0,2	0,134	1,1138	2,4553	9,87	9,96
	0,1341	1,1150	2,4381	9,96	
	0,134	1,1160	2,4572	10,01	

Tabelle 1: Messtabelle

Auswertung

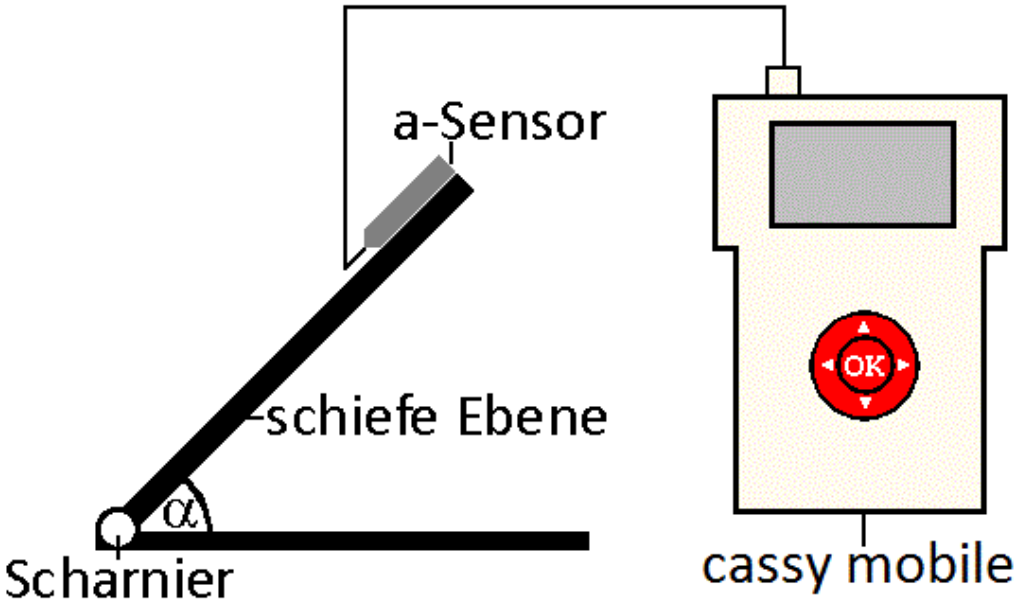
a. Die ersten drei Spalten der Tabelle zeigen, dass die 1. Geschwindigkeit v_{A1} für alle Teilversuche konstant ist. Die Kugel durchfällt bis zur ersten Lichtschranke stets die gleiche Strecke s_1 = 0,05 m. Mit größer werdendem Abstand s_2 zwischen den beiden Lichtschranken steigt die 2. Geschwindigkeit v_{A2} an, da die Kugel beschleunigt wird und somit ihre Geschwindigkeit mit der Fallzeit zunimmt. Der freie Fall ist eine beschleunigte Bewegung und keine Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit.
b. Man erhält die Beschleunigungswerte in Spalte 5 und als Mittelwerte für die einzelnen Messreihen die Werte in Spalte 6. Mittelt man über alle Messreihen, so ergibt sich als Erdbeschleunigung

$$g = \frac{(9{,}51 + 9{,}73 + 9{,}96) m/s^2}{3} = 9{,}73\, m/s^2.$$

   Der freie Fall ist eine Bewegung mit konstanter Beschleunigung.
c. Der Literaturwert beträgt g = 9,81 m/s^2. Der Messwert weicht nur um 0,78 % vom Literaturwert ab. Mögliche Fehlerquellen entstehen dadurch, dass die Kugel nicht genau senkrecht fällt. Dieser Fehler wird durch die spezielle Form der Halterung minimiert.
d. Die Erdbeschleunigung nimmt mit der Entfernung zum Erdmittelpunkt ab und zwar quadratisch. Beim doppelten Abstand ist sie nur noch ein Viertel so groß. Dass erklärt auch, warum sie an den Polen größer ist als am Äquator. Die Erde ist keine exakte Kugel, sondern durch die Zentrifugalkraft ein Rotationsellipsoid. Der Äquator ist weiter weg vom Erdmittelpunkt als der Nord- und Südpol. Sie hängt außerdem von der Masse der Erde ab. Planeten mit größerer Masse wie der Jupiter erzeugen eine höhere Beschleunigung.

Schiefe Ebene

Versuch 1:



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Hang1.labm“ im Ordner Physik.
2) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Kleben Sie den Beschleunigungssensor mit einem Stück Tesafilm auf die schiefe Ebene mit dem Kabel nach unten. Stellen Sie hinter der schiefen Ebene ein Geodreieck auf mit dem Nullpunkt direkt hinter dem Scharnier.
3) Stellen Sie die Beschleunigung in der waagerechten Lage der Ebene im cassy mobile auf -->0<--.
4) Erhöhen Sie den Winkel α der schiefen Ebene in Schritten von 5° von 0° auf 90 °. Drücken Sie nach jedem Schritt die OK-Taste, um den Messwert zu speichern.

Aufgaben

a) Deuten Sie das Diagramm.
b) Formulieren Sie den mathematischen Zusammenhang zwischen der Hangbeschleunigung a und dem Winkel α der schiefen Ebene.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

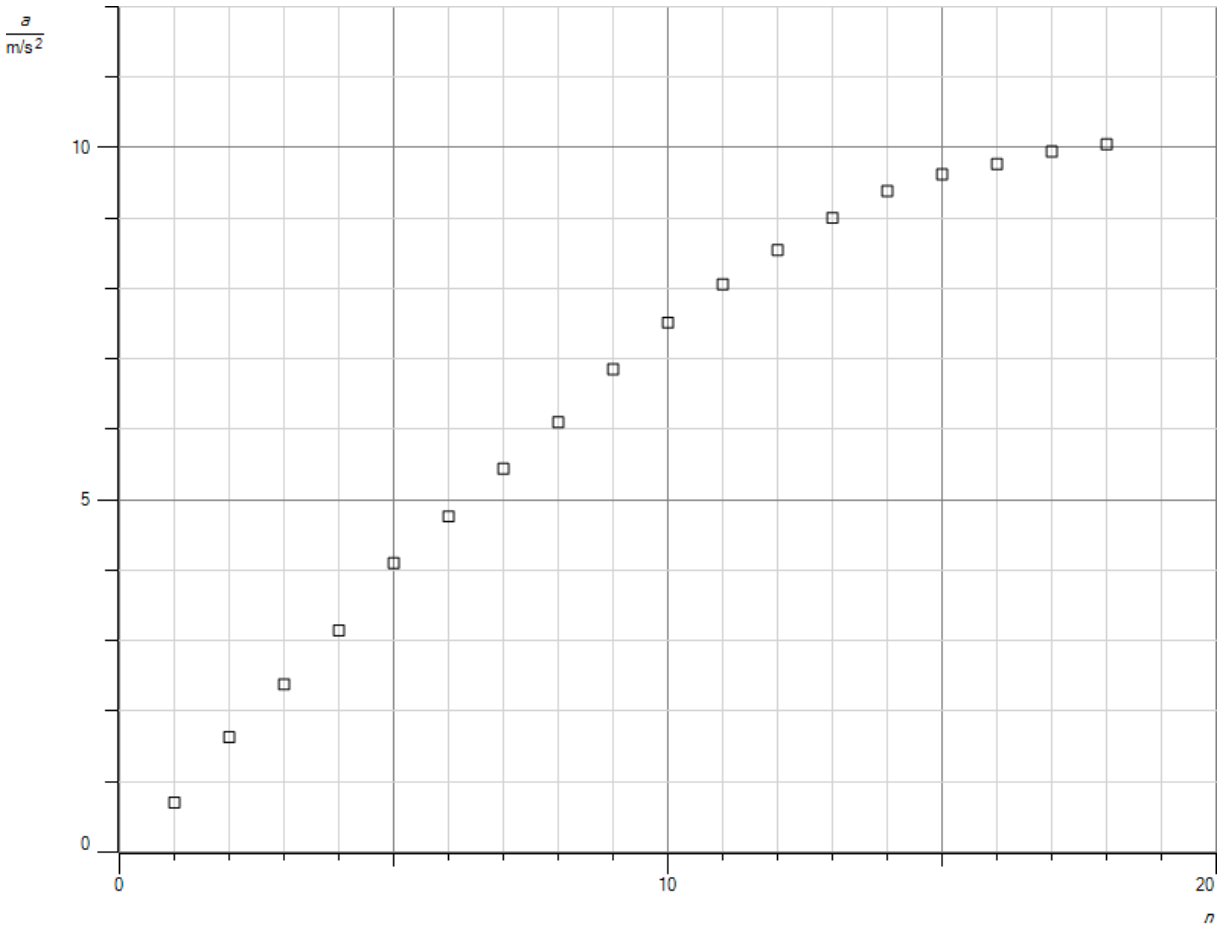


Abb.1: Hangbeschleunigung in Abhängigkeit vom Winkel α

Auswertung

a. Bei kleinen Winkeln nimmt die Hangbeschleunigung a proportional zum Winkel α der schiefen Ebene zu. Nähert sich der Winkel 90°, so steigt die Hangbeschleunigung immer weniger stark mit der Neigung der Ebene. Bei 90° entspricht sie der Erdbeschleunigung

$$g = 9{,}81\,\frac{m}{s^2},$$

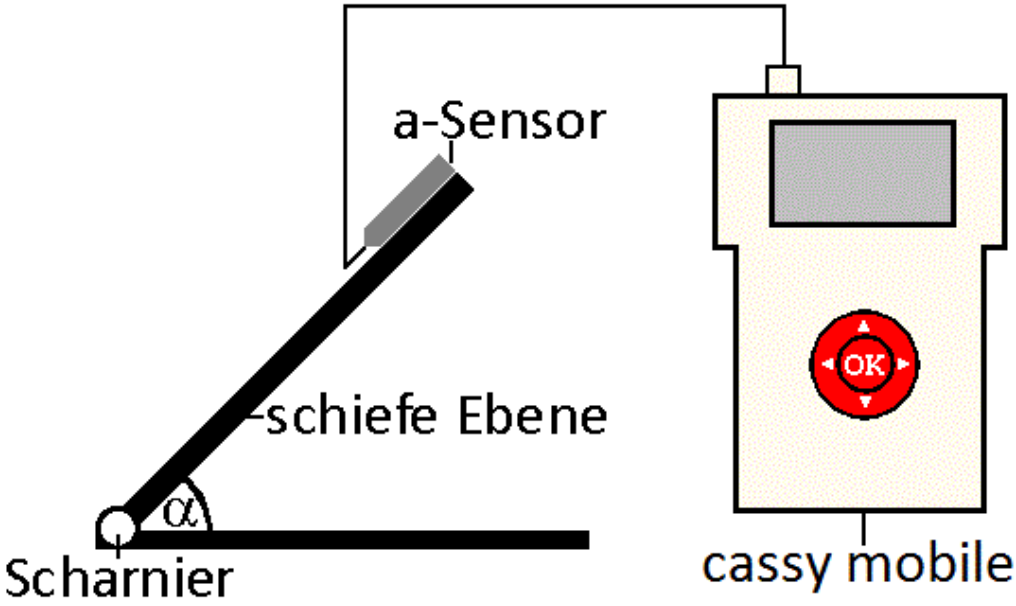
da ein Körper parallel zur schiefen Ebene frei fallen würde ohne die Ebene zu berühren.

b. Zwischen der Hangbeschleunigung a und dem Winkel α der schiefen Ebene besteht folgende mathematische Gesetzmäßigkeit:

$$a = g * sin\,\alpha.$$

Darin ist g die Erdbeschleunigung.

Versuch 2:



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Hang2.labm“ im Ordner Physik.
2) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Kleben Sie den Beschleunigungssensor mit einem Stück Tesafilm auf die schiefe Ebene mit dem Kabel nach unten. Stellen Sie hinter der schiefen Ebene ein Lineal auf mit dem Nullpunkt direkt auf der horizontalen Schiene.
3) Stellen Sie die Beschleunigung in der waagerechten Lage der Ebene im cassy mobile auf -->0<--.
4) Erhöhen Sie die schiefe Ebene in Schritten von 5cm von 0cm auf 50cm. Drücken Sie nach jedem Schritt die OK-Taste, um den Messwert zu speichern.

Aufgaben

a) Deuten Sie das Diagramm.
b) Werten Sie das Diagramm graphisch aus und ermitteln Sie die Steigung m.
c) Diskutieren Sie, von welchen Größen die Steigung m abhängt.
d) Formulieren Sie den mathematischen Zusammenhang zwischen der Hangbeschleunigung a, der Erdbeschleunigung g, der Steigung h und der Länge s der schiefen Ebene.
e) Vergleichen Sie das Diagramm mit dem Diagramm aus Versuch 1 und erklären Sie den Unterschied.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

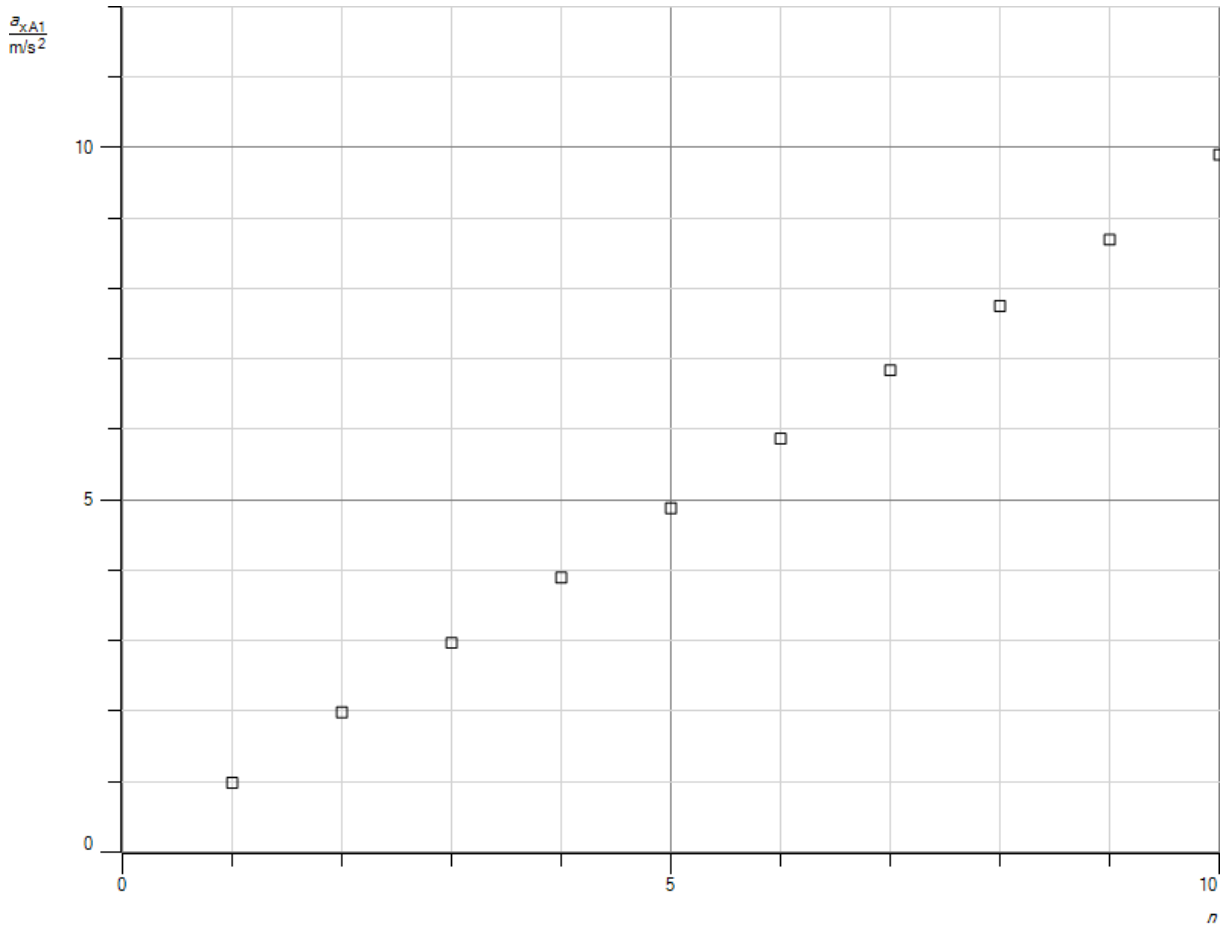


Abb.2: Hangbeschleunigung in Abhängigkeit von der Steigung h

Auswertung

a. Die Hangbeschleunigung a ist proportional zur Steigung h der schiefen Ebene.
b. Das Diagramm lässt sich durch eine Ursprungsgerade beschreiben. Die Steigung der Gerade beträgt:

$$m = 0{,}98\,\frac{m}{s^2}.$$

Pro Höhenschritt nimmt die Beschleunigung um 1/10 der Erdbeschleunigung zu. Da die Höhe in 10 Schritten bis zur senkrechten Lage der Ebene erhöht wurde, entspricht die Beschleunigung in der Senkrechten der Erdbeschleunigung.
c. Würde man die Ebene in weniger oder mehr Stufen bis zur Senkrechten erhöhen, so wäre m größer oder kleiner, da m der Zunahme der Beschleunigung pro Stufe entspricht. Wäre die Ebene länger, so müsste man die Höhe pro Stufe entsprechend anpassen, um jeweils den gleichen Wert für m zu erhalten.
d. Der mathematische Zusammenhang lautet mit a als Hangbeschleunigung, g als Erdbeschleunigung, h als Steigung und s als Länge der schiefen Ebene:

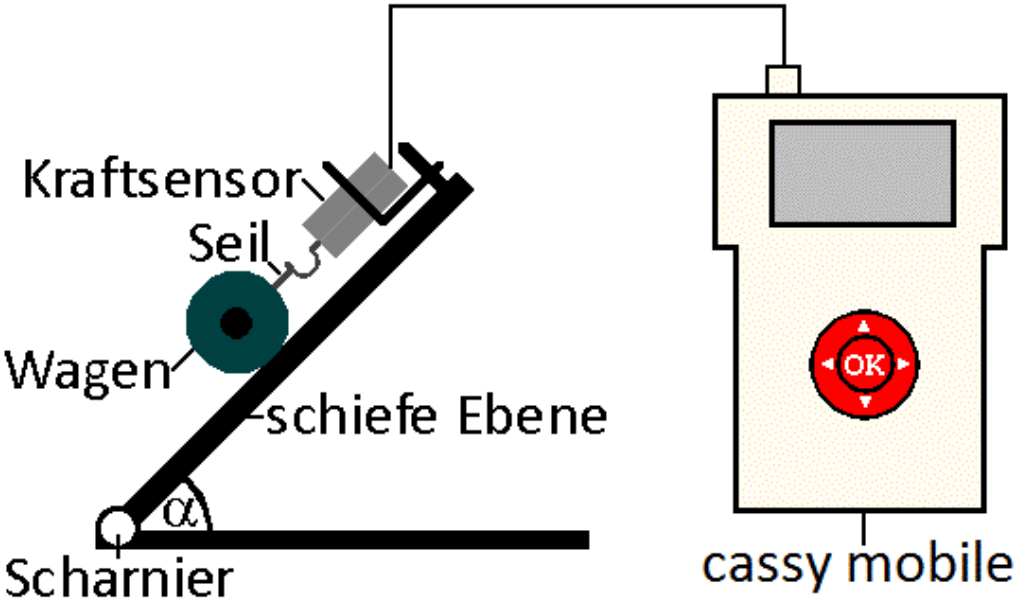
$$a = g * \frac{h}{s}.$$

e. In Versuch 1 wurde die Hangbeschleunigung in Abhängigkeit vom Neigungswinkel α der schiefen Ebene gemessen. Es ergab sich ein sinusförmiger Zusammenhang. Da der Sinus als Gegenkathete zur Hypotenuse definiert ist, gilt:

$$sin = \frac{h}{s}.$$

Damit liefern beide Versuche die gleiche Gesetzmäßigkeit. Sie unterscheiden sich nur in der Art und Weise, wie die Steigung der Ebene ermittelt wird.

Versuch 3:



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Hang3.labm“ im Ordner Physik.
2) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Stellen Sie hinter der schiefen Ebene ein Lineal auf mit dem Nullpunkt direkt auf der horizontalen Schiene.
3) Stellen Sie die Kraft in der waagerechten Lage der Ebene im cassy mobile auf -->0<--.
4) Erhöhen Sie die Steigung der schiefen Ebene in Schritten von 5 cm von 0 cm auf 50 cm. Drücken Sie nach jedem Schritt die OK-Taste, um den Messwert zu speichern.

Aufgaben

a) Deuten Sie das Diagramm.
b) Werten Sie das Diagramm graphisch aus. Bestimmen Sie die Steigung der Kurve. Überlegen Sie, wovon sie abhängt.
c) Formulieren Sie den mathematischen Zusammenhang zwischen der gemessenen Hangabtriebskraft F_H, der Gewichtskraft F_G, der Höhe h und der Länge s der schiefen Ebene.
d) Die Masse des Wagens beträgt m = 200g. Vergleichen Sie seine Gewichtskraft mit der maximal gemessenen Kraft und suchen Sie nach einer Erklärung für die Abweichung.
e) Beschreiben und erklären Sie, wie der Verlauf der Messkurve aussieht, wenn man die Kraft in Abhängigkeit vom Winkel α der schiefen Ebene aufträgt. Formulieren Sie den mathematischen Zusammenhang zwischen F_H, F_G und dem Neigungswinkel α.

Beobachtung
Man erhält z.B folgende Messkurve:

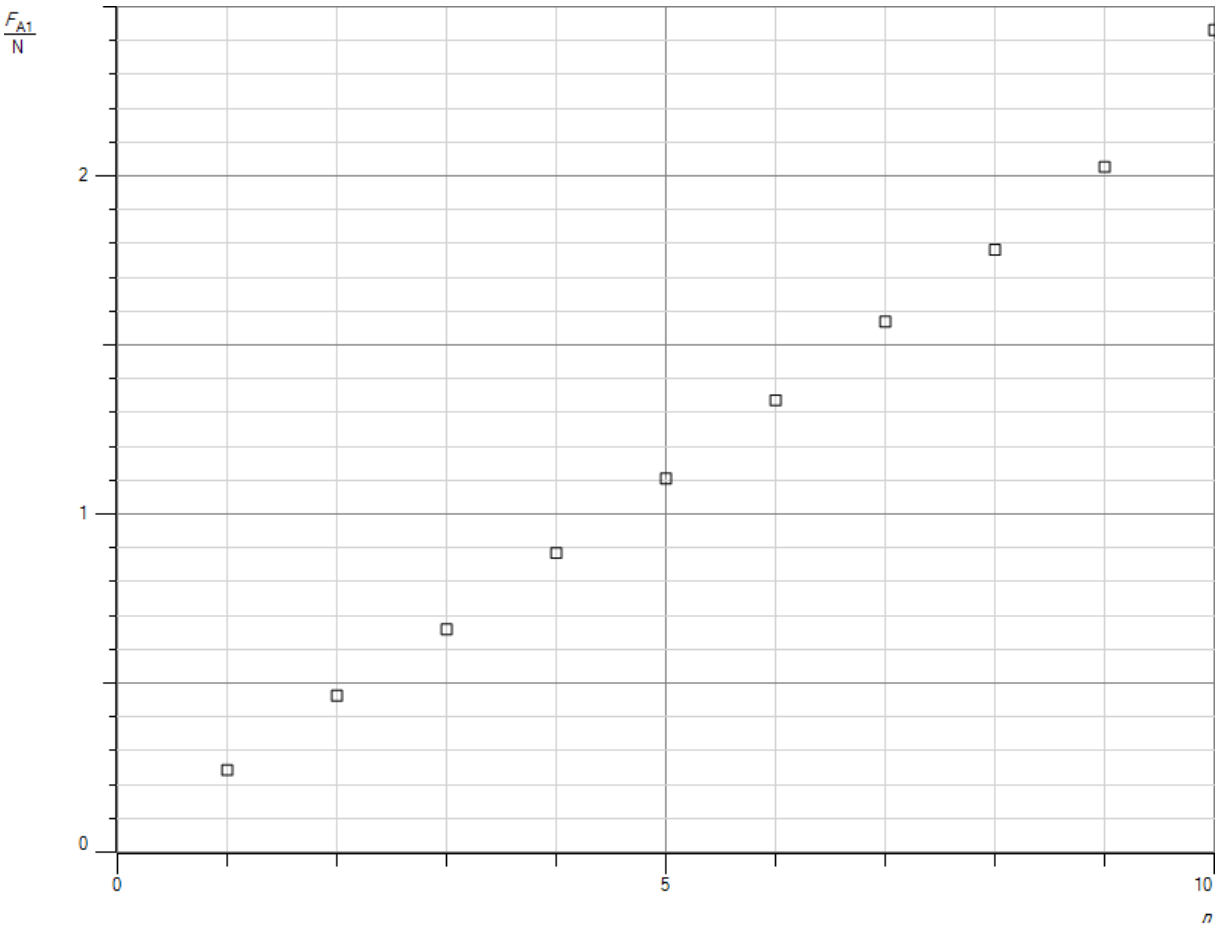


Abb.3: Hangabtriebskraft in Abhängigkeit von der Steigung h

Auswertung

a. Die Hangabtriebskraft F_H ist proportional zur Steigung der schiefen Ebene h.
b. Das Diagramm lässt sich durch eine Ursprungsgerade beschreiben. Die Steigung der Gerade beträgt:

$$m = 0{,}223N.$$

Pro Höhenschritt nimmt die gemessene Hangabtriebskraft F_H um 1/10 der Gewichtskraft zu. In der senkrechten Lage entspricht sie der Gewichtskraft F_G des Wagens, da er dann die Ebene nicht mehr berührt. Damit ist die Steigung umso größer, je größer die Masse des Wagens ist. Würde man die Ebene in weniger oder mehr Stufen bis zur Senkrechten erhöhen, so wäre m größer oder kleiner, da m der Zunahme der Hangabtriebskraft pro Stufe entspricht. Wäre die Ebene länger, so müsste man die Höhe pro Stufe entsprechend anpassen, um jeweils den gleichen Wert für m zu erhalten.

c. Der gesuchte Zusammenhang lautet:

$$F_H = F_G * \frac{h}{s}.$$

d. Da der Wagen m = 200 g wiegt, müsste man eine maximale Hangabtriebskraft F_H = 2 N messen. Aus dem Diagramm liest man aber eine maximale Kraft F_H = 2,4 N ab. Der Haltehaken des Kraftmessers besitzt eine eigene Gewichtskraft, die in die Messung mit eingeht. Um diesen Fehler zu vermeiden, müsste man ihn auf jeder Stufe neu auf -->0<-- stellen, bevor man den Wagen anhängt.
e. Man erhält einen sinusförmigen Zusammenhang zwischen der Hangabtriebskraft F_H und dem Neigungswinkel α der schiefen Ebene. Der Sinus eines Winkels ist definiert als der Quotient aus Gegenkathete h und Hypotenuse s. Damit gilt mit dem Gesetz aus Teilaufgabe c:

$$F_H = F_G * sin\,\alpha.$$

Versuch 4:

Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Hang4.labm“ im Ordner Physik.
2) Befestigen Sie den Beschleunigungssensor mit einer Stativklemme frei drehbar an einer Stativstange.
3) Starten Sie die Messung.
4) Drehen Sie den Sensor einmal oder mehrere Male ganz im Kreis.
5) Stoppen Sie die Messung.

Aufgaben

a) Beschreiben und deuten Sie das Diagramm.
b) Jedes Smartphone enthält einen Beschleunigungssensor, wie Sie ihn in diesem Versuch verwendet haben. Erklären Sie.
c) Erkundigen Sie sie im Internet, wie er aufgebaut ist und wie er funktioniert.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

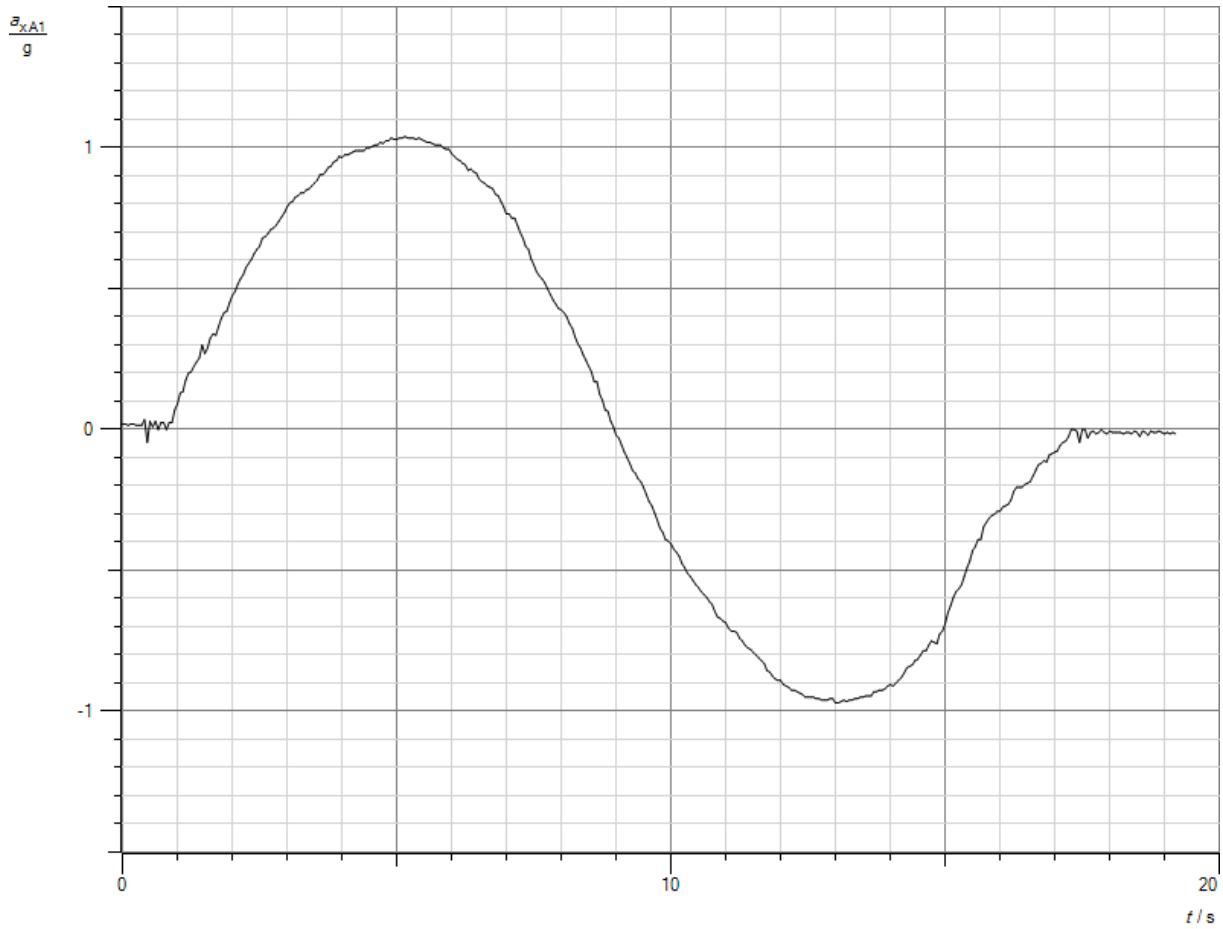
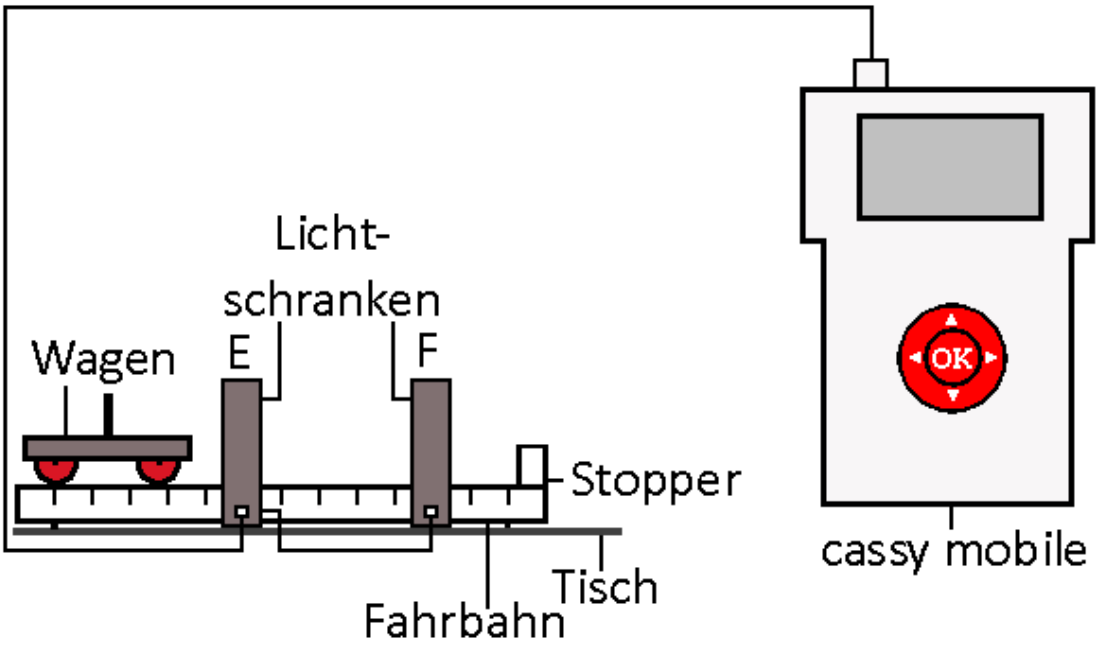


Abb.4: Drehung des Beschleunigungssensors im Gravitationsfeld der Erde

Auswertung

a. Innerhalb von t = 16 s wurde der Sensor einmal um 360° gedreht. Zu Beginn hängt er waagrecht und zeigt eine Beschleunigung a = 0 g an. Nach t = 4 s Drehzeit misst der Sensor a = 1 g und zeigt nach unten. Bei t = 8 s misst er a = 0 g. Er liegt wieder waagerecht, aber in der umgekehrten Richtung wie am Anfang. Bei t = 12 s misst er a = -1 g. Er zeigt nach oben. Und bei t = 16s zeigt er wieder null an. Er befindet sich wieder in der Waagerechten in die gleiche Richtung wie zu Beginn. Die gemessene Beschleunigung ändert sich sinusförmig mit der Zeit und damit mit dem Drehwinkel α. Das Ergebnis bestätigt die Überlegungen aus Versuch 3.
b. Mit dem Beschleunigungssensor stellt das Smartphone fest, wie es gedreht ist, horizontal oder vertikal.
c. Der Sensor besteht aus einem Plattenkondensator mit einer feststehenden und einer beweglichen Platte. Je nach Lage des Sensors, horizontal oder vertikal, ändert sich der Abstand der Platten und damit die Kapazität C und die am Kondensator gemessene Spannung U. Sie ist ein Maß für die Kraft auf die bewegliche Platte. Der Sensor misst somit nicht eigentlich die Beschleunigung, sondern die Gewichtskraft.

Versuch 5:



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Stellen Sie die Lichtschranken in einer Entfernung von $\Delta s = 0{,}5$ m voneinander auf. Richten Sie die Fahrbahn zunächst mit einer Wasserwaage waagerecht raus.
2. Starten Sie cassy mobile. Aktivieren Sie im Menü Δt_A die Zeitmessung und in den Menüs v_{A1} und v_{A2} die Geschwindigkeitsmessung. Wählen Sie zusätzlich folgende Einstellungen Fahne: 4 mm, Bereich: 2,4 m/s.
3. Unterlegen Sie das linke Ende der Fahrbahn mit Holzklötzen oder Büchern der Dicke $h = 6$ cm. Bringen Sie den Wagen ans linke Ende der Fahrbahn und lassen ihn los.
4. Notieren Sie sich in einer Tabelle folgende Messwerte Δt_A, v_{A1} und v_{A2}.
5. Wiederholen Sie die Messung mit Holzklötzen bzw. Büchern der Dicke 9 cm, 12 cm bzw. 15 cm.

Aufgaben

a. Erklären Sie, warum die Geschwindigkeiten von links nach rechts steigen.
b. Berechnen Sie die Beschleunigungen für alle Teilversuche und notieren Sie sie in einer zusätzlichen Spalte der Tabelle. Interpretieren Sie das Ergebnis.
c. Berechnen Sie für jeden Teilversuch die Beschleunigung mit dem Gesetz der schiefen Ebene. Vergleichen Sie sie mit den Messwerten. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen und wie man sie beheben könnte.
d. Beschreiben und erklären Sie, welche Beschleunigung man messen würde, wenn man die Fahrbahn senkrecht stellen würde.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messtabelle.

h[cm]	Δt_A [s]	v_{A1} [m/s]	v_{A2}[m/s]	a[m/s^2]
6	0,8357	0,4250	0,8436	0,501
9	0,6662	0,5336	1,0635	0,795
12	0,5740	0,6161	1,2431	1,092
15	0,5075	0,6984	1,3990	1,381

Tabelle 1: Messtabelle

Auswertung

a. Da die Fahrbahn nach rechts geneigt ist, erfährt der Wagen eine Hangabtriebskraft nach rechts, die ihn in diese Richtung beschleunigt.
b. Man erhält die Werte in Spalte 5 der obigen Tabelle. Die Beschleunigung nimmt wie zu erwarten mit der Neigung zu, da die Hangabtreibekraft größer wird. Je steiler ein Berg, umso mehr wird ein Wagen den Berg hinunter beschleunigt.
c. Das Gesetz der schiefen Ebene lautet:

$$a_H = g * \frac{h}{s}.$$

Darin ist a_H die Hangabtriebsbeschleunigung, g die Erdbeschleunigung, h die Höhe der schiefen Ebene und s ihre Länge. Die Länge beträgt s = 1 m, die Erdbeschleunigung g = 9,81 m/s^2. Setzt man außerdem die Höhen aus der Messtabelle ein, so erhält man folgende die Werte in Spalte 3 der folgenden Tabelle.

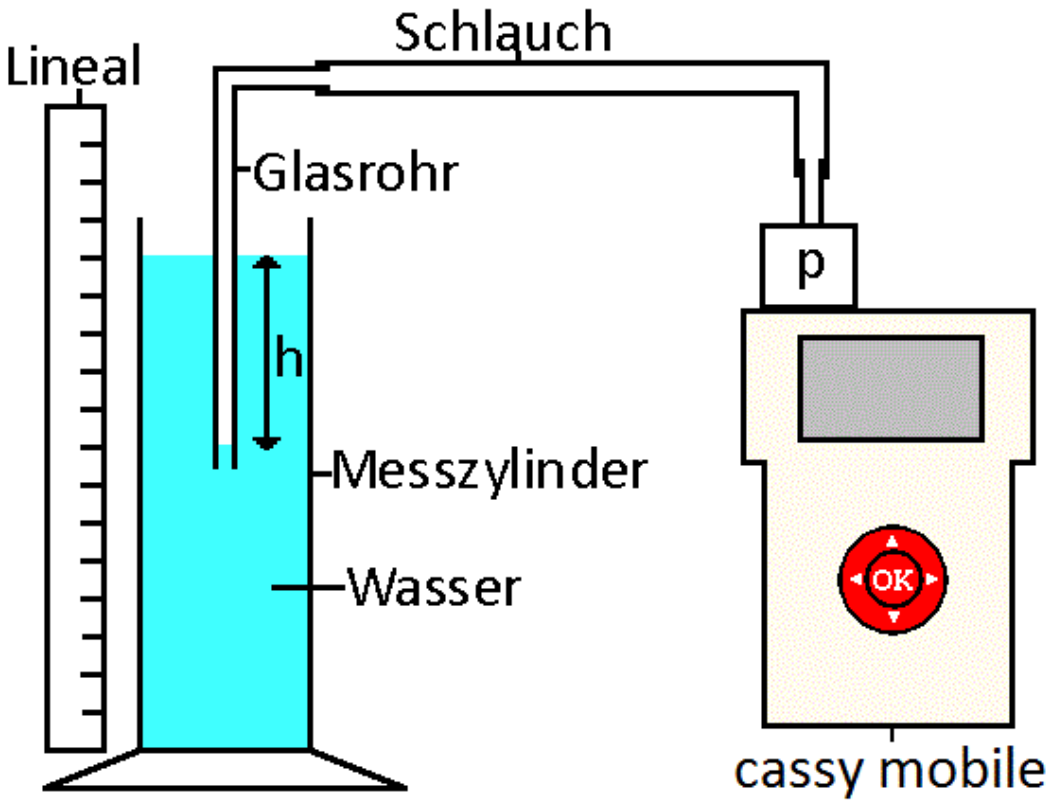
h[cm]	a(gem)[m/s^2]	a(the)[m/s^2]
6	0,501	0,587
9	0,795	0,883
12	1,092	1,177
15	1,381	1,472

Die gemessenen Werte sind im Mittelwert um Δa_H = 0,0875 m/s^2 kleiner als die theoretischen Werte. Die Ursache ist die Reibung des Wagens auf der Fahrbahn. Daher wird ein kleiner Teil der Hangabtriebskraft benötigt, diese Reibungskraft zu überwinden.

d. Man würde eine Beschleunigung von fast g = 9,81 m/s^2 messen, da der Wagen frei fallen würde. Er würde die Fahrbahn nicht mehr berühren, da die Normalkraft, die ihn auf die schiefe Ebene drückt, den Wert null hat. Somit würde er auch keine Rollreibung mehr erfahren. Nur die Luftreibung würde ihn allenfalls leicht abbremsen.

Wasserdruck

Versuch 1:



Durchführung

1) Laden Sie die Einstellungen der Datei „Druck.labm“ im Ordner Physik.
2) Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf.
3) Stellen Sie die Druckmessung im cassy mobile auf -->0<--, wenn sich das Glasrohr nicht im Wasser befindet.
4) Tauchen Sie das Glasrohr in Schritten von 3 cm bis zu 30 cm tief ins Wasser ein. Die Eintauchtiefe h ist der Abstand der Wasserstände im Messzylinder und in der Glasröhre.
5) Drücken Sie nach jedem Schritt die OK-Taste, um den Messwert zu speichern.

Aufgaben

a) Interpretieren Sie die erhaltene Messkurve.
b) Ermitteln Sie die Steigung der Kurve und überlegen Sie, was sie anschaulich bedeutet.
c) Berechnen Sie den Wasserdruck in h_1 = 1 m bzw. h_2 = 10 m Wassertiefe und vergleichen Sie ihn mit dem normalen Luftdruck.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

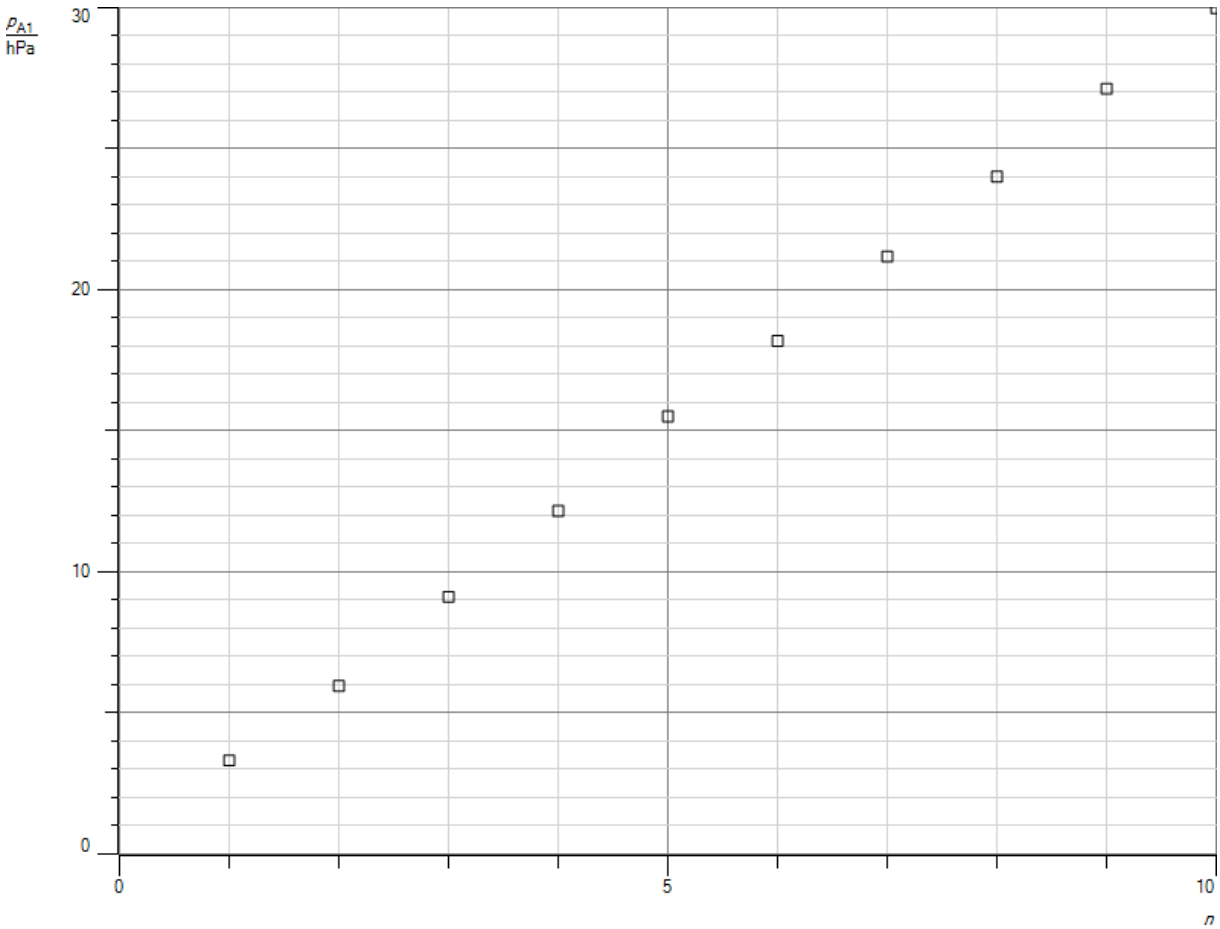


Abb.1: Wasserdruck in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe

Auswertung

a. Da sich eine Gerade durch den Nullpunkt ergibt, ist der Druck p unter Wasser proportional zur Eintauchtiefe h.
b. Wertet man die Kurve mit einer Ursprungsgeraden graphisch aus, so erhält man folgende Steigung m

$$m = 3{,}02 hPa.$$

Erhöht man die Eintauchtiefe um 3 cm, so steigt der Druck um 3,02 hPa. Pro cm nimmt der Druck somit um

$$c = \frac{3{,}02 hPa}{3 cm} = 1{,}007 \frac{hPa}{cm}.$$

Der genaue Literaturwert beträgt

$$c = 0{,}981 \frac{hPa}{cm}.$$

Zwischen dem Wasserdruck p und der Eintauchtiefe h besteht folgende Gesetzmäßigkeit

$$p = c * h.$$

c. Man benutzt das in Aufgabe b ermittelte Gesetz und erhält:

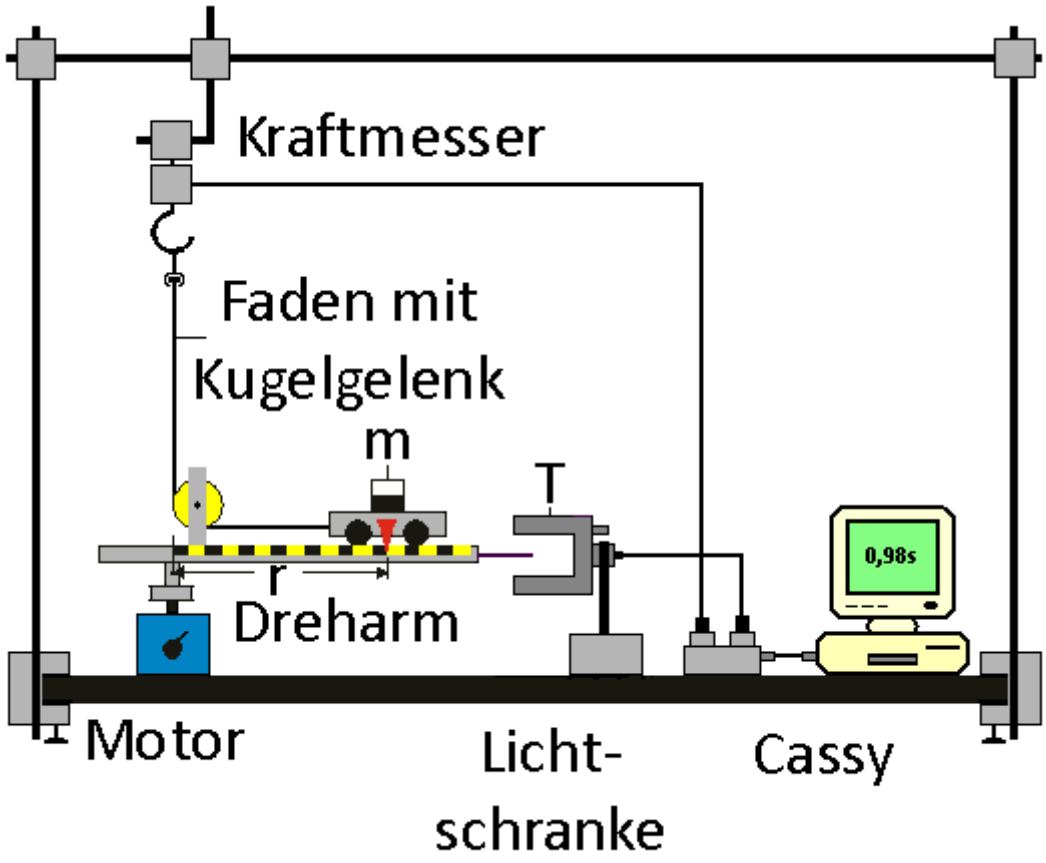
$$p(1m) = 1{,}007\,\frac{hPa}{cm} * 100cm = 100{,}7hPa$$

$$p(10m) = 1{,}007\,\frac{hPa}{cm} * 1000cm = 1007hPa = 1{,}007bar.$$

Der Druck unter Wasser nimmt pro m um ca. 100 hPa und pro 10 m um etwa 1 bar zu. Da der normale Luftdruck p_L = 1,013 bar beträgt, herrscht in einer Wassertiefe von h = 10 m ein Gesamtdruck, der annähernd dem doppelten Luftdruck entspricht.

Zentripetalkraft

Versuch 1:



Durchführung

1. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Zentripetalkraft.labx“ im Ordner Physik. Sie benötigen das große cassy und die Software cassy lab2.
2. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Sie benötigen für cassy den elektronischen Kraftmesser und die Timerbox. Stecken Sie den Kraftmesser auf Eingang A, die Timerbox auf Eingang B. Verbinden Sie die Lichtschranke mit dem Eingang E der Timerbox.
3. Wählen Sie für Eingang A die Messgröße „Periodendauer“. Stellen Sie den Kraftmesser an Eingang B auf -->0<--, wenn das Seil entspannt ist.
4. Schalten Sie den Motor ein, stellen Sie eine kleine Drehfrequenz ein und starten cassy.
5. Erhöhen Sie langsam die Winkelgeschwindigkeit des Motors bis maximal 10 Hz.
6. Stoppen Sie den Motor und cassy. Legen Sie auf den Wagen zwei zusätzliche Massestücke mit je m = 50 g und wiederholen Sie die Teilversuche 4) und 5).
7. Stoppen Sie den Motor und cassy. Entfernen Sie die zusätzlichen Massestücke und vergrößern Sie den Radius der Kreisbahn, indem Sie den Kraftmesser tiefer hängen. Wiederholen Sie die Teilversuche 4) und 5).

Aufgaben

a. Erläutern und erklären Sie den Versuchsaufbau.
b. Interpretieren Sie die erhaltenen Messkurven.
c. Ermitteln Sie aus den Messergebnissen die Formel für die Zentripetalkraft.

Beobachtung:
Man erhält z.B. folgende Messkurve:

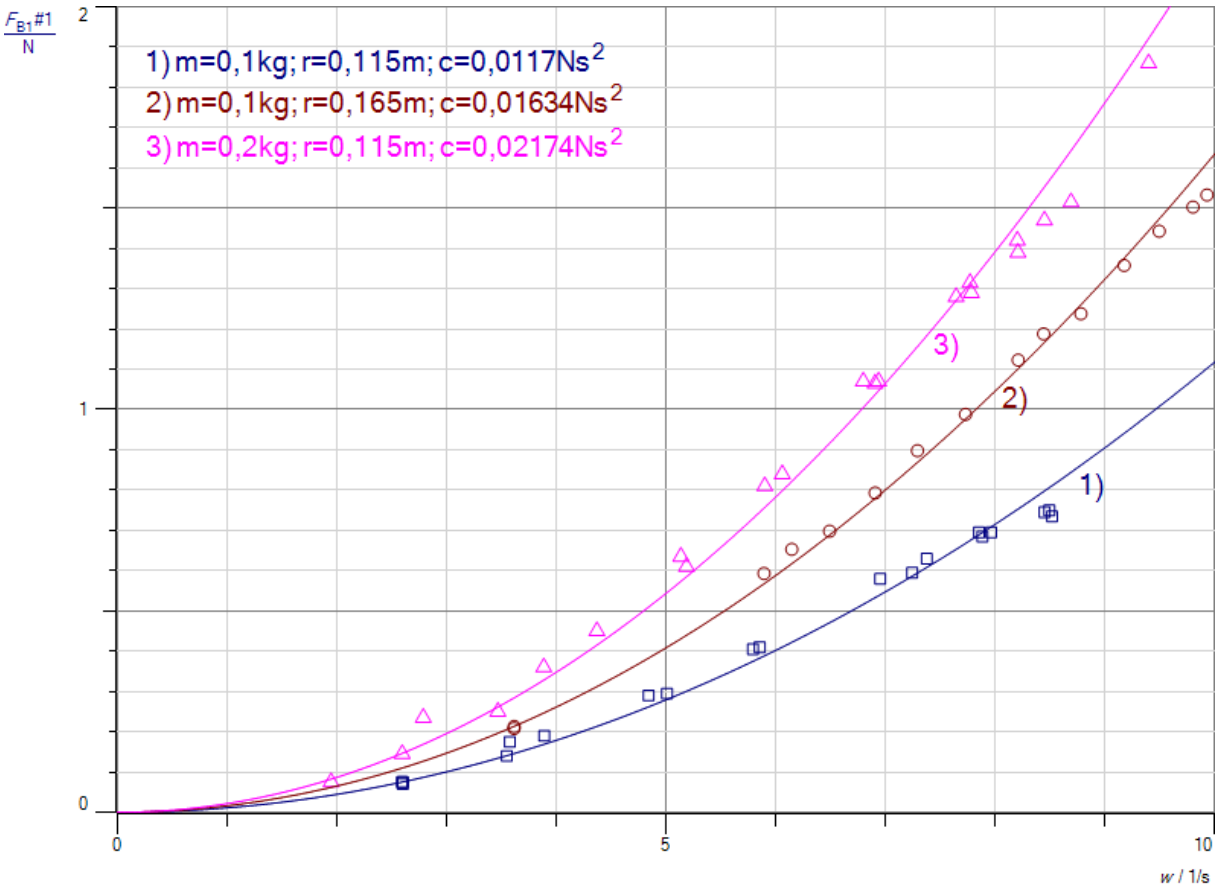


Abb.1: Zentripetalkraft in Abhängigkeit von ω, m und r.

Auswertung:

a) Auf einen Elektromotor wird ein Dreharm montiert. Auf ihm befindet sich ein Wagen. Der Wagen ist über eine Rolle, ein Seil und ein Kugelgelenk mit dem elektronischen Kraftmesser verbunden, damit er sich bei der Rotation nicht verdrillt. Der Kraftmesser wird so an einer rechtwinkligen Stativstange aufgehängt, dass man seine Höhe verstellen kann. Auf diese Weise kann man den Radius r der Kreisbewegung verändern. Die Umlaufdauer T ermittelt man mit einer Lichtschranke. Sie wird durch einen Stift unterbrochen, der sich am vorderen Ende des Dreharms befindet. Beim ersten Durchlauf startet die Uhr und stoppt beim zweiten Durchgang. Man erhält so die Umlaufdauer T und damit die Winkelgeschwindigkeit ω nach der Formel $\omega = 2\pi/T$. Sie kann direkt von cassy berechnet werden, wenn man die Formel programmiert. Den Radius kann man an einer Skala auf dem Dreharm ablesen und die Masse des Wagens mit einer Waage überprüfen. Die Kraft wird ebenfalls von cassy aufgezeichnet. Man erhöht langsam die Drehgeschwindigkeit und erhält so die Kurven in Abb. 1 für verschiedene Radien und Massen.

b) Die Zentripetalkraft ist für alle drei Messreihen proportional zum Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ω. Die Steigung c der Kurve ist umso größer, je größer die Masse bzw. der Radius ist. Berechnet man für alle drei Messreihen jeweils das Produkt aus Masse m und Radius r, so erhält man:

$$m_1 * r_1 = 0{,}0115kg * m$$

$$m_2 * r_2 = 0{,}0165kg * m$$

$$m_3 * r_3 = 0{,}023kg * m.$$

Zahlenmäßig stimmen diese Werte gut mit den Proportionalitätsfaktoren der Messkurven überein. Auch die Einheiten sind identisch, da gilt:

$$N * s^2 = \frac{kg * m}{s^2} * s^2 = kg * m.$$

Daraus folgt:

$$c = m * r.$$

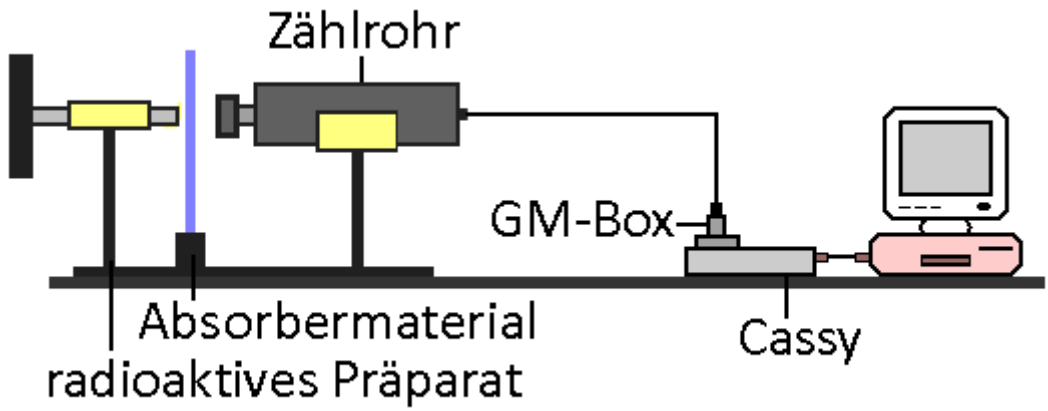
c) Mit den Überlegungen aus b) lautet die gesuchte Formel für die Zentripetalkraft F_Z:

$$F_Z = m * r * \omega^2.$$

Kernphysik

Absorption

Versuch 1:



1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als radioaktives Präparat eine schwache Ra-226-Quelle. Der Abstand zwischen radioaktivem Material und Zählrohr sollte mindestens d = 5 cm betragen. Beachten Sie die allgemeinen Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Der Versuch darf nur als Lehrerversuch durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler müssen einen Sicherheitsabstand wahren und müssen durch ein Hinweisschild mit dem radioaktiven Symbol vor der Gefahr gewarnt werden. Außerdem sollte die Lehrperson eine Schutzbrille und Sicherheitshandschuhe tragen.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Absorption1.labx“ im Ordner Physik.
3. Starten Sie die Messung zunächst ohne Absorbermaterial.
4. Stoppen Sie die Messung nach ca. 15 Messvorgängen. Bringen Sie zwischen Zählrohr und radioaktives Präparat fünf Lagen Druckerpapier, die Sie mit zwei Wäscheklammern oder Krokodilklemmen zusammenhalten. Wählen Sie im Menü Messung die Option „Messung fortsetzen“.
5. Stoppen Sie die Messung erneut nach ca. 30 Messungen. Ersetzen Sie das Papier durch eine Bleiplatte der Dicke d = 2 mm. Setzen Sie die Messung fort. Stoppen Sie die Messung nach insgesamt ca. 50 Messungen.

Aufgaben

a. Stellen sie das Zerfallsschema für Ra-226 für fünf Tochtergenerationen auf. Benutzen Sie die Nuklidkarte. Erläutern Sie, welche Strahlungsarten die Quelle aussendet.
b. Erklären Sie, warum der Abstand zwischen Zählrohr und radioaktivem Präparat mindestens d = 5 cm betragen sollte.
c. Deuten Sie die erhaltene Messkurve.
d. Beschreiben Sie die Vorgänge, durch die die verschiedenen Strahlungsarten vom Material absorbiert werden.
e. Diskutieren Sie Maßnahmen, wie man sich am besten vor radioaktiven Stoffen schützt.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve.

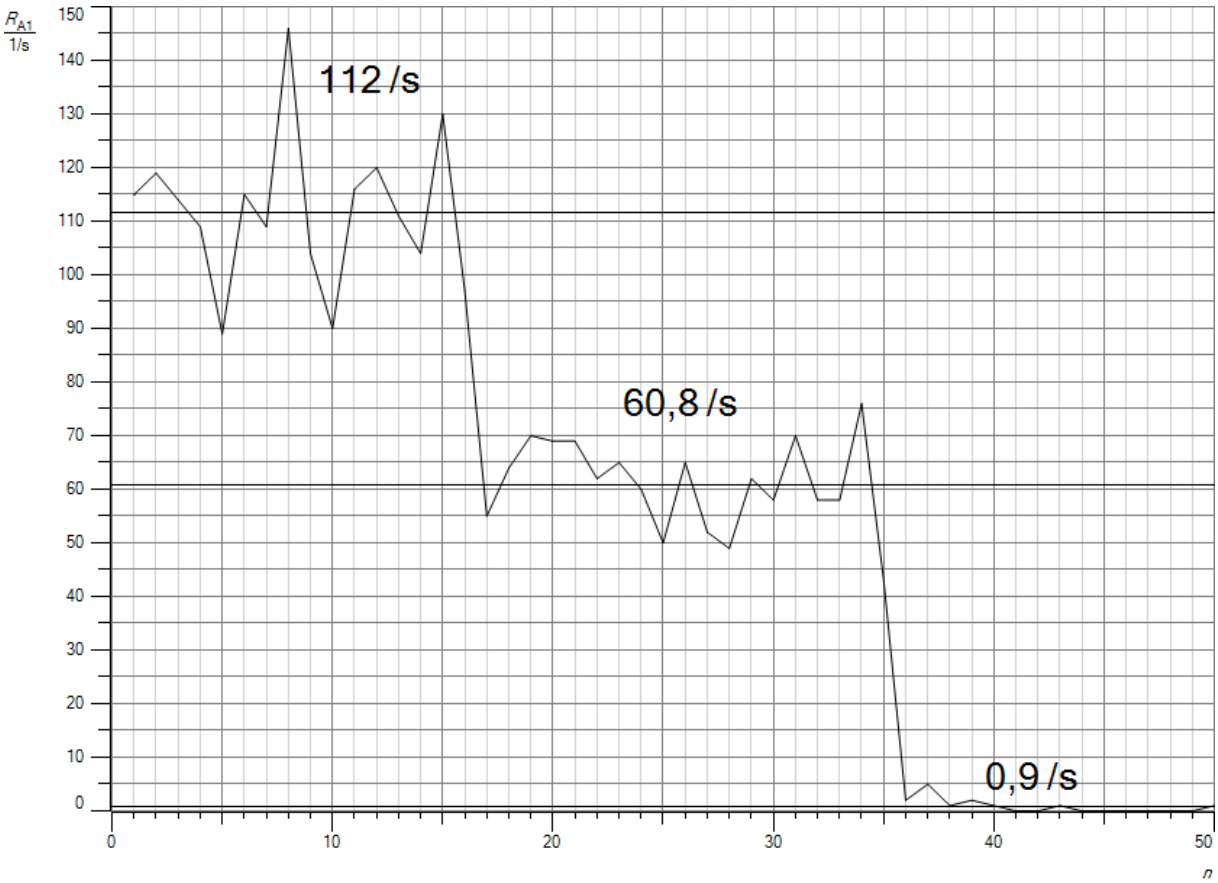


Abb.1: Messkurve

Auswertung
a. Ra-226 ist ein α-Strahler. Es zerfällt nach folgendem Schema:

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}Po.$$

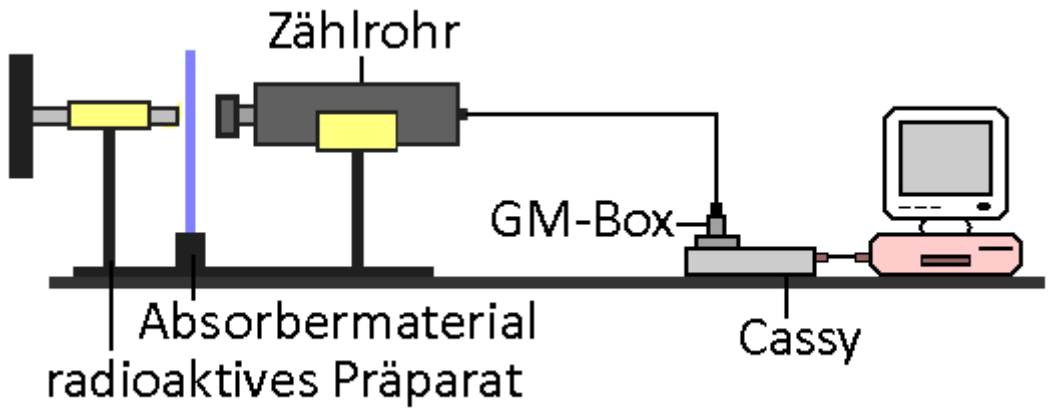
Es entstehen verschiedene Nuklide, die α- bzw. β-Strahlen aussenden. Alle Zerfälle sind außerdem von γ-Strahlen begleitet.

b. Die α-Strahlen werden durch die Luft abgeschirmt, da sie darin nur eine Reichweite von wenigen Zentimetern haben. Daher sollte der Abstand zwischen dem Zählrohr und dem radioaktiven Material mindestens d = 5 cm betragen. Gemessen werden vor allem die β- und γ-Strahlen, die durch die Absorbermaterialien Papier und Blei geschwächt werden (s. Versuch 2).
c. Fünf Lagen Papier schwächen die β-Strahlen etwa um die Hälfte, eine dünne Bleiplatte schirmt sie und die γ-Strahlen bereits fast komplett ab.
d. α-Strahlen verlieren durch Stöße mit den Atomkernen des Materials kinetische Energie. Außerdem ionisieren Sie Atome im Absorbermaterial, nehmen dabei Elektronen auf und werden zu neutralen Heliumatomen. β-Strahlen geben vor allem durch Stöße mit Elektronen Energie ab. Dabei ionisieren sie ebenfalls Atome. γ-Strahlen werden in Stoffen durch

drei Prozesse geschwächt, den Compton-Effekt, den Fotoeffekt und durch Paarbildung. Je dichter das Material, umso stärker wird die Strahlung absorbiert.

e. Der einfachste Schutz besteht darin, einen möglichst großen Abstand zu halten. Vor allem vor α-Strahlen kann man sich so sehr wirksam schützen, da sie in Luft nur eine Reichweite unter r = 10 cm haben. β-Strahlen werden durch die Luft ebenfalls stark geschwächt. Ihre Reichweite liegt aber in der Größenordnung von einigen Metern. Nur γ-Strahlen werden durch Luft nie vollständig abgeschirmt. Ihre Intensität sinkt in der Luft exponentiell. Sehr viel besser absorbiert werden alle drei Strahlungsarten durch Metallplatten, vor allem aus Blei. Daher führt man häufig radioaktive Versuche in einem Bleibehälter, auch Bleiburg genannt, durch. Außerdem werden beim Röntgen die besonders empfindlichen Körperteile durch einen Bleimantel geschützt. Röntgenstrahlen gehören ebenfalls zu den ionisierenden Strahlen.

Versuch 2:



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als radioaktives Präparat eine schwache Ra-226-Quelle. Der Abstand zwischen radioaktivem Material und Zählrohr sollte mindestens d = 5 cm betragen. Beachten Sie die allgemeinen Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Der Versuch darf nur als Lehrerversuch durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler müssen einen Sicherheitsabstand wahren und müssen durch ein Hinweisschild mit dem radioaktiven Symbol vor der Gefahr gewarnt werden. Außerdem sollte die Lehrperson eine Schutzbrille und Sicherheitshandschuhe tragen.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „Absorption2.labx“ im Ordner Physik.
3. Starten Sie die Messung zunächst mit einer Lage Druckerpapier als Absorbermaterial.
4. Stoppen Sie die Messung nach ca. 10 Messvorgängen. Bringen Sie zwischen Zählrohr und radioaktives Präparat zwei Lagen Druckerpapier, die Sie mit zwei Wäscheklammern oder Krokodilklemmen zusammenhalten. Wählen Sie im Menü Messung die Option „Messung fortsetzen“.
5. Wiederholen Sie die Messung mit 3, 4, und 5 Lagen Papier. Beenden Sie die Messung nach insgesamt ca. 50 Messungen.

Aufgaben

a. Stellen sie das Zerfallsschema für Ra-226 für fünf Tochtergenerationen auf. Benutzen Sie die Nuklidkarte. Erläutern Sie, welche Strahlungsarten die Quelle aussendet.
b. Erläutern, welche der von Ra-226 ausgesandten Strahlungsart bei diesem Versuch durch das Papier vor allem geschwächt wird.
c. Deuten Sie die erhaltene Messkurve.
d. Ermitteln Sie die Mittelwerte der Aktivität in folgenden Messintervallen n: 1-10, 11-20, 21-30, 31-40 und 41-50.
e. Erstellen Sie in Excel oder cassy aus den Mittelwerten der Aktivität A und den Dicken d der Papierlagen ein A(d)-Diagramm. Werten Sie das Diagramm mit einer Exponentialfunktion aus. Eine Lage Druckerpapier hat eine Dicke d_1 = 0,1 mm.
f. Errechnen Sie aus der Gleichung der e-Funktion die Halbwertsdicke des Papiers.

Zusatzaufgabe

a. Führt man den Absorptionsversuch mit einer Sr-90-Quelle und Aluminium als Absorbermaterial im RCL der Universität Kaiserslautern auf der Internetseite rcl.physik.uni-kl.de durch, so erhält man z.B. folgende Messtabelle:

d[mm]	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
A[Bq]	80,7	42,8	19,6	7,7	4,2	2,3	1,0	1,0

   Erstellen Sie mit Excel oder cassy ein A(d)-Diagramm.

b. Werten Sie die Kurve mit einer Exponentialfunktion aus.

c. Errechnen Sie aus der Steigung der Kurve die Abschirmkonstante und die Halbwertsdicke für Aluminium.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurve.

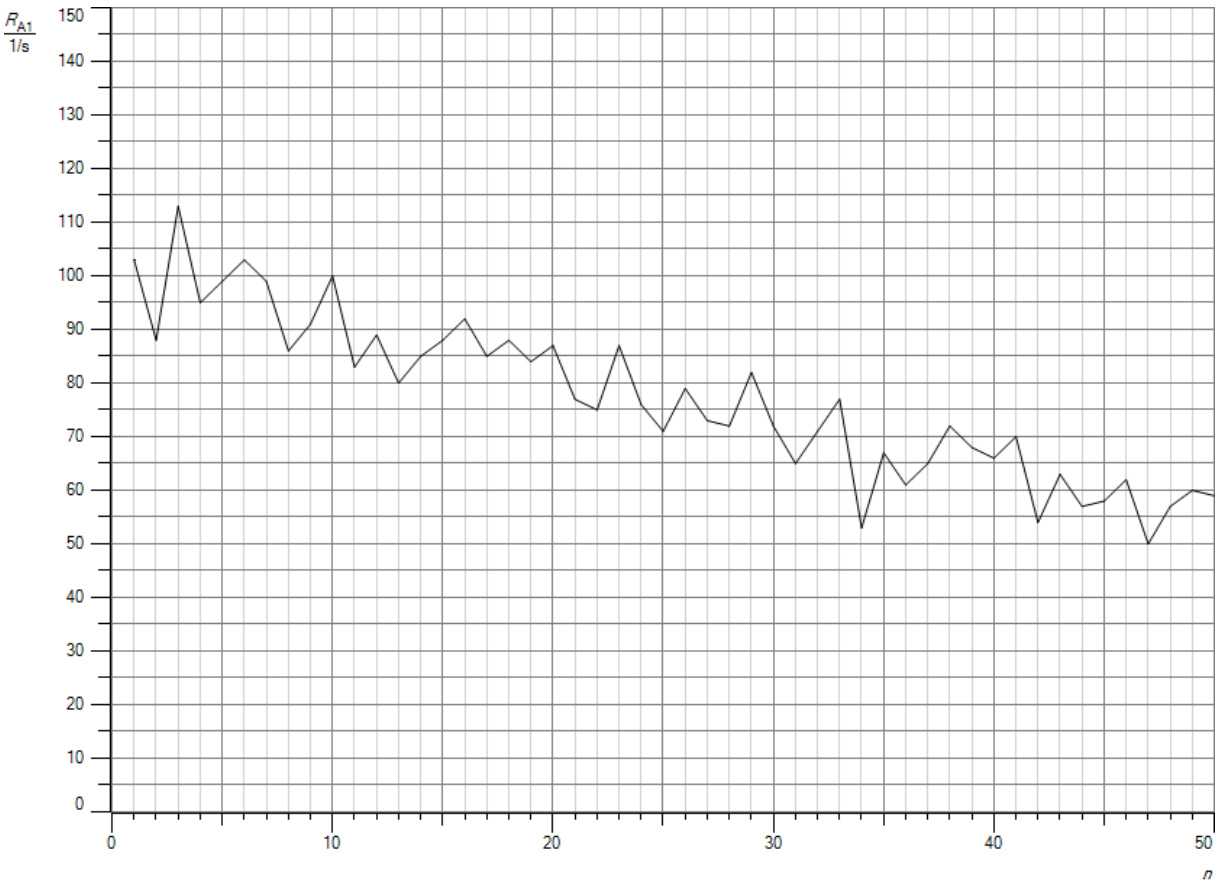


Abb.1: Messkurve

Auswertung
a. Ra-226 ist ein α-Strahler. Es zerfällt nach folgendem Schema:

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}Po.$$

Es entstehen verschiedene Nuklide, die α- bzw. β-Strahlen aussenden. Alle Zerfälle sind außerdem von γ-Strahlen begleitet.

b. Die α-Strahlen erreichen erst gar nicht das Papier. Sie werden zuvor von der Luft abgeschirmt, da sie in Luft eine kleinere Reichweite als d = 5 cm haben. Die γ-Strahlen durchdringen das Papier, ohne merklich geschwächt zu werden. Vom Papier werden vor allem die β-Strahlen absorbiert.
c. Je dicker das Papier, umso stärker werden die β-Strahlen abgeschirmt.
d. Man erhält die Kurve in Abb. 2 mit den Mittelwerten der durchgelassenen Radioaktivität A.
e. Es ergibt sich das Diagramm in Abb. 3. Dabei wurde für die Aktivität ohne Papier der Wert aus Versuch 1 berücksichtigt. Aus dem Diagramm kann man die Dicke des Papiers ablesen, die nötig ist, um die Strahlung auf den e-ten Teil zu schwächen. Sie beträgt laut cassy d_e = 0,78mm. Ihren reziproken Wert bezeichnet man als Abschirmkonstante μ.

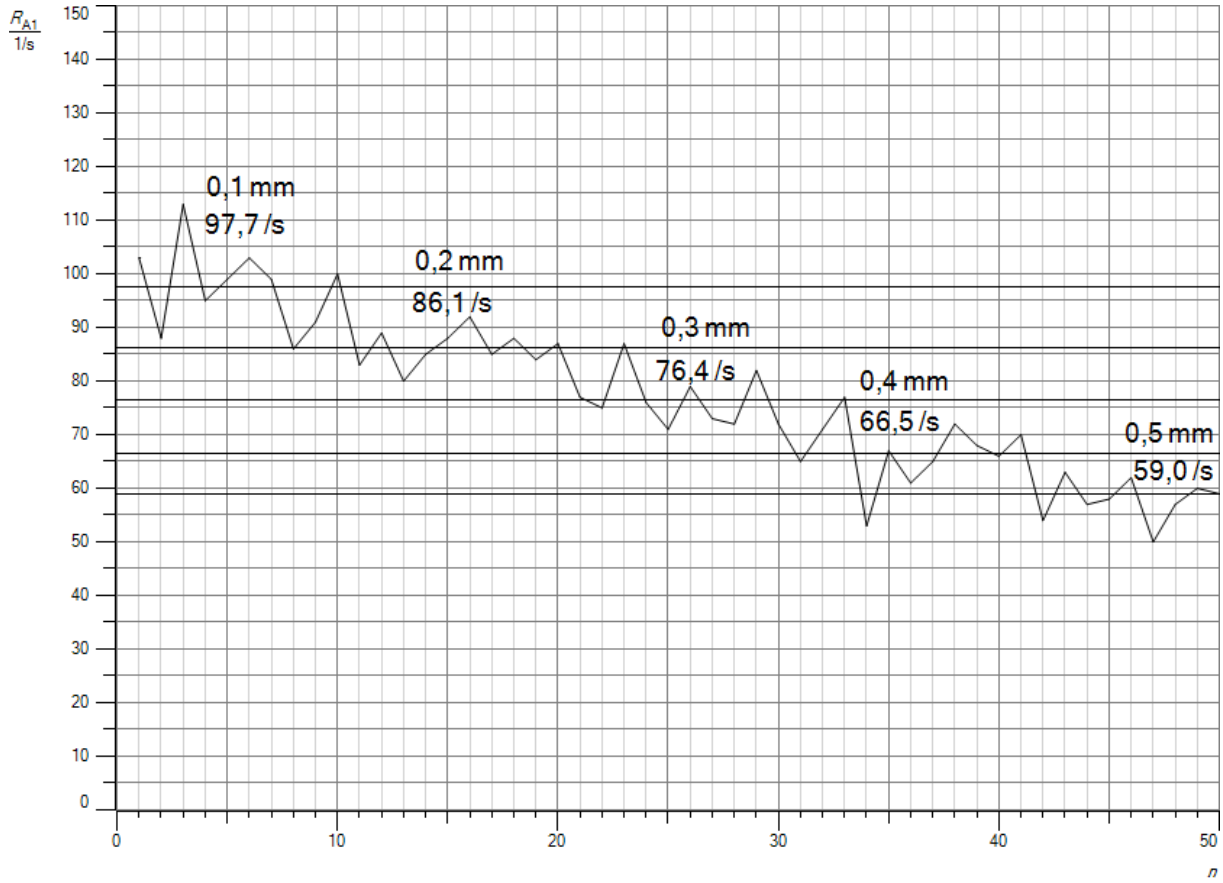


Abb.2: Kurve mit Mittelwertbildung

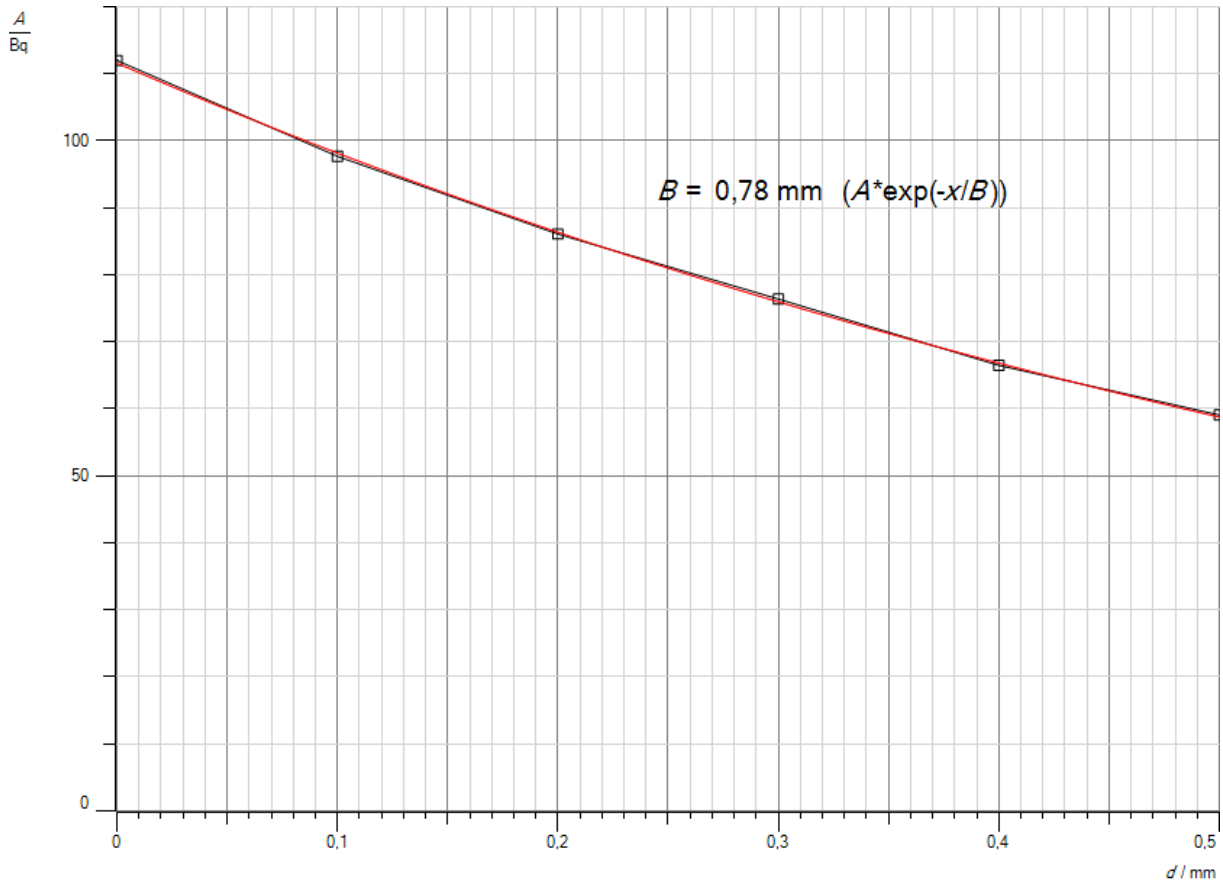


Abb.3: Auswertung mit Exponentialfunktion

f. Für die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ gilt:

$$d_{1/2} = d_e * ln2 = 0{,}78mm * ln2 = 0{,}54mm.$$

Zusatzaufgabe

a. Man erhält mit cassy das Diagramm in Abb. 4.
b. Das Programm errechnet für die Dicke, in der die Aktivität auf den e-ten Teil gesunken ist, einen Wert d_e = 0,71 mm.
c. Die Abschirmkonstante ist der reziproke Wert der Dicke d_e. Damit erhält man

$$\mu = \frac{1}{0{,}71mm} = 1{,}408\ 1/mm.$$

Für die Halbwertsdicke $d_{1/2}$ gilt:

$$d_{1/2} = \frac{ln2}{\mu} = \frac{ln2}{1{,}408\ 1/mm} = 0{,}492mm.$$

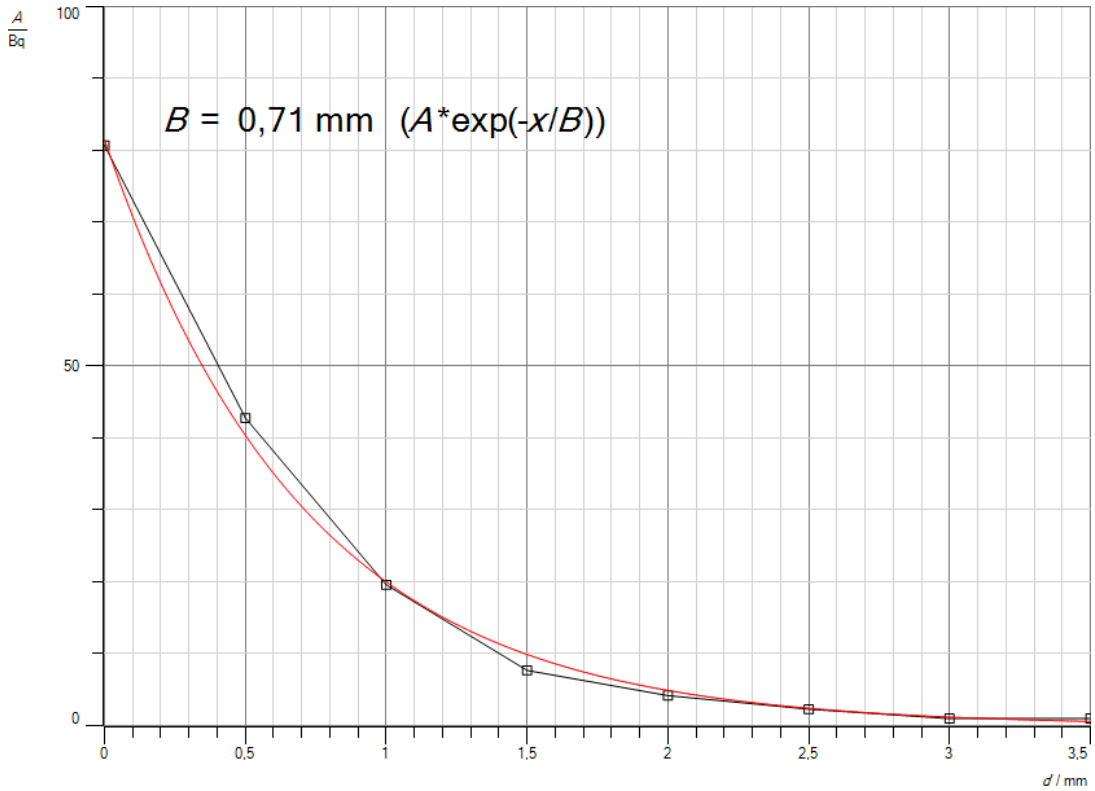
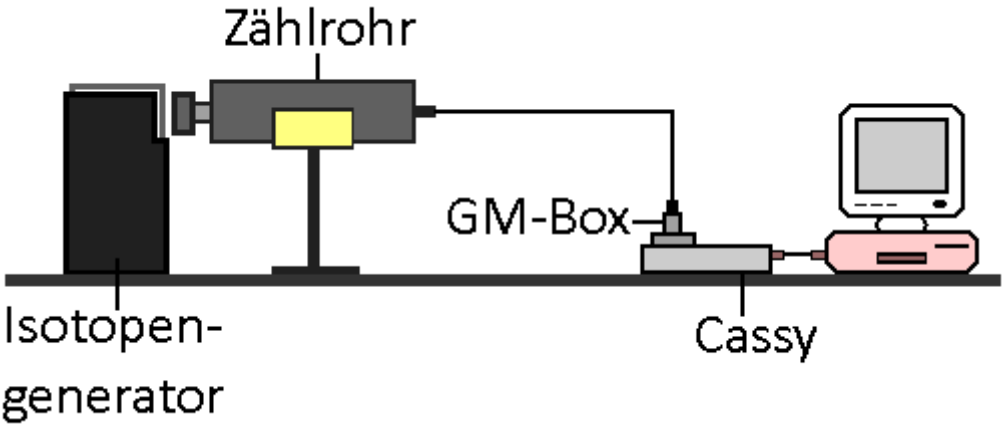


Abb.4: Auswertungskurve

Halbwertszeit

Versuch



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Sie benötigen den Isotopengenerator der Firma Phywe. Beachten Sie die Versuchsanleitung zum Isotopengenerator Pa-234 und die allgemeinen Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Der Versuch darf nur als Lehrerversuch durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler müssen einen Sicherheitsabstand wahren und müssen durch ein Hinweisschild mit dem radioaktiven Symbol vor der Gefahr gewarnt werden. Außerdem sollte die Lehrperson eine Schutzbrille und Sicherheitshandschuhe tragen.
2. Laden Sie die Einstellungen der Datei „HWZ.labx“ im Ordner Physik.
3. Schütteln Sie den Isotopengenerator 30 Sekunden lang und stellen Sie ihn mit dem Messausschnitt vor das Fenster des Zählrohrs.
4. Warten Sie eine Minute und starten Sie erst dann die Messung.
5. Sie stoppt automatisch nach 300 Sekunden.

Aufgaben

a. Der Isotopengenerator enthält als radioaktives Material U-238. Bestimmt wird aber die Halbwertszeit von Pa-234. Erklären Sie anhand des Zerfallsschemas.
b. Erläutern Sie, warum U-238 und die anderen Folgeprodukte die Messung nicht stören.
c. Erkundigen Sie sich in der Bedienungsanleitung oder im Internet, wie der Isotopengenerator aufgebaut ist und warum man ihn vor der Messung schütteln und danach eine Minute warten muss, bevor man die Messung startet.
d. Stellen Sie das Zerfallsgesetz auf und leiten Sie daraus einen Ausdruck für die Halbwertszeit $T_{1/2}$ in Abhängigkeit von der Zerfallskonstante μ her.
e. Ermitteln Sie die Nullrate R_{A10}, in dem Sie den Mittelwert im Zeitintervall 250 – 300 Sekunden bestimmen. Tragen Sie den Mittelwert im Cassy-Programm im Menü Rechner/Formel/Aktivität in die Definition der Aktivität A ein.
f. Werten Sie die Kurve für die Aktivität A mit einer Exponentialfunktion aus. Berechnen Sie aus der von cassy ermittelten Näherungsformel die Zerfallskonstante μ und mit ihr die Halbwertszeit $T_{1/2}$ von Pa-232.
g. Vergleichen Sie das Messergebnis mit dem Literaturwert von $T_{1/2}$ = 1,17 min. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

Beobachtung

Man erhält z.B. folgende Messkurve.

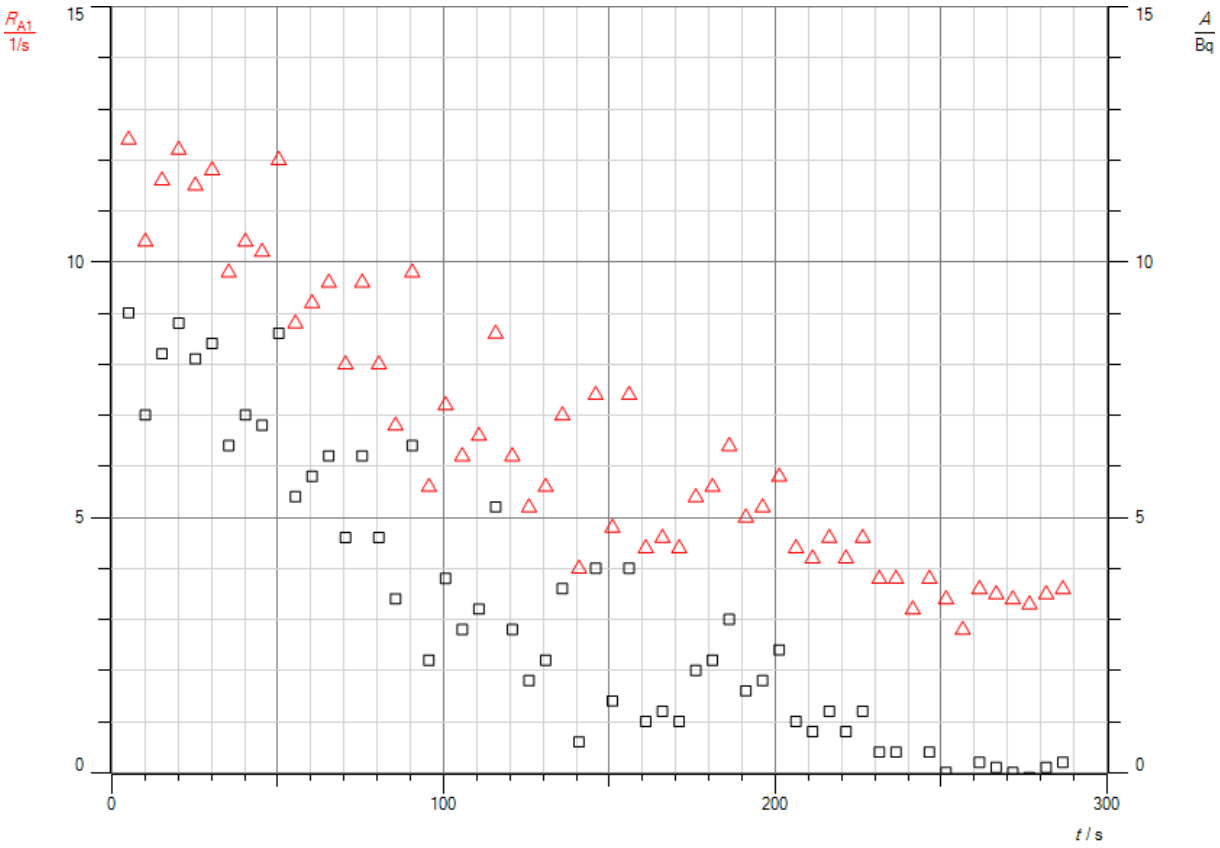


Abb.1: Messkurve

Auswertung

a. U-238 zerfällt nach folgendem Schema:

$$^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{92}U.$$

b. U-238 hat eine Halbwertszeit $T_{1/2}$ = 4,47*10^9 a, Th-234 von $T_{1/2}$ = 24,1 d. Sie sind sehr viel größer als die Halbwertszeit von Pa-234 mit $T_{1/2}$ = 1,17 min. Ihre Konzentration ändert sich während der Messung praktisch nicht. Nur Pa-234 zerfällt in der Messzeit t = 300 s größtenteils.

c. Der Isotopengenerator enthält die Flüssigkeiten Wasser und Isobutylmethylketon, die sich nicht mischen. Das Uran- und Thoriumsalz lösen sich besser in Wasser, das Protactiniumsalz im Keton. Schüttelt man den Generator, so reichert sich das Pa-234 fast vollständig in der Ketonphase an, da es aus der wässrigen Phase extrahiert wird. Sobald sich die Flüssigkeiten wieder getrennt haben, sinkt wegen des radioaktiven Zerfalls die Konzentration des Protactiniums in der Ketonphase, da es aus der wässrigen Phase nicht mehr nachgeliefert wird. Die restlichen Nuklide sammeln sich hauptsächlich in der unteren wässrigen Phase an, die durch einen Stahlbehälter geschützt ist. Ihre Strahlung dringt nur in geringem Maße ins Zählrohr.

d. Das Zerfallsgesetz lautet:

$$N(t) = N_0 * e^{-\lambda * t}.$$

Darin ist N(t) die Zahl der Atomkerne, die zur Zeit t noch vorhanden sind, N_0 die Zahl der Kerne zu Beginn des Versuches und λ die Zerfallskonstante. Nach einer Halbwertszeit $T_{1/2}$ ist $N(t) = N_0/2$. Setzt man diese Werte in das Zerfallsgesetz ein, logarithmiert die Gleichung und löst nach $T_{1/2}$ auf, so erhält man

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

e. Man erhält die Kurve in Abb. 2 mit einer Nullrate R_{A10} = 3,39 Bq.
f. Cassy berechnet nicht die Zerfallskonstante, sondern ihren reziproken Wert, die Zeit B, in der die Aktivität auf den e-ten Teil gesunken ist (s. Abb.2). Sie beträgt B = 101 s. Daraus erhält man für die Zerfallskonstante

$$\lambda = \frac{1}{B} = 0{,}0099(1/s)$$

und damit für die Halbwertszeit

$$T_{1/2} = \frac{ln2}{\lambda} = \frac{ln2}{0{,}0099(1/s)} = 70\ s.$$

g. Der Literaturwert beträgt $T_{1/2}$ = 1,17 min = 70,2 s. Gemessener und theoretischer Wert stimmt bei dieser Messung sehr gut überein. Wiederholt man den Versuch, so liegen die Werte meist im Bereich zwischen 60 und 80 Sekunden. Radioaktivitätsmessungen zeichnen sich naturbedingt durch starke statistische Schwankungen aus, wie man an der Messkurve sehen kann. Man sollte daher den Versuch mehrfach durchführen und den Mittelwert der gemessenen Halbwertszeiten bilden. Man kann auch die Aktivitäten für jeden Zeitpunkt mitteln und die Mittelwerte exponentiell auswerten.

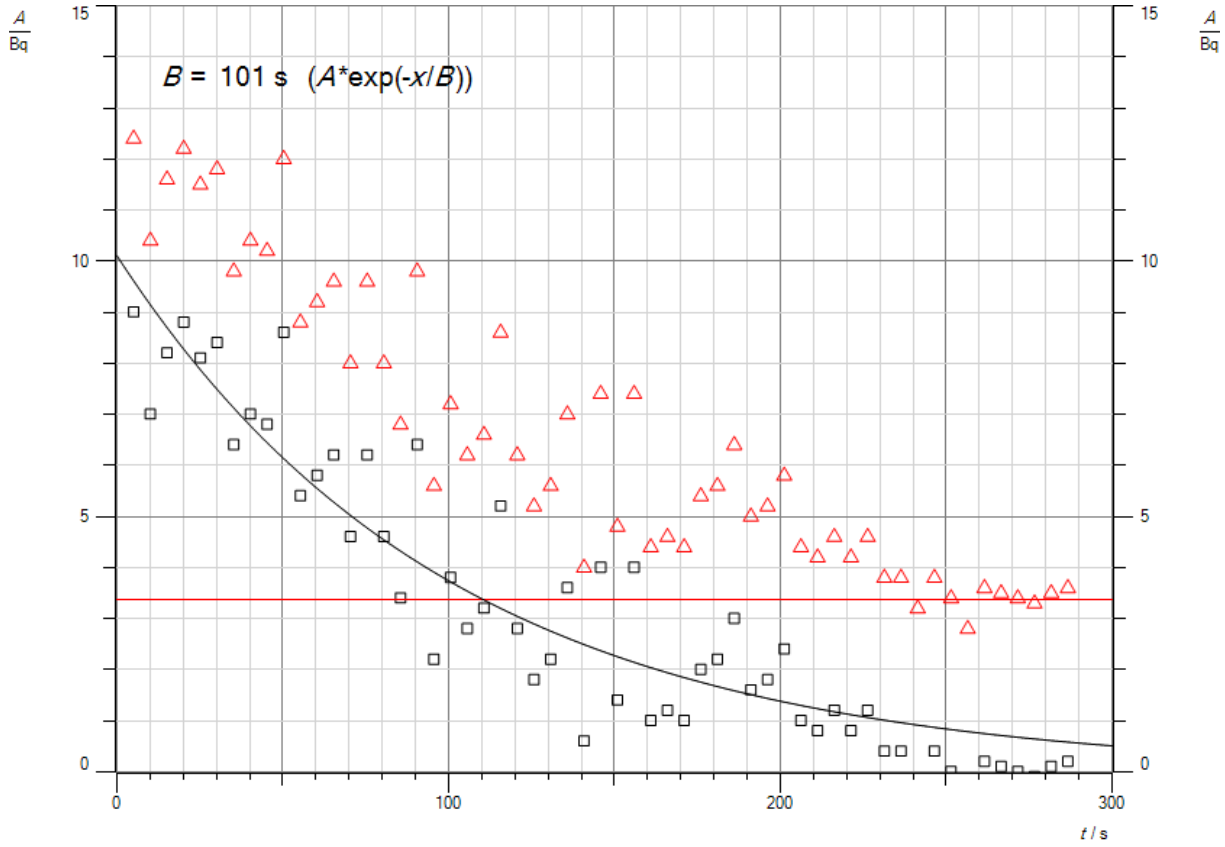
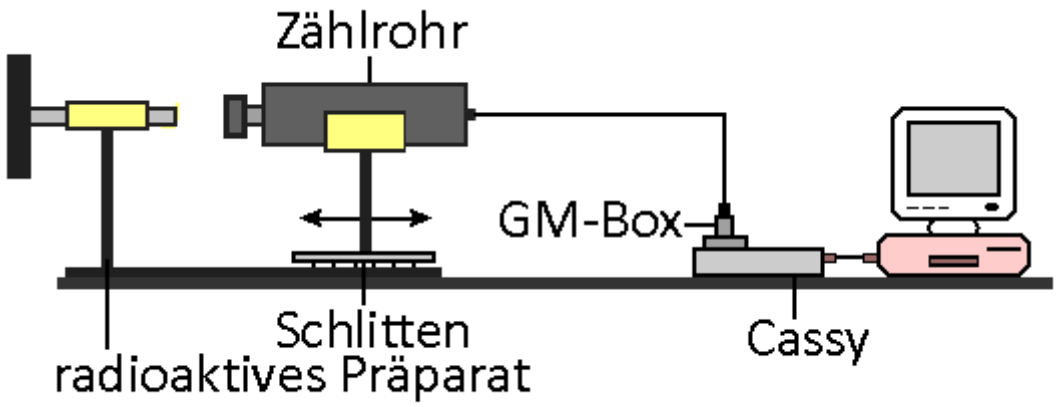


Abb.2: Auswertungskurve

Reichweite

Versuch 1:



Durchführung

1. Führen Sie den Versuch mit dem RCL-Portal der Universität Kaiserslautern auf der Internetseite rcl.physik.uni-kl.de durch. Benutzen Sie als radioaktive Quelle Am-241. Das Zählrohr ist auf einem Schlitten montiert, den man per Internet steuern kann.
2. Variieren Sie die Entfernung zwischen Quelle und Zählrohr zwischen r_1 = 1 cm und r_2 = 5 cm in Schritten von Δr = 1 cm, in der Nähe der Reichweite mit Δr = 1 mm. Messen Sie jeweils die Radioaktivität. Beachten Sie, dass das Präparat 0,8 cm tief in einem Gehäuse steckt.
3. Notieren Sie sich die Messwerte in einer Tabelle.

Aufgaben:

a. Erstellen Sie mit cassy aus der Messtabelle ein Diagramm, in dem Sie die Aktivität A gegen die Entfernung r auftragen.
b. Deuten Sie das Diagramm.
c. Bestimmen Sie aus dem Diagramm die Reichweite der α-Strahlen in Luft.
d. Ermitteln Sie mit Hilfe der Nuklidkarte die Energie der α-Teilchen von Am-241 und lesen Sie die Reichweite aus dem Diagramm in Abb. 1 ab. Vergleichen Sie beide Ergebnisse miteinander. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.
e. Erklären Sie, warum die Aktivität auch bei größeren Entfernungen zwischen Zählrohr und Quelle nicht auf null sinkt.

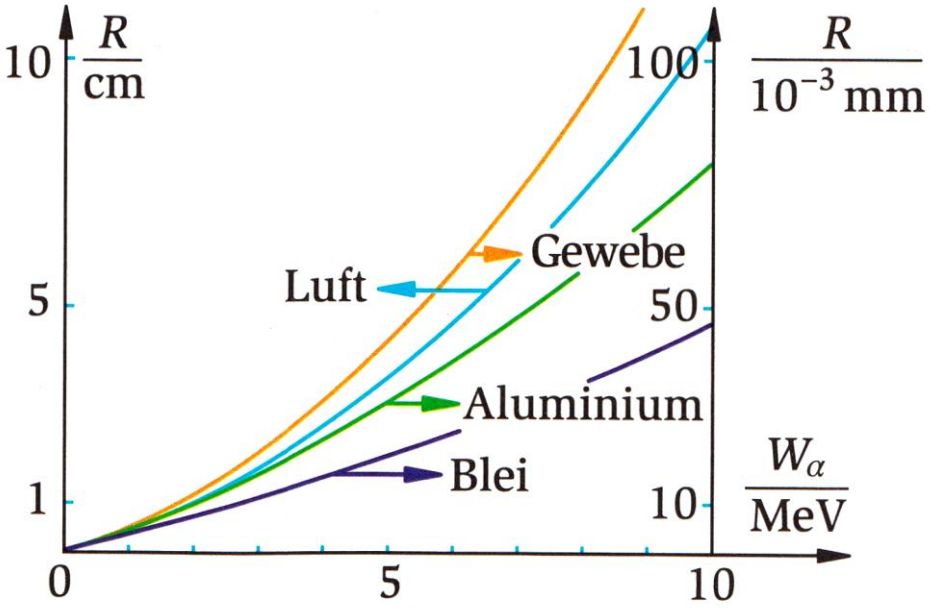


Abb.1: Reichweite von α–Strahlen in verschiedenen Stoffen
Quelle: Dorn-Bader, Physik, Gymnasium SekII

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messtabelle.

r[cm]	1,8	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8	4,8	5,8
A[Bq]	1186	1193	1180	1194	1184	1189	8,4	6,7	5,0	2,8	2,1

Tabelle 1: Messwerte

Auswertung
a. Es ergibt sich das Diagramm in Abb. 2.
b. Die Radioaktivität bleibt zunächst trotz größer werdendem Abstand zwischen Quelle und Zählrohr konstant und fällt dann schlagartig fast auf den Wert null ab.
c. Die Reichweite der untersuchten α-Strahlen in Luft beträgt r_0 = 2,8 cm.
d. Die von Am-241 ausgesandten α-Strahlen besitzen eine Energie E = 5,486 MeV. Aus Abb.1 erhält man eine Reichweite von ca. r_0 = 3,5cm ab. Der gemessene Wert liegt deutlich tiefer. Der Fehler lässt sich nicht ergründen, da man die Apparatur nicht genauer untersuchen kann.
e. Am-241 sendet neben α-Strahlen auch γ-Strahlen aus, die in einer Luftschicht der Dicke d = 2,8 cm kaum geschwächt werden.

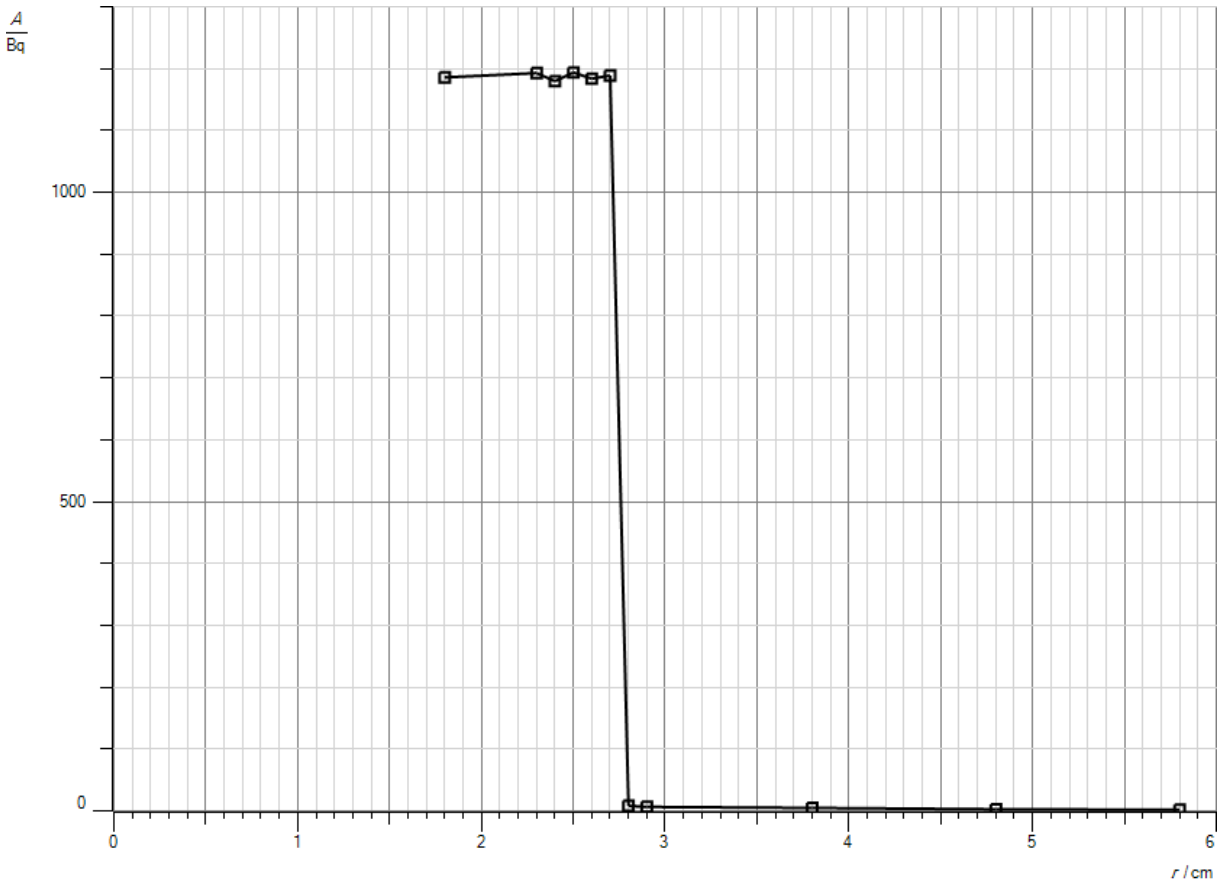
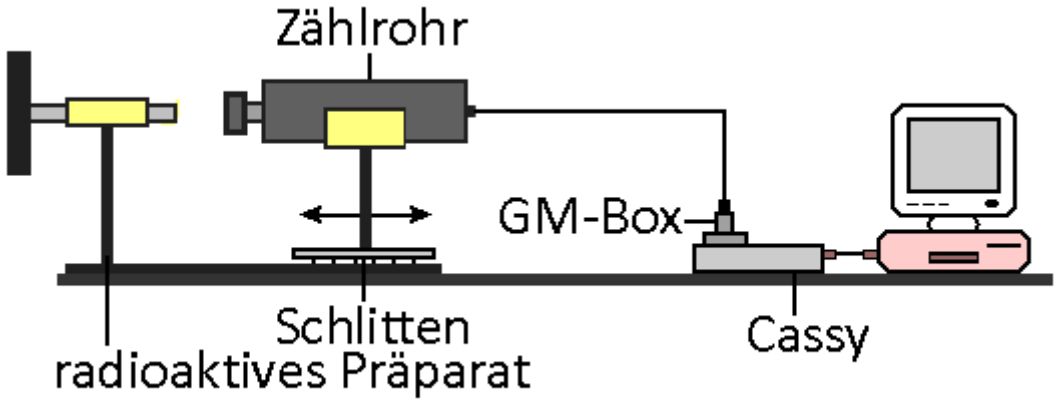


Abb. 2: Messdiagramm

Versuch 2:



Durchführung

1. Führen Sie den Versuch mit dem RCL-Portal der Uni Kaiserslautern auf der Internetseite rcl.physik.uni-kl.de durch. Benutzen Sie als Quelle Sr-90. Das Zählrohr ist auf einem Schlitten montiert, den man per Internet steuern kann.
2. Stellen Sie verschiedene Abstände im Bereich von r = 3 cm – 15 cm zwischen Zählrohr und Quelle ein. Messen Sie jeweils die Zählrate über eine Zeit t = 20 s und errechnen Sie daraus die Aktivität in Bq. Beachten Sie, dass Sie zum eingestellten Abstand 0,8 cm hinzuaddieren müssen, da die Quelle um diesen Betrag tiefer in einem Gehäuse steckt.
3. Notieren Sie sich die Messwerte in einer Tabelle.

Aufgaben:

a. Erstellen Sie aus ihren Messwerten mit cassy ein Diagramm, in dem Sie die Aktivität A gegen den Abstand r zwischen Quelle und Zählrohr auftragen.
b. Deuten Sie die Messkurve.
c. Wählen Sie im Kontextmenü „Anpassung durchführen“ die Option „Hyperbel $1/x^2$“. Markieren Sie die Messwerte mit der Maus. Das Programm berechnet die Hyperbel durch die Messwerte und stellt das Ergebnis links unten in der Statuszeile dar.
d. Interpretieren Sie das Ergebnis. Erklären Sie, wie die Abhängigkeit zustande kommt.
e. In Kapitel Elektrik/Leuchtstärke wurde der analoge Versuch mit Licht durchgeführt. Vergleichen Sie die Ergebnisse beider Versuche miteinander.
f. Ein guter Schutz vor gefährlicher radioaktiver Strahlung ist ein möglichst großer Abstand von der Quelle. Erläutern Sie.

Beobachtung
Beim Versuch erhält man z.B. folgende Tabelle:

r[cm]	3,8	6,8	9,8	12,8	15,8
A[Bq]	268,6	81,9	39,1	23,7	16,3

Auswertung
a. Es ergibt sich das Diagramm in Abb.1.
b. Die Radioaktivität sinkt mit der Entfernung zwischen Quelle und Zählrohr stark ab.
c. Wertet man die Messwerte grafisch aus, so erhält das Diagramm in Abb. 2.
d. Die Radioaktivität A nimmt quadratisch mit der Entfernung r ab. Da die Quelle nahezu punktförmig ist, verteilt sich die Strahlung auf eine Kugeloberfläche der Größe $A = 4\pi * r^2$. Darin ist r der Radius. Da die Fläche A_Z des Zählrohres konstant bleibt, trifft auf das Fenster des Zählrohres nur der Anteil

$$I = \frac{A_Z}{4\pi r^2} * I_0$$

der gesamten Intensität I_0. Sie nimmt quadratisch mit der Entfernung ab, da die beiden anderen Größen A_Z und I_0 konstant sind.
e. Beide Versuche liefern die gleiche Abhängigkeit der Intensität von der Entfernung, da in beiden Fällen vergleichbare Versuchsbedingungen herrschen. Auch die Fotozelle für Licht hat eine konstante Fläche und die Lichtquelle ist nahezu punktförmig.
f. Da die Intensität mit dem Quadrat der Entfernung sinkt, beträgt sie bei doppeltem Abstand nur noch ein Viertel, bei dreifachem nur noch ein Neuntel usw. der ursprünglichen Intensität. Entfernt man sich weit von der radioaktiven Quelle, so ist die Restaktivität nur noch gering.

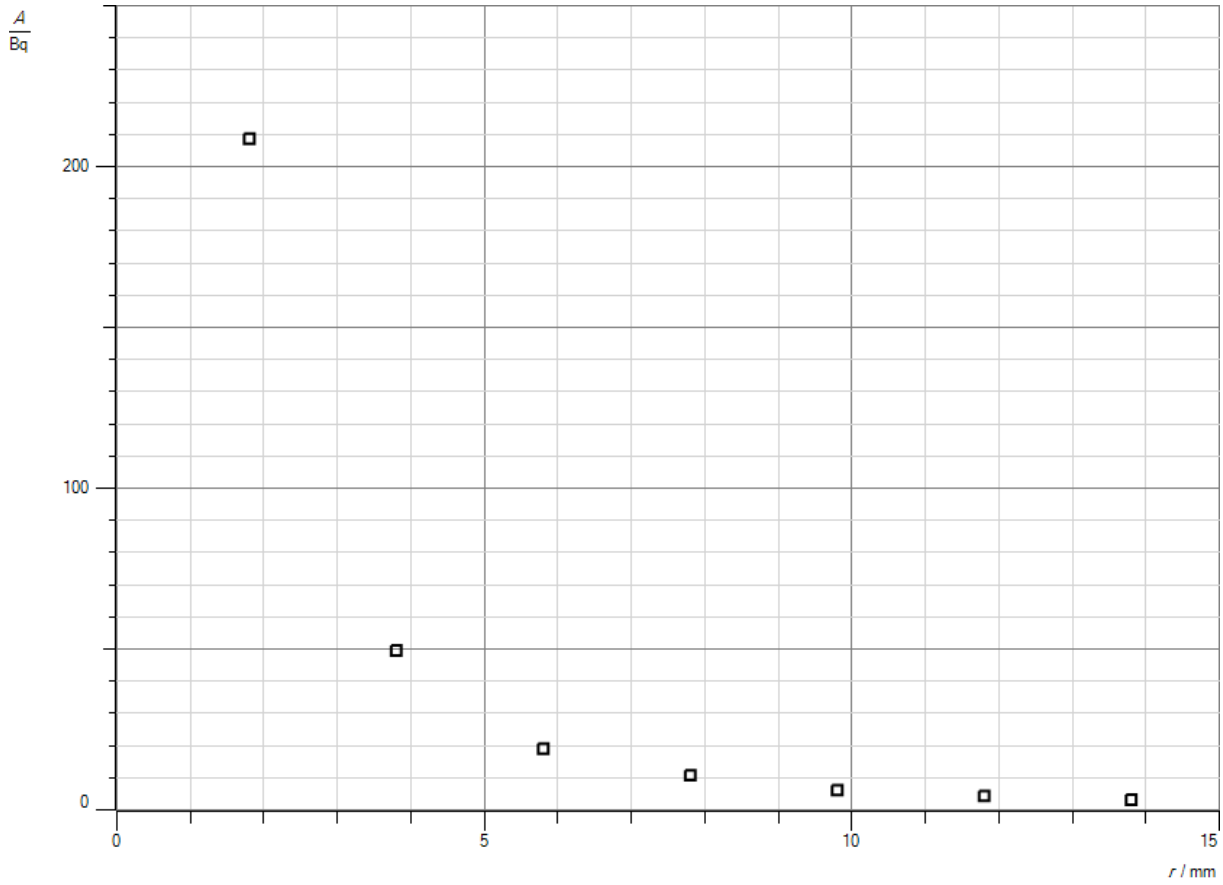


Abb.1: Messdiagramm

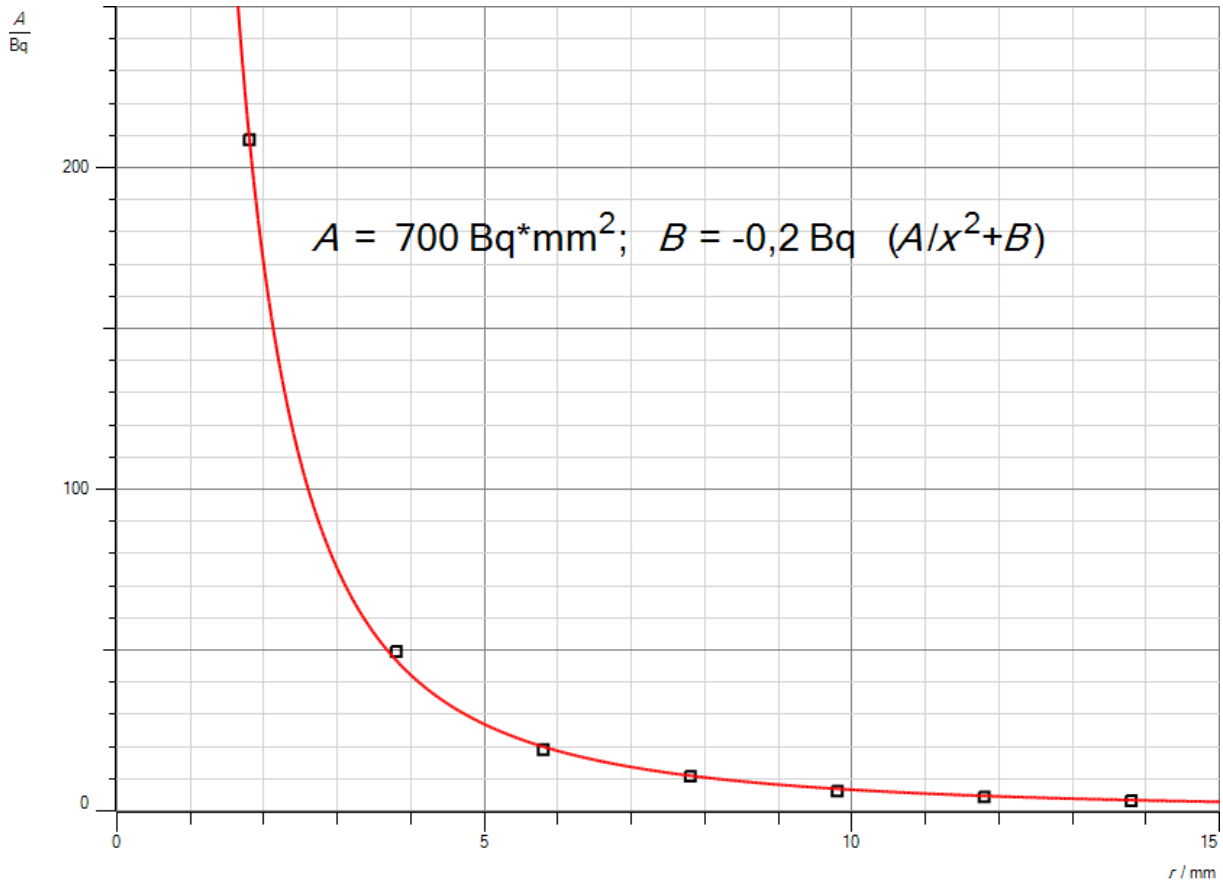
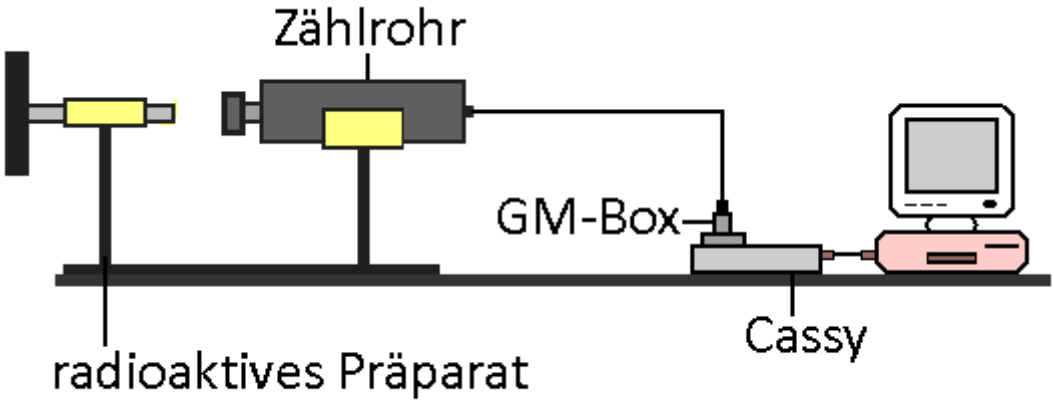


Abb.2: Auswertungsdiagramm

Statistik

Versuch



Durchführung

1. Bauen Sie den Versuch gemäß der Abb. auf. Benutzen Sie als radioaktives Präparat eine schwache Ra-226-Quelle. Der Abstand zwischen radioaktivem Material und Zählrohr sollte mindestens d = 5 cm betragen. Beachten Sie die allgemeinen Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit radioaktiven Stoffen. Der Versuch darf nur als Lehrerversuch durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler müssen einen Sicherheitsabstand wahren und müssen durch ein Hinweisschild mit dem radioaktiven Symbol vor der Gefahr gewarnt werden. Außerdem sollte die Lehrperson eine Schutzbrille und Sicherheitshandschuhe tragen.
2. Geben Sie im cassy-Menü für die Messgröße Rate die Torzeit 1s ein. Aktivieren Sie die Wahlschalter „Wiederholende Torzeit“ und „Pulsausgabe an Spannungsquelle S“. Sie können auch die Datei „Poisson.labx“ im Ordner Physik laden. Sie enthält alle benötigten Einstellungen.
3. Starten Sie die Messung.
4. Stoppen Sie sie nach einer Messzeit t = 500 Sekunden bzw. nach n = 500 Einzelmessungen.

Aufgaben

a. Deuten Sie die Messkurven.
b. Stellen sie das Zerfallsschema für Ra-226 für fünf Tochtergenerationen auf. Benutzen Sie die Nuklidkarte. Erläutern Sie, welche Strahlungsarten die Quelle aussendet und welche vom Zählrohr erfasst werden.
c. Erläutern Sie, was in einem Histogramm dargestellt ist.
d. Bestimmen Sie den Mittelwert der Radioaktivität. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Wert aus dem Versuch im Kapitel Absorption.
e. Überprüfen Sie mit dem Menü „Weitere Auswertungen“, ob die Messwerte eher durch eine Poisson- oder eine Gaußverteilung angenähert werden können.

Beobachtung
Man erhält z.B. folgende Messkurven.

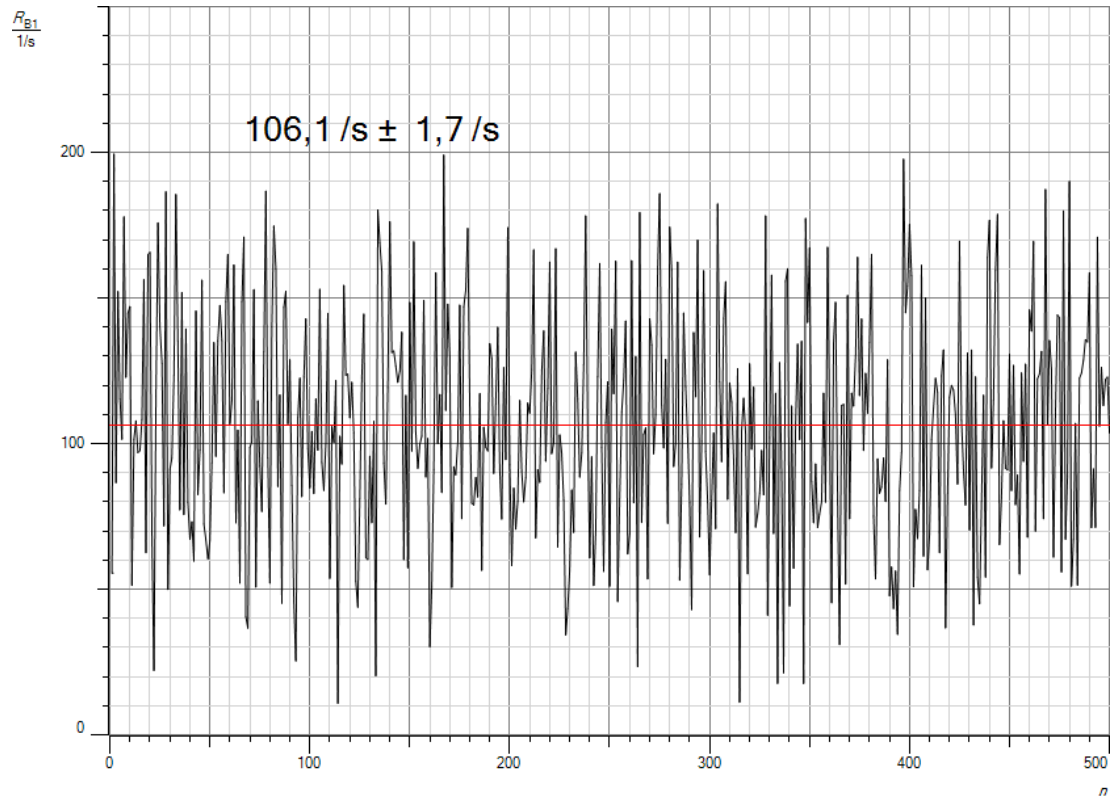


Abb.1: Radioaktivität Ra-226

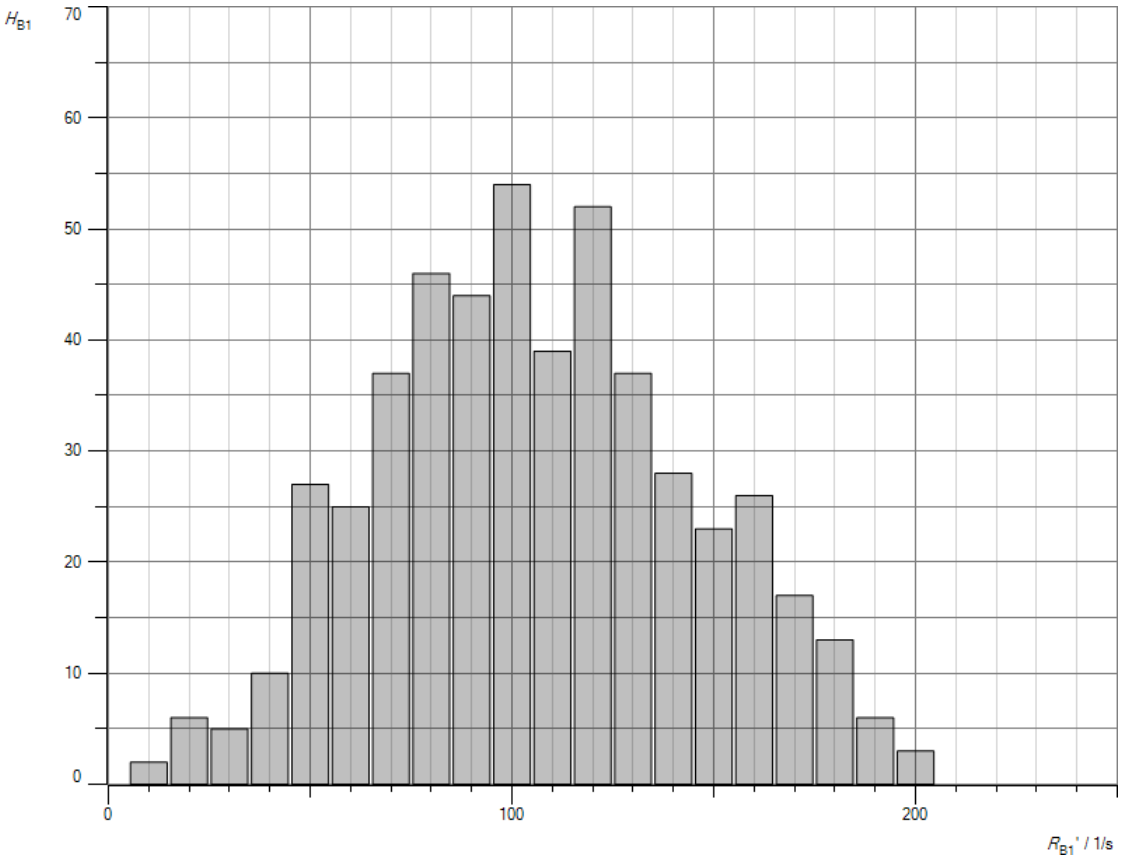


Abb.2: Histogramm Ra-226

Auswertung

a. Radioaktive Zerfälle unterliegen aufgrund ihres statistischen Verlaufs starken Schwankungen, wie man aus der Radioaktivitätskurve entnehmen kann. Daher sollte man bei Radioaktivitätsmessungen stets mindestens zehn Mal messen und dann den Mittelwert bilden, um einen einermaßen zuverlässigen wert zu erhalten.

b. Ra-226 ist ein α-Strahler. Es zerfällt nach folgendem Schema:

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} \xrightarrow{\alpha} {}^{218}_{84}Po \xrightarrow{\alpha} {}^{214}_{82}Pb \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^{214}_{84}Po.$$

   Es entstehen verschiedene Nuklide, die α- bzw. β- Strahlen aussenden. Alle Zerfälle sind außerdem von γ-Strahlen begleitet. Erfasst werden im Versuch aber nur die β- und γ-Strahlen, da die α-Strahlen durch die Luft vollständig absorbiert werden.

c. In einem Histogramm wird dargestellt, wie oft der Messwert innnerhalb eines vorgegebenen Intervalls lag, wie oft z.B. die Messung einen Wert zwischen 2 und 3 Bq ergab. Es macht übersichtlicher deutlich, dass radioaktive Zerfälle einer statistischen Verteilung folgen, in diesem Fall der Poisson-Verteilung. Sie unterscheidet sich kaum von der bekannteren Gauß-Verteilung.

d. Aus der Messkurve in Abb. 1 erhält man für den Mittelwert der Radioaktivität R_{B10} = 106,1 1/s = 106,1 Bq. Im Versuch des Kapitels Absorption ergab sich für die gleiche Quelle ein Mittelwert von R_{A10} = 112 1/s = 112 Bq. Beide Ergebnisse stimmen sehr gut überein.

e. Man erhält die Abb. 3. Die Messwerte lassen sich durch beide Verteilungen etwa gleich gut anpassen. Sie unterscheiden sich vor allem in der Steilheit im Bereich der Flanken der gemessenen Aktivitäten. Wiederholt man den Versuch, so kann das Histogramm sehr unterschiedlich ausfallen, wobei mal die Gaußverteilung und mal die Poissonverteilung die Messwerte besser abbildet. Für höhere Mittelwerte gehen beide ineinander über.

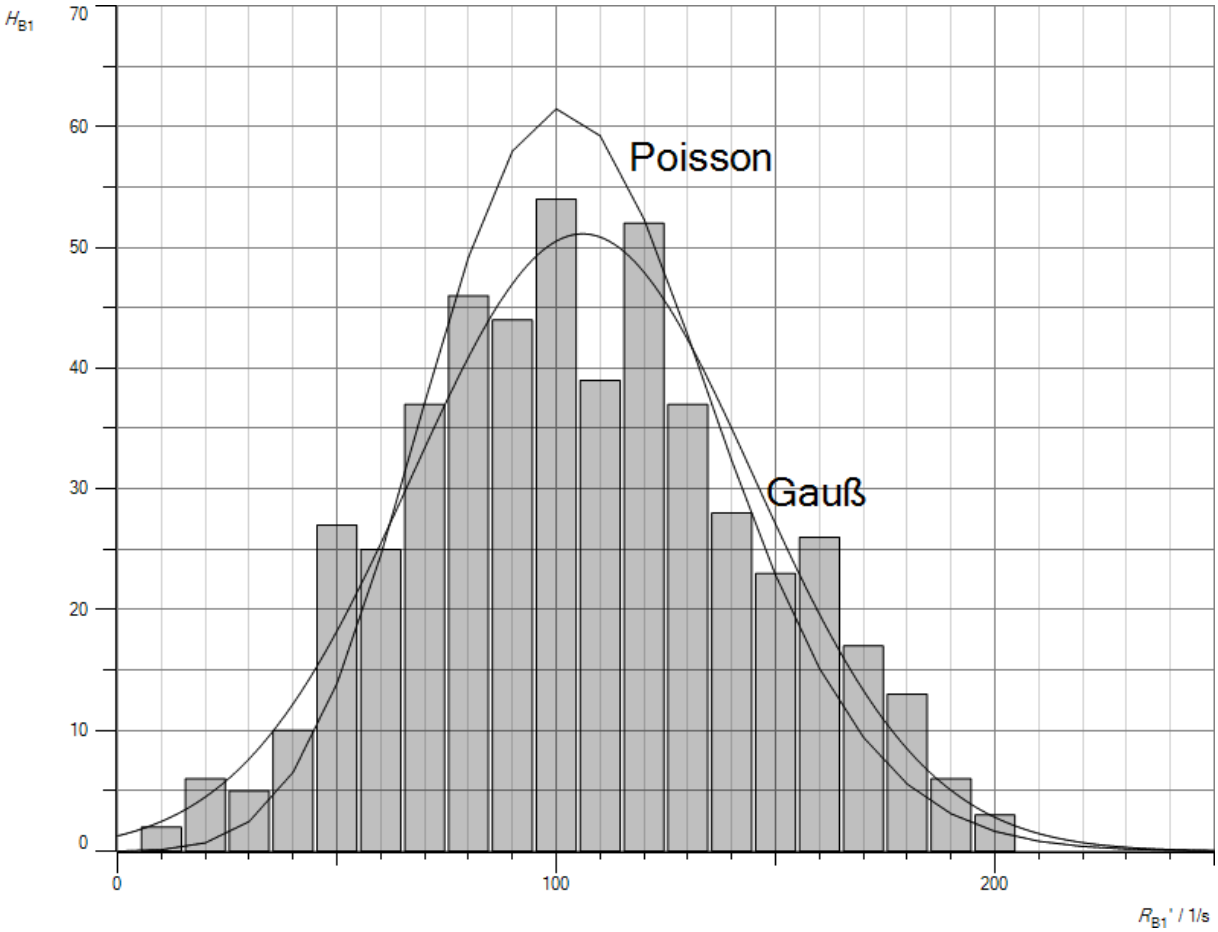


Abb.3: Verteilungskurve

Literatur

1) Ernst Zeier, Physikalische Freihandversuche Kleine Experimente, Aulis-Verlag, Köln 1985,
2) Hrsgb. Helmut Hilscher, Physikalische Freihandversuche Band 1 und 2, Aulis-Verlag, Köln 2004,
3) Jearl Walker, Der fliegende Zirkus der Physik, Oldenbourg-Verlag, München 1987,
4) Hrsgb. Jean Pütz, Einführung in die Elektronik, 20. Auflage, vgs-Verlagsgesellschaft, Köln 1971