

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 12

Übungstitel: Oszillograph (TU)

Betreuer/in: Marcel Simhofer

Gruppennummer: 13

Name: Sebastian Brötz

Name: Stefanie Brandstötter

Mat. Nr.: 12406478

Mat. Nr.: 12415127

Datum der Übung: 07.10.2025

WS 2025/2026

Inhaltsverzeichnis

1	Auswertung	2
1.1	Versuch 1: Serienschaltung	2
1.1.1	Sinusförmige Speisespannung	3
1.1.2	Rechteckförmige Speisespannung	4
1.2	Versuch 2: Serienschwingkreis	5
1.2.1	Signalaufzeichnung	5
1.2.2	Bestimmung der Induktivität	7
1.3	Versuch 3: Piezoelement	8
2	Diskussion	10
2.1	Serienschaltung	10
2.2	Serienschwingkreis	11
2.3	Frequenzbestimmung	11

1 Auswertung

1.1 Versuch 1: Serienschaltung

In dem ersten Versuch wird einen elektrischer Schaltkreis entsprechend Abbildung 1 aufgebaut.

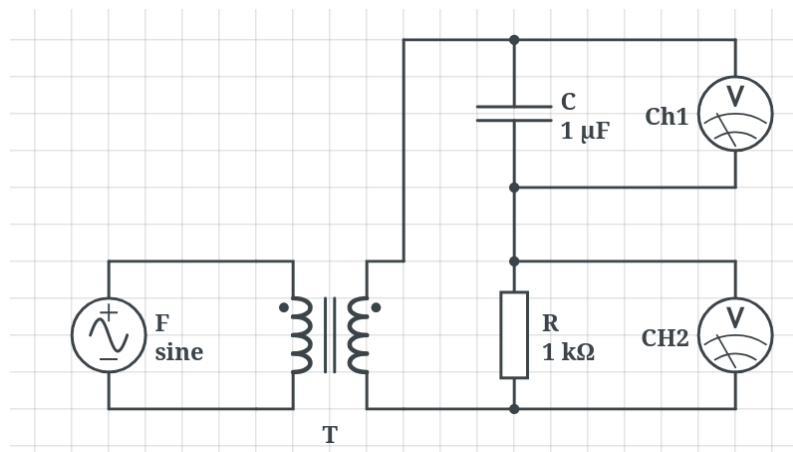


Abbildung 1: Elektrischer Schaltplan für Versuch 1 bestehend aus einem Funktionsgenerator F , einem Trenntransformator T einem Widerstand R , einem Kondensator C und einem Oszilloskop O , welches hier durch die zwei Spannungsmessungen entsprechend den zwei Kanälen dargestellt ist.

Die verwendeten Bauteile sind hier ein Funktionsgenerator F , ein Trenntransformator T , ein Oszilloskop O , ein ohmscher Widerstand $R = 1.00 \text{ k}\Omega \pm 10\%$ und ein Kondensator $C = 1.00 \text{ }\mu\text{F} \pm 1\%$. Der Strom durch den Kondensator wird über den Spannungsabfall U_R am bekannten Widerstand mit dem ohmschen Gesetz

$$I = U_R / R \quad (1)$$

bestimmt. Der Stromfluss durch den Widerstand I_R ist dabei äquivalent dem Stromfluss durch den Kondensator I_C . Im weiteren Verlauf des Versuches erzeugt man mit dem Funktionsgenerator einerseits eine sinusförmige Speisespannung von $f = 50 \text{ Hz}$ und andererseits eine Rechteckspannung der selben Frequenz.

1.1.1 Sinusförmige Speisespannung

Unter Verwendung eines digitalen Oszilloskops wurde der zeitliche Verlauf der Spannung am Widerstand $U_R(t)$ und am Kondensator $U_C(t)$ aufgezeichnet. Diese Verläufe sind in Abbildung 2 dargestellt.

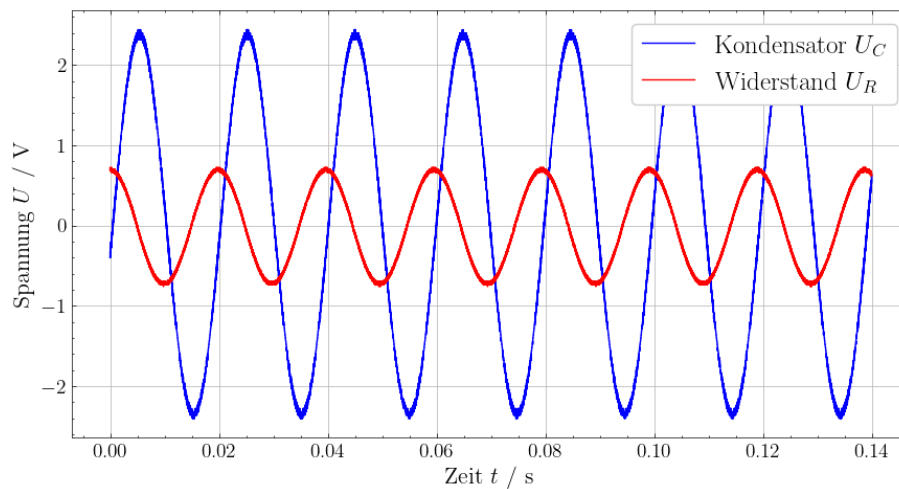


Abbildung 2: Aufgezeichnete zeitliche Verläufe der Spannungsabfälle über den Widerstand R und den Kondensator C bei einer sinusförmigen Speisespannung in der Schaltung aus Versuch 1.

Hier ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass der Verlauf der Spannung am Widerstand $U_R(t)$ nur um einen Proportionalitätsfaktor von dem Verlauf des Stroms am Kondensator $I_C(t)$ abweicht.

$$I_C(t) = I_R(t) = U_R(t)/R = U_0/R \cdot \sin(\omega t)$$

Somit spielt es für die weitere Berechnung der Phasenverschiebung φ keine Rolle welcher der beiden Verläufe U_R oder I_C verwendet wird. Um die Phasenverschiebung φ zu ermitteln wird im ersten Schritt die Periodendauer T_1 der Spannung über den Kondensator bestimmt. Mithilfe einer Signalanalyse-Software[2] wurde einerseits das Signal geglättet und andererseits die Spitzenwerte der Sinusspannung ermittelt. Die Periodendauer T bzw die Unsicherheit der Größe folgt dann aus dem Mittelwert und der Standardabweichung der zeitlichen Abstände der Spitzenwerte. Der Prozess ist graphisch in Abbildung 3 angezeigt.

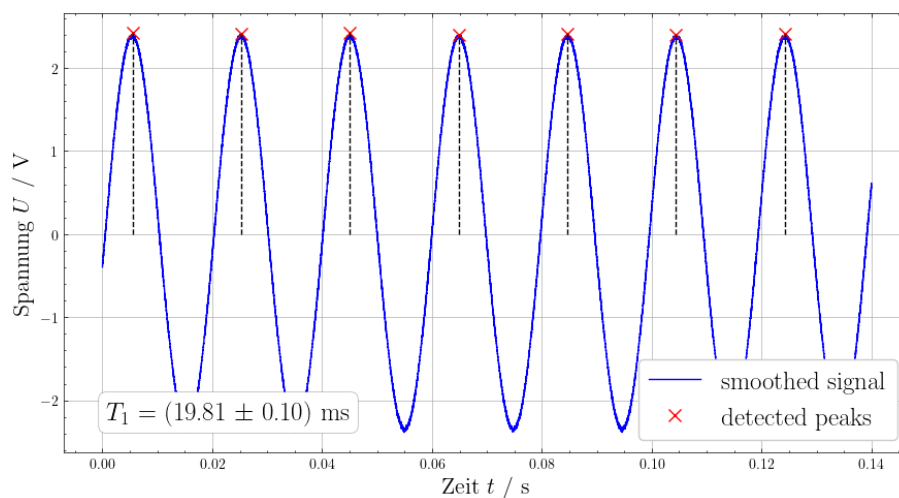


Abbildung 3: Signalglättung und Ermittlung der Spitzenwerte zur Bestimmung der Periodendauer für den Spannungsverlauf am Kondensator U_C .

Für die ermittelte Periodendauer T_1 ergibt sich folgender Zahlenwert:

$$T_1 = \bar{T}_1 \pm \Delta T_1 = (19.8 \pm 0.1) \text{ ms}$$

Im nächsten Schritt wird die zeitliche Differenz zwischen der Spannung und dem Strom am Kondensator ermittelt. Wie bereits erörtert, kann für diese Messung, die Spannung am Widerstand U_R als Strom am Kondensator I_C eingesetzt werden. Zur Bestimmung der Zeitdifferenz der Signale t_{diff} wurden zwei Cursor am Oszilloskop verwendet, womit der Zahlenwert mit einer gewissen Ables- und Einstellungsunsicherheit behaftet ist. Diese Unsicherheit wird in Folge als $\Delta t_{\text{diff}} = 0.4 \text{ ms}$ gewählt. Die Messung der zeitlichen Differenz der Signale ist Figur 4 abgebildet.

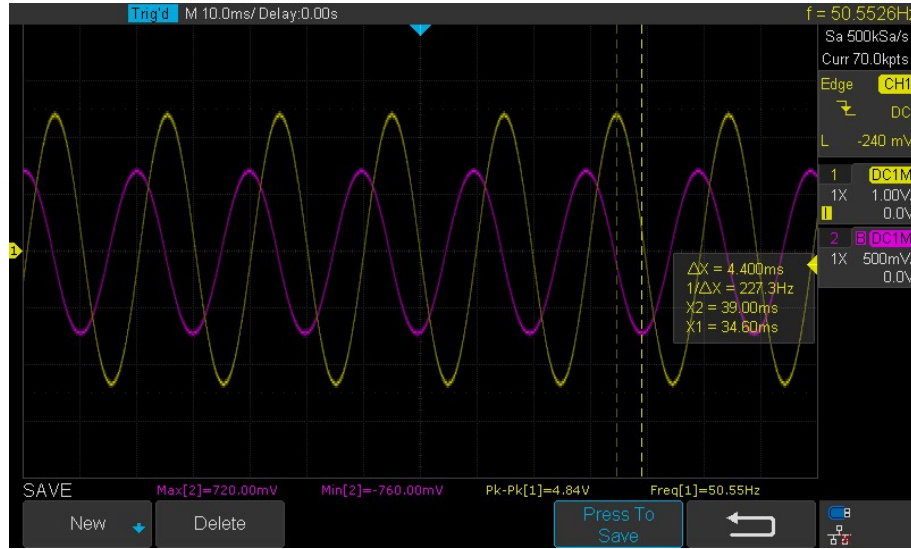


Abbildung 4: Messung der zeitlichen Differenz t_{diff} zwischen der Spannung U_C und U_R mithilfe eines Cursors am Oszilloskop.

Für den Zahlenwert der Differenz folgt dementsprechend:

$$t_{\text{diff}} = (4.4 \pm 0.4) \text{ ms}$$

Im letzten Schritt kann nun die Phasenverschiebung φ und die zugehörige Unsicherheit $\Delta\varphi$ aus dem Verhältnis der Zeitdifferenz und der Periodendauer berechnet werden:

$$\varphi = 360 \cdot \frac{t_{\text{diff}}}{T_1}, \quad \Delta\varphi = \varphi \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{diff}}}{t_{\text{diff}}} + \frac{\Delta T_1}{T_1} \right) \quad (2)$$

Aus dem Experiment ergibt sich schlussendlich für die Phasenverschiebung φ folgender Zahlenwert:

$$\varphi_{\text{exp}} = \varphi \pm \Delta\varphi = (80 \pm 8)^\circ$$

1.1.2 Rechteckförmige Speisespannung

Im zweiten Teil des ersten Versuchs wird mit dem Funktionsgenerator eine Rechteckspannung erzeugt. Diese kann als sehr schnelles Ein- und Ausschalten eines Schalters in einem Gleichstromkreis interpretiert werden, womit man das Lade- und Entladeverhalten eines Kondensators analysieren kann. Für das den Stromverlauf beim Ladevorgang eines Kondensators gilt folgender Zusammenhang [8]:

$$I_C(t) = I_0 \exp(-t/\tau), \quad \tau = R \cdot C. \quad (3)$$

Mit einer Datenanalyse-Software [1] kann eine Exponentialfunktion der gegebenen Form an die

Messdaten angepasst werden. Um genauere Werte zu erzielen wird in diesem Fall eine Exponentialfunktion der Form $I_{\text{fit}} = I_0 \exp(-\lambda t)$ verwendet. In Abbildung 5 sind die Messdaten für den Strom am Kondensator und die berechnete Ausgleichsfunktion dargestellt.

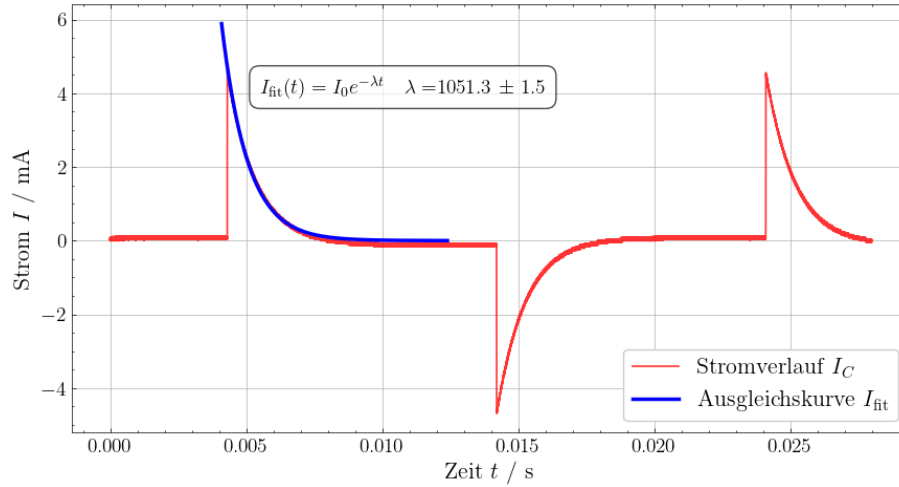


Abbildung 5: Messdaten für den Stromverlauf am Kondensator bei anliegen einer Rechteckspannung, inklusive Exponentieller Ausgleichskurve zur Berechnung der Zerfallskonstante τ .

Aus dem ermittelten Parameter der Regressionsrechnung folgt nun die Zerfallskonstante τ und die zugehörige Unsicherheit $\Delta\tau$:

$$\tau = 1/\lambda, \quad \Delta\tau = \tau \cdot (\Delta\lambda/\lambda) \quad (4)$$

Als Zahlenwert ergibt sich hierbei:

$$\tau = (0.951 \pm 0.002) \text{ ms} = (951 \pm 2) \mu\text{s}$$

Gemäß Gleichung 3 kann die Zerfallskonstante τ alternativ aus den gegebenen Bauteil-Parametern (Widerstand R und Kapazität C) berechnet werden.

$$\tau_{\text{th}} = R \cdot C = (1.0 \pm 0.2) \text{ ms}$$

Die Unsicherheit $\Delta\tau_{\text{th}}$ berechnet sich hierbei aus der Größtunsicherheitsmethode:

$$\Delta\tau = \tau \cdot \left(\frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta C}{C} \right), \quad (5)$$

1.2 Versuch 2: Serienschwingkreis

1.2.1 Signalaufzeichnung

In dem zweiten Versuch wird eine Serienschaltung bestehend aus einem Kondensator, zwei Widerständen und einer Spule, wie in Abbildung 6, aufgebaut.

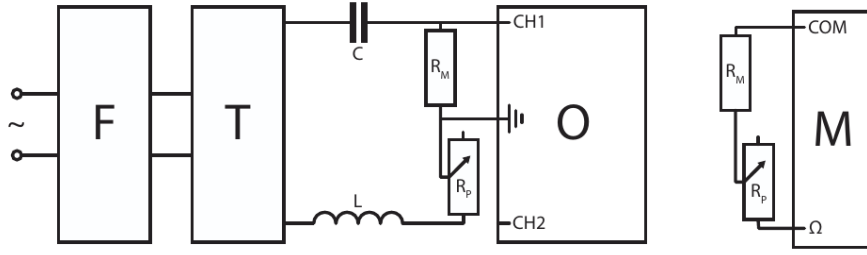


Abbildung 6: Schaltplan für Versuch 2 bestehend aus einem Funktionsgenerator F , einem Trenntransformator T , einem Oszilloskop O , einem Kondensator C , einer Spule L , dem Widerstand R_M und dem Drehpotenziometer R_P . Im Versuch wird außerdem ein Multimeter M verwendet, um den veränderbaren Widerstand von $R_M + R_P$ zu messen. Die Abbildung wurde aus der Angabe [4] entnommen.

Für die verwendeten elektronischen Bauteile liegen folgende Zahlenwerte vor: $R_M = 50.0 \Omega \pm 1\%$, $R_P = 470 \Omega \pm 1\%$, $C = 1.00 \mu\text{F} \pm 1\%$, Spule: $n = 500$ Windungen. Durch variieren des Widerstandes mit dem Drehpotenziometer R_P werden nun drei unterschiedliche Gesamtwiderstände ($R_{\text{ges}} = R_P + R_M$) erzeugt und der Spannungsverlauf über dem Widerstand R_M aufgezeichnet. Durch Lösen der Differentialgleichung der Serienschaltung [3]

$$\ddot{i} + \frac{R}{L}\dot{i} + \frac{1}{LC}i = 0 \quad (6)$$

erhält man, dass die aufgezeichnete Spannung abhängig von den Werten für C , R und L ein charakteristisches Verhalten aufweist, welches in drei Fälle eingeteilt werden kann:

- **Kriechfall** ($R^2C > 4L$): rein aperiodischer Verlauf ohne Oszillation.
- **Aperiodischer Grenzfall** ($R^2C = 4L$): schnellstes Rückkehren ohne Überschwingung.
- **Schwingfall** ($R^2C < 4L$): gedämpfte Schwingung mit abklingender Amplitude.

Entsprechend diesen drei Fällen wählt man für das Potenziometer eine passende Stellung und zeichnet den Spannungsverlauf mit dem Oszilloskop auf. Für den Gesamtwiderstand R_{ges} wurden folgende Widerstandswerte mit dem Multimeter gemessen:

Tabelle 1: Gemessene Gesamtwiderstände R_{ges} inklusive Messunsicherheit dargestellt für die gewählten Potentiometer-Stellungen zur Erzeugung der drei verschiedenen Spannungsverläufe.

-	Widerstand R_{ges} / Ω	Unsicherheit $\Delta R_{\text{ges}} / \Omega$
Kriechfall	530	5
Grenzfall	346	4
Schwingfall	85.7	1.0

Die Messungen der Spannungen bei den entsprechenden Widerstandswerten sind in Grafik 7 angezeigt.

Um den Unterschied der drei Schwingungsfälle zu verdeutlichen ist in Abbildung 8 noch eine Überlagerung der drei aufgezeichneten Signale dargestellt. Die Zeitabschnitte wurden so gewählt, dass die initiale Auslenkung der drei Fälle ungefähr zum gleichen Zeitpunkt t_0 passiert. Um die Verläufe besser zu unterscheiden zu können wurde das Signal in der Abbildung zudem geglättet.

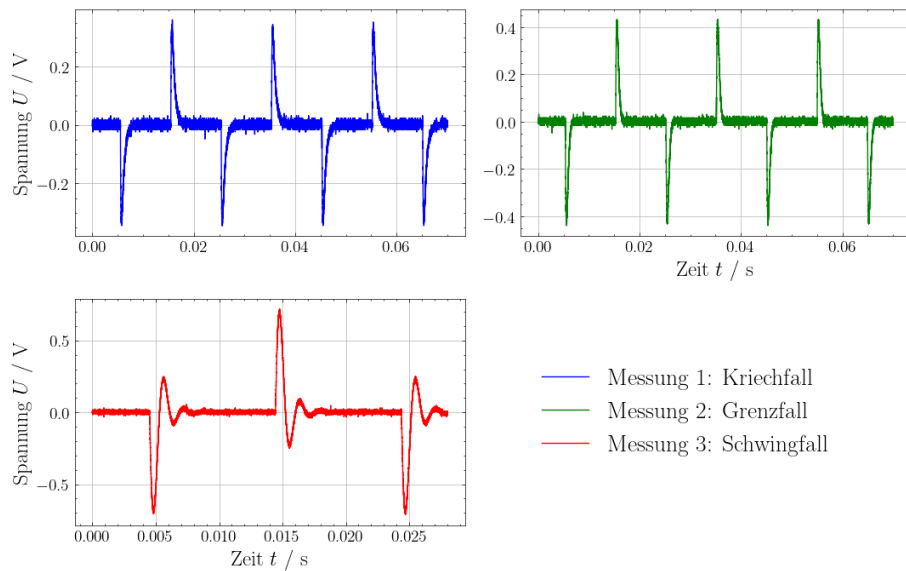


Abbildung 7: Spannungverläufe über den Widerstand R_M aufgezeichnet bei verschiedenen Stellungen des Drehpotenziometers R_P . Darstellung der drei Fälle: Kriechfall, Aperiodischer Grenzfall und Schwingfall.

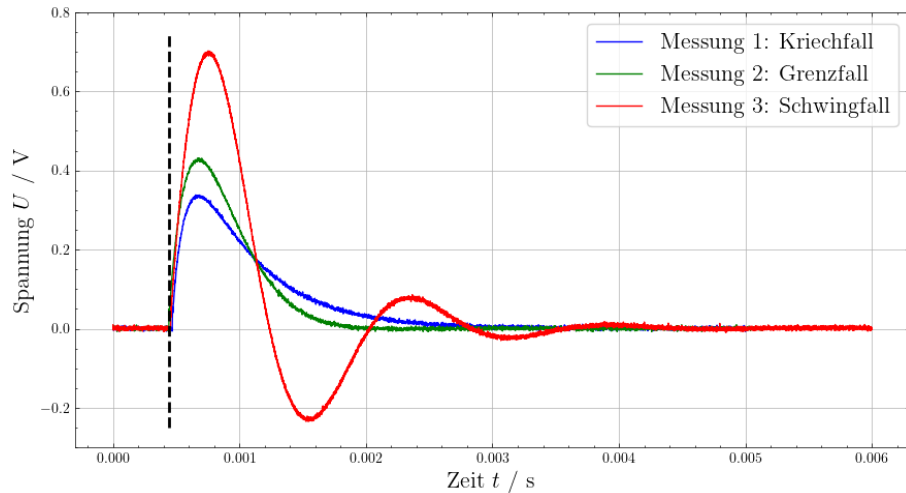


Abbildung 8: Detailansicht der Spannungverläufe über den Widerstand R_M aufgezeichnet bei verschiedenen Stellungen des Drehpotenziometers R_P . Zeitbereich wurde so gewählt, dass die initiale Auslenkung der Signal in etwa Zeitgleich geschieht.

1.2.2 Bestimmung der Induktivität

Im nächsten Schritt gilt es die Induktivität der Spule einmal mit Eisenkern und einmal ohne zu bestimmen. Die Induktivität folgt dabei aus der Bedingung des aperiodischen Grenzfalls:

$$R_{\text{ges}}^2 C = 4L \quad \Rightarrow \quad L = \frac{R_{\text{ges}}^2 C}{4} = \frac{(R_P + R_M)^2 C}{4}. \quad (7)$$

Im Versuch wird so vorgegangen, dass mit dem Potenziometer so lange der Gesamtwiderstand verändert wird, bis der Aperiodische Grenzfall erreicht ist. Hat man dies erreicht, so bestimmt man mit einem Multimeter den Gesamtwiderstand R_{ges} . Dieses Vorgehen ist natürlich mit einer gewissen Unsicherheit der Bestimmung des Grenzfalls behaftet, weshalb die Messung einfach mehrmals durchgeführt und anschließend der Mittelwert gebildet wird. In den Tabellen 2 und 3 sind die gemessenen Gesamtwiderstände inklusive Unsicherheiten für die Messung mit Eisenkern und ohne Eisenkern angeführt.

Tabelle 2: Gemessene Gesamtwiderstände R_{ges} inklusive Messunsicherheit zur Bestimmung der Induktivität der Spule mit Eisenkern L_{mit} .

Messung	Widerstand R_{ges} / Ω	Unsicherheit $\Delta R_{\text{ges}} / \Omega$
1	332	4
2	346	4
3	349	4
4	339	4

Tabelle 3: Gemessene Gesamtwiderstände R_{ges} inklusive Messunsicherheit zur Bestimmung der Induktivität der Spule ohne Eisenkern L_{ohne} .

Messung	Widerstand R_{ges} / Ω	Unsicherheit $\Delta R_{\text{ges}} / \Omega$
1	119.0	1.3
2	124.1	1.4
3	119.5	1.3
4	122.2	1.3

Aus dem Mittelwert \bar{R}_{ges} und der Standardabweichung σ_R der gemessenen Werte kann der Gesamtwiderstand, welcher für das vorliegen des Aperiodischen Grenzfalls nötig ist bestimmt werden. In der folgenden Formel wird der Student- t Faktor [7] für eine Messreihe von $N = 4$ Messungen verwendet.

$$R_{\text{ges}} = \bar{R}_{\text{ges}} \pm \frac{t}{\sqrt{N}} \sigma_R = \bar{R}_{\text{ges}} \pm 0.6 \cdot \sigma_R \quad (8)$$

Für die vorliegenden Messreihen ergeben sich folgende Zahlenwerte:

Tabelle 4: Berechneter Gesamtwiderstand R_{ges} inklusive Unsicherheit ΔR_{ges} bei vorliegen des Aperiodischen Grenzfalls zur Bestimmung der Induktivität der Spule mit und ohne Eisenkern.

Spule	Gesamtwiderstand R_{ges} / Ω
mit Eisenkern L_{mit}	342 ± 5
ohne Eisenkern L_{ohne}	121.2 ± 1.3

Schlussendlich kann die Induktivität der Spule mit Gleichung 7 berechnet werden, wobei die Ergebnisse in Tabelle 5 präsentiert werden. Die Unsicherheit folgt hier gemäß der Größtunsicherheitsmethode:

$$\Delta L = L \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta R_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} + \frac{\Delta C}{C} \right) \quad (9)$$

Tabelle 5: Ergebnisse für die Berechnung der Induktivität der Spule mit Eisenkern L_{mit} und die Induktivität der Spule ohne Eisenkern L_{ohne} .

Spule	Induktivität L / mH
mit Eisenkern L_{mit}	29.2 ± 1.0
ohne Eisenkern L_{ohne}	3.67 ± 0.12

1.3 Versuch 3: Piezoelement

Im dritten Versuch wird das Verhalten eines Piezo-Sensor untersucht. Dazu wird dieser Sensor zunächst auf einen Stuhl platziert und durch Klopfen auf den Stuhl angeregt. Der Piezo-Kristall gibt dabei eine Spannung proportional zum Druck ab, welche im Single-Shot-Modus mit dem Oszilloskop aufgezeichnet werden kann. In Abbildung 9 ist der Verlauf der Spannung dieser Messung angezeigt.

Nun soll die Frequenz der Schwingung ermittelt werden. Dazu bestimmt man wie in Versuch 1 die Spannungsspitzen mit einer Signalanalyse-Software [2] und berechnet die zeitlichen Differenzen

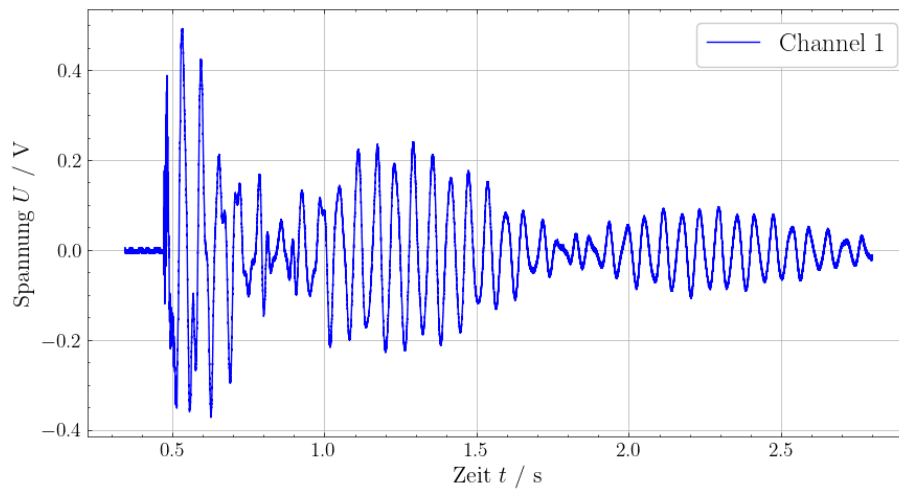


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der Spannung eines Piezo-Sensors auf einem Stuhl.

dieser Spitzenwerte. Die Periodendauer folgt dann aus dem Mittelwert dieser Zeiten. In Grafik 10 ist dieser Sachverhalt dargestellt.

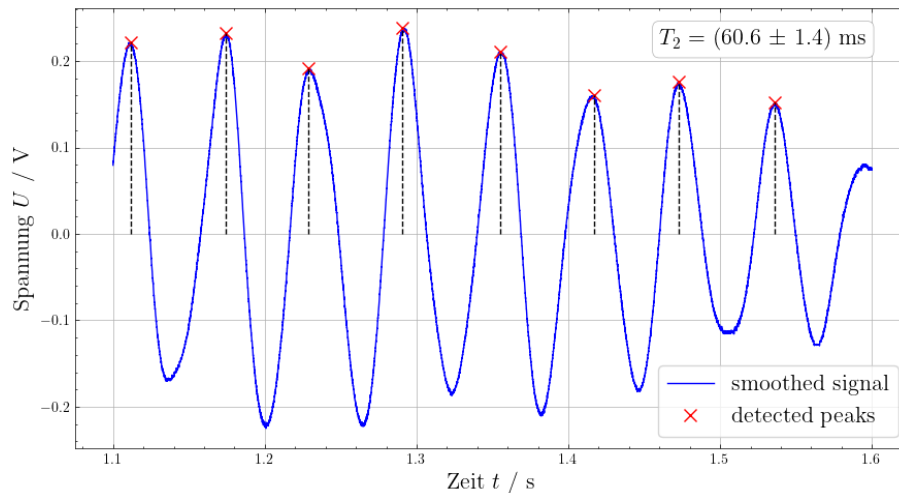


Abbildung 10: Bestimmung der Resonanzfrequenz eines Stuhls mithilfe eines Piezo-Sensors. Berechnung der Zeitdifferenz zwischen Spitzenwerten zur Ermittlung der Periodendauer.

In dem aufgezeichneten Signal ergibt sich eine mittlere Periodendauer T_2 von:

$$T_2 = \bar{T} \pm \sigma_T / \sqrt{N} = (0.0606 \pm 0.0014) \text{ s} = (60.6 \pm 1.4) \text{ ms}$$

Die Frequenz folgt einfach aus dem Kehrwert der Periodendauer. Weiters ergibt sich die Unsicherheit aus der Größtunsicherheitsmethode. Für die Resonanzfrequenz des Stuhls f_{St} folgt somit:

$$f_{\text{St}} = (16.5 \pm 0.4) \text{ Hz}$$

Außerdem soll in dem Versuch die Eigenfrequenz des Piezo-Kristalls f_{Res} untersucht werden. Dazu hängt man den Sensor so auf, dass dieser frei schwingen kann. Nun wird er leicht angeschlagen und das Spannungssignal am Oszilloskop aufgezeichnet. Auf die erhaltenen Messdaten wird am Oszilloskop eine FFT (Fast-Fourier-Transform) Operation angewendet, welche die einzelnen Frequenzkomponenten des Ausgangssignals herausfiltert. Der relevante Teil der aufgezeichneten Spannung und die darauf angewandte FFT sind in Abbildung 11 ersichtlich.

Die Spitze in der Fourier-Transformation bei etwa $f = 4.4 \text{ kHz}$ bedeutet, dass das Ausgangssignal

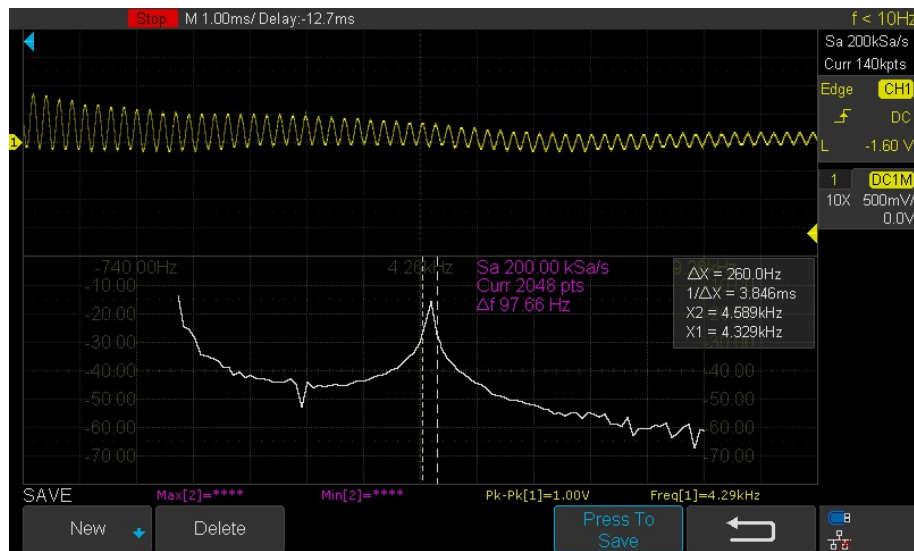


Abbildung 11: Aufgezeichneter Spannungsverlauf des Piezo-Kristalls bei freier Schwingung dargestellt inklusive Fourier Transformation des Signals zur Bestimmung der Eigenfrequenz f_{Res} .

zu einem Großen Teil aus einer Schwingung dieser Frequenz besteht, womit diese auch als Resonanzfrequenz identifiziert werden kann. Die Unsicherheit kann ebenfalls aus der Halbwärtsbreite im FFT-Spektrum bestimmt werden. Die zwei Cursor in der obigen Abbildung markieren genau den Bereich der Halbwärtsbreite. Dies ist jener Bereich auf der x bzw f -Achse bei welchem das Signal die Hälfte des Maximalwertes erreicht hat. Aus der Graphischen Bestimmung am Oszilloskop folgt schlussendlich für die Resonanzfrequenz des Piezo-Sensors:

$$f_{\text{Res}} = (4.4 \pm 0.3) \text{ kHz}$$

2 Diskussion

2.1 Serienschaltung

Die Messergebnisse des RC-Kreises zeigen eine gute Übereinstimmung mit der theoretischen Erwartung. Aus der Messung der Phasenverschiebung mittels sinusförmiger Speisespannung ergab sich $\varphi_{\text{exp}} = (80 \pm 8)^\circ$. Der Versuch zeigt hierbei deutlich das erwartete Verhalten eines RC-Tiefpasses: Der Strom eilt der Spannung voraus, und die Phasenverschiebung nähert sich $\varphi_{\text{exp}} = 90^\circ$

Um die Messergebnisse weiter zu verbessern, könnte man den Innenwiderstand des Funktionsgenerators berücksichtigen. Auch die Bestimmung des Phasenwinkels mittels der FFT-Funktion des Oszilloskops könnte sich als hilfreich erweisen, um die Messung von der manuellen Cursorplatzierung unabhängig zu machen. Die mehrfache Durchführung des Experiments mit leicht variierenden Frequenzen kann ebenfalls helfen, mögliche systematische Fehler zu identifizieren.

Im zweiten Teil des Versuches wurde die Zeitkonstante des Systems bestimmt. Der Fit der Entladekurve ergab $\tau = (951 \pm 2) \mu\text{s}$, während die theoretische Berechnung einen Wert von $\tau_{\text{th}} = R \cdot C = (1.0 \pm 0.2) \text{ ms}$ ergab. Die minimale Abweichung liegt vollständig innerhalb dem Bereich der Unsicherheiten und ist im Rahmen der Bauteiltoleranzen durchaus plausibel. Die sehr gute Übereinstimmung der zwei Zahlenwerten zeigt, dass die Auswertung mittels Regressionsrechnung (Fit) zuverlässig war.

2.2 Serienschwingkreis

Die Messung der Spannung im Serienschwingkreis bestätigt die drei theoretisch erwarteten Verhaltensformen deutlich: Bei hohen Widerständen zeigt sich ein Kriechfall ohne Überschwingung, beim aperiodischen Grenzfall ein optimales Abklingen ohne Oszillation, und bei geringen Widerständen tritt ein gedämpfter Schwingfall auf. Das Verhalten des gedämpften Schwingkreises konnte somit experimentell bestätigt werden.

Die Induktivität, die aus der aperiodischen Grenzbedingung bestimmt wurde, lag bei $L_{\text{mit}} = (29.2 \pm 1.0)$ mH und $L_{\text{ohne}} = (3.67 \pm 0.12)$ mH. Der Unterschied von fast einer Größenordnung entspricht der physikalischen Erwartung, da der Eisenkern durch seine hohe magnetische Permeabilität den magnetischen Fluss stark erhöht. Trotz Recherche konnten keine exakten Literaturwerte für eine Spule mit $n = 500$ Windungen gefunden werden. Aus den gegebenen Bauteilparametern kann allerdings ein Vergleichswert abgeschätzt werden. Die Induktivität einer Zylinderspule lässt sich nach folgender Formel bestimmen:

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 A}{l} \quad (10)$$

Für die Berechnung wurde die Länge der Spule auf $l = 5$ cm und der Durchmesser auf $d = 2$ cm geschätzt. Bei $N = 500$ und $\mu_r = 1$ für Luft beziehungsweise $\mu_r = 500$ für Eisen ergeben sich folgende Literaturwerte:

$$L_{\text{Luft}} \approx 1.97 \text{ mH} \quad L_{\text{Fe}} \approx 986.96 \text{ mH}$$

Der theoretische Wert der Luftspule stimmt ziemlich gut mit dem gemessenen Wert überein. Der berechnete Wert der Spule mit Eisenkern ist allerdings wesentlich größer als der Wert aus dem Experiment. Die einfachste Erklärung dafür ist, dass ein Material mit einer anderen relativen Permeabilität von etwa $\mu_r = 50$ verwendet wurde. Dies könnte zum Beispiel Kobalt sein [6]. Weitere Abweichungen vom Literaturwert sind dadurch erklärbar, dass in der Berechnung der Kern als homogen magnetisiert angenommen wird, was in der Praxis aufgrund von Streufeldern und Nichtlinearitäten des Eisenkerns nicht der Fall ist.

Die genaue Bestimmung des aperiodischen Grenzfalls ist mit gewissen Schwierigkeiten verbunden, da die Entscheidung, ab wann keine Überschwingung mehr auftritt, immer eine subjektive Komponente enthält. Um diesen Einfluss zu minimieren, wurde der Grenzfall mehrfach bestimmt und die Messergebnisse, wie in den Tabellen 2 und 3 dargestellt, gemittelt. Dadurch konnte die Unsicherheit der Bestimmung reduziert und ein repräsentativer Mittelwert für den Gesamtwiderstand ermittelt werden. Mögliche Wege, um die Messergebnisse weiter zu verbessern, sind die mehrfache Wiederholung der Messungen mit variabler Kapazität C , um L indirekt über die Frequenzabhängigkeit zu bestimmen, oder die computergestützte Auswertung der Schwingungsverläufe mittels Kurvenanpassung.

2.3 Frequenzbestimmung

Die Messergebnisse des Piezoelements zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit der theoretischen Erwartung. Aus der FFT-Analyse des aufgezeichneten Spannungssignals ergab sich eine Resonanzfrequenz von $f_{\text{Piezo}} = (4.4 \pm 0.3)$ kHz. Der im Datenblatt angegebene Literaturwert [5] für denselben Piezotyp beträgt $f_{\text{Datenblatt}} = (4.2 \pm 0.3)$ kHz, womit eine sehr gute Übereinstimmung innerhalb der jeweiligen Unsicherheiten vorliegt. Dies bestätigt die Genauigkeit der experimentellen Messung und die korrekte Anwendung der Fourier-Analyse.

Zusätzlich wurde die Eigenfrequenz des Stuhls mithilfe desselben Sensors zu $f_{\text{Stuhl}} = (16.5 \pm 0.4)$ Hz

bestimmt. Dieser Wert liegt im erwarteten Bereich für großflächige elastische Systeme und zeigt, dass der Piezo als Sensor zur Detektion mechanischer Schwingungen gut geeignet ist.

Die ausgezeichnete Übereinstimmung mit dem Literaturwert zeigt, dass der Versuch korrekt durchgeführt wurde und die Methode zuverlässig zur Bestimmung von Eigenfrequenzen mechanischer Systeme eingesetzt werden kann.

Zur weiteren Verbesserung der Messergebnisse könnte die Frequenzauflösung der FFT durch eine längere Signalaufzeichnungsdauer erhöht werden. Zudem wäre eine mehrfache Messung unter identischen Bedingungen sinnvoll, um statistische Schwankungen zu reduzieren. Darüber hinaus würde eine definierte mechanische Anregung des Piezos mittels eines reproduzierbaren Impulses anstelle eines manuellen Anschlags zu gleichmäßigeren Ergebnissen führen.

Literatur

- [1] S. community. `scipy.optimize.curve_fit`. https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.optimize.curve_fit.html, . zuletzt besucht: 10.10.2025.
- [2] S. community. `scipy.signal.peak_finder`. https://docs.scipy.org/doc/scipy-1.16.2/reference/generated/scipy.signal.find_peaks.html, . zuletzt besucht: 10.10.2025.
- [3] W. Demtröder. *Experimentalphysik 2 - Elektrizität und Optik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 7 edition, 2018. ISBN 978-3-662-55790-7. zuletzt besucht: 10.10.2025.
- [4] U. G. Institut für Physik. Laborprotokoll 12 oszillograph, 2025.
- [5] RS Components. *RS PRO Piezo Element with Leads, 3–20Vp-p, 75dB*, 2024. URL <https://uk.rs-online.com/>. Resonant frequency $4.2\text{ kHz} \pm 0.3\text{ kHz}$. RS Stock No. 7243162.
- [6] Wikipedia. Magnetische permeabilität. https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetische_Permeabilit%C3%A4t, 2025. zuletzt besucht: 10.10.2025.
- [7] Wikipedia. Studentische t-Verteilung. https://de.wikipedia.org/wiki/Studentische_t-Verteilung, 2025. zuletzt besucht: 10.10.2025.
- [8] Wikipedia. Zeitkonstante. <https://de.wikipedia.org/wiki/Zeitkonstante>, 2025. zuletzt besucht: 10.10.2025.

Abbildungsverzeichnis

1	Elektrischer Schaltplan für Versuch 1 bestehend aus einem Funktionsgenerator F , einem Trenntransformator T einem Widerstand R , einem Kondensator C und einem Oszilloskop O , welches hier durch die zwei Spannungsmessungen entsprechend den zwei Kanälen dargestellt ist.	2
2	Aufgezeichnete zeitliche Verläufe der Spannungsabfälle über den Widerstand R und den Kondensator C bei einer sinusförmigen Speisespannung in der Schaltung aus Versuch 1.	3
3	Signalglättung und Ermittlung der Spitzenwerte zur Bestimmung der Periodendauer für den Spannungsverlauf am Kondensator U_C	3
4	Messung der zeitlichen Differenz t_{diff} zwischen der Spannung U_C und U_R mithilfe eines Cursors am Oszilloskop.	4
5	Messdaten für den Stromverlauf am Kondensator bei anliegen einer Rechteckspannung, inklusive Exponentieller Ausgleichskurve zur Berechnung der Zerfallskonstante τ	5
6	Schaltplan für Versuch 2 bestehend aus einem Funktionsgenerator F , einem Trenntransformator T , einem Oszilloskop O , einem Kondensator C , einer Spule L , dem Widerstand R_M und dem Drehpotenziometer R_P . Im Versuch wird außerdem ein Multimeter M verwendet, um den veränderbaren Widerstand von $R_M + R_P$ zu messen. Die Abbildung wurde aus der Angabe [4] entnommen.	6
7	Spannungsverläufe über den Widerstand R_M aufgezeichnet bei verschiedenen Stellungen des Drehpotenziometers R_P . Darstellung der drei Fälle: Kriechfall, Aperiodischer Grenzfall und Schwingfall.	7
8	Detailansicht der Spannungsverläufe über den Widerstand R_M aufgezeichnet bei verschiedenen Stellungen des Drehpotenziometers R_P . Zeitbereich wurde so gewählt, dass die initiale Auslenkung der Signal in etwa Zeitgleich geschieht.	7
9	Zeitlicher Verlauf der Spannung eines Piezo-Sensors auf einem Stuhl.	9
10	Bestimmung der Resonanzfrequenz eines Stuhls mithilfe eines Piezo-Sensors. Berechnung der Zeitdifferenz zwischen Spitzenwerten zur Ermittlung der Periodendauer.	9
11	Aufgezeichneter Spannungsverlauf des Piezo-Kristalls bei freier Schwingung dargestellt inklusive Fourier Transformation des Signals zur Bestimmung der Eigenfrequenz f_{Res}	10

Tabellenverzeichnis

1	Gemessene Gesamtwiderstände R_{ges} inklusive Messunsicherheit dargestellt für die gewählten Potentiometer-Stellungen zur Erzeugung der drei verschiedenen Spannungsverläufe.	6
2	Gemessene Gesamtwiderstände R_{ges} inklusive Messunsicherheit zur Bestimmung der Induktivität der Spule mit Eisenkern L_{mit}	8
3	Gemessene Gesamtwiderstände R_{ges} inklusive Messunsicherheit zur Bestimmung der Induktivität der Spule ohne Eisenkern L_{ohne}	8
4	Berechneter Gesamtwiderstand R_{ges} inklusive Unsicherheit ΔR_{ges} bei vorliegen des Aperiodischen Grenzfalls zur Bestimmung der Induktivität der Spule mit und ohne Eisenkern.	8
5	Ergebnisse für die Berechnung der Induktivität der Spule mit Eisenkern L_{mit} und die Induktivität der Spule ohne Eisenkern L_{ohne}	8