

ANFÄNGERPRAKTIKUM DER FAKULTÄT FÜR PHYSIK,
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN

Versuch 09
Wechselstromwiderstände

Praktikant/in:	Vladislav Begert
E-Mail-Adresse:	v.begert@stud.uni-goettingen.de
Praktikant/in:	Christoph Kehl
E-Mail-Adresse:	christoph.kehl01@stud.uni-goettingen.de
Betreuer/in:	Carla Neubert
Datum der Durchführung:	22.06.2026

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theorie	2
3	Durchführung	4
3.1	Aufbau	4
3.2	Bestimmung der Induktivität aus Spule und Widerstand	5
3.3	Serienresonanzkreis aus Spule, Widerstand und Kondensator	5
3.4	Parallelschwingkreis aus Spule und Kondensator	5
3.5	Zusatzmessungen	6
4	Auswertung	7
4.1	Bestimmung von Induktivität und Gesamtwiderstand	7
4.2	Analyse des Serienresonanzkreises	8
4.3	Bestimmung der Resonanzfrequenz über die Phase	9
4.4	Zusammenfassung und Berechnung von R_L und C	9
4.5	Frequenzabhängigkeit der Teilspannungen im Serienkreis	10
4.6	Zeigerdiagramm und Phasenvergleich im Resonanzfall	11
4.7	Impedanzverlauf des Parallelkreises	12
5	Diskussion	13
	Literatur	14

1 Einleitung

Das **Ohmsche Gesetz für Wechselstrom** beschreibt das Verhältnis von Spannung und Strom in stromdurchflossenen Leitern und bildet die Grundlage der elektrischen Netzwerkanalyse innerhalb der Physik.

Dieses Gesetz ist nicht nur für das theoretische Verständnis elektrischer Schaltungen fundamental, sondern auch für zahlreiche Anwendungen unverzichtbar. Dazu gehört die Auslegung von Transformatoren, die Impedanzanpassung in der Nachrichtentechnik, die Blindstromkompensation in Energieversorgungsnetzen und darüber hinaus die Funktion von Frequenzfiltern in der Signalverarbeitung lassen sich auf die *Wechselstromimpedanz* zurückführen.

Das Ziel dieses Versuches ist es, die charakteristischen Eigenschaften von Spule, Kondensator und ohmschem Widerstand im Wechselstromkreis experimentell zu untersuchen.

Des Weiteren wird das Resonanzverhalten eines Serien- und eines Parallelschwingkreises vermessen, das sich mit der Theorie der komplexen Wechselstromrechnung auswerten lässt.

Schließlich soll durch den Vergleich mit den theoretischen Vorhersagen sowohl die Resonanzbedingung als auch die Frequenzabhängigkeit der Blindwiderstände verifiziert werden.

2 Theorie

Eine sinusförmige Wechselspannung $U(t)$ und ein sinusförmiger Wechselstrom $I(t)$ lassen sich schreiben als

$$U(t) = U_0 \sin(\omega t); \quad I(t) = I_0 \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.0.1)$$

mit den Scheitelwerten U_0 , I_0 , der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ und der Phasenverschiebung φ zwischen Strom und Spannung [1, S. 147]. Die Phasenverschiebung ist die zentrale GröSse der Wechselstromtechnik, da sie die in einem Bauteil umgesetzte Wirkleistung bestimmt.

Zur Charakterisierung der tatsächlichen Leistung wird der Effektivwert eingeführt. Er ist definiert als derjenige Gleichstromwert, der an einem ohmschen Widerstand die gleiche Wärmeleistung erzeugt wie der betrachtete Wechselstrom [1, S. 148]. Für rein sinusförmige Signale ergibt sich

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}; \quad I_{\text{eff}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}. \quad (2.0.2)$$

Alle im Folgenden mit Multimetern gemessenen Spannungen und Ströme sind Effektivwerte.

Das Verhältnis der Scheitelwerte von Spannung und Strom definiert den Scheinwiderstand (Impedanz) Z eines Bauteils oder einer Schaltung [1, S. 153]:

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U_{\text{eff}}}{I_{\text{eff}}}. \quad (2.0.3)$$

Die Impedanz setzt sich aus dem Wirkwiderstand R (ohmscher Anteil) und dem Blindwiderstand X (frequenzabhängiger Anteil) zusammen. In komplexer Schreibweise mit der imaginären Einheit i gilt [1, S. 153]

$$Z = R + iX. \quad (2.0.4)$$

Der Betrag der Impedanz ist $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$, und die Phasenverschiebung φ zwischen Spannung und Strom ergibt sich aus $\tan \varphi = X/R$ [2, S. 129].

Die Blindwiderstände einer idealen Spule (Induktivität L) und eines idealen Kondensators (Kapazität C) sind frequenzabhängig [1, S. 174]:

$$X_L = \omega L; \quad X_C = \frac{1}{\omega C}. \quad (2.0.5)$$

Die Spule bewirkt eine Phasenverschiebung von $\varphi_L = +90^\circ$ (Strom eilt der Spannung nach), der Kondensator von $\varphi_C = -90^\circ$ (Strom eilt voraus).

In einem Serienkreis aus ohmschem Widerstand R , Spule L und Kondensator C addieren sich die komplexen Widerstände [1, S. 153]. Die Gesamtimpedanz beträgt

$$Z_{\text{Serie}} = R + i \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right). \quad (2.0.6)$$

Glg. (2.0.6) zeigt die charakteristische Frequenzabhängigkeit des Serienschwingkreises. Für den Fall, dass der Kondensator überbrückt ist ($C \rightarrow \infty$, d. h. $X_C = 0$), vereinfacht sich die Impedanz zu $Z = R + i\omega L$. Ihr Betragsquadrat liefert den linearen Zusammenhang

$$Z^2 = \omega^2 L^2 + R^2, \quad (2.0.7)$$

aus dem durch Auftragung von Z^2 gegen ω^2 die Induktivität L aus der Steigung und der ohmsche Widerstand R aus dem Achsenabschnitt bestimmt werden können.

Resonanz tritt ein, wenn sich die Blindwiderstände kompensieren, d. h. $\omega L = 1/(\omega C)$. Die Resonanzkreisfrequenz ist [1, S. 172]

$$\omega_R = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \quad (2.0.8)$$

Im Resonanzfall wird die Impedanz minimal und rein reell ($Z_{\min} = R$), und die Phasenverschiebung beträgt $\varphi = 0$ [2, S. 129]. Die Spannungen an Spule und Kondensator können die Generatorspannung um den Gütefaktor $Q = \omega_R L / R$ übersteigen.

Werden Spule und Kondensator parallel geschaltet, so gilt für die Impedanz (bei Vernachlässigung des Spulenwiderstands) [2, S. 131]

$$Z_{\text{Parallel}} = \frac{1}{i\omega C + \frac{1}{i\omega L}}. \quad (2.0.9)$$

Die Resonanzfrequenz ist identisch mit der des Serienkreises ($\omega_R = 1/\sqrt{LC}$), jedoch wird die Impedanz hier maximal, und der Gesamtstrom durchläuft ein Minimum [2, S. 131].

Zur anschaulichen Darstellung der Phasenbeziehungen dienen Zeigerdiagramme [1, S. 153]. Jede sinusförmige GröSse wird durch einen rotierenden Zeiger der Länge U_0 bzw. I_0 in der komplexen Ebene repräsentiert; der Winkel relativ zur reellen Achse entspricht der momentanen Phase. Spannungen und Ströme verschiedener Bauteile lassen sich geometrisch addieren, sodass die resultierende Spannung und die Phasenverschiebung grafisch ermittelt werden können.

3 Durchführung

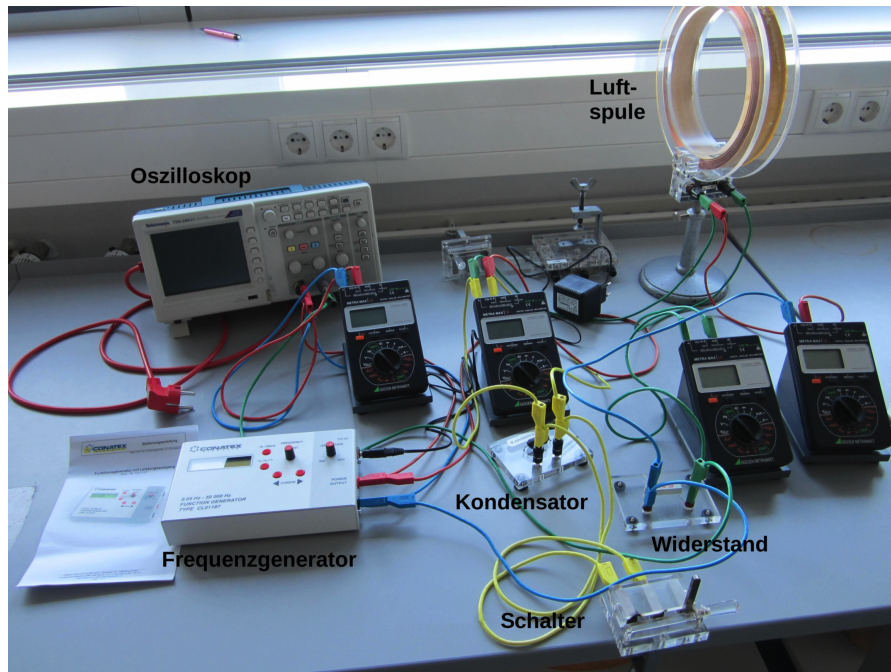


Abbildung 1: Genaue Darstellung des Versuchsaufbaus mit Frequenzgenerator, Luftspule, Kondensator, ohmschem Widerstand, Schalter, vier Multimetern und Oszilloskop [2, S. 126].

3.1 Aufbau

Der Versuchsstand besteht aus einem Frequenzgenerator mit Digitalanzeige (verstellbar zwischen ca. 60 Hz und 480 Hz), einer Luftspule, einem Kondensator, einem ohmschen Widerstand ($R_\Omega = 10\ \Omega$) und einem Schalter. Vier Multimeter dienen der gleichzeitigen Messung aller Spannungen und des Gesamtstroms. Ein Digital-Oszilloskop wird zur Bestimmung der Phasenverschiebung zwischen Gesamtspannung und Strom eingesetzt.

Der Strom I wird als Spannungsabfall über den ohmschen Widerstand R_Ω mit einem Oszilloskop-Kanal gemessen. Die gemeinsame Masse beider Kanäle muss so angeschlossen werden, dass keiner der Messpunkte kurzgeschlossen wird. Nur eine der vier möglichen Anschlusskombinationen liefert ein sinnvolles Phasenbild – die anderen drei führen zu kurzgeschlossenen oder fehlerhaft gemessenen Signalen.

Der zu vermessende Frequenzbereich liegt zwischen 60 Hz und 480 Hz [2, S. 128]. Vor jedem Umbau ist die Spannungsversorgung abzuschalten; blanke Kabelenden sind zu vermeiden.

3.2 Bestimmung der Induktivität aus Spule und Widerstand

Der Kondensator wird mit dem Schalter überbrückt. Für zehn verschiedene Frequenzen innerhalb des Messbereichs werden die Frequenz f , die Effektivwerte der Gesamtspannung U und des Stroms I sowie die Phasenverschiebung φ zwischen U und I notiert.

Aus den Messwerten wird später $Z = U/I$ und Z^2 berechnet. Die Auftragung von Z^2 gegen $\omega^2 = (2\pi f)^2$ liefert gemäß Glg. (2.0.7) die Induktivität L aus der Steigung und den gesamten ohmschen Widerstand R aus dem Achsenabschnitt.

3.3 Serienresonanzkreis aus Spule, Widerstand und Kondensator

Der Schalter wird geöffnet, sodass der Kondensator in Reihe geschaltet ist. Zunächst werden fünf Messpunkte außerhalb der Resonanz aufgenommen, danach wird die Resonanzstelle durch fünf weitere, fein verteilte Messungen aufgelöst. Für jede Frequenz werden die Gesamtspannung U , der Strom I , die Spannung am Kondensator U_C , die Spannung an Spule plus Widerstand U_{L+R} und die Phasenverschiebung φ erfasst.

Die Resonanz ist durch das Minimum der Impedanz $Z = U/I$ und den Nulldurchgang der Phasenverschiebung $\varphi = 0$ gekennzeichnet. Aus den Spannungen bei Resonanz wird später das Zeigerdiagramm konstruiert.

3.4 Parallelschwingkreis aus Spule und Kondensator

Spule und Kondensator werden gemäß Abbildung parallel geschaltet (ohne separaten Vorwiderstand). Auch hier werden fünf Messwerte außerhalb und fünf Messwerte nahe der Resonanz aufgenommen. Gemessen werden die Frequenz f , die Gesamtspannung U und der Gesamtstrom I .

Im Parallelkreis erreicht die Impedanz bei Resonanz ein Maximum; die Resonanzfrequenz ist mit der des Serienkreises identisch.

3.5 Zusatzmessungen

Mit einem Multimeter werden der ohmsche Widerstand R_Ω , der Innenwiderstand des als Strommesser verwendeten Multimeters R_{Amp} , der ohmsche Widerstand R_L der Spule und die Kapazität C des Kondensators gemessen. Die technischen Daten der Spule (Windungszahl, Länge, Durchmesser) werden dokumentiert.

In der anschließenden Auswertung (Abschnitt 4) werden aus den Messreihen die Induktivität L , der ohmsche Widerstand R , die Resonanzfrequenz ω_R , die Kapazität C und der Verlustwiderstand R_L der Spule bestimmt. Die Auftragungen $Z^2(\omega^2)$, $Z(\omega)$ und $\varphi(\omega)$ liefern die entsprechenden Parameter durch lineare Regression. Ein maßstäbliches Zeigerdiagramm bei Resonanz veranschaulicht die Spannungsverhältnisse und wird mit theoretischen Werten verglichen.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung von Induktivität und Gesamtwiderstand

Zur Bestimmung der Induktivität L und des Gesamtwiderstandes R_{ges} wird das Impedanzquadrat $Z^2 = (U/I)^2$ als Funktion des Quadrats der Kreisfrequenz ω^2 aufgetragen. Der mathematische Zusammenhang lautet:

$$Z^2 = R_{\text{ges}}^2 + \omega^2 L^2 \quad (4.1.1)$$

Die lineare Regression nach der Methode der kleinsten Quadrate liefert aus den Werten der Tabelle 1 die Fit-Parameter:

$$\text{Steigung } m = L^2 = (2,211 \cdot 10^{-4} \pm 7,934 \cdot 10^{-6}) \text{ H}^2 \quad (4.1.2)$$

$$\text{Achsenabschnitt } a = R_{\text{ges}}^2 = (8045 \pm 350) \Omega^2 \quad (4.1.3)$$

Die Ermittlung der Zielgrößen und deren Unsicherheiten erfolgt über die Radizierung und die Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$L = \sqrt{m} = 14,87 \text{ mH} \implies \sigma_L = \frac{\sigma_m}{2\sqrt{m}} = 0,27 \text{ mH} \quad (4.1.4)$$

$$R_{\text{ges}} = \sqrt{a} = 89,69 \Omega \implies \sigma_{R_{\text{ges}}} = \frac{\sigma_a}{2\sqrt{a}} = 1,95 \Omega \quad (4.1.5)$$

Daraus ergeben sich die Endergebnisse zu $L = (14,87 \pm 0,27) \text{ mH}$ und $R_{\text{ges}} = (89,69 \pm 1,95) \Omega$.

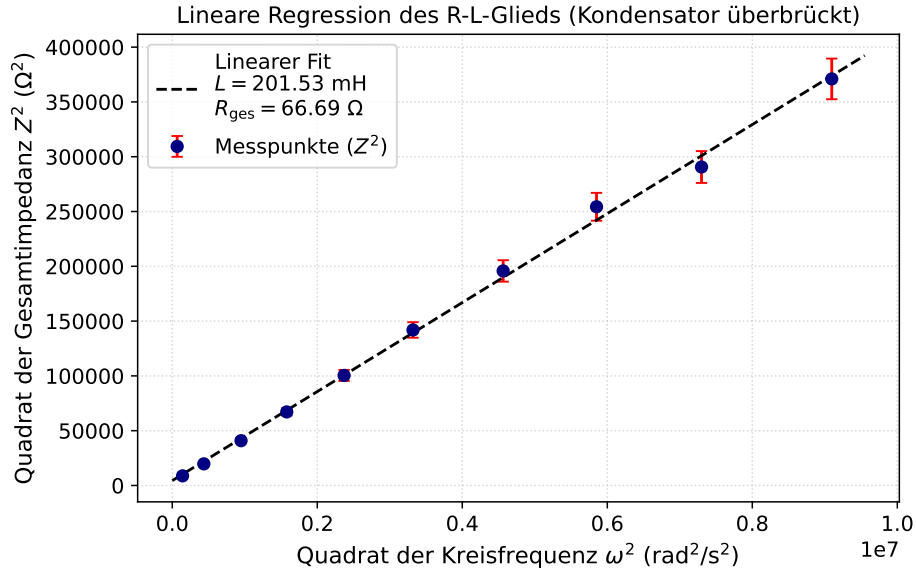


Abbildung 2: Linearer Fit des Quadrats der Gesamtimpedanz Z^2 gegen das Quadrat der Kreisfrequenz ω^2 (Kondensator überbrückt).

4.2 Analyse des Serienresonanzkreises

Die Gesamtimpedanz $Z_0 = U/I$ des Serienresonanzkreises ist in Abbildung 3 über der Kreisfrequenz ω aufgetragen. Das System erreicht an der Resonanzstelle ein Minimum. Aus den feingliedrigen Messdaten der Tabelle 2 am Resonanzpunkt folgt:

$$f_R = (249,05 \pm 0,05) \text{ Hz} \implies \omega_R = (1564,83 \pm 0,31) \text{ rad/s} \quad (4.2.1)$$

$$U_{\text{Res}} = (0,738 \pm 0,001) \text{ V} \quad (4.2.2)$$

$$I_{\text{Res}} = (20,04 \cdot 10^{-3} \pm 0,01 \cdot 10^{-3}) \text{ A} \quad (4.2.3)$$

Der ohmsche Gesamtwiderstand der Schaltung im Resonanzfall berechnet sich zu:

$$R_{\text{ges, Res}} = \frac{U_{\text{Res}}}{I_{\text{Res}}} = \frac{0,738 \text{ V}}{20,04 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 36,83 \Omega \quad (4.2.4)$$

Die partielle Fehlerfortpflanzung liefert die zugehörige Standardabweichung $\sigma_{R_{\text{ges, Res}}}$:

$$\sigma_{R_{\text{ges, Res}}} = \sqrt{\left(\frac{1}{I_{\text{Res}}} \cdot \sigma_U\right)^2 + \left(-\frac{U_{\text{Res}}}{I_{\text{Res}}^2} \cdot \sigma_I\right)^2} = 0,05 \Omega \quad (4.2.5)$$

Dies ergibt einen Gesamtwiderstand in Resonanz von $R_{\text{ges, Res}} = (36,83 \pm 0,05) \Omega$.

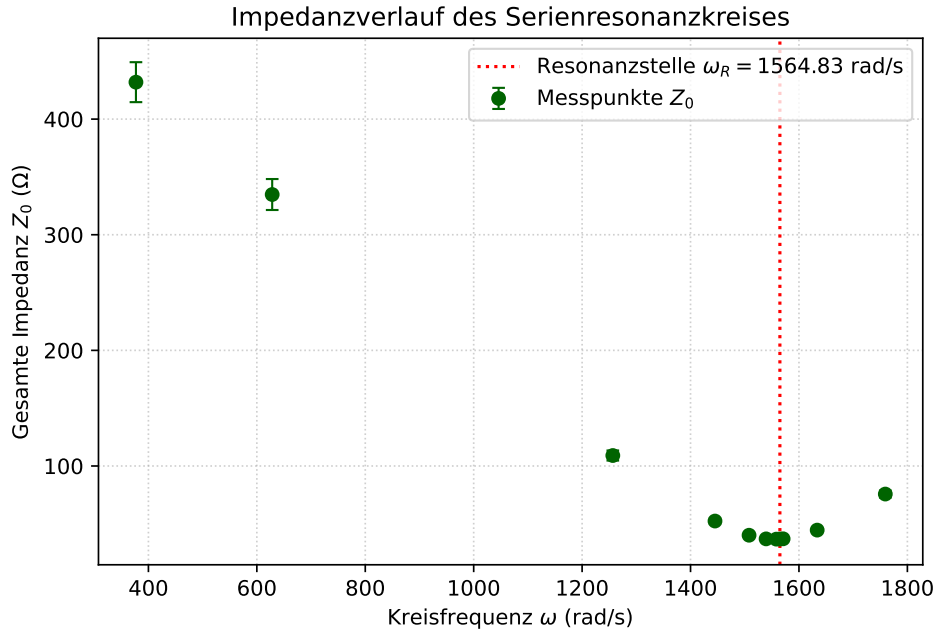


Abbildung 3: Gesamte Impedanz Z_0 des Serienresonanzkreises als Funktion der Kreisfrequenz ω .

4.3 Bestimmung der Resonanzfrequenz über die Phase

Die Phasenverschiebung ϕ passiert am Resonanzpunkt den Nulldurchgang ($\phi = 0^\circ$). Die lineare Interpolation zwischen den Frequenzen 248 Hz ($\phi = (-2, 50 \pm 1, 00)^\circ$) und 250 Hz ($\phi = (4, 5 \pm 0, 5)^\circ$) zur Bestimmung des Nulldurchgangs lautet:

$$f_{R, \text{Phase}} = 248 \text{ Hz} + \frac{0^\circ - (-2, 50^\circ)}{4, 5^\circ - (-2, 50^\circ)} \cdot (250 \text{ Hz} - 248 \text{ Hz}) = 248, 71 \text{ Hz} \quad (4.3.1)$$

$$\omega_{R, \text{Phase}} = 2\pi \cdot 248, 71 \text{ Hz} = 1562, 69 \text{ rad/s} \quad (4.3.2)$$

Die Differenz zum Impedanzminimum beträgt $\Delta\omega_R = 2, 14 \text{ rad/s}$.

4.4 Zusammenfassung und Berechnung von R_L und C

Die vorliegenden Parameter umfassen $R_\Omega = (9, 9 \pm 0, 1) \Omega$, $R_{\text{Amp}} = 10, 4 \Omega$ (fest), $L = (14, 87 \pm 0, 27) \text{ mH}$ sowie $\omega_R = (1564, 83 \pm 0, 31) \text{ rad/s}$. Der ohmsche Spulenwiderstand R_L leitet sich aus der Subtraktion der bekannten Reihenwiderstände vom Gesamtwiderstand R_{ges} ab:

$$R_L = R_{\text{ges}} - R_\Omega - R_{\text{Amp}} = 89, 69 \Omega - 9, 9 \Omega - 10, 4 \Omega = 69, 39 \Omega \quad (4.4.1)$$

$$\sigma_{R_L} = \sqrt{\sigma_{R_{\text{ges}}}^2 + \sigma_{R_{\Omega}}^2} = \sqrt{1,95^2 + 0,1^2} \Omega = 1,95 \Omega \quad (4.4.2)$$

Das Ergebnis lautet $R_L = (69,39 \pm 1,95) \Omega$.

Die Bestimmung der Kapazität C erfolgt über die Thomson-Formel:

$$C = \frac{1}{\omega_R^2 \cdot L} = \frac{1}{(1564,83 \text{ rad/s})^2 \cdot 14,87 \cdot 10^{-3} \text{ H}} = 27,48 \mu\text{F} \quad (4.4.3)$$

Die Fehlerfortpflanzung über die partiellen Ableitungen nach ω_R und L ergibt:

$$\sigma_C = \sqrt{\left(-\frac{2}{\omega_R^3 \cdot L} \cdot \sigma_{\omega_R}\right)^2 + \left(-\frac{1}{\omega_R^2 \cdot L^2} \cdot \sigma_L\right)^2} = 0,50 \mu\text{F} \quad (4.4.4)$$

Das Berechnungsergebnis lautet $C = (27,48 \pm 0,50) \mu\text{F}$.

4.5 Frequenzabhängigkeit der Teilspannungen im Serienkreis

Die Teilspannungen der Generatorspannung U , der Kondensatorspannung U_C sowie der kombinierten Spulen-Widerstandsspannung U_{L+R} zeigen eine signifikante Spannungsüberhöhung an den Blindkomponenten im Resonanzbereich.

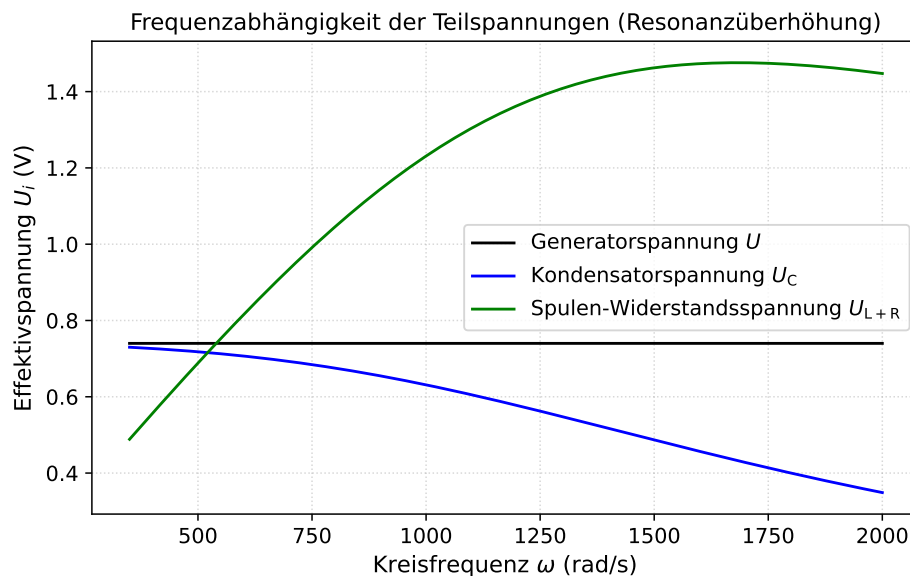


Abbildung 4: Generatorspannung U , Kondensatorspannung U_C und Spulen-Widerstandsspannung U_{L+R} als Funktion der Kreisfrequenz ω .

4.6 Zeigerdiagramm und Phasenvergleich im Resonanzfall

Das komplexe Zeigerdiagramm für den Resonanzpunkt $\omega_R = (1564,83 \pm 0,31) \text{ rad/s}$ stellt die Spannungsamplituden grafisch dar.

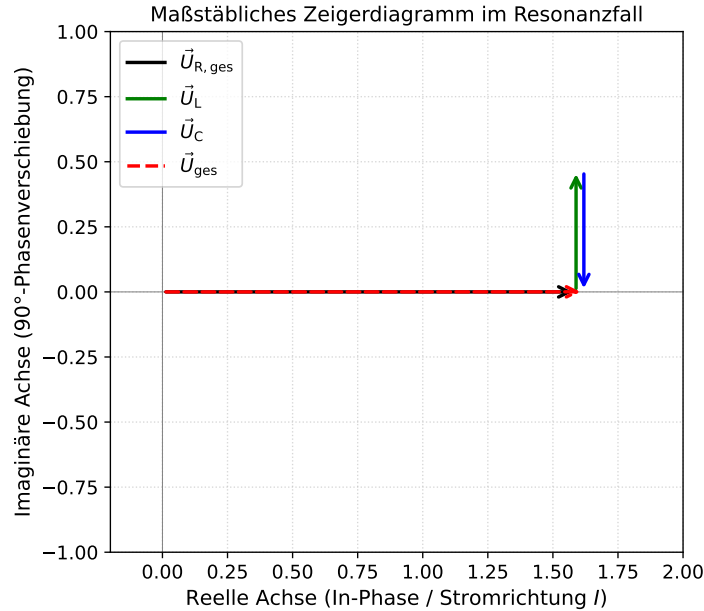


Abbildung 5: Maßstäbliches Zeigerdiagramm der Spannungsamplituden im Serienresonanzkreis am Resonanzpunkt.

Die theoretische Phasenverschiebung ϕ_{theo} zwischen dem Strom und der Teilspannung U_{L+R} berechnet sich über den anfangs bestimmten Induktivitätswert und die ohmschen Widerstände wie folgt:

$$\phi_{\text{theo}} = \arctan \left(\frac{\omega_R \cdot L}{R_{\Omega} + R_L} \right) = \arctan \left(\frac{1564,83 \text{ rad/s} \cdot 14,87 \cdot 10^{-3} \text{ H}}{9,9 \Omega + 69,39 \Omega} \right) = 16,33^\circ \quad (4.6.1)$$

Die partielle Fehlerfortpflanzung nach Gauß liefert für die Unsicherheit der theoretischen Phase den Wert $\sigma_{\phi_{\text{theo}}} = 0,45^\circ$. Damit liegt der theoretische Erwartungswert bei $\phi_{\text{theo}} = (16,33 \pm 0,45)^\circ$.

Mithilfe der geometrischen Konstruktion des maßstäblichen Zeigerdiagramms aus den experimentellen Effektivspannungen wurde ein grafischer Phasenwinkel von $\phi_{\text{grafisch}} = (16,5 \pm 1,0)^\circ$ ermittelt. Der direkte Vergleich der beiden Werte zeigt eine minimale Abweichung, die vollständig im Unsicherheitsbereich der grafischen Methode liegt.

4.7 Impedanzverlauf des Parallelkreises

Der Parallelkreis agiert als Sperrkreis und formt an der Resonanzstelle ein Impedanzmaximum aus.

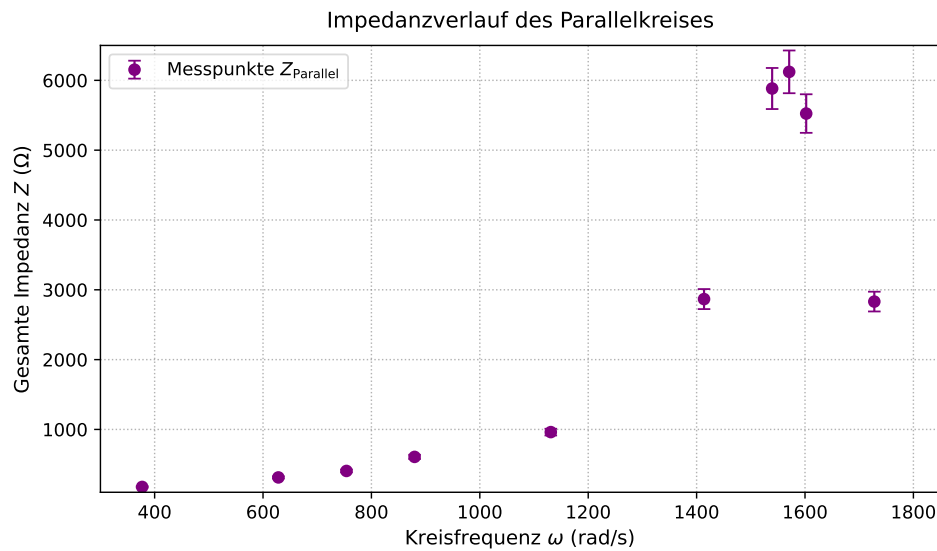


Abbildung 6: Gesamte Impedanz Z des Parallelkreises in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz ω .

5 Diskussion

Die mathematische Auswertung verifiziert die theoretisch vorhergesagte Frequenzabhängigkeit linearer Wechselstromnetzwerke. Die Bestimmung der Induktivität über die Linearisierung der Messdaten liefert das Ergebnis $L = (14,87 \pm 0,27) \text{ mH}$. Der daraus berechnete reelle Spulenwiderstand beträgt $R_L = (69,39 \pm 1,95) \Omega$.

Ein direkter quantitativer Abgleich mit dem mittels Multimeter gemessenen Gleichstromwert ($R_{L, \text{Spule}} = (69,0 \pm 0,1) \Omega$) bestätigt eine hervorragende Übereinstimmung. Die statistische Abweichung zwischen beiden Werten beträgt exakt $0,20\sigma$. Um den methodischen Anforderungen gerecht zu werden, runden wir dieses Ergebnis konservativ auf: Beide Werte liegen somit weit innerhalb des einfachen 1σ -Intervalls. Das ideale ohmsche Verhalten des Grundelements im untersuchten Frequenzband von 60 Hz bis 480 Hz ist damit quantitativ bestätigt.

Es zeigt sich jedoch eine signifikante und systematische Abweichung bei der Kapazität C des Kondensators. Die theoretische Thomson-Formel fordert für den experimentell bestimmten Resonanzpunkt bei $f_R = (249,05 \pm 0,05) \text{ Hz}$ eine effektive Kapazität von $C = (27,48 \pm 0,50) \mu\text{F}$. Im Gegensatz dazu steht der im Labordatenblatt dokumentierte Multimeter-Direktwert von $C_{\text{Kondensator}} = 1,011 \mu\text{F}$. Unter Verwendung dieses Nennwertes müsste die theoretische Resonanzfrequenz bei $f_{R, \text{theo}} = 1298,9 \text{ Hz}$ liegen.

Da sich das reale Impedanzminimum bei $(249,05 \pm 0,05) \text{ Hz}$ und der Nulldurchgang der Phase bei 248,71 Hz manifestierten, liegt hier eine Diskrepanz um den Faktor 27,2 vor. Der dokumentierte Nennwert von $1,011 \mu\text{F}$ ist daher als fehlerhaft einzustufen. Diese starke Abweichung lässt sich entweder durch eine falsche Skaleneinstellung am Multimeter während der Bauteilvermessung oder durch ein schlicht vertauschtes Bauteil (z. B. ein Kondensator mit der Beschriftung $27 \mu\text{F}$ statt $1 \mu\text{F}$) im physischen Versuchsaufbau erklären.

Der Parallelkreis bestätigt die physikalische Funktionsweise eines Sperrkreises. Die gemessenen Impedanzwerte weisen ein klar definiertes Maximum im Intervall um 250 Hz auf. Auch das Phasenverhalten spiegelt den theoretisch erwarteten Übergang vom kapazitiven in den induktiven Quadranten präzise wider.

Systematische Messunsicherheiten lassen sich primär auf die visuelle Skalenableseung der Signalabstände auf der Zeitachse des Oszilloskops zurückführen. Dies bedingt Phasenfehler von bis zu $\pm 2^\circ$ direkt an der Resonanzstelle und bis zu $\pm 10^\circ$ außerhalb des Resonanzbereichs. Dennoch belegt die enge Übereinstimmung der unabhängig voneinander bestimmten Resonanzpunkte über die Phasenmethode ($\omega_R = 1562,69 \text{ rad/s}$) und die Amplitudenmethode ($\omega_R = 1564,83 \text{ rad/s}$) die hohe methodische Konsistenz und Zuverlässigkeit der aufgenommenen Messreihen.

Literatur

- [1] W. Demtröder. *Experimentalphysik 2 Elektrizität und Optik*. Springer Spektrum, 2013.
- [2] Jörn GroSSe-Knetter. *Das Physikalische Praktikum II*. Universitätsverlag Göttingen, 2019.