



# Grundpraktikum II

## E4 Wechselstromwiderstände

Julien Kluge

15. Januar 2016

**Student:** Julien Kluge [REDACTED]  
julien@physik.hu-berlin.de

**Partner:** [REDACTED]  
[REDACTED]

**Betreuer:** Dr. S. Kalusniak

**Raum:** 314

**Messplatz:** Fensterplatz, links

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsdurchführung</b>	<b>2</b>
2.1	Überprüfung des Frequenzgebers . . . . .	2
2.2	Kapazität/Induktivität in AC-Reihe . . . . .	2
2.3	Resonanzverhalten des Schwingkreises . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Auswertung/Fehlerberechnung</b>	<b>2</b>
3.1	Kapazitätsbestimmung . . . . .	2
3.2	Induktivitätsbestimmung . . . . .	3
3.3	Schwingkreis . . . . .	5
3.3.1	Spannungsüberhöhung . . . . .	5
3.3.2	Phasenverschiebung . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Fehler-/Ergebniseinschätzung</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Anlagen</b>	<b>8</b>
5.1	Abbildungen . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>8</b>

## 1 Abstract

In diesem Versuch wurde untersucht wie sich Kapazitive und Induktive Bauteile als Widerstände in Wechselstromkreisen verhalten. Genauer wurden dabei Messungen über veredene Schaltungen mit Widerständen, Kondensatoren und Spulen untersucht. Dabei ergaben sich folgende Kennwerte:

Kapazität Kondensator (berechnet)	$(86.4 \pm 1.2)\text{nF}$
Kapazität Kondensator (gemessen)	$(93.7 \pm 2.9)\text{nF}$
Induktivität Spule	$(0.536 \pm 0.010)\text{H}$
Widerstand Spule (berechnet)	$(149 \pm 4)\Omega$
Widerstand Spule (gemessen)	$(150.1 \pm 1.3)\Omega$
Resonanzfrequenz (berechnet)	$(740 \pm 9)\text{Hz}$

## 2 Versuchsdurchführung

(Zur weiteren Kontrolle wurden von die Kapazität des Kondensators und Widerstand von der Spule über ein Multimeter bestimmt.)

### 2.1 Überprüfung des Frequenzgebers

Als erstes wurden bei fünf ausgewählten äquidistanten Frequenzen Messungen vorgenommen um einerseits den Tonfrequenz-RC-Generators zu überprüfen und andererseits eine Abschätzung der zufälligen Unsicherheit der Selbigen zu bekommen. Dabei wurden jeweils drei Messungen vorgenommen und die daraus resultierende Frequenz abgeschätzt. Es ergibt sich eine Unsicherheit von circa  $\pm(40 + d\text{gts.})\text{Hz}$

### 2.2 Kapazität/Induktivität in AC-Reihe

Die zweite und dritte Messreihe ging über einen in Reihe geschalteten Kondensator bzw. Spule. Dabei konnte (mithilfe der Effektivwerte der Spannung) die Kapazität über folgende Formel<sup>1</sup> bestimmt werden:

$$I_C(f) = 2\pi \cdot C \cdot U_g \cdot f \quad (1)$$

Es galt die Stromstärke  $I_C$  über den Zusammenhang  $\frac{U}{R_p}$  zu bestimmen. Für die Spule gab es einen Zusammenhang<sup>1</sup> der gleichzeitig die Induktivität und Widerstand der Spule bestimmen konnte:

$$R_s^2(f) = (2\pi \cdot L \cdot f)^2 + R^2 \quad (2)$$

Hier galt es dazu noch den Widerstand  $R_s$  über den Zusammenhang  $\frac{U_g}{I_L}$  zu bestimmen wobei die Stromstärke analog zu oben bestimmt wurde.

### 2.3 Resonanzverhalten des Schwingkreises

Als viertes wurde ein Schwingkreis aus Widerstand, Kondensator und Spule untersucht. Dabei wurde durch ändern der Frequenz die Spannungsüberhöhung berechnet und die Phasenverschiebung bestimmt. Dabei konnte durch grafische Darstellung die Rolle der Frequenzabhängigkeit der Impedanzen von Spule und Kondensator gezeigt werden.

## 3 Auswertung/Fehlerberechnung

### 3.1 Kapazitätsbestimmung

Wie oben beschrieben wurden die Messreihen aufgenommen und grafisch aufgetragen. Im Folgenden wurde nach (1) eine Regression durchgeführt. Dabei wurde die Formel leicht mit dem Fitparameter  $A$  verändert zu:

$$I_C(f) = 2\pi \cdot A \cdot f$$

Somit kann mit  $C = \frac{A}{U_g}$  die Kapazität ermittelt werden.

**U<sub>g</sub> konstant?**

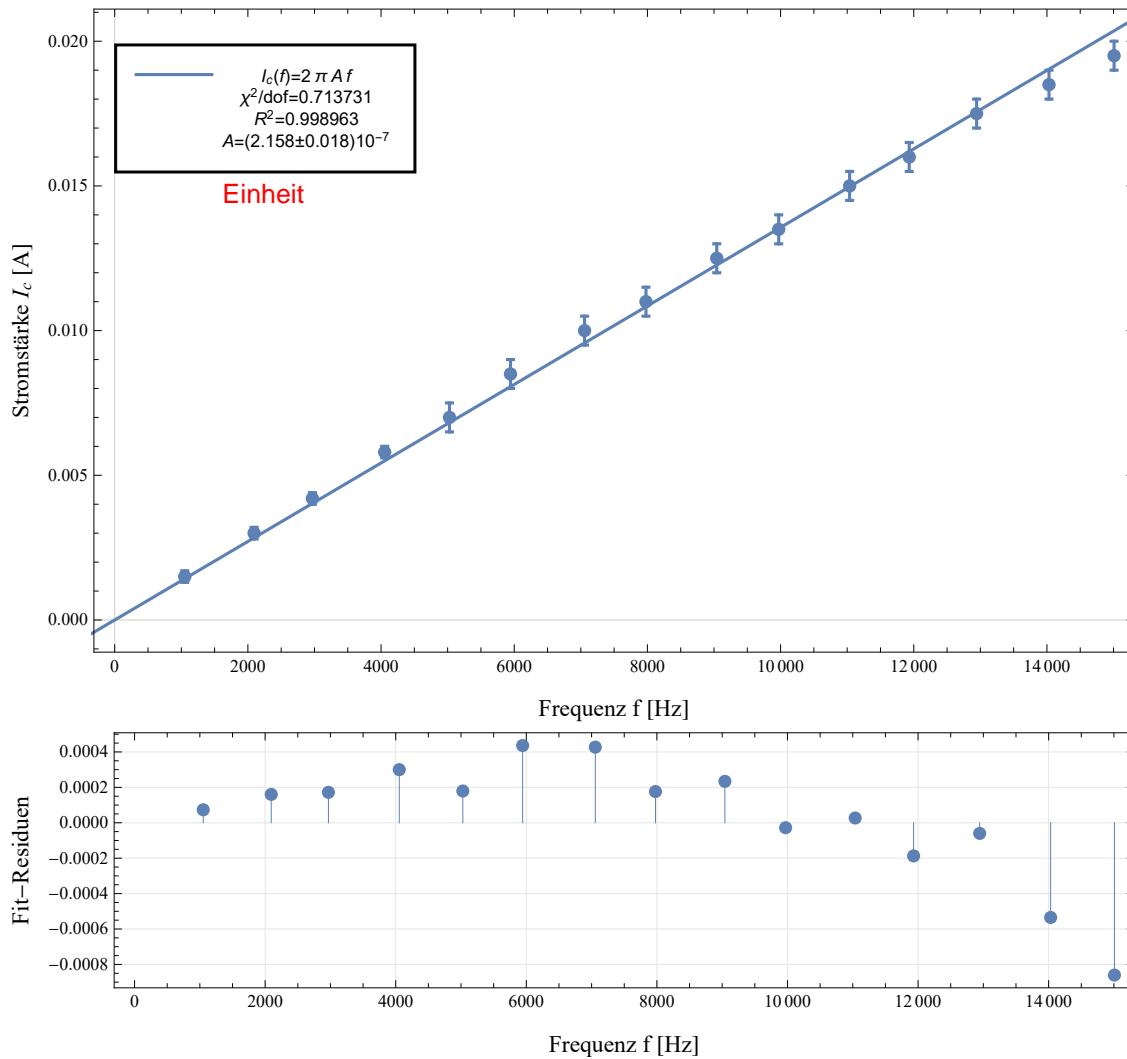


Abbildung 1: Abhängigkeit des Stroms  $I_C$  zur Frequenz und Fit nach Formel (1).

Mithilfe der Gaußschen Fehlerfortpflanzung ergibt sich aus dem ermittelten  $A$  die Kapazität zu dem Wert:

$$C = (86.4 \pm 1.2) \text{nF}$$

### 3.2 Induktivitätsbestimmung

Wie in Formel (2) gezeigt werden auf einen Graph die  $R_s^2$  und  $f^2$  aufgetragen und es wird nichtlinear gefittet wobei die Ergebnisse abzulesen sind.

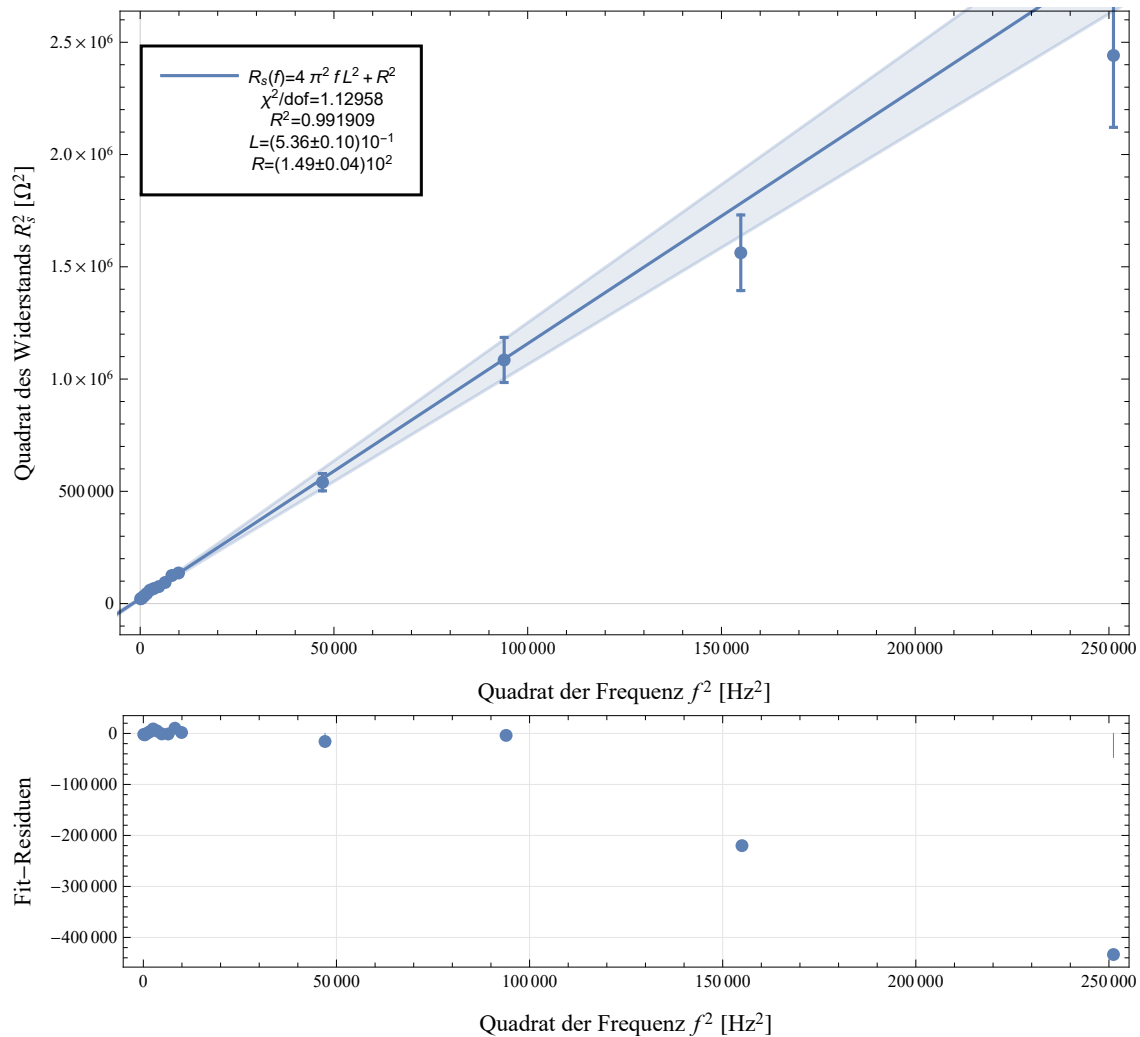


Abbildung 2: Abhängigkeit des Widerstandsquadrat  $R_s$  zur Frequenz  $f$  im Quadrat und Fit nach Formel (2). (Vertrauensintervall:  $2\sigma$ )

Es ergeben sich die Folgenden Werte:

$$\begin{aligned}
 & \text{lieber vom Bereich } 0\text{-}10 \text{ kHz}^2 \\
 L &= (0.536 \pm 0.010)\text{H} \\
 R &= (149 \pm 4)\Omega
 \end{aligned}$$

Da sich viele Werte im Bereich von  $[0 - 10]\text{kHz}$  befinden und dieser in diesem Graph sehr klein ist, befindet sich im Anhang eine Vergrößerung dieses Bereiches. Es wurde ebenfalls eine weitere Regression mit nur diesen Werten durchgeführt, um erneut den Widerstand zu bestimmen. Erstaunlicherweise verändert diesen Wert recht stark zu:

$$R = (144 \pm 4)\Omega$$

Um den anderen Werten aber den Sinn nicht abzuerkennen (welche allesamt systematisch unter der Regression sind und damit den Widerstand haben steigen lassen) wird der erstere Wert als Ergebnis angegeben und der Zweite bedarf weiterer Diskussion.

### 3.3 Schwingkreis

#### 3.3.1 Spannungsüberhöhung

Die Spannungsüberhöhung  $\rho$  ist nach dem Script<sup>1</sup> mit  $\frac{U}{U_g}$  definiert. Trägt man diese gegen die Frequenz auf entsteht folgende Abbildung:

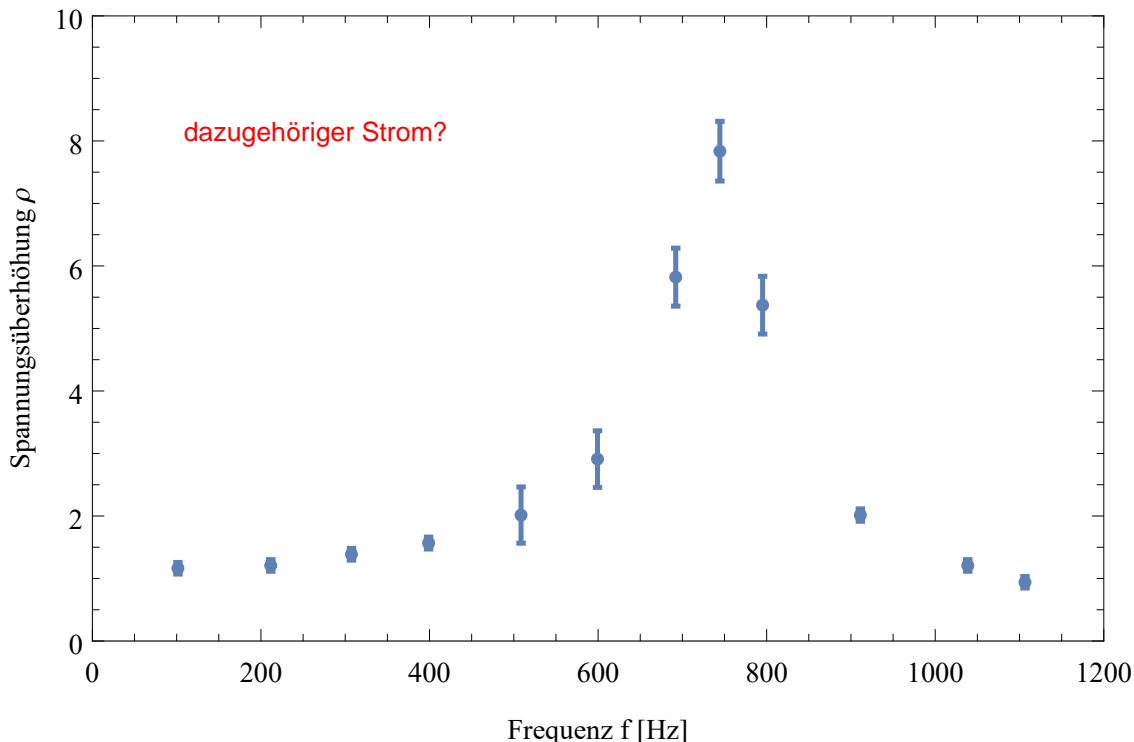


Abbildung 3: Spannungsüberhöhung in Abhängigkeit zur Frequenz  $f$

Es ergibt sich die Spannungsüberhöhung zu

$$\rho = 7.8 \pm 0.5$$

Damit kann der Gesamtwiderstand im Resonanzfall berechnet werden mit

$$R = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{\rho} \quad (3)$$

$$= (337 \pm 22)\Omega \quad (4)$$

Es fällt auf, dass das Maximum in etwa bei 740Hz liegt. Diese Überhöhung nennt sich Resonanzfrequenz und entspricht dem Punkt, in dem sich die Impedanzen des Kondensators und Spule gegenseitig aufheben (betragsmäßig gleich sind) und damit der Widerstand minimal wird wodurch die Spannung maximal wird. Dabei gibt es zwei Vergleichswerte. Einerseits wurde manuell versucht die Resonanzfrequenz einzustellen wobei ein Wert von circa 739Hz gefunden wurde und andererseits über die Berechnung nach der Formel<sup>1</sup>

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (5)$$

$$= (740 \pm 9)\text{Hz} \quad (6)$$

Somit kann man die Resonanzfrequenz mit Unsicherheit bei circa 740Hz annehmen.

## 3.3.2 Phasenverschiebung

Mithilfe des Oszilloskopes konnte ebenfalls die Phasenverschiebung gemessen werden. Dabei gilt auch hier, dass die Datenpunkte in Abhängigkeit von der Frequenz aufgetragen werden können. Man kann diese Daten benutzen um erneut die Resonanzfrequenz zu bestätigen indem man eine Regression nach dem Arctangens durchführt mit

$$\phi(f) = \arctan(a \cdot (f - f_R)) \quad (7)$$

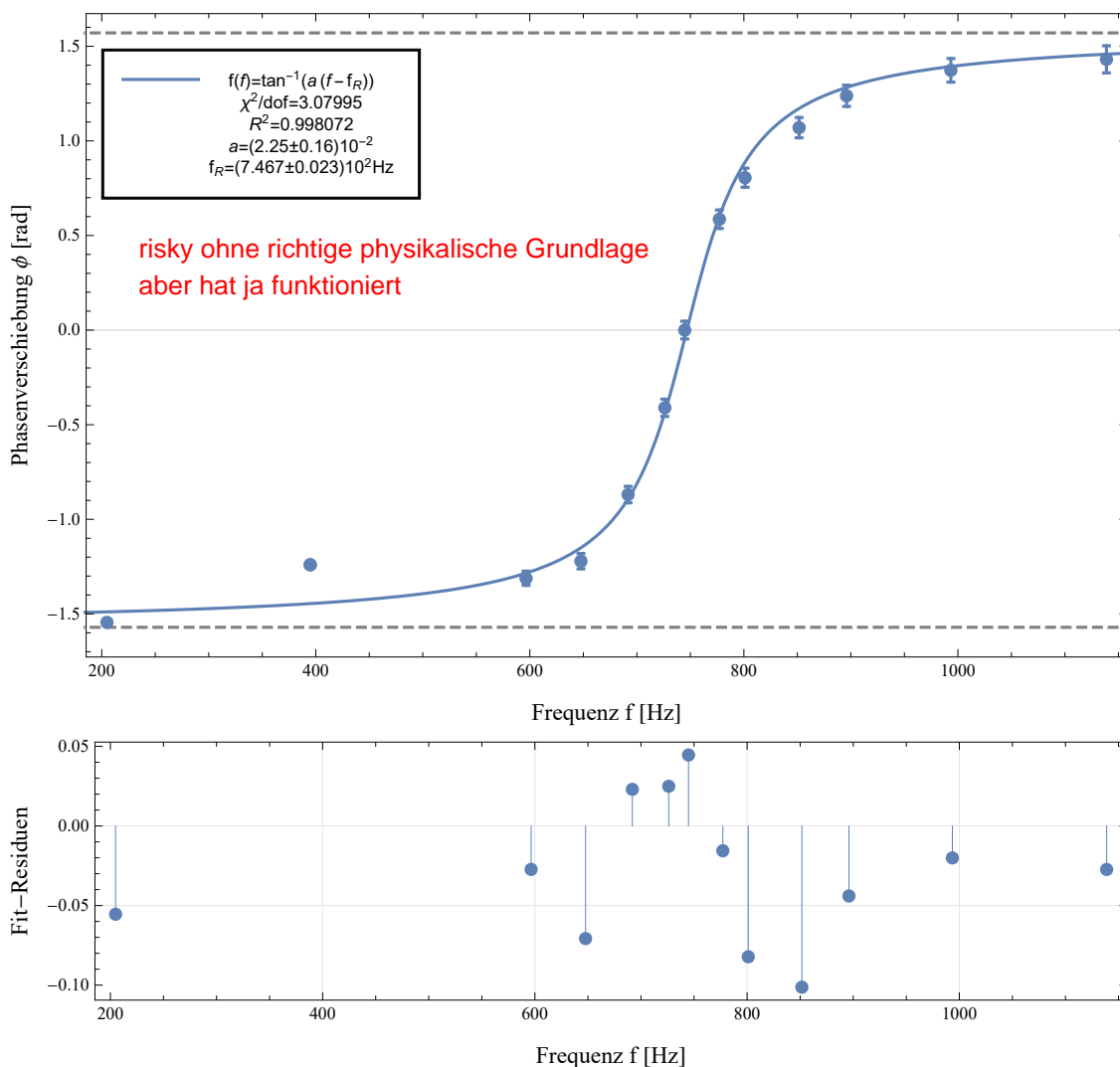


Abbildung 4: Phasenverschiebung in Abhängigkeit zur Frequenz und Fit nach (7) mit gestrichenem Ausreißer (zweiter Wert bei 400Hz). Makierte Werte  $\pm \frac{\pi}{2}$  mit gestrichelten Linien

Es ergibt sich die ~~Grenzfrequenz~~ zu

$$f_R = (746.7 \pm 2.3)\text{Hz}$$

das liegt in der Nähe der bisher bestimmten Werte und kann als Bestätigung gesehen

werden. Der Verlauf des Graphen erklärt sich leicht über die Formeln für die Impedanzen

$$Z_{ind.} = i \cdot \omega \cdot L$$
$$Z_{cap.} = -\frac{i}{\omega \cdot C}$$

Solang die Frequenz relativ niedrig ist, dominiert der Kondensator den Stromkreis und die Spannung eilt dem Strom mit  $90^\circ$  hinterher. Sobald die Frequenz aber über die Resonanzfrequenz steigt und größer wird, verliert der Kondensator Einfluss (invers eingehendes  $\omega$ ) und die Induktivität wird die dominierende Impedanz wodurch die Spannung dem Strom um  $90^\circ$  vorausleitet.

## 4 Fehler-/Ergebniseinschätzung

Zur Ergebniseinschätzung lassen sich die direkten Messungen über das Multimeter heranziehen. Für den Widerstand der Spule wurden  $(150.1 \pm 1.3)\Omega$  gemessen was in den Fehlergrenzen gut mit den ermittelten Größen übereinstimmt. Für die Kapazität des Kondensators allerdings wurden  $(93.7 \pm 2.9)\text{nF}$  gemessen. Das ist auffällig weit entfernt und weist auf einen unbeachteten Fehler hin.

Die größte Fehlerquelle war wohl das Ablesen der div's auf dem Oszilloskop. Dies war nur sehr ungenau möglich und war mit öfteren Umschalten der Messbereiche verbunden, welches sich in vergangenen Versuchen oft als Fehlerquelle gezeigt hat. Ebenfalls nicht beachtet waren Fremdwiderstände von den Kabeln, Kontakten oder Innenwiderstände der Messgeräte/des Oszilloskopes.

Auffällig sind auch die Residuen der Regression für die Kapazität. Sie scheinen einer Art systematischen Fehler zu unterliegen der allerdings vollkommen unbekannt ist und näher untersucht werden sollte.

Für die Induktion gilt zu untersuchen wieso die Werte für die hohen Frequenzen strikt unter der Gerade liegen und in wie weit das die Regression beeinflusst hat. Es könnte sich bei den letzten beiden um Messausreißer handeln, die dementsprechend raus gestrichen werden könnten um dann eine klarere Regression zu bekommen, welche eventuell das Regressionsergebnis der Werte von 0 bis 10kHz rechtfertigt.

Die Resonanzfrequenz scheint innerhalb der Unsicherheit gut um 740Hz zu liegen und die Frequenzabhängigkeit des Kondensators und der Spule wurde, bis auf einen Messausreißer, gut gezeigt.



## 5 Anlagen

### 5.1 Abbildungen

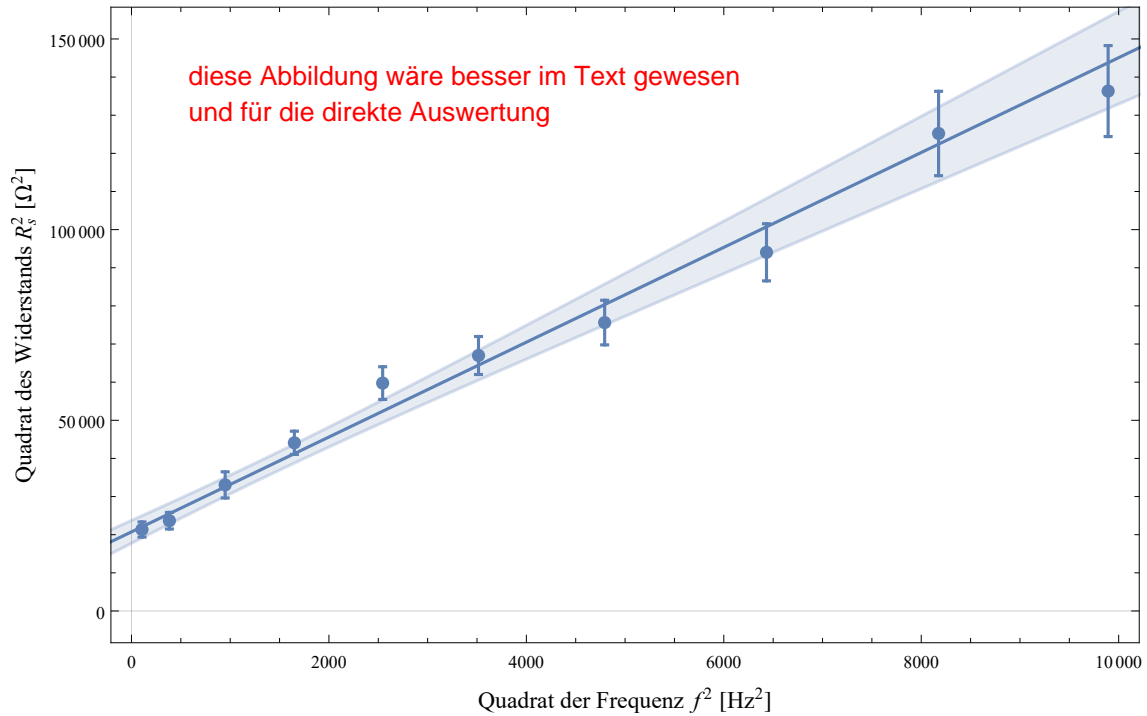


Abbildung 5: Vergrößerung des Bereichs von 0 bis 10kHz der Abbildung 2.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Elektrodynamik und Optik*, 2010
- [2] Dr. Uwe Müller: *Physikalisches Grundpraktikum: Einführung in die Messung, Auswertung und Darstellung experimenteller Ergebnisse in der Physik*, 2007