

LABOR 3.SCHULSTUFE

SERIENSCHALTUNG RLC

RL-, RC-, RLC- Sprungantwort, Serienresonanz

Übersicht

1	Laborequipment und Material	2
2	Ziel der Aufgabenstellung	3
3	Messtechnische Bestimmung von R	4
3.1	Ohmmeter	4
3.2	Strommessung	4
4	Messtechnische Bestimmung von $R_{ESR,L}$ (ESR der Induktivität)	6
5	Messtechnische Bestimmung von C	7
5.1	Variante 1: Multimeter	7
5.2	Variante 2: Sprungantwort C-R	8
5.3	Variante 3: Sprungantwort R-C	12
6	Messtechnische Bestimmung von L	14
6.1	Simulation und Messung der Resonanzkurve	14

*

1 Laborequipment und Material

Beschaffe folgendes Equipment zur Durchführung der Experimente (Tabelle 1.1)

Tabelle 1.1: Equipmentübersicht

Bezeichnung	Anzahl	Modell	Hinweise
Frequenzgenerator	1	Agilent 33220A	
Oszilloskop	1	Rigol DS1000X	Vorteil: Ethernet-fähig
Multimeter	1	Fluke 179	
labBox RLC-Serie	1	Version 1	Variante beachten!
Widerstandsdekade	1	wählbar	Muss zumindest $100 \Omega \leq R \leq 100 \text{ k}\Omega$ abdecken
T-Stück BNC	1	-	
Kabel BNC zu Banane	2	-	

Es existieren verschiedene Varianten der labBox_RLC-Serie! Die Variante kann anhand des Aufklebers an der Box festgestellt werden und ist im Protokoll zu dokumentieren!

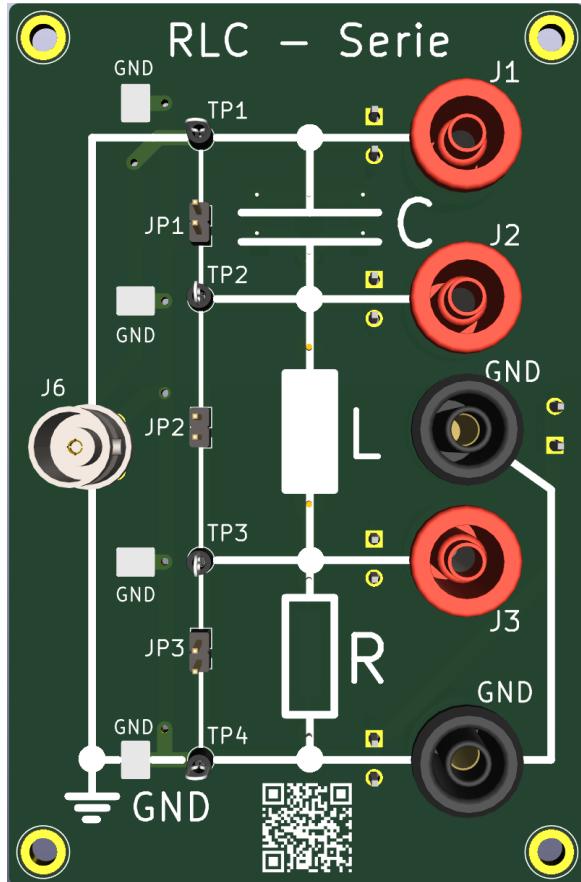


Abbildung 1.1: labBox RLC-Serie

2 Ziel der Aufgabenstellung

Ziel ist, das Verhalten von RL, RC und RLC Serienschaltungen im Zeit- und Frequenzbereich zu verstehen. Dazu werden:

- die unbekannten Bauteilwerte R, L, C der labBox mit unterschiedlichen Messmethoden bestimmt und die Ergebnisse verglichen und diskutiert
- das Resonanzverhalten einer RLC Serienschaltung untersucht.

3 Messtechnische Bestimmung von R

3.1 Ohmmeter

Wir nutzen das Multimeter zur Widerstandsmessung (Schalterstellung “Ohm”). Dabei speist das Multimeter einen kleinen, bekannten Gleichstrom über die Messleitungen ein und misst den dadurch an der Messstelle (Bauteil) entstehenden Spannungsabfall.

Tabelle 3.2: Board Konfiguration: Bestimmung von R mittels Ohmmeter

Bezeichnung	Konfiguration	Hinweis
JP3	offen	R darf nicht kurzgeschlossen sein (Messobjekt)
JP1, JP2	egal	
J3/TP3 \Rightarrow GND		Fluke 179, Messfunktion: Widerstand, Messbereich wählen
Zusatzbedingung		keine anderen Quellen von außen aktiv bzw. angesteckt

Vom digitalen Multimeter (DMM) wurde ein Messwert von $103,1 \Omega$ abgelesen. Mit der aus dem Datenblatt des Multimeters entnommenen Genauigkeit kann eine Messunsicherheit von $\frac{103,1}{100} \cdot 0,9 + 2 \cdot 0,1 = 1,1279 \Omega$ ermittelt werden. Diese Zahl wird auf eine Nachkommastelle gerundet, weil der Messwert selbst nur auf eine Nachkommastelle (und nicht genauer) bekannt ist. Die Messunsicherheit beträgt also $1,1 \Omega$. Das vollständige Messergebnis besteht aus Messwert und Messunsicherheit und ist in Tabelle 3.6 angegeben.

Tabelle 3.3: Messwerttabelle: Bestimmung von R mittels Ohmmeter

Größe	Messwert	Messbereich	Genauigkeit	Auflösung	Messergebnis
R	$103,1 \Omega$	600Ω	$\pm (0,9 \% \text{ v.M.} + 2 \text{ counts})$	$0,1 \Omega$	$103,1 \pm 1,1 \Omega$

3.2 Strommessung

Wir speisen mit einer externen Spannungsquelle (Netzteil) eine Gleichspannung ein. Gemessen wird der resultierende Strom im Widerstand mittels Amperemeter. Wir können dann aus bekannter Spannung (eingestellt) und gemessenem Strom mit dem ohmschen Gesetz den Widerstandswert berechnen.

Tabelle 3.4: Board Konfiguration: Bestimmung von R mittels Strommessung

Bezeichnung	Konfiguration	Hinweis
JP3	offen	R darf nicht kurzgeschlossen sein (Messobjekt)
JP1, JP2	egal	
Amperemeter in Serie zu R		Fluke 179, Messfunktion: Gleichstrom
Zusatzbedingung		keine anderen Quellen von außen aktiv bzw. angesteckt

Die Verlustleistung im Widerstand soll auf 100 mW begrenzt werden. Gleichzeitig soll der gewählte Messbereich gut ausgenutzt werden.

Nachdem der Widerstandswert bereits in Abschnitt 3.1 ermittelt wurde, ist die Größenordnung bereits bekannt (in meinem Fall $R \approx 100\Omega$). Weil die maximale Verlustleistung im Widerstand gegeben ist, haben wir eine obere Grenze der eingespeisten Spannung von ca. $U_{eingestellt, MAX} = \sqrt{P_v \cdot R} \approx 3\text{ V}$. Damit erwarten wir einen Strom von ca. 30 mA. Wir wählen daher den Messbereich 60 mA.

Tabelle 3.5: Messwerttabelle: Bestimmung von R mittels Strommessung

Größe	Messwert	Messbereich	Genauigkeit	Auflösung	Messergebnis
I	20 mA	60 mA(DC)	$\pm (1\% \text{ v.M.} + 3 \text{ counts})$	0,01 mA	$10,8 \pm 1,1 \text{ mA}$

Am externen Netzteil wurde eine Gleichspannung von 3V eingestellt. Es ist vom Gerät kein Datenblatt vorhanden, aber wir können die Genauigkeit anhand der angezeigten Stellen abschätzen (wir könnten auch messen, dies ist hier aber nicht die Idee).

Tabelle 3.6: Eingestellte Spannung: TODO

Größe	eingestellter Wert	Genauigkeit	Auflösung
U	20 mA	$\pm (1\% \text{ v.M.} + 3 \text{ counts})$	

4 Messtechnische Bestimmung von $R_{ESR,L}$ (ESR der Induktivität)

Mittels Ohmmeter wird der ESR (*equivalent series resistance*) der Induktivität L gemessen. Dies ist möglich weil man sich eine **reale** Spule durch eine Ersatzschaltung vorstellen kann. Diese Ersatzschaltung ist eine Reihenschaltung aus idealer Spule und deren ESR. Ein Ohmmeter misst den ohmschen Widerstand indem ein kleiner Gleichstrom eingespeist und die Spannung am Bauteil gemessen wird. Bei einer solchen DC Messung ($f = 0 \text{ Hz}$) besitzt die ideale Spule einen Blindwiderstand von $X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L = 0 \Omega$. Damit hat die ideale Spule bei einer DC Messung keinen Einfluss auf den ohmschen Widerstand der Ersatzschaltung (verhält sich wie Kurzschluss) und der ESR kann gemessen werden.

Tabelle 4.7: Board Konfiguration: Bestimmung von $R_{ESR,L}$

Bezeichnung	Konfiguration	Hinweis
JP1	offen	
JP2	offen	
J2/TP2 \Rightarrow J3/TP3	Fluke 179, Messfunktion: Widerstand, Messbereich: 600Ω	

Tabelle 4.8: Messwerttabelle: Bestimmung von $R_{ESR,L}$

Größe	Messwert	Genauigkeit	Auflösung	Messergebnis
$R_{ESR,L}$	$15,5 \Omega$	$0,9 \% \text{ v.M.} + 2 \text{ counts}$	$0,1 \Omega$	$15,5 \pm 0,3 \Omega$

5 Messtechnische Bestimmung von C

5.1 Variante 1: Multimeter

Das Multimeter wird in die Messfunktion “Kapazität” geschaltet um den Wert C zu messen.

Tabelle 5.9: Board Konfiguration: Bestimmung von C

Bezeichnung	Konfiguration	Hinweis
JP1	offen	
JP2	offen	
J1/TP1 \Rightarrow J2/TP2		Fluke 179, Messfunktion: Kapazität, Messbereich: 1000 nF

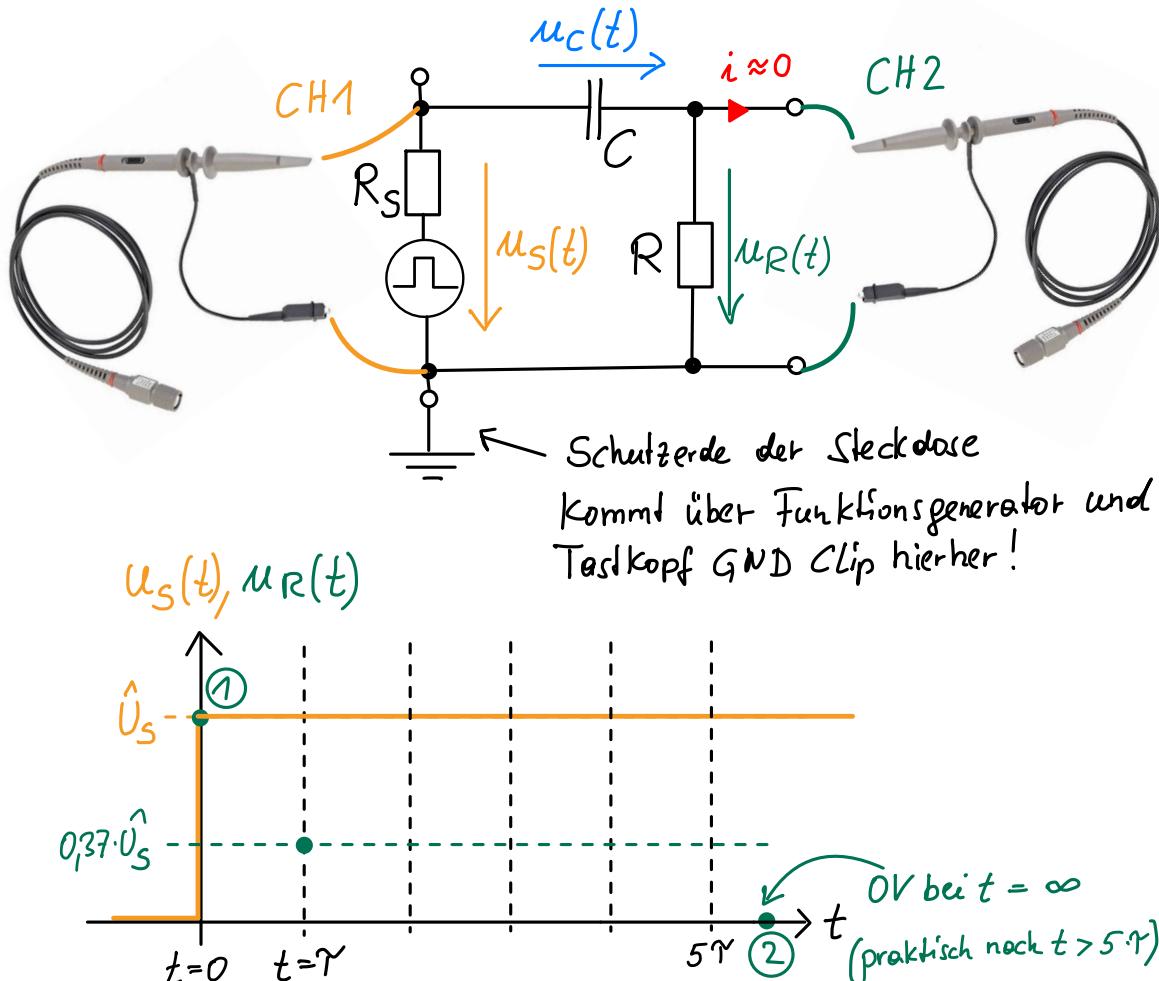
Tabelle 5.10: Messwerttabelle: Bestimmung von C

Größe	Messwert	Genauigkeit	Auflösung	Messergebnis
C	10 nF	1,2 % v.M. + 2 counts	1 nF	$10,0 \pm 2,1$ nF

5.2 Variante 2: Sprungantwort C-R

Es wird ein Sprung an den Hochpass gelegt, τ gemessen. Aus bekanntem R und τ wird C berechnet.

Theoretische Überlegungen



$t = 0 : u_S(t)$ springt \rightarrow große Spannungsänderung an C

$$i_C(t) = C \cdot \frac{\Delta u_C(t)}{\Delta t} \quad \begin{aligned} \rightarrow C &= \text{Kurzschluss} \\ \Rightarrow CH1 &= CH2 \end{aligned} \quad \left. \right\} \textcircled{1}$$

$t = \infty : u_S(t)$ schon lange am gleichen Wert, keine Änderung

\rightarrow keine Änderung $\hat{=} \text{Gleichspg. (DC)}$

$\rightarrow C = \text{Leerlauf (offen)}$

$$\Rightarrow CH2 = 0V$$

$t = \tau = R \cdot C$: nach ① wird sich C laden
 3-Punkt Ladekurve immer eine e Funktion

$$\downarrow \quad u_C(t) = \hat{U}_S \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Plausibilität prüfen fürs Verständnis

- $u_C(t=0) = \hat{U}_S \cdot (1 - e^0) = \hat{U}_S \cdot (1 - 1) = 0V$
 Kondensator bei $t=0$ ungeladen ✓

- $u_C(t=\infty) = \hat{U}_S \cdot (1 - e^{-\infty}) = \hat{U}_S \cdot (1 - 0) = \hat{U}_S$ ✓
 Kondensator nach langer Zeit auf \hat{U}_S geladen ✓

- $u_C(t=\tau) = \hat{U}_S \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\tau}}) = \hat{U}_S \cdot (1 - e^{-1}) =$
 $= \hat{U}_S \cdot (1 - \frac{1}{e}) = \hat{U}_S \cdot (1 - 0,37) =$
 $= \hat{U}_S \cdot 0,63$

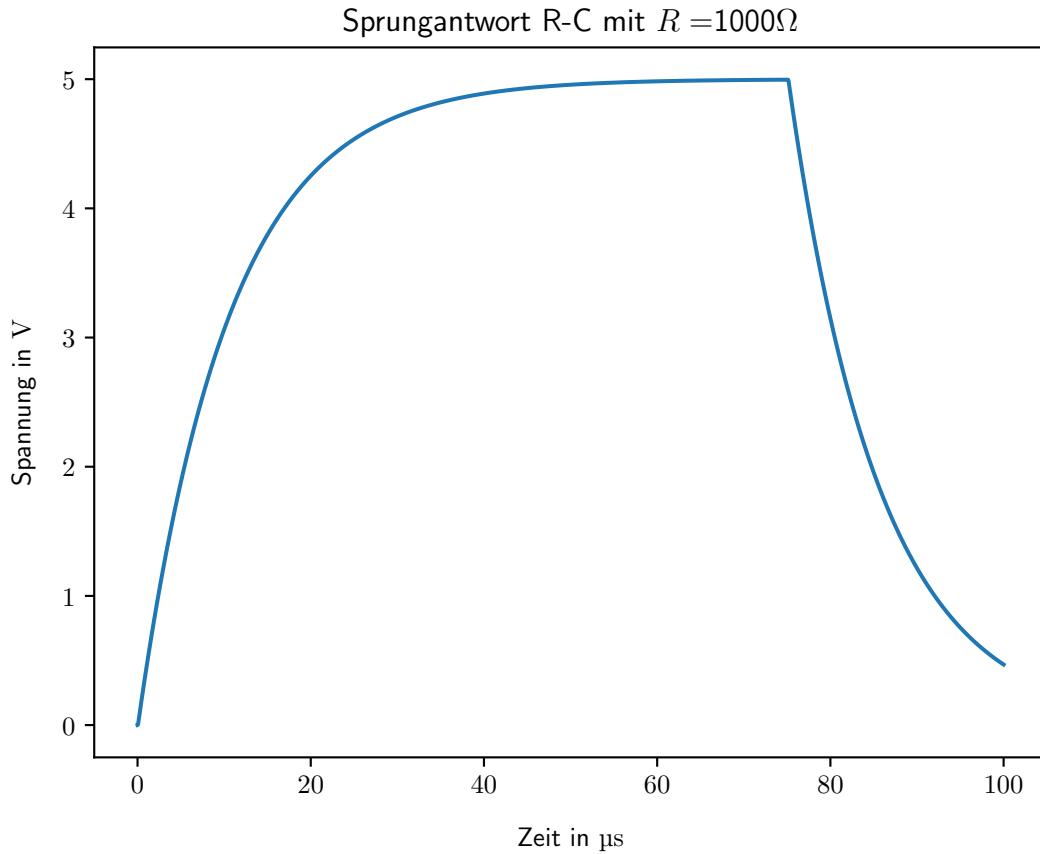
CH2 muss $u_R(t)$, nicht $u_C(t)$!

Kirchhoff: $-u_S(t) + u_C(t) + u_R(t) = 0$

$$\Rightarrow u_R(t) = u_S(t) - u_C(t)$$

- ① $u_C = 0 \Rightarrow u_R = \hat{U}_S$ } bestätigt, was wir oben ohne Formel
- ② $u_C = \hat{U}_S \Rightarrow u_R = 0$ } nur durch Nachdenken gemacht haben!
- ③ $u_C = \hat{U}_S \cdot 0,63 \Rightarrow u_R = \hat{U}_S - \hat{U}_S \cdot 0,63 = \hat{U}_S \cdot 0,37$

Simulation



Messung

Tabelle 5.11: Board Konfiguration: Bestimmung von C mittels Sprungantwort

Bezeichnung	Konfiguration	Hinweis
JP1	offen	
JP3	offen	
JP2	geschlossen	L kurzgeschlossen
Funktionsgenerator \Rightarrow BNC Kabel \Rightarrow J1/BNC	Puls: 0 bis 10Vp	

Tabelle 5.12: Messwerttabelle: Bestimmung von C mittels Sprungantwort

Größe	Messwert	Genauigkeit	Auflösung	Messergebnis
C	10 nF	1,2 % v.M. + 2 counts	1 nF	$10,0 \pm 2,1$ nF

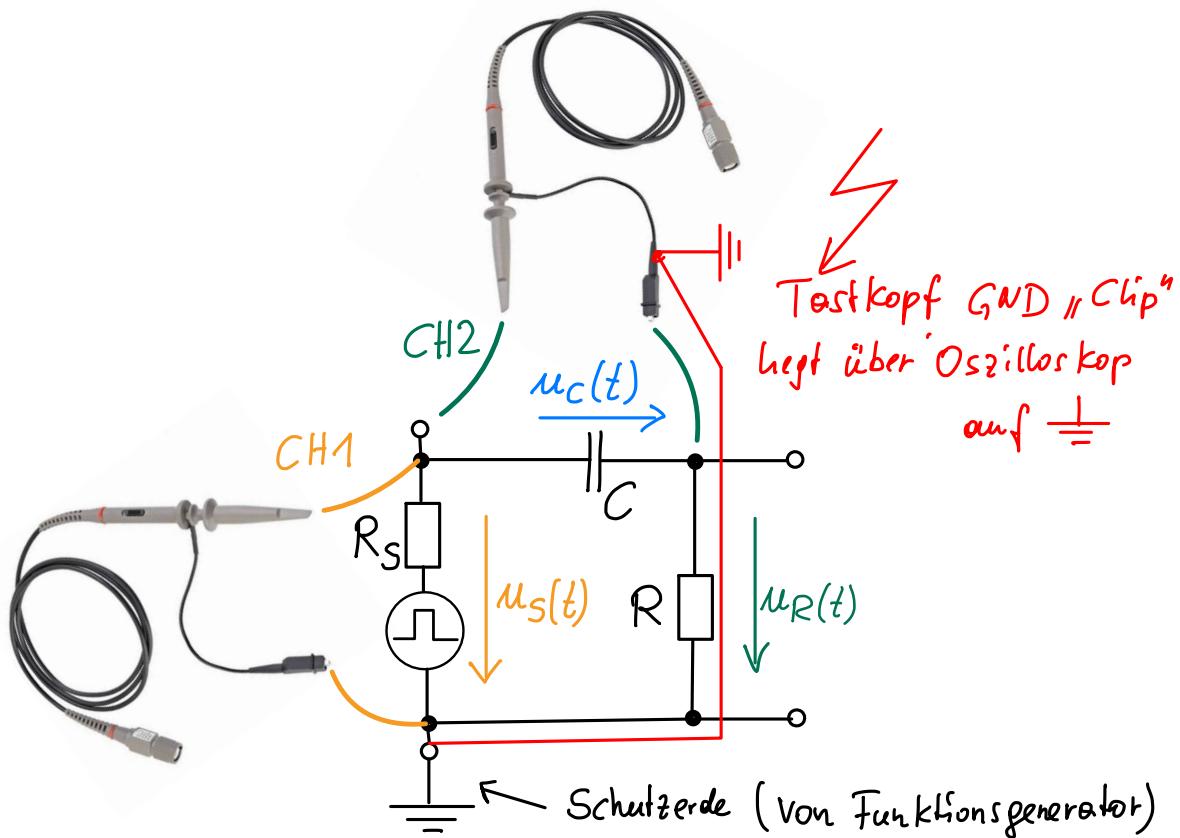
TODO: Osziergebnis Analysieren / rausschreiben

5.3 Variante 3: Sprungantwort R-C

Es wird ein Sprung an den Tiefpass gelegt, τ gemessen. Aus bekanntem R und τ wird C berechnet.

Theoretische Überlegungen

Die erwartete Kurvenform ergibt sich aus den Überlegungen wie in Abschnitt 5.2. Die Spannung an C kann aber **NICHT** "direkt über C " gemessen werden. Das heißt: Ein Tastkopf bzw. Koax-Kabel zwischen J1/TP1 und J2/TP2 würde über das Oszilloskop bzw. den Frequenzgenerator die Schutzerde (GND) an den Punkt J2/TP2 legen, womit R kurzgeschlossen würde! Daher muss stattdessen an von beiden Anschlüssen des Kondensators jeweils nach GND gemessen werden (da wo schon GND liegt!). Über das Oszilloskop kann dann die Differenzspannung zwischen den beiden Kanälen ermittelt und angezeigt werden.



Simulation

Messung

Tabelle 5.13: Board Konfiguration: Bestimmung von C mittels Sprungantwort

Bezeichnung	Konfiguration	Hinweis
JP1	offen	
JP3	offen	
JP2	geschlossen	<i>L</i> kurzgeschlossen
J1/TP1	⇒ BNC Kabel oder Tastkopf ⇒ GND/TP4	Oszilloskop CH1
J2/TP2	⇒ BNC Kabel oder Tastkopf ⇒ GND/TP4	Oszilloskop CH2

6 Messtechnische Bestimmung von L

6.1 Simulation und Messung der Resonanzkurve

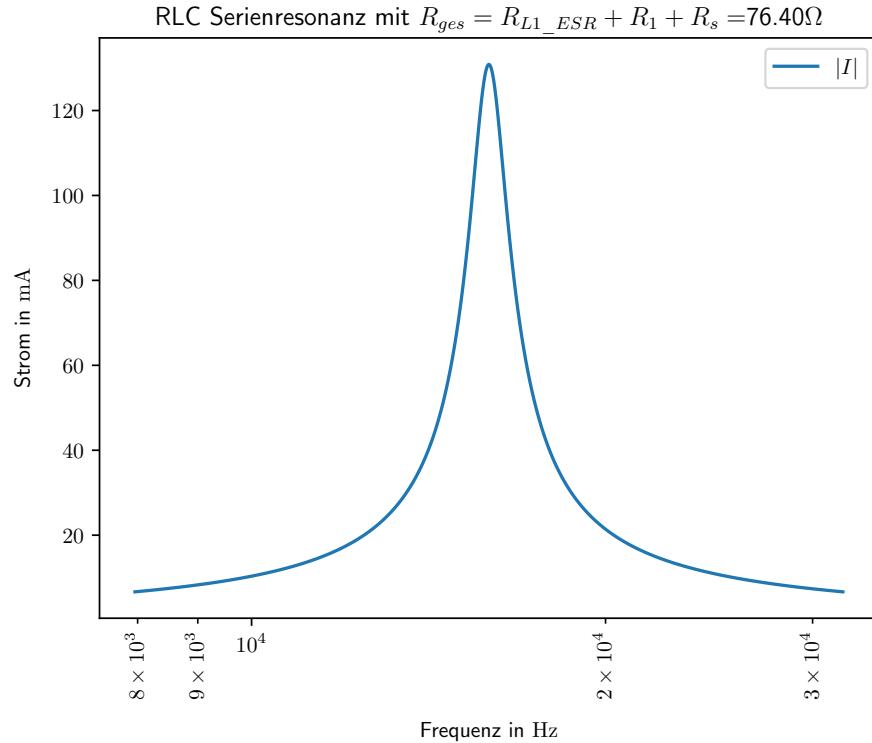


Abbildung 6.2: Betrag des Stroms im Serienresonanzkreis in Abhangigkeit von der Frequenz