
Versuch 242

10. Januar 2022

Spannungsverstärker

Physikalisches Anfängerpraktikum II

Juan Provencio

Betreuer/in: Jana Wolf

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuches	2
2	Grundlagen	2
2.1	Charakteristische Größen eines Verstärkers	2
2.2	Gegengekoppelter Spannungsverstärker	3
3	Versuchsaufbau	5
3.1	Materialien und Geräte	5
3.2	Aufbau	5
4	Messung und Auswertung	7
4.1	Messprotokoll	7
4.2	Auswertung	10
5	Zusammenfassung und Diskussion	14
5.1	Zusammenfassung	14
6	Quellen	16

1 Ziel des Versuches

Mit diesem Versuch wollen wir uns mit einem wichtigen Werkzeug der Elektrotechnik vertraut machen, und zwar mit dem Spannungsverstärker. Ein solches Instrument dient der Verstärkung von Signalen, die sonst zum Beispiel zu klein zu messen wären.

2 Grundlagen

2.1 Charakteristische Größen eines Verstärkers

1. Der Eingangswiderstand

$$R_i = \frac{U_E}{I_E} \quad (1)$$

Bei einem Verstärker soll der Eingangswiderstand möglichst groß um den Messwertaufnehmer möglichst wenig zu belasten.

2. Der Ausgangswiderstand

$$R_a = \frac{U_A}{I_A} \quad (2)$$

Im Gegenteil sollte der Ausgangswiderstand möglichst klein sein, damit die Ausgangsspannung möglichst wenig von äußeren Belastungen beeinflusst wird.

3. Spannungsverstärkung

$$V_o = -\frac{U_A}{U_E} \quad (3)$$

gibt das Verhältnis zwischen der Eingangs- und Ausgangsspannung an. Das Minuszeichen kommt dadurch zustande, dass der Verstärker invertiert betrieben wird.

Die Verstärkung nimmt mit zunehmender Frequenz ab, aber ist in einem gewissen Bereich nahezu konstant. Graphisch wird dieser Zusammenhang in einem sogenannten "Bodediagramm" dargestellt (Abbildung 1)

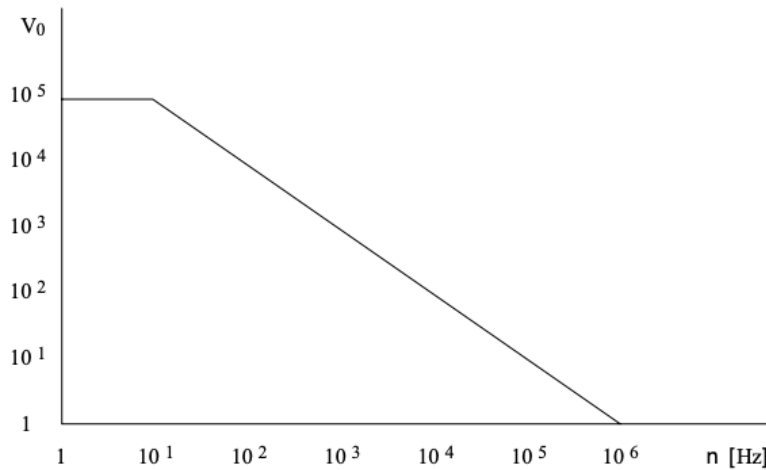


Abbildung 1: Frequenzgang des Operationsverstärkers

2.2 Gegengekoppelter Spannungsverstärker

Man kann allerdings die Eigenschaften des Verstärkers verändern, indem man durch die sogenannte Gegenkopplung die Verstärkungsfaktoren und der Frequenzgang verändert. Dafür wird ein Teil der auslaufenden Spannung durch einen Gegenkopplungswiderstand zurück in den Verstärker gebracht

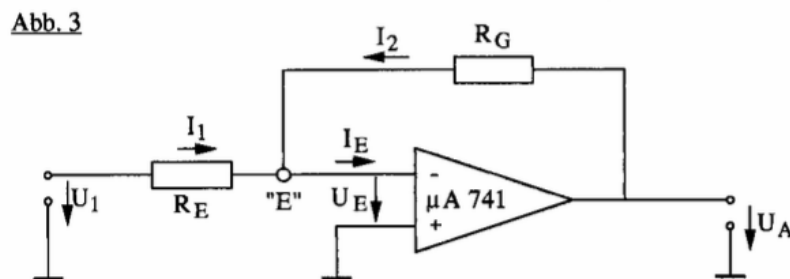


Abbildung 2: Gegenkopplung des Verstärkers

Bei dieser Anordnung gilt die Knotenregel:

$$I_1 + I_2 = I_E \quad | \quad R_E, R_g \ll R_i \implies I_E \approx 0 \quad (4)$$

$$I_1 + I_2 = \frac{U_1 - U_E}{R_E} + \frac{U_A - U_E}{R_g} = 0 \quad (5)$$

Daraus folgt nach Einsetzen von $V_o = -\frac{U_A}{U_E}$:

$$\frac{U_1}{U_A} = -\left[\frac{1}{V_0} + \frac{R_E}{R_G}\left(1 + \frac{1}{V_0}\right)\right] \quad (6)$$

Für kleine Frequenzen ist $\frac{1}{V_0} \ll \frac{R_E}{R_G}$ und man kann den obigen Ausdruck vereinfachen zu

$$V' = \frac{R_G}{R_E} = -\frac{U_A}{U_1} \quad (7)$$

Abb. 4 (Beispiel $R_G / R_E = 100$)

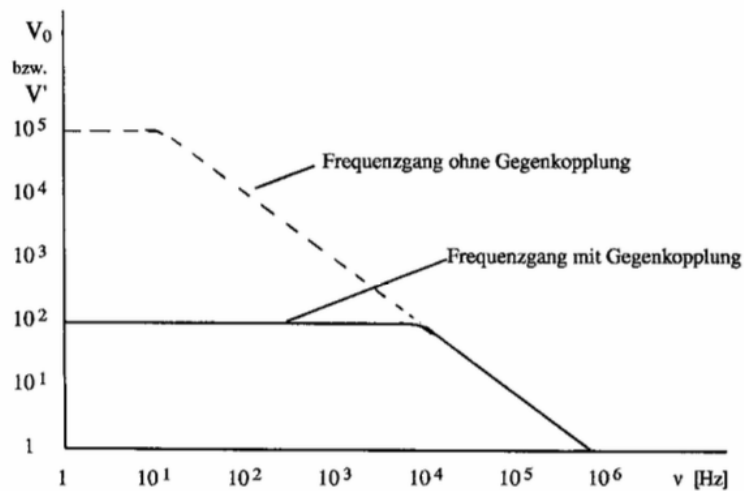


Abbildung 3: Bodediagramm mit Gegenkopplung

Da V_0 mit hohen Frequenzen sinkt, ist die obige Annäherung nur begrenzt gültig. Hohe Frequenzen führen dann doch zu großer Verstärkung. Schaltet man allerdings einen Kondensator parallel zum Gegenwiderstand, so werden die großen Frequenzen stark gegengekoppelt und daher wenig verstärkt

3 Versuchsaufbau

3.1 Materialien und Geräte

- Schaltungskästchen mit Operationsverstärker $\mu A741$
- Sinus-Rechteck-Generator
- Zweikanaloszilloskop

3.2 Aufbau

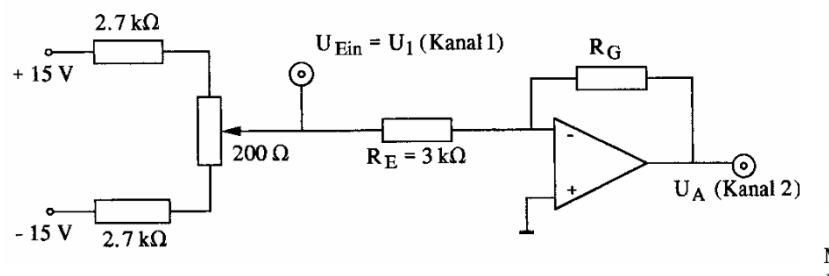


Abbildung 4: Aufbau zu Schaltung 1 (a)

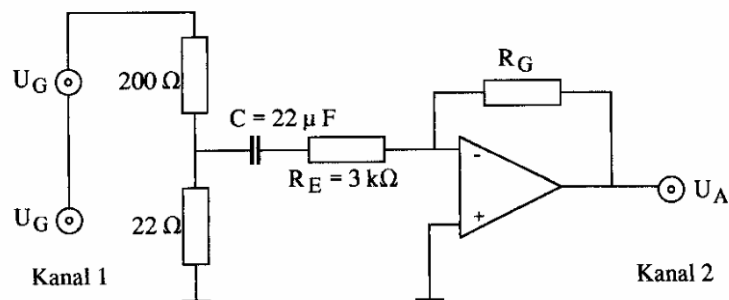


Abbildung 5: Aufbau zu Schaltung 1 (b)

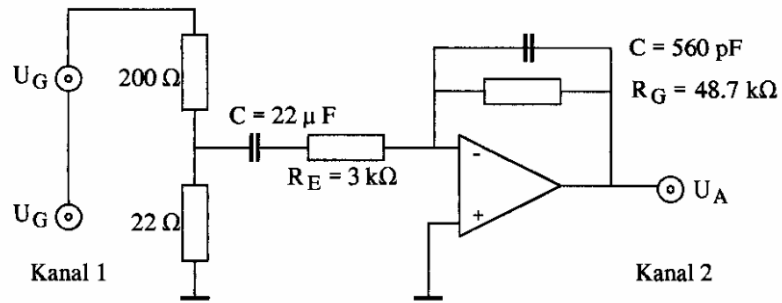


Abbildung 6: Aufbau zu Schaltung 2

4 Messung und Auswertung

4.1 Messprotokoll

Messprotokoll V242 Spannungsverstärker
10.01.2021
Mike Brandt
Juan Provencio

Teilaufgabe 1: DC-Stellung
Wir messen die Ausgangsamplitude bei verschiedenen U_E, R_A .

Tabelle 1: Ausgangsamplitude bei $R_A = 49,7 \text{ k}\Omega \pm 2\%$

$U_E [\text{mV}]$	$U_A [\text{mV}]$	$U_A [\text{V}]$
-250	10,2 ± 0,5 10 ± 1	4,15 ± 0,01
-200	7 ± 1	3,40 ± 0,01
-150	4 ± 1	2,58 ± 0,01
-100	10 ± 1	1,72 ± 0,01
-50	4 ± 1	1,00 ± 0,01
-0,450	3 ± 1	-0,67 ± 0,01
-0,100	8 ± 1	-1,48 ± 0,01
100	7 ± 1	-3,17 ± 0,01
200	8 ± 1	

wurde ausverh. AC gekoppelt

Tabelle 2: Ausgangsamplitude bei $R_A = 274 \text{ k}\Omega \pm 2\%$

$U_E [\text{mV}]$	$U_A [\text{V}]$
-250	14,4 ± 0,1
-200	14,4 ± 0,1
-150	14,0 ± 0,1
-100	9,83 ± 0,01
-50	5,83 ± 0,01
-50	-4,19 ± 0,01
100	-8,40 ± 0,01
200	-13,6 ± 0,1

Teilaufgabe 2: AC-Stellung

Tabelle 3: Ausgangsamplitude ~~V242~~

$U_E [\text{V}_{pp}]$	$U_A [\text{V}] (274 \Omega)$	$U_A [\text{V}] (680 \text{ k}\Omega)$
1	7,1 ± 0,2	17,8 ± 0,05
0,8	5,70 ± 0,05	14,4 ± 0,05
0,6	4,30 ± 0,05	10,8 ± 0,05
0,5	3,6 ± 0,05	9,0 ± 0,05
0,4	2,9 ± 0,05	7,2 ± 0,05
0,2	1,6 ± 0,05	5,4 ± 0,05

Abbildung 7: Messprotokoll 1

Tabelle 4: Ausgangsamplitude mit $U_G = 0.3 V_{SS}$ für variable Frequenz

Frequenz [Hz]	U_A [V] (680 k Ω)	U_A [V] (274 k Ω)
100	5,6	2,32
300	5,6	2,24
700	5,4	2,24
1000	5,4	2,24
3000	5,4 ± 0.05	2,24 ± 0.05
7000	4,4	2,08
10000	3,2	2,00
30000	1,2	1,10
70000	0,8	0,64
150000	0,4	0,32
200000	0,4	0,24
250000	0,4	0,16

Tabelle 5: Ausgangsamplitude mit $U_G = 1 V_{SS}$ für variable Frequenz

Frequenz [Hz]	U_A [V] (680 k Ω)
100	1,24
300	1,24
700	1,24
1000	1,24
3000	1,24
7000	1,22 ± 0.05
10000	1,22
30000	1,08
70000	0,78
150000	0,46
200000	0,36
250000	0,30

Tabelle 6: U_A für $U_G = 1 V_{SS}$, $R_G = 48,7 k\Omega + C_G = 560 pF$

Frequenz [Hz]	U_A [mV]	ΔU_A [mV]	Kopplungskonden- sator
100	1230	5	
300	1230	5	
700	1230	5	
1000	1220	5	
3000	1140	5	
7000	870	5	
10000	710	5	
30000	270	5	
70000	126	5	
150000	64	5	
200000	45	5	
250000	36	5	

Abbildung 8: Messprotokoll 2

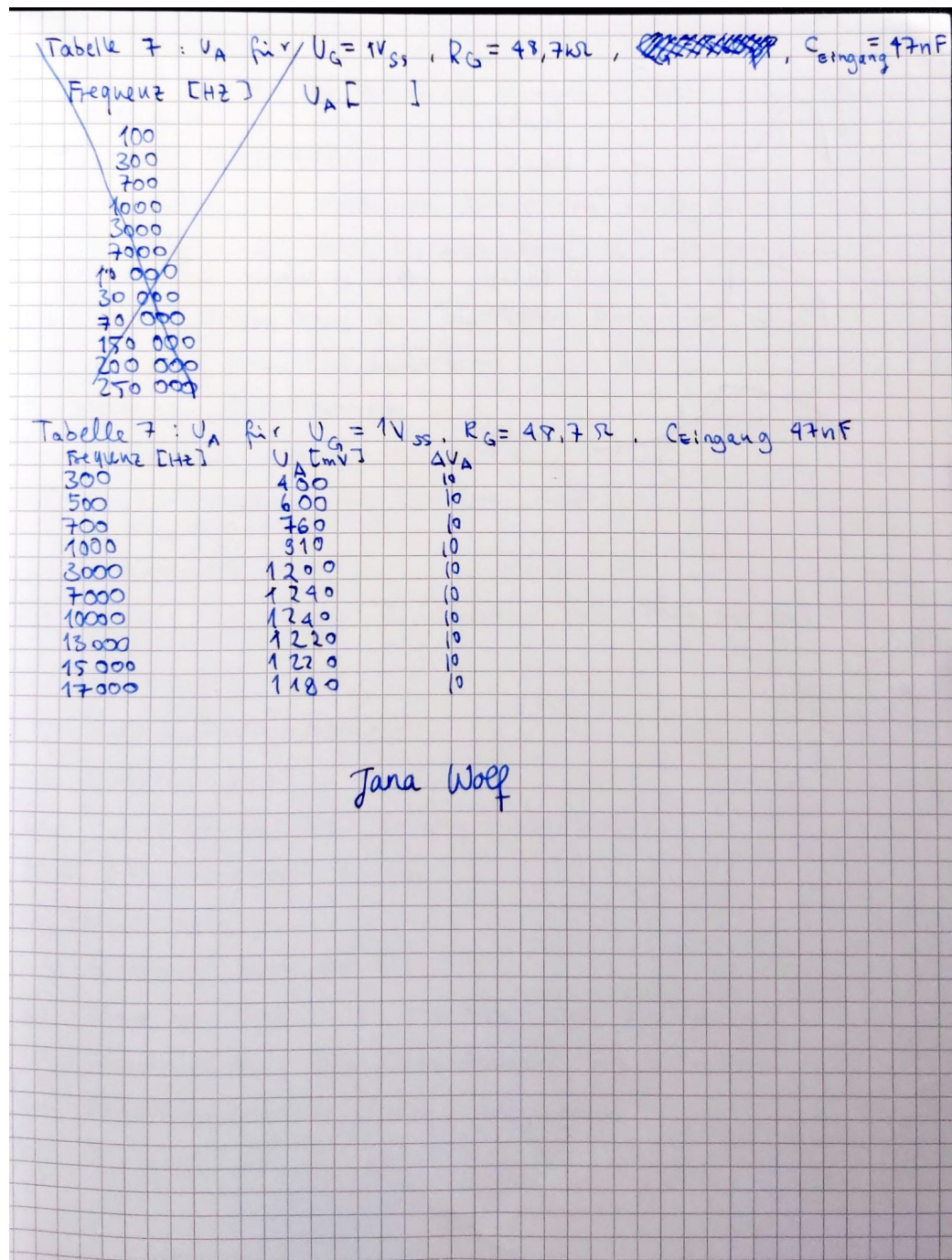


Abbildung 9: Messprotokoll 3

4.2 Auswertung

4.2.1 Aufgabe 1: Verstärkung bei Gleich- und Wechselstrom

Die Spannung U_A wurde bei 8 verschiedenen (DC) Spannungen U_E zwischen $\pm 0,25$ V gemessen mit dem Eingangsschalter in Stellung $S1$ für folgende Gegenkopplungswiderstände: $S2$ in Stellung 3: $R_G = 48,7 \text{ k}\Omega \pm 2\%$ entspricht, $S2$ in Stellung 2: $R_G = 274 \text{ k}\Omega$. Zusätzlich wurde die Messung mit (AC) Wechselspannung für den Widerstand in Stellung 2 und in Stellung 1: $R_G = 680 \text{ k}\Omega$ wiederholt. Die Ergebnisse der Messungen sind auf folgende Diagramme 1, 2 aufgetragen.

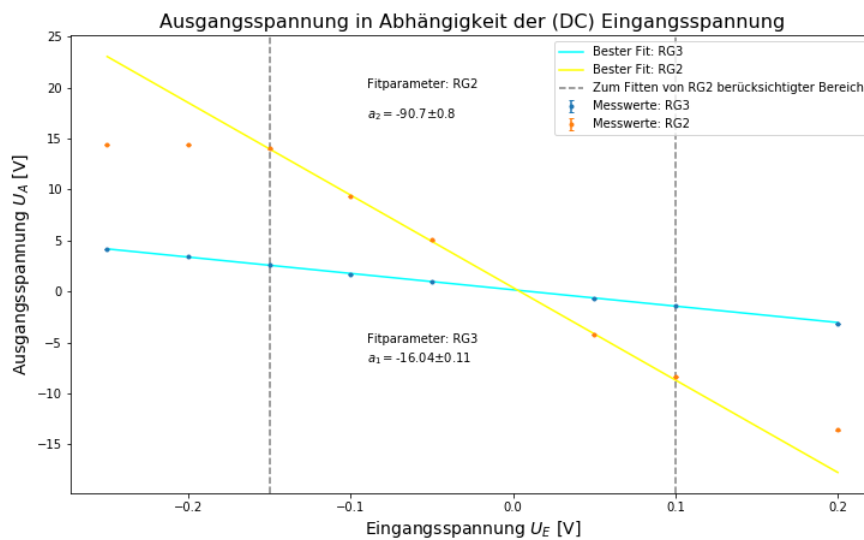


Diagramm 1: Ausgangsspannung als Fkt. von Eingangsspannung bei DC-Stellung

Die Steigung des geraden Fits entspricht dem umgekehrten Verstärkungsfaktor nach dem Verhältnis aus Gleichung 3. Dafür haben wir folgende Werte experimentell erhalten:

$$\left| V_{o \text{ exp}}^3 \right| = 16,04(11) \quad \left| \text{RG 3} \right. \quad (8)$$

$$\left| V_{o \text{ exp}}^2 \right| = 90,7(8) \quad \left| \text{RG 2} \right. \quad (9)$$

Aus der Theorie hätte man nach gemäß Gleichung 7 folgende Werte erwartet:

$$\left| V_{o \text{ theo}}^3 \right| = 16,2(3) \quad | \text{ RG 3} \quad (10)$$

$$\left| V_{o \text{ theo}}^2 \right| = 91,3(1,7) \quad | \text{ RG 2} \quad (11)$$

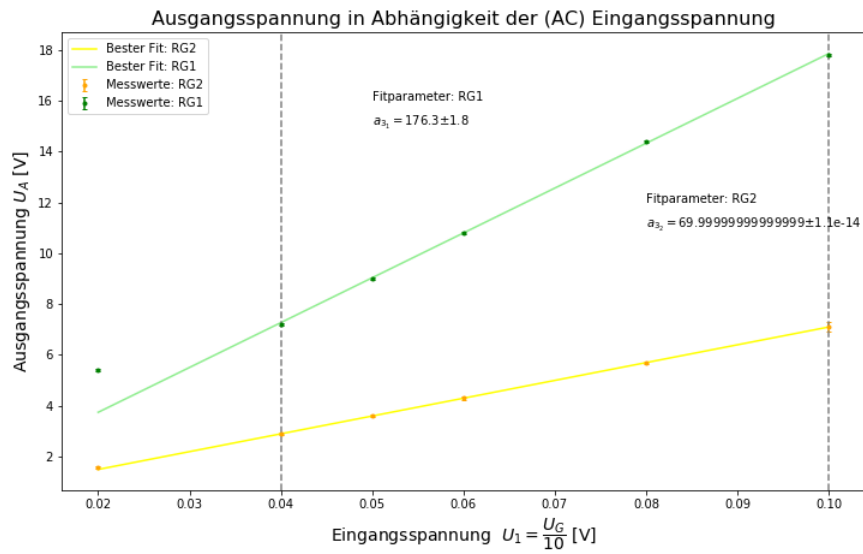


Diagramm 2: Ausgangsspannung als Fkt. von Eingangsspannung bei AC-Stellung

Hier erhalten wir folgende Werte:

$$\left| V_{3o \text{ exp}}^2 \right| = 69,99999999999999(1) \quad | \text{ RG 2} \quad (12)$$

$$\left| V_{2o \text{ exp}}^1 \right| = 176,3(1,8) \quad | \text{ RG 1} \quad (13)$$

Und

$$\left| V_{3o \text{ theo}}^2 \right| = 91,3(1,8) \quad | \text{ RG 2} \quad (14)$$

$$\left| V_{3o \text{ theo}}^1 \right| = 227(5) \quad | \text{ RG 1} \quad (15)$$

4.2.2 Aufgabe 2: Frequenzgänge

Wir nehmen den Frequenzgang des gegengekoppelten Verstärkers bei verschiedenen Frequenzen und Einstellungen von Eingangsspannung, Gegenkopplungskondensatoren und Widerstände. Diese sind jeweils für die entsprechenden Messwerte auf Diagramm 3 dargestellt.

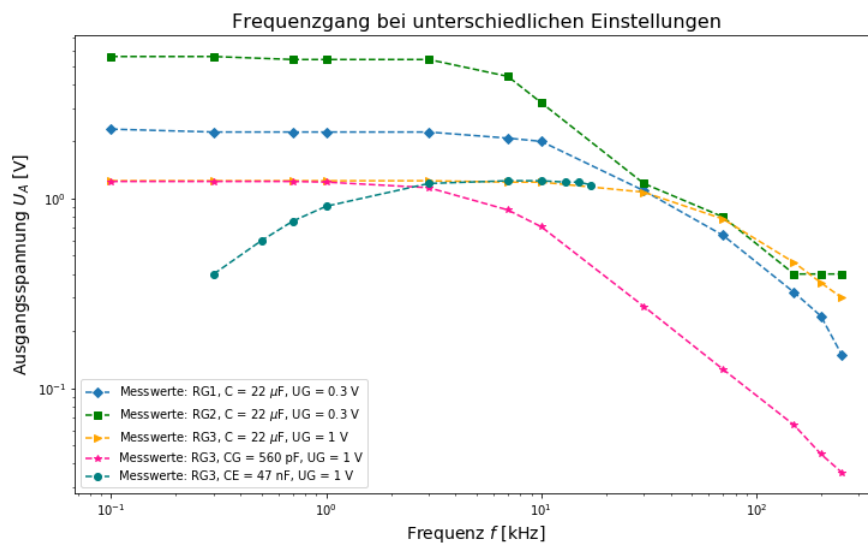


Diagramm 3: Frequenzgang für Verschiedene Einstellungen

Hierzu ist eine qualitative Analyse erforderlich. Dazu werden wir während der Diskussion kommen.

4.2.3 Aufgabe 3: Verstärkung von Rechtecksignalen

In diesem Aufgabenteil haben wir ein Rechteckssignal (Abbildung 10) durch den Spannungsverstärker geschickt. Folgende sind unsere Beobachtungen zu den verschiedenen Einstellungen:

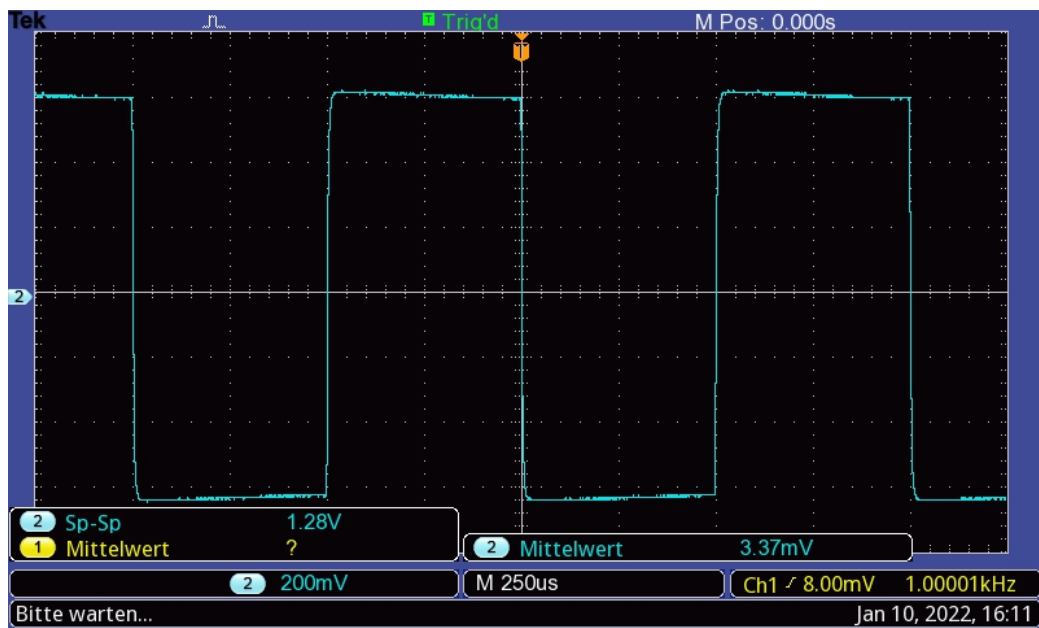
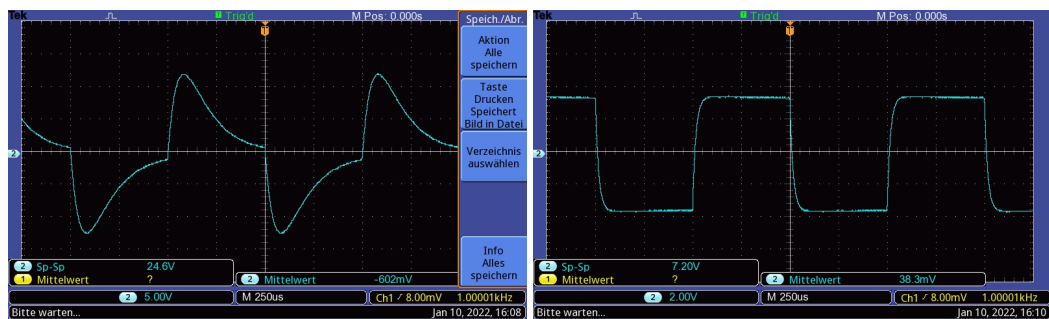
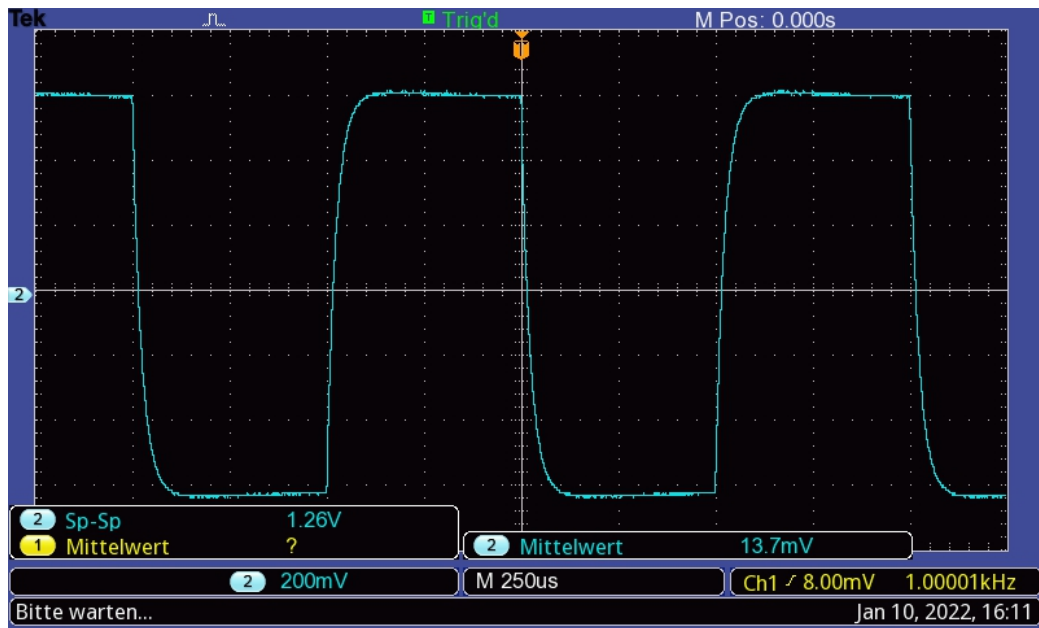


Abbildung 10: Rechtecksignal ohne Kondensator

Abbildung 11: Klein R , klein C Abbildung 12: Klein R , klein C

An diesen zwei Bildern erkennt man, dass die Kapazität C den Verlauf der Spannungskurve beeinflusst, denn der Auf- und Entladevorgang des Kondensators drastisch anders ist. Allerdings bleibt die Amplitude näherungsweise gleich.

Vergleichen wir nun Abbildung 12 mit einer Einstellung mit gleichem Kondensator, aber größerem Widerstand (Abbildung 13), so erkennt man, dass die Amplitude mit zunehmendem Widerstand größer wird.

Abbildung 13: R groß, C groß

5 Zusammenfassung und Diskussion

5.1 Zusammenfassung

In diesem Versuch wurde insgesamt die Funktionsweise eines Spannungsverstärkers untersucht. Dafür haben wir als erstes die Eingangsspannung variiert und dabei die Ausgangsspannung bei DC- und AC gemessen. Als nächstes wurde die Frequenz der Eingangsspannung (AC) variiert und den Einfluss dieses Effektes auf die Ausgangsspannung untersucht. Schließlich haben wir die Wirkung verschiedener Widerstands- und Kondensatoreinstellungen auf den Verlauf der Spannungskurve qualitativ beschrieben.

5.1.1 Diskussion

Im Folgenden wollen wir die von uns bestimmten Ergebnissen tiefer untersuchen und mit den Erwartungen vergleichen.

Tabelle 8: Vergleich der experimentellen und theoretischen Werten

Messung	$V_{o,\text{exp}}$	$\frac{\Delta V_{o,\text{exp}}}{V_{o,\text{exp}}} [\%]$	$V_{o,\text{theo}}$	$\frac{\Delta V_{o,\text{theo}}}{V_{o,\text{theo}}} [\%]$	σ
RG 3 (DC)	16,04(11)	0,7	16,2(3)	1,9	0,5
RG 2 (DC)	90,7(8)	0,9	91,3(1,7)	1,9	0,3
RG 2 (AC)	~ 70		91,3(1,8)	2	12
RG 1 (AC)	176,3(1,8)	1	227(5)	2,2	10

Hier sind zwei Sachen besonders merkwürdig. Als erstes scheinen die Messungen bei Gleichstrom alle ziemlich gut gelungen zu sein, mit σ -Abweichungen von unter 1 zwischen der Theorie und den experimentellen Werten. Dies trotz des kleinen relativen Fehlers, der bei beiden unter 1% liegt. Allerdings tauchen ein paar Auffälligkeiten beim Wechselstrom auf. Als erstes ist klar, die σ -Abweichungen sind inakzeptabel, weit über des tolerierbaren 3- σ -Bereiches. Bei der Interpolierung der Steigung durch Python ist auch der abgeschätzte Fehler interessant. Bei allen anderen Geraden erhalten wir Fehlern in der Größenordnung von etwa 1% der Steigung, allerdings bei der Stellung RG 2 erhalten wir einen Fehler in der Größenordnung 10^{-14} , was absoluter Irrsinn ist. Trotz mehreren Checks auf die Richtigkeit des Codes, finden wir auf unserer Seite nichts, was zu einer falschen Angabe des Fehlers geführt haben könnte.

Die vorhin besprochenen Ergebnisse sind desto merkwürdiger im Angesichts der χ^2 Analysen auf dem Python-Skript. Die Anpassung der DC-Kurven ist nach der χ^2 -Analyse wird mit einer Fitwahrscheinlichkeit von 0% in beiden Fällen bewertet. Bei der AC-Anpassung wird für RG 2 eine Fitwahrscheinlichkeit von 100% angegeben, und eine χ^2 -Summe in der Größenordnung von 10^{-28} , was ohne Übertreibung sehr klein ist. Bei der Anpassung von RG 1 ist die Analyse jedoch realistischer, wir erhalten eine Fitwahrscheinlichkeit von 15%.

Die großen Abweichungen deuten darauf hin, dass es zu systematischen Fehlern bei der Durchführung gekommen ist. Beide Verstärkungen scheinen bei der AC-Anpassung deutlich kleiner zu sein. Eine mögliche Hypothese ist, dass in der Berechnung der theoretischen Werte einige Annahmen gemacht worden sind, die nicht gültig sind und deswegen die Erwartungswerte verfälscht haben. Beispielsweise haben wir angenommen, dass für kleine Frequenzen einige Terme weggelassen werden können, diese hätten aber zu einem sogar größeren Wert geführt, was die obige Hypothese ausschließt. Eine weitere Erklärung könnte das Alter der Kohlenwiderstände und die Effekte des so-

genannten "Drifting", dies lässt sich aber ebenfalls ausschließen, da die Messungen mit den selben Widerständen für DC-Strom gut gelungen sind.

6 Quellen

Wagner, J., Universität Heidelberg (2021). Physikalisches Praktikum PAP 2.2 für Studierende der Physik B.Sc..

Anhang

Auswertung

In [1]:

```
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
import numpy as np
from numpy import exp, sqrt, log
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.optimize import curve_fit
from scipy.stats import chi2
```

Werte

In [2]:

```
# Widerstände
RG3 = 48.7 # kOhm
sig_RG3 = 0.02 * RG3
RG2 = 274 # kOhm
sig_RG2 = 0.02 * RG2
RG1 = 680 # kOhm
sig_RG1 = 0.02 * RG1
RE = 3

# Tabelle 1: RG3
UE1 = np.array([-0.25, -0.2, -0.15, -0.1, -0.05, 0.05, 0.1, 0.2]) # V
UA1 = np.array([4.15, 3.40, 2.58, 1.72, 1.00, -0.67, -1.43, -3.17]) # V
sig_UA1 = np.ones(8) * 0.01

# Tabelle 2: RG2
UE2 = UE1
UA2 = np.array([14.4, 14.4, 14.0, 9.33, 5.03, -4.19, -8.40, -13.6])
sig_UA2 = sig_UA1

# Tabelle 3
UG = np.array([1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.4, 0.2]) / 10 # 10^-1 mitberücksichtigt
UA3_2 = np.array([7.1, 5.70, 4.30, 3.6, 2.9, 1.6]) # V, RG2
sig_UA3_2 = np.array([0.2, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05, 0.05])
UA3_1 = np.array([17.8, 14.4, 10.8, 9.0, 7.2, 5.4]) # V, RG1
sig_UA3_1 = np.ones(6) * 0.05

# Tabelle 4
f4 = np.array([0.1, 0.3, 0.7, 1, 3, 7, 10, 30, 70, 150, 200, 250]) # kHz
UA4_2 = np.array([2.32, 2.24, 2.24, 2.24, 2.24, 2.08, 2.00, 1.10, 0.64,
                  0.32, 0.24, 0.15]) # V, RG2
sig_UA4_2 = np.ones(len(UA4_2)) * 0.05
UA4_1 = np.array([5.6, 5.6, 5.4, 5.4, 5.4, 4.4, 3.2, 1.2, 0.8, 0.4, 0.4,
                  0.4])
sig_UA4_1 = np.ones(len(UA4_1)) * 0.05

# Tabelle 5
f5 = f4
#UG = 1 # Vss
UA5 = np.array([1.24, 1.24, 1.24, 1.24, 1.24, 1.22, 1.22, 1.08, 0.78, 0.46, 0.36,
                0.30]) # V

# Tabelle 6: RG3
f6 = f4
CG = 560 # pF
UA6 = np.array([1.23, 1.23, 1.23, 1.22, 1.14, .87, .71, .27, .126, .064, .045,
                .036]) # V
sig_UA6 = np.ones(len(UA6)) * 0.005

# Tabelle 7: RG3
f7 = np.array([.3, .5, .7, 1, 3, 7, 10, 13, 15, 17]) # kHz
CE = 47 # nF
UA7 = np.array([.4, .6, .76, .91, 1.2, 1.24, 1.24, 1.22, 1.22, 1.18]) # V
sig_UA7 = np.ones(len(UA7)) * 0.01
```

Aufgabe 1

In [3]:

```
# Plot: Tabelle 1, 2
plt.figure(0, figsize = (12, 7))
plt.errorbar(UE1, UA1, yerr = sig_UA1, fmt = '.', capsize = 2,
             label = 'Messwerte: RG3')
plt.errorbar(UE2, UA2, yerr = sig_UA2, fmt = '.', capsize = 2,
             label = 'Messwerte: RG2')
plt.title('Ausgangsspannung in Abhängigkeit der (DC) Eingangsspannung',
          size = 16)
plt.xlabel('Eingangsspannung $U_{E}$ [V]', size = 14)
plt.ylabel('Ausgangsspannung $U_{A}$ [V]', size = 14)

# Fit
def line(x, a, b):
    return a * x + b

xmin1 = 0
xmax1 = -1
popt1, pcov1 = curve_fit(line, UE1[xmin1:xmax1], UA1[xmin1:xmax1])

xmin2 = 2
xmax2 = -2
popt2, pcov2 = curve_fit(line, UE2[xmin2:xmax2], UA2[xmin2:xmax2])

# Fitparameter
a1 = popt1[0]
sig_a1 = sqrt(pcov1[0,0])
b1 = popt1[1]
sig_b1 = sqrt(pcov1[1,1])

a2 = popt2[0]
sig_a2 = sqrt(pcov2[0,0])
b2 = popt2[1]
sig_b2 = sqrt(pcov2[1,1])

# Back to the plot
# RG3
plt.plot(UE1, line(UE1, *popt1), label = 'Bester Fit: RG3', color = 'cyan')
plt.text(-0.09, -5, 'Fitparameter: RG3')
plt.text(-0.09, -7, '$a_1 = $' + str(np.round(a1, 2)) + '$\pm$'
         + str(np.round(sig_a1, 2)))

# RG2
plt.plot(UE2, line(UE2, *popt2), label = 'Bester Fit: RG2', color = 'yellow')
plt.text(-0.09, 20, 'Fitparameter: RG2')
plt.text(-0.09, 17, '$a_2 = $' + str(np.round(a2, 1)) + '$\pm$'
         + str(np.round(sig_a2, 1)))
plt.axvline(UE2[xmin2], ls = '--', color = 'gray')
plt.axvline(UE2[xmax2], ls = '--', color = 'gray',
            label = 'Zum Fitten von RG2 berücksichtigter Bereich')

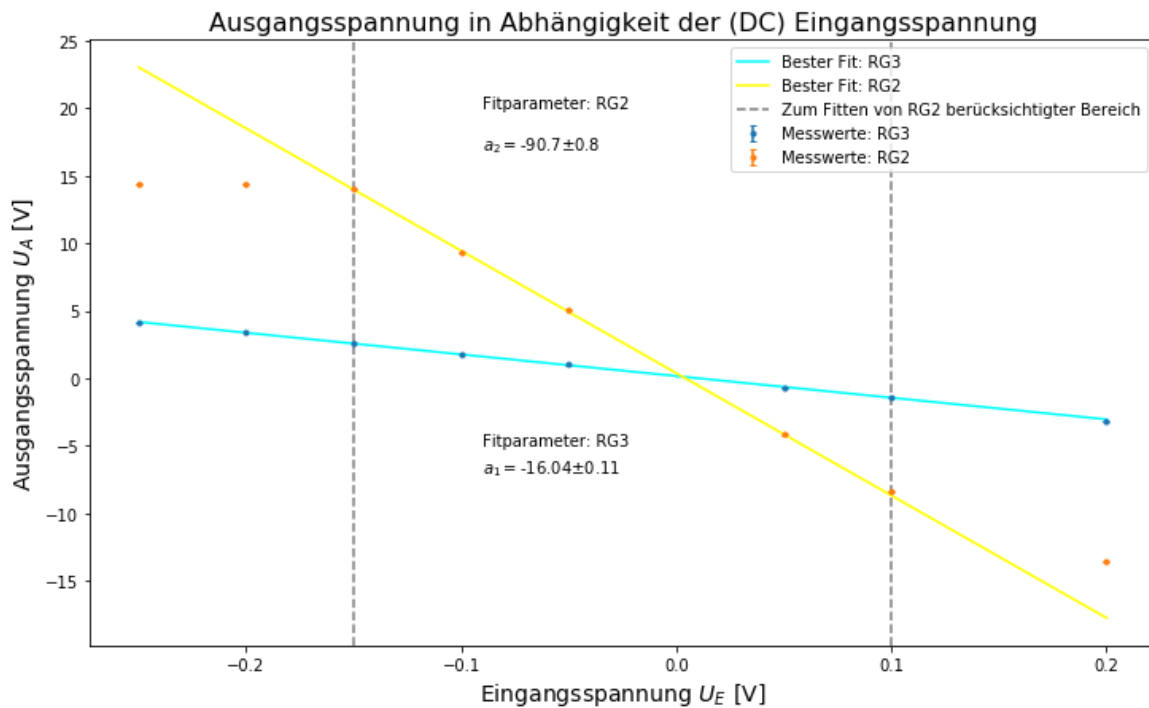
plt.legend(loc = 'upper right')
plt.savefig('images/242/V242Diagramm1.png')
plt.show()
```

```

# Ergebnisse:
print('Verstärkung: RG3')
print('Experimentell: V3_o = ', np.abs(np.round(a1, 2)), '+/-', np.round(sig_a1, 2)
)
print('Theoretisch: V3_o =', np.round(RG3 / RE, 1), '+/-', np.round(sig_RG3 / RE, 1)
)

print('\nVerstärkung: RG2')
print('Experimentell: V2_o = ', np.abs(np.round(a2, 1)), '+/-', np.round(sig_a2, 1)
)
print('Theoretisch: V2_o =', np.round(RG2 / RE, 1), '+/-', np.round(sig_RG2 / RE, 1)
)

```



Verstärkung: RG3
 Experimentell: V3_o = 16.04 +/- 0.11
 Theoretisch: V3_o = 16.2 +/- 0.3

Verstärkung: RG2
 Experimentell: V2_o = 90.7 +/- 0.8
 Theoretisch: V2_o = 91.3 +/- 1.8

In [4]:

```
# Güte des Fits: RG3
chi2_ = np.sum((line(UE1[xmin1:xmax1], *popt1) - UA1[xmin1:xmax1]) ** 2
               / sig_UA1[xmin1:xmax1] ** 2)
dof = len(sig_UA1[xmin1:xmax1]) - 2 #dof:degrees of freedom, Freiheitsgrad
chi2_red = chi2_/dof

print("chi2 =", chi2_)
print("chi2_red =", chi2_red)

prob = np.round(1 - chi2.cdf(chi2_,dof),2) * 100
print("Wahrscheinlichkeit =", prob, "%")
```

```
chi2 = 59.72463768115931
chi2_red = 11.944927536231862
Wahrscheinlichkeit = 0.0 %
```

In [5]:

```
# Güte des Fits: RG2
chi2_ = np.sum((line(UE2[xmin2:xmax2], *popt2) - UA2[xmin2:xmax2]) ** 2
               / sig_UA2[xmin2:xmax2] ** 2)
dof = len(sig_UA2[xmin2:xmax2]) - 2 #dof:degrees of freedom, Freiheitsgrad
chi2_red = chi2_/dof

print("chi2 =", chi2_)
print("chi2_red =", chi2_red)

prob = np.round(1 - chi2.cdf(chi2_,dof),2) * 100
print("Wahrscheinlichkeit =", prob, "%")
```

```
chi2 = 288.9714285714292
chi2_red = 144.4857142857146
Wahrscheinlichkeit = 0.0 %
```

In [6]:

```
# Plot: Tabelle 3
plt.figure(1, figsize = (12, 7))
plt.errorbar(UG, UA3_2, yerr = sig_UA3_2, fmt = '.', capsize = 2,
             label = 'Messwerte: RG2', color = 'orange')
plt.errorbar(UG, UA3_1, yerr = sig_UA3_1, fmt = '.', capsize = 2,
             label = 'Messwerte: RG1', color = 'green')
plt.title('Ausgangsspannung in Abhängigkeit der (AC) Eingangsspannung',
          size = 16)
plt.xlabel('Eingangsspannung  $U_1 = \frac{U_G}{10}$  [V]', size = 14)
plt.ylabel('Ausgangsspannung  $U_A$  [V]', size = 14)

# Fit

xmin3_2 = 0
xmax3_2 = -1
popt3_2, pcov3_2 = curve_fit(line, UG[xmin3_2:xmax3_2], UA3_2[xmin3_2:xmax3_2])

xmin3_1 = 0
xmax3_1 = -2
popt3_1, pcov3_1 = curve_fit(line, UG[xmin3_1:xmax3_1], UA3_1[xmin3_1:xmax3_1])

# Fitparameter
a3_2 = popt3_2[0]
sig_a3_2 = sqrt(pcov3_2[0,0])
b3_2 = popt3_2[1]
sig_b3_2 = sqrt(pcov3_2[1,1])

a3_1 = popt3_1[0]
sig_a3_1 = sqrt(pcov3_1[0,0])
b3_1 = popt3_1[1]
sig_b3_1 = sqrt(pcov3_1[1,1])

# Back 2 the ploture
# RG2
plt.plot(UG, line(UG, *popt3_2), label = 'Bester Fit: RG2', color = 'yellow')
plt.text(0.08, 12, 'Fitparameter: RG2')
plt.text(0.08, 11, '$a_{3_2} = $' + str(np.round(a3_2, 15)) + '$\pm$'
        + str(np.round(sig_a3_2, 15)))

# RG1
plt.plot(UG, line(UG, *popt3_1), label = 'Bester Fit: RG1', color = 'lightgreen')
plt.text(0.05, 16, 'Fitparameter: RG1')
plt.text(0.05, 15, '$a_{3_1} = $' + str(np.round(a3_1, 1)) + '$\pm$'
        + str(np.round(sig_a3_1, 1)))
plt.axvline(UG[xmin3_1], ls = '--', color = 'gray')
plt.axvline(UG[xmax3_1], ls = '--', color = 'gray')

plt.legend(loc = 'upper left')
plt.savefig('images/242/V242Diagramm2.png')
plt.show()

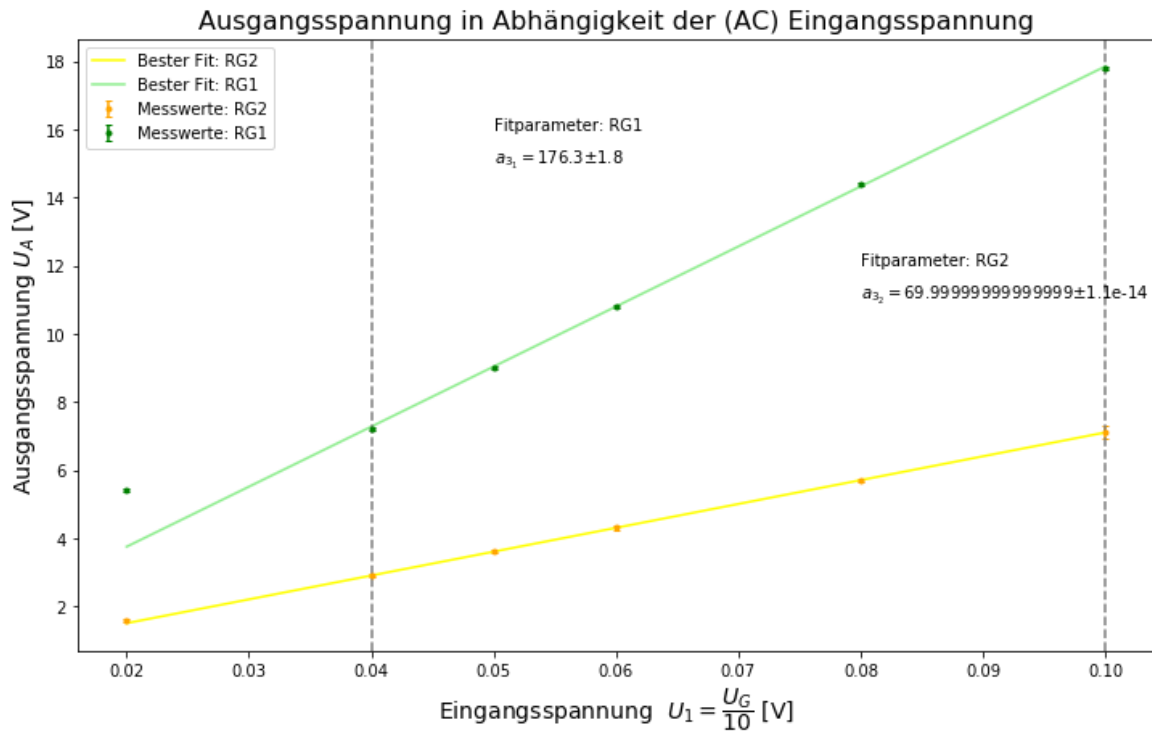
# Ergebnisse
print('Verstärkung: RG2')
print('Experimentell: V3_2_o = ', np.abs(np.round(a3_2, 14)), '+/-',
      np.round(sig_a3_2, 14))
```

```

print('Theoretisch: V3_2_o =', np.round(RG2 / RE, 1), '+/-',
      np.round(sig_RG2 / RE, 1))

print('\nVerstärkung: RG1')
print('Experimentell: V3_1_o = ', np.abs(np.round(a3_1, 1)), '+/-',
      np.round(sig_a3_1, 1))
print('Theoretisch: V3_1_o =', np.round(RG1 / RE, 0), '+/-',
      np.round(sig_RG1 / RE, 0))

```



Verstärkung: RG2
 Experimentell: V3_2_o = 69.99999999999999 +/- 1e-14
 Theoretisch: V3_2_o = 91.3 +/- 1.8

Verstärkung: RG1
 Experimentell: V3_1_o = 176.3 +/- 1.8
 Theoretisch: V3_1_o = 227.0 +/- 5.0

In [7]:

```
# Güte des Fits: RG2
chi2_ = np.sum((line(UG[xmin3_2:xmax3_2], *popt3_2) - UA3_2[xmin3_2:xmax3_2]) ** 2
               / sig_UA3_2[xmin3_2:xmax3_2] ** 2)
dof = len(sig_UA3_2[xmin3_2:xmax3_2]) - 2 #dof:degrees of freedom, Freiheitsgrad
chi2_red = chi2_/dof

print("chi2 =", chi2_)
print("chi2_red =", chi2_red)

prob = np.round(1 - chi2.cdf(chi2_,dof),2) * 100
print("Wahrscheinlichkeit =", prob, "%")
```

```
chi2 = 3.1554436208840468e-28
chi2_red = 1.0518145402946823e-28
Wahrscheinlichkeit = 100.0 %
```

In [8]:

```
# Güte des Fits: RG1
chi2_ = np.sum((line(UG[xmin3_1:xmax3_1], *popt3_1) - UA3_1[xmin3_1:xmax3_1]) ** 2
               / sig_UA3_1[xmin3_1:xmax3_1] ** 2)
dof = len(sig_UA3_1[xmin3_1:xmax3_1]) - 2 #dof:degrees of freedom, Freiheitsgrad
chi2_red = chi2_/dof

print("chi2 =", chi2_)
print("chi2_red =", chi2_red)

prob = np.round(1 - chi2.cdf(chi2_,dof),2) * 100
print("Wahrscheinlichkeit =", prob, "%")
```

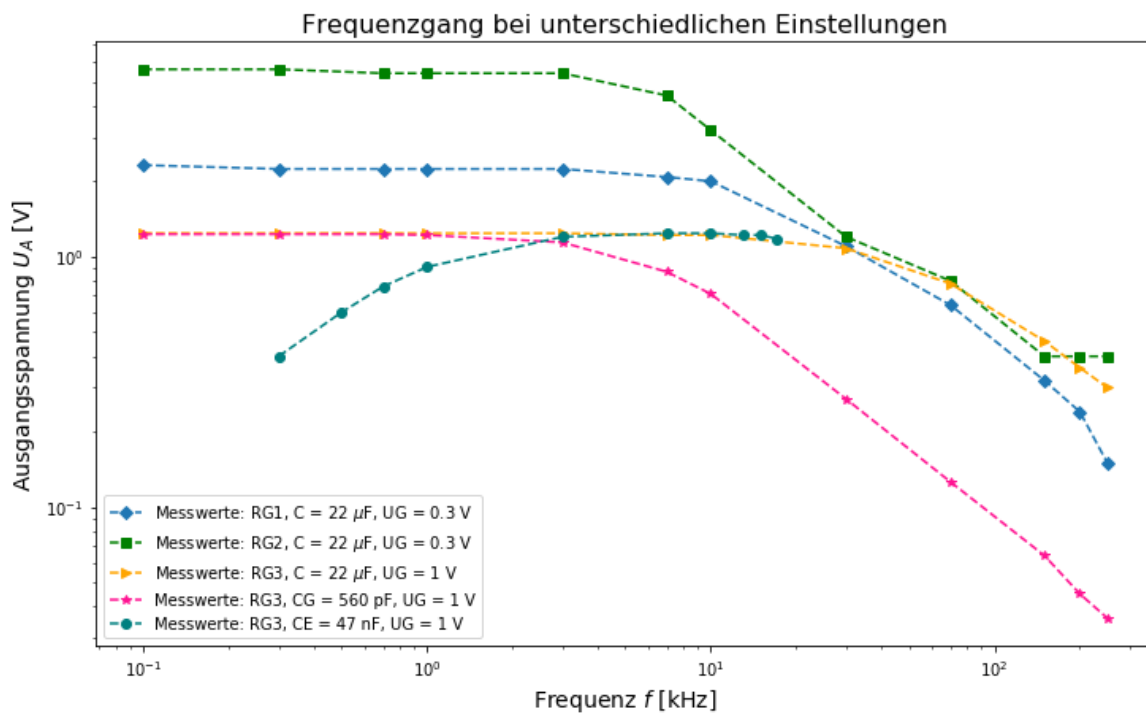
```
chi2 = 3.7966101694915038
chi2_red = 1.8983050847457519
Wahrscheinlichkeit = 15.0 %
```

Aufgabe 2

In [9]:

```
# Plot
plt.figure(figsize = (12, 7))
plt.loglog()
plt.plot(f4, UA4_2, 'D--',
         label = 'Messwerte: RG1, C = 22  $\mu$ F, UG = 0.3 V')
plt.plot(f4, UA4_1, 's--', color = 'green',
         label = 'Messwerte: RG2, C = 22  $\mu$ F, UG = 0.3 V')
plt.plot(f5, UA5, '>--', color = 'orange',
         label = 'Messwerte: RG3, C = 22  $\mu$ F, UG = 1 V')
plt.plot(f6, UA6, '*--', color = 'deeppink',
         label = 'Messwerte: RG3, CG = 560 pF, UG = 1 V')
plt.plot(f7, UA7, 'o--', color = 'teal',
         label = 'Messwerte: RG3, CE = 47 nF, UG = 1 V')
plt.title('Frequenzgang bei unterschiedlichen Einstellungen', size = 16)
plt.xlabel('Frequenz  $f$  [kHz]', size = 14)
plt.ylabel('Ausgangsspannung  $U_A$  [V]', size = 14)

plt.legend(loc = 'best')
plt.savefig('images/242/V242Diagramm3.png')
plt.show()
```



In []: