

# Einführung zum Versuch

Im Versuch DAQ-USB (Signalerfassung und Frequenzganguntersuchung mit USB-Oszilloskop) geht es darum das Verhalten analoger Filterschaltungen 1. Ordnung mittels USB-Oszilloskops und zugehöriger Software zu untersuchen. Zu diesem Zweck wird das Verhalten eines unbelasteten RC-Tiefpass (mit einer rechtecksförmigen Eingangsspannung versorgt wird) und eines belasteten RC-Tiefpass genau sowie das Verhalten eines aktiven Tiefpass (wobei die Schaltungen mit einer sinusförmigen Eingangsspannung versorgt werden) im Frequenz- und Zeitbereich erforscht.

Eine analoge Filterschaltung ist ein zeit- und amplitudenkontinuierliches, signalverarbeitendes Filter. Anhand analoger Filtern können Signale geformt werden oder gewünschte Signale vertreten werden. Sie unterdrücken oder heben nämlich bestimmte Signalanteile hervor. Das Verhältnis Ausgangs- zu Eingangssignal und die Phasenverschiebung dieses Verhältnis charakterisieren die

Eigenschaften der Filterschaltungen. Der Frequenzgang kann dann als  $G(j\omega) = \frac{U_a}{U_e}$ . Der Phasengang ist die Darstellung des Phasenwinkels von Ausgangs- zu Eingangssignal in Abhängigkeit der Frequenz.

Außerdem ist mit der Ordnung der Filterschaltung die Steilheit der Übergangskurve zwischen dem Durchlass - und - Sperrbereich des Filters gemeint und je nach Eigenschaften wird zwischen passiven und aktiven Filterarten unterschieden:

- Passive Filter: Es ist die Zusammenschaltung von passiven Bauelemente (Kondensator, Spule, Widerstand, Quarz), die keine externe Spannungsversorgung gebrauchen. Je nachdem wie und mit welchen Bauelement die Schaltung aufgebaut wird, sind RC-, RL-, und RCL-Kombinationen realisierbar. Im DAQ-USB Versuch wird mit dem RC-Tiefpass gearbeitet.
- Aktive oder elektronische Filter: Zu ihrer Realisierung werden aktive Bauelemente wie Transistoren oder Operationsverstärker benötigt, hinzu werden noch passive Bauelemente eingesetzt. In diesem Fall werden Operationsverstärker benutzt.

Der Versuch DAQ-USB befasst sich mit vier verschiedenen Schaltungen, die im Bericht bearbeiten werden:

1. Ein passiver RC-Tiefpass
2. Ein belasteter RC-Tiefpass
3. Ein aktiver Tiefpass mit Operationsverstärker
4. Ein aktiver Tiefpass mit Belastung

# 1. Hintergrund und Ziel des Versuchs

## 1.1 Gegenstand des Versuchs

In diesem Versuch werden analoge Schaltungen untersucht, Kenngrößen und Bauteilwerte ermittelt. Ziel ist es, Abweichungen zwischen den Messwerten der verschiedenen Schaltungen festzustellen und ggf. mögliche Ursachen dieser Abweichungen aufzuzeigen und zu diskutieren.

Im Bericht lässt sich der belastete, unbelastete (passive) RC-Tiefpass und der aktive Tiefpass beschreiben. Zur Auswertung werden die Spannungen am Ein- und - Ausgang der drei Schaltungen durch die Ermittlung des Amplitudengangs des Bodediagramms mit unterschiedlichen vorgegebenen Frequenzen nacheinander gemessen und niedrige, mittlere sowie hohen Werte bestimmt.

## 1.2 Hintergrund des Versuchs

### 1.2.1 Passiver RC-Tiefpass

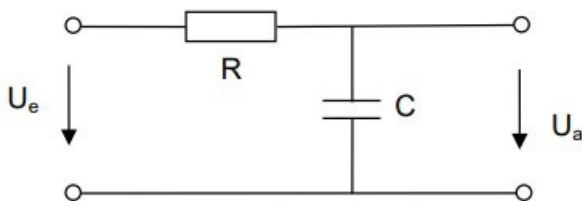


Abbildung 1: RC-Tiefpass

Der Tiefpass 1. Ordnung besteht aus einem Widerstand und einem dazu in Reihe geschalteten Kondensator. Deshalb ist auch die Bezeichnung RC-Tiefpass geläufig, wobei das **R** für den Widerstand und das **C** für den Kondensator steht. Parallel zum Kondensator wird die Ausgangsspannung **U<sub>a</sub>** abgegriffen. Bei schnellen Änderungen der Eingangsspannung **U<sub>e</sub>** fällt am Kondensator nahezu keine Spannung ab, wodurch sich auch die Ausgangsspannung **U<sub>a</sub>** nahe 0 bewegt. Kommt es hingegen zu einer langsamen Änderung der Spannung **U<sub>e</sub>**, fällt ein Teil der Spannung über dem Kondensator ab. Die Ausgangsspannung **U<sub>a</sub>** verändert sich mit einer zeitlichen Verzögerung. [1]

- Grenzfrequenz: Frequenz, bei der die Verstärkung auf das  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  fache des Maximalwertes

abgesunken ist  $\left| \frac{U_a}{U_e} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + G_g^2 \cdot R^2 \cdot C^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (1)$

$$= (R \cdot G_g \cdot C)^2 + 1 = 2 \quad (2)$$

$$= G_g = \frac{1}{R \cdot C} \quad (3)$$

mit  $G_g = 2 \cdot \pi \cdot f_g \quad (4)$  kommt dann  $2 \cdot \pi \cdot f_g = \frac{1}{R \cdot C} \quad (5) \Rightarrow f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (6)$

- Frequenzgang: beschreibt den Zusammenhang zwischen sinusförmigen Schwingungen am Ein- und Ausgang eines Systems als Funktion. Mithilfe des Spannungsteilerregl erhält man:

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{Z_C}{R + Z_C} = \frac{\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}{R + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} \quad (7)$$

$$= \frac{1}{1 + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} = G(j \omega) \quad (8)$$

- Phasenwinkel: gibt die aktuelle Position im Ablauf eines periodischen Vorgangs an

$$\phi_a = \arg(G(j \omega)) \quad (9)$$

$$= \arctan \frac{I_m\{G(j \omega)\}}{R_e\{G(j \omega)\}} \quad (10)$$

mit der Gleichung (8) hat man  $G(j \omega) = \underbrace{\frac{1}{1 + (2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C)^2}}_{R_e} - j \underbrace{\left( \frac{2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C}{1 + (2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C)^2} \right)}_{I_m} \quad (11)$

Gleichung (11) in (10) ergibt  $\phi_a = \arctan \left( \frac{\frac{-2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C}{1 + (2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C)^2}}{\frac{1}{1 + (2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C)^2}} \right) = -\arctan(2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R \cdot C) \quad (12)$

Durch einsetzen der Gleichung (6) in (12):  $\phi_a = -\arctan \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \cdot R \cdot C \right) \quad (13)$

$$= -\arctan(1) = -45^\circ \quad (14)$$

Also die Phasenverschiebung beträgt  $-45^\circ$  bei der Grenzfrequenz.

Das folgende Diagramm stellt den Frequenzgang der passiven Tiefpass dar, zeigt die Phasenverschiebung abhängig von der Frequenz, wobei die Frequenz logarithmisch dargestellt wird.

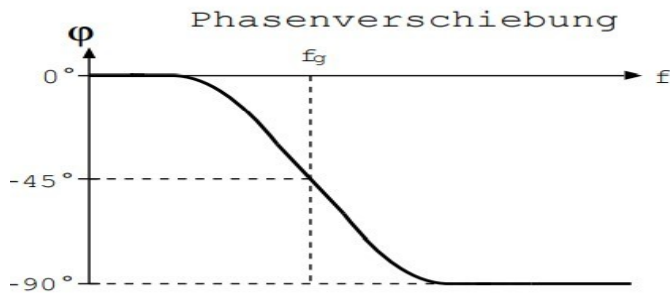


Abbildung 2: Phasenverschiebung eines RC-Tiefpasses

### 1.2.2 Belasteter RC-Tiefpass

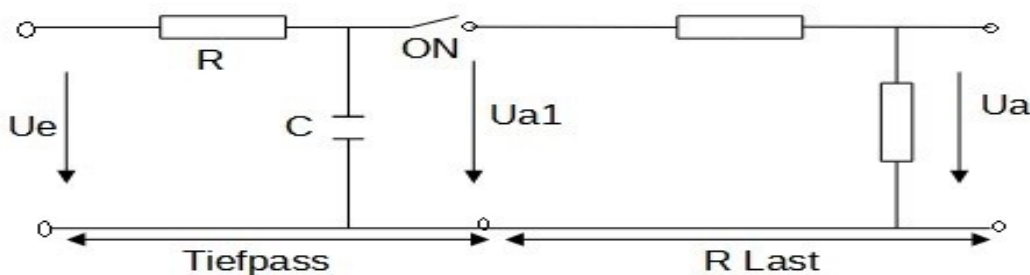
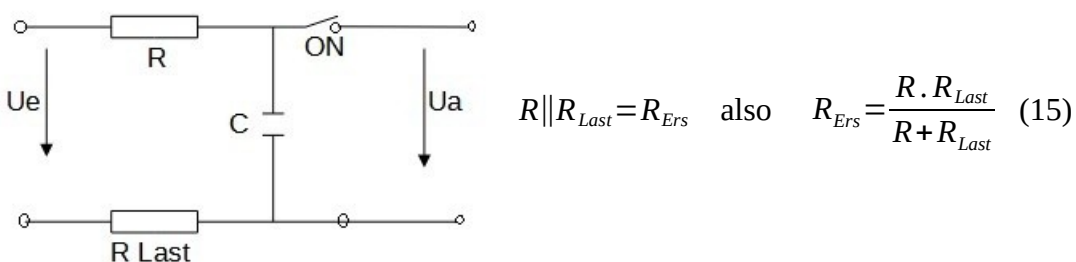


Abbildung 3: Belasteter RC-Tiefpass mit einem Schalter

Wenn ein RC-Tiefpass am Ausgang mit ohmschen Widerstände belastet wird, verringert sich die Ausgangsspannung mit zunehmender Belastung und die Grenzfrequenz wird höhere Werte annehmen. Die Formel für die Berechnung der Grenzfrequenz beim passiven Tiefpässen gilt in diesem Fall nicht mehr, da der Tiefpasswiderstand  $R$  und die beiden in Serie geschalteten Widerständen  $(R + R_{Last})$  parallel zueinander liegen und bilden einen Ersatzwiderstand  $R_{Ers}$  wie unten zu sehen.



$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{Ers} \cdot C} \quad (16)$$

Abbildung 4: Tiefpasswiderstand und R Last parallelgeschaltet

- Frequenzgang  $G(j\omega)$

$$G(j\omega) = \frac{\underline{U}_{a1}}{\underline{U}_e} \cdot \frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_{a1}} \quad (17) \quad \text{mit} \quad \frac{\underline{U}_a}{\underline{U}_{a1}} = \frac{R}{2 \cdot R} = \frac{1}{2} \quad (18)$$

$$\text{und} \quad \frac{\underline{U}_{a1}}{\underline{U}_e} = \frac{Z_C \parallel 2R}{R + Z_C \parallel 2R} = \frac{\frac{2R}{1 + 2 \cdot j \cdot \omega \cdot R \cdot C}}{R + \frac{2R}{1 + 2 \cdot j \cdot \omega \cdot R \cdot C}} \quad (19)$$

$$= \frac{1}{\frac{3}{2} + j \cdot \omega \cdot R \cdot C} \quad (20)$$

$$G(j\omega) = \frac{\frac{1}{2}}{1 + j \cdot \omega \cdot \frac{2}{3} \cdot R \cdot C} \quad (21)$$

### 1.2.3 Aktiver Tiefpass

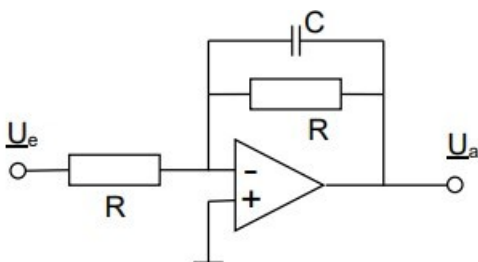


Abbildung 5: Aktiver Tiefpass mit einem Operationsverstärker

Aktive Filter eignen sich für den Bereich der Informationsübertragung und weniger bis gar nicht zur Energieübertragung. In der analogen Signaltechnik sind es meistens RC-Filter mit OPV-Schaltungen. [2] Operationsverstärker sind gleichspannungsgekoppelter Verstärker mit sehr hohen Verstärkungsfaktor.

Da der Operationsverstärker in der aktiven Schaltung als Inverter betrieben wird, verschiebt er das Eingangssignal zusätzlich um  $180^\circ$ . Bei der Grenzfrequenz erreicht er eine Gesamtphasenverschiebung von  $135^\circ$ .

## 1.2.4 Bode-Diagramm

Als Bode-Diagramm bezeichnet man die getrennte Darstellung des Logarithmus des Amplitudenverhältnisses  $|G(j\omega)|$  und des Phasenwinkels  $\phi(\omega)$  in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz. Dabei wird halblogarithmische Einteilung verwendet, und die Frequenz wegen der Größe der auftretenden Werte auf der logarithmischen Skala aufgetragen. Nach Aufspaltung des Frequenzganges in Real- und Imaginärteil lassen sich Amplitudenverhältnisse und Phasenwinkel bestimmen. [3]

- Amplitude:  $A = 20 \cdot \log(\sqrt{R_e[G(j\omega)]^2 + I_m[G(j\omega)]^2})$  (22)

Die Amplitude wird in Dezibel (dB) angegeben.

## 2 Versuchsaufbau

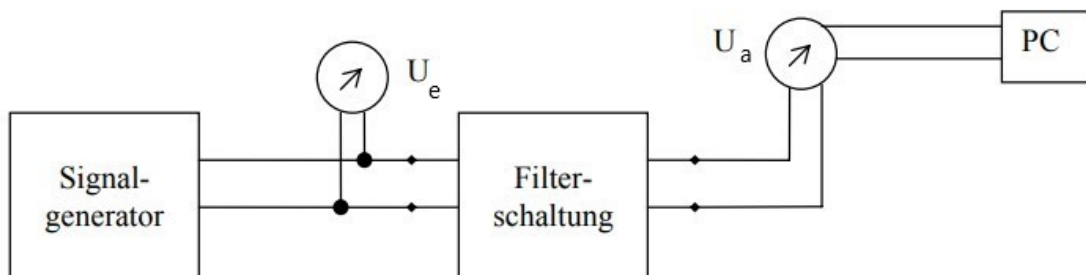


Abbildung 6: Versuchsaufbau

Am Signalgenerator (als Spannungsversorger) und am Kanal A wurde den Eingang der Schaltung eingeschlossen und am PC dargestellt. Hinzu wurde der Ausgang der Schaltung am Kanal B eingeschlossen und wieder am PC dargestellt.

Für den Versuch DAQ-USB stand zur Verfügung:

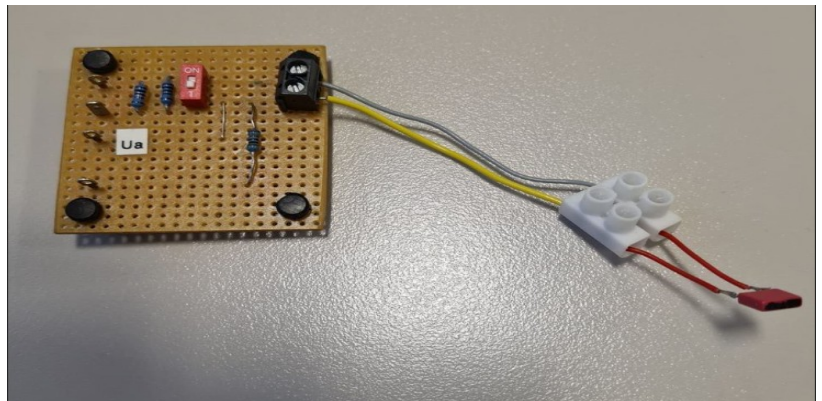
- Ein USB-Oszilloskop „PicoScope 2206A“, um den Signalverlauf digital am PC anzuzeigen



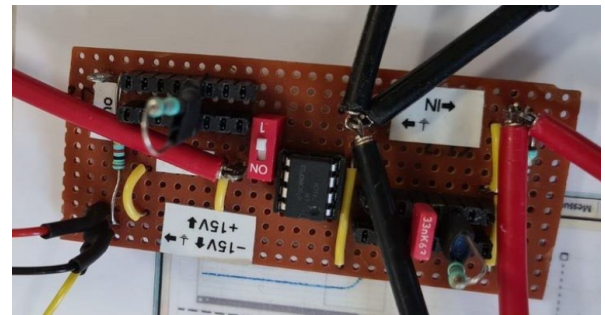
- Ein DC Linear Labornetzgerät „PeakTech 6300“



- Eine Platine mit  $1k\Omega$  Widerstand und einem Kondensator als RC-Tiefpass



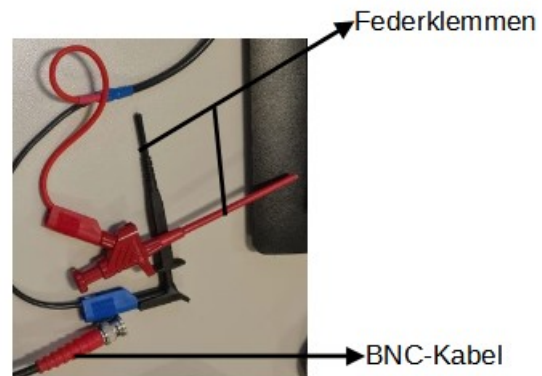
- Eine Platine mit Operationsverstärker als aktiver Tiefpass



- Ein Multimeter für die Messung des Widerstandswerts



- Federklemmen und BNC-Kabel zur Verbindung der Schaltungen mit der Oszilloskop



### 3 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung umfasst vorbereitenden Aufgaben und Durchführung der verschiedenen Teilaufgaben.

Zur Vorbereitung wurden handschriftlichen Formel hergeleitet und ein Bode-Diagramm für den unbelasteten RC-Tiefpass skizziert.

Am Standort wurde zuerst überprüft, ob das USB-Oszilloskop richtig mit dem Computer verbunden war und dann hat die Durchführung mit der Messung des Signalgenerators ausgangs durch die Konfigurierung der Messkanäle, um einen Eindruck des Signalverlauf zu sehen.

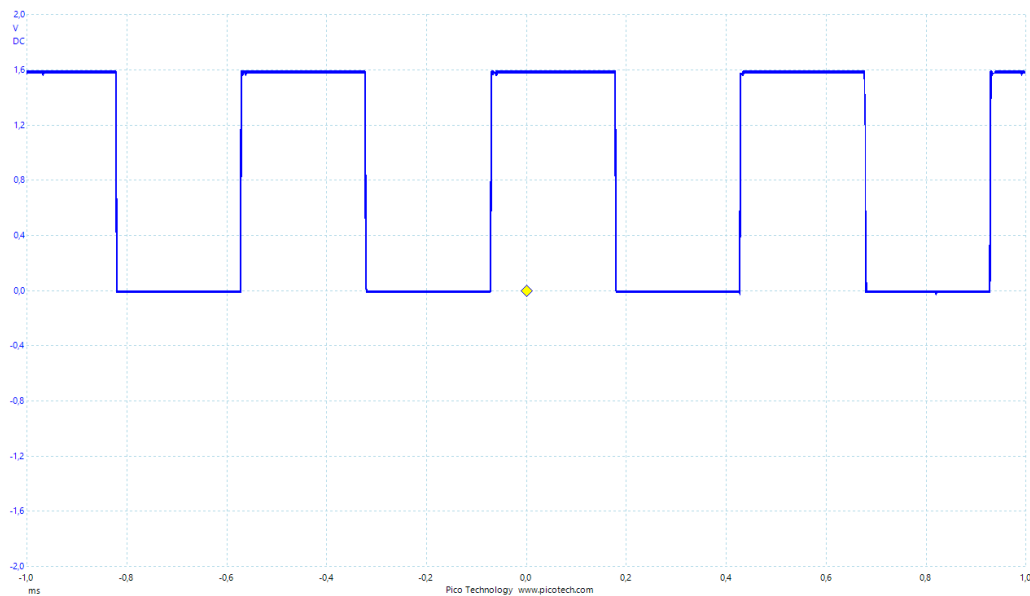


Abbildung 7: Signalverlauf nach Konfigurierung des Signalgenerators

Nachdem der Widerstandswert, die Anstiegszeit (der Effekt, der zu sehen ist wird in Kapitel 4.1 (Anstiegszeit) erklärt und beschrieben) und die Zeitkonstante des RC-Tiefpasses gemessen wurde,



wurde der Frequenzgang dieses letzteren im Frequenzbereich von 0,1 bis 50kHz. Dabei wurde der Eingangssignal  $U_e$  auf Kanal A, der Ausgangssignal  $U_a$  auf Kanal B des Oszilloskop dargestellt und die verschiedenen Frequenzwerten am Signalgenerator wurden manuell eingestellt. Die Messwerttabelle dazu kann aus dem Kapitel 4.2 entnommen werden.

Außerdem für den belasteten RC-Tiefpass wurde der am Ausgang stehenden Spannungsteiler zugeschaltet und das Kanal B mit dem neuen Ausgangssignal verbunden und die Werte des Betragsfrequenzgangs wurden genauso wie beim passiven RC-Tiefpass ermittelt (Tabelle Kapitel 4.3)

Was den aktiven Tiefpass betrifft, wurden die Versorgungsspannungen angeschlossen und dem Signalgeneratorausgang des PicoScope mit  $U_e$  verbunden und am Kanal A gemessen,  $U_a$  am Kanal B angeschlossen und es wurde durch Einstellung einer niedrigen/mittleren/hohen Frequenz (Messwerte in Kapitel 4) festgestellt, dass diese Schaltung sich näherungsweise wie der passiven Tiefpass verhält.

Zum Schluss wurde der Spannungsteiler am Ausgang zugeschaltet und am Kanal B angeschlossen und wie am Anfang erklärt, der Betragsfrequenzgang dieser Schaltung gemessen (Die Tabelle ist im Anhang zu sehen).

## 4 Auswertung

### 4.1 RC-Tiefpass: Anstiegszeit, Zeitkonstante

- Widerstand

Als Widerstandswert wurde  $R=1,003\text{ k}\Omega$

Unsicherheit:  $\Delta R = \pm(0,1\% \cdot MW + 5D)$

Absolute Unsicherheit

$$\Delta R = \pm(R \cdot 0,1\% + 5 \cdot 100\text{ m}\Omega) \quad (23)$$

$$= \pm(1003\Omega \cdot 0,1\% + 500\text{ m}\Omega) \quad (24)$$

$$= \pm(1,003\Omega + 0,5\Omega) \quad (25)$$

$$= \pm 1,503\Omega \quad (26)$$

$$R = 1003\Omega \pm 1,503\Omega \quad (29)$$

Relative Unsicherheit

$$\Delta R = \frac{\Delta R}{R} \quad (26)$$

$$= \frac{1,503\Omega}{1,003\text{ k}\Omega} \approx 1,4985 \cdot 10^{-3} \quad (27)$$

$$\approx 0,15\% \quad (28)$$

## ● Anstiegszeit

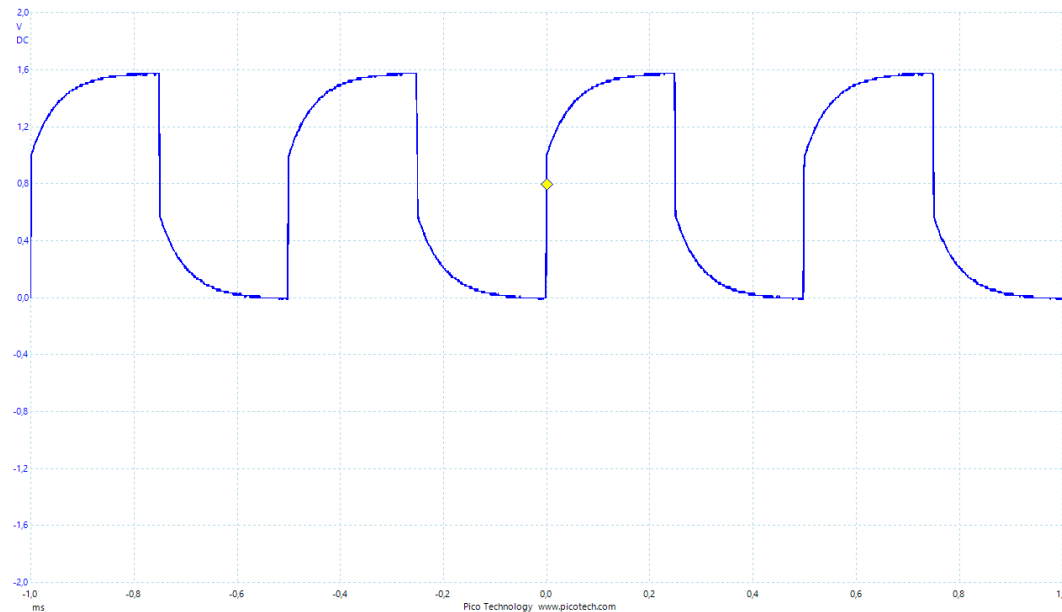


Abbildung 8: Signalverlauf des Ausgangs des Signalgenerators auf Kanal A

Der Ausgang der Signalgenerator wurde am Tiefpasseingang angeschlossen und der Signal sieht nicht mehr rechteckig aus, sondern steigt und sinkt kurven artig wie im oben stehenden Bild zu sehen: Der Effekt einer nicht idealen Spannungsquelle lässt sich erkennen.

Dieser Effekt kommt vor, weil der Signalgenerator keine ideale Spannungsquelle ist wegen seinen Innenwiderstand, der für einen nicht linearen Spannungsverlauf sorgt.

Idealerweise haben Spannungsquellen immer eine konstante Spannung, egal welchen Verbraucher man anschließt, ändert sich nur die Stromstärke. Bei Gleichspannungsquellen zum Beispiel ist die Spannung immer konstant, unabhängig von welcher Zeit die Spannung gemessen wird und von welchem Verbraucher angeschlossen. Bei der Wechselspannungsquelle ist die Spannung bedingt durch die Funktion nicht zu jeder Zeit die selbe aber sie wiederholt sich periodisch. Egal welcher Verbraucher angeschlossen wird, die gleichen Werte wiederholen sich periodisch.

Betrachtet man eine Spannungsquelle nicht ideal also real, fällt auf das diese beim Anschluss eines Verbrauchers die Spannung nicht 100% konstant hält. [4] Dies ist hier der Fall mit dem Signalgenerator, der sich als eine reale Spannungsquelle aufgrund des Innenwiderstands verhält.

$$\text{Messungen: } t_{10} = -530,8 \mu\text{s} \quad \text{und} \quad \Delta t_{10} = \pm 1 \mu\text{s} \quad (30)$$

$$t_{90} = -409,9 \mu\text{s} \quad \text{und} \quad \Delta t_{90} = \pm 2 \mu\text{s} \quad (31)$$

### Anstiegszeit

$$t_r = t_{90} - t_{10} \quad (32)$$

$$= (-409,9 \mu s) + (-530,8 \mu s) \quad (33)$$

$$= 120,9 \mu s \quad (34)$$

$$t_r = 120,9 \mu s \pm 2,236 \mu s \quad (38)$$

### Abweichung

$$\Delta t_r = \sqrt{(\Delta t_{10})^2 + (\Delta t_{90})^2} \quad (35)$$

$$= \sqrt{(1 \mu s)^2 + (2 \mu s)^2} \quad (36)$$

$$= \sqrt{5} \approx 2,236 \mu s \quad (37)$$

● Zeitkonstante  $\tau \approx 0,455 \cdot t_r \quad (39)$

$$\approx 0,455 \cdot 120,9 \mu s \quad (40) \quad \tau \approx 55,009 \mu s \quad (41)$$

● Kapazität

1. Fall:  $\tau = R \cdot C \Leftrightarrow C = \frac{\tau}{R} \quad (42)$

2. Fall:  $\tau = R \cdot C \quad (45)$

$$= \frac{55,009 \mu s}{1,003 k\Omega} \quad (43)$$

$$t_r = \tau \cdot \ln(9) \quad (46)$$

$$C \approx 54,85 nF \quad (44)$$

$$= R \cdot C \cdot \ln(9) \quad (47) \Rightarrow C = \frac{t_r}{R \cdot \ln(9)} \quad (48)$$

$$= \frac{120,9 \mu s}{1,003 k\Omega \cdot \ln(9)} \quad (50)$$

$$C \approx 54,85 nF \quad (51)$$

Für die Fehlerfortpflanzung bezüglich der Kapazität, lässt sich anhand des 2. Fall die folgende

Abweichung rechnen:  $\frac{\Delta C}{C} = \sqrt{\left(\frac{\Delta t_r}{t_r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (52)$

$$= \sqrt{\left(\frac{2,236 \mu s}{120,9 \mu s}\right)^2 + \left(\frac{1,503 \Omega}{1003 \Omega}\right)^2} \quad (53)$$

$$= \sqrt{3,42 \cdot 10^{-4} \mu s + 2,25 \cdot 10^{-6} \Omega} \quad (54)$$

$$\frac{\Delta C}{C} = 1,85 \% \quad (55)$$

$$\Rightarrow \Delta C = C \cdot 1,85 \% \quad (56)$$

$$= 54,85 nF \cdot 1,85 \% \quad (57) \quad \Delta C \approx \pm 1,01 nF \quad (58)$$

Im Datenblatt des Oszilloskops sind folgende Daten angegeben:

USB-Oszilloskop PicoScope 2206A	
Anstiegszeit (10% bis 90%)	$t_r = \frac{0,35}{50 \text{ MHz}} = 7 \text{ ns}$
Bandbreite	50MHz

Eine hohe Bandbreite ist notwendig, um genaue Formen eines hochfrequenten Signals darzustellen. Ist sie das nicht, kann sie dafür verantwortlich sein, dass ein Signal nicht korrekt dargestellt wird. Ist die Bandbreite des Oszilloskops hoch genug, kann der Signalgenerator als Verursacher einer nicht-korrekten Darstellung bestimmt werden.

Der verzögerte Anstieg der Flanke ist tatsächlich so gut wie ausschließlich auf das RC-Glied zurückzuführen, da der Tiefpass einen hohen Grenzfrequenz hat und der Kondensator die Spannung glättet.

- Grenzfrequenz

Aus der Gleichung (6)  $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$  mit  $R = 1003 \Omega$  und  $C \approx 54,85 \text{ nF}$

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1003 \Omega \cdot 54,85 \text{ nF}} = 2,89 \text{ kHz} \quad (59)$$

## 4.2 Frequenzgang des RC-Tiefpasses

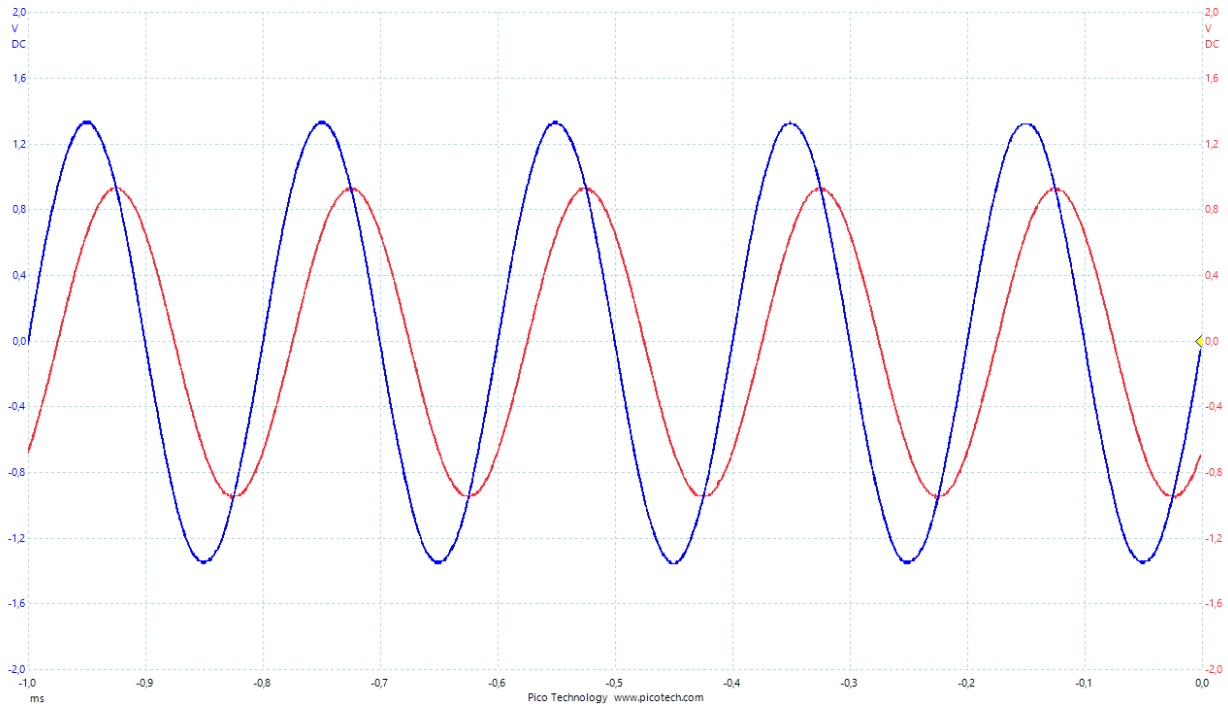


Abbildung 9: Signalverlauf bei mittlerem Wert der Frequenz beim passiven Tiefpass

**Tabelle 1: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten (passiver Tiefpass)**

#	Frequenz[kHz]	Ue(Kanal A)[V]	Ua(Kanal B)[V]	Ua/Ue
1	0,1	3,606	3,606	1
2	0,5	3,575	3,575	1 (Niedrig)
3	0,75	3,543	3,512	0,99
4	1	3,48	3,43	0,98
5	1,5	3,37	3,228	0,95
6	2	3,244	3,008	0,92
7	2,5	3,134	2,787	0,88
8	3,2	2,976	2,504	0,84
9	4	2,819	2,205	0,78
10	5	2,693	1,89	0,70 (Mittel)
11	6	2,598	1,654	0,63
12	7,5	2,488	1,37	0,55
13	10	2,405	1,087	0,45
14	12	2,362	0,929	0,39
15	15	2,315	0,740	0,31
16	20	2,283	0,551	0,24 (Hoch)

17	30	2,252	0,393	0,17
18	50	2,252	0,236	0,10

Die Grenzfrequenz liegt bei Frequenzen zwischen 4 und 6 kHz.

Schätzwert der Grenzfrequenz:  $f_g = 5 \text{ kHz}$  (60)

Aus der Gleichung (6) lässt sich den Wert der Kapazität mit der Anwendung der Grenzfrequenz wie

folgt berechnen:  $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_g \cdot R}$  (61)

Durch einsetzen von der Gleichung (60) in der Gleichung (61), erhält man:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,70 \text{ kHz} \cdot 1,003 \text{ k}\Omega} \quad (62) \quad C \approx 31,74 \mu\text{F}$$

Gemessener Wert der Kapazität	Gerechneter Wert der Kapazität
54,85 nF	31,74 $\mu\text{F}$

Unterschied:  $31,74 \mu\text{F} - 54,85 \text{ nF} = 31,68 \mu\text{F}$  (63)

Dieser Unterschied liegt daran, dass der Signalgenerator auf dem Sinusform eingestellt wurde.

Je kleiner wird die Frequenz, desto höher wird der Frequenzgang.

- Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms

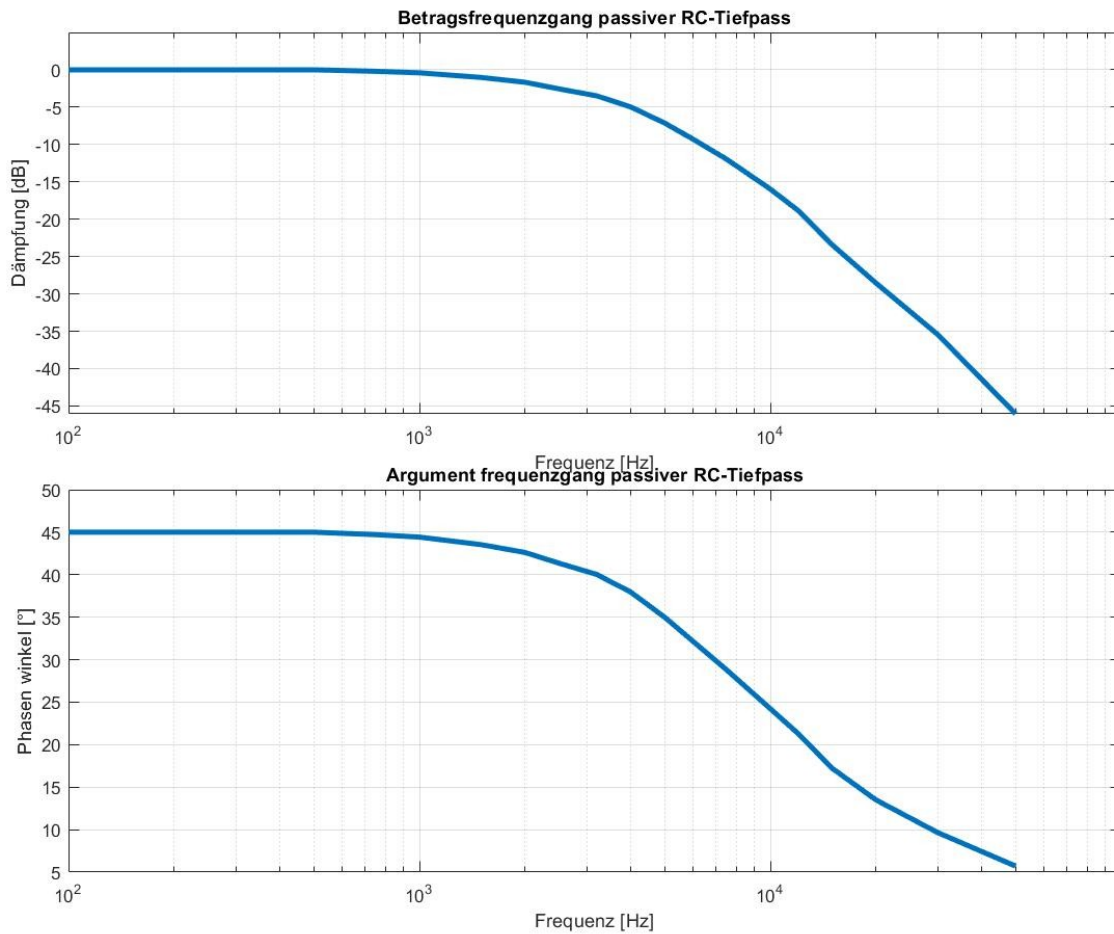


Abbildung 10: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim passiver Tiefpass

- Betragsfrequenzgang  $G_{RC}=55,015 \mu\text{Hz}$

- Grenzfrequenz

$$G_{RC} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega \cdot \tau)^2}} \quad (64)$$

$$\sqrt{1 + (\omega \cdot \tau)^2} = \frac{1}{G_{RC}} \quad (65)$$

$$4 \cdot \pi^2 \cdot f_g^2 \cdot \tau^2 = \left(\frac{1}{G_{RC}}\right)^2 - 1 \quad (66)$$

$$f_g = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{G_{RC}}\right)^2 - 1}{4 \cdot \pi^2 \cdot \tau^2}} \quad (67)$$

$$f_g = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{55,015 \mu\text{Hz}}\right)^2 - 1}{4 \cdot \pi^2 \cdot 1,003 \text{ k}\Omega^2 \cdot 54,85 \text{ nF}^2}} \quad (68) \quad f_g = 52,584 \text{ MHz}$$

- Kapazität des Kondensators

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad (69)$$

$$\Rightarrow C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f_g} \quad (70)$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1,003 \text{ k}\Omega \cdot 52,58 \text{ MHz}} \quad (71) \quad C = 3,017 \text{ pF}$$

- Unsicherheit der Kapazität

Aus der Gleichung (52)  $\frac{\Delta C}{C} = \sqrt{\left(\frac{\Delta t_r}{t_r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \Rightarrow \Delta C = C \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta t_r}{t_r}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)^2} \quad (72)$

$$\Delta C = 3,017 \text{ pF} \cdot \sqrt{\left(\frac{2,236 \mu\text{s}}{120,9 \mu\text{s}}\right)^2 + \left(\frac{1003 \Omega}{1,503 \Omega}\right)^2} \quad (73) \quad \Delta C = 55,8145 \text{ fF}$$

## 4.3 Frequenzgang eines belasteten RC-Tiefpass

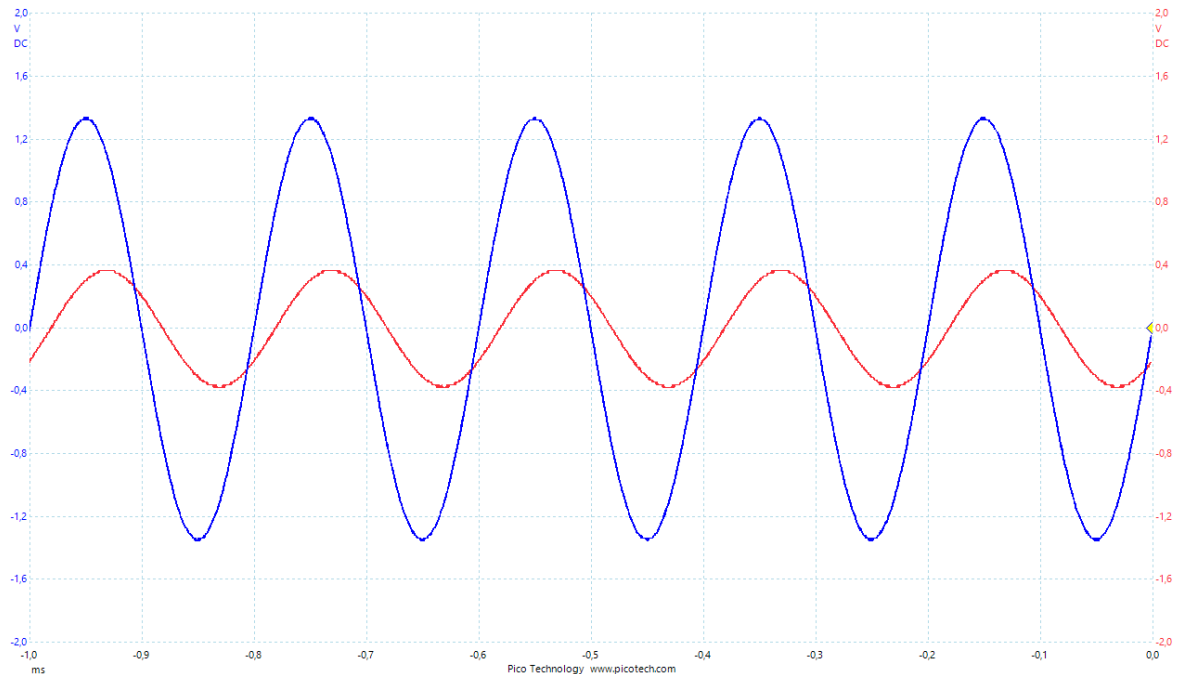


Abbildung 11: Signalverlauf bei mittlerem Wert der Frequenz beim belasteten Tiefpass

**Tabelle 2: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten(belasteter Tiefpass)**

#	Frequenz[kHz]	Ue(Kanal A)[V]	Ua(Kanal B)[V]	Ua/Ue
---	---------------	----------------	----------------	-------



1	0,1	3,008	1,008	0,335
2	0,5	3,008	1,008	0,335 (Niedrig)
3	0,75	2,992	1,008	0,336
4	1	2,976	0,992	0,333
5	1,5	2,945	0,976	0,331
6	2	2,913	0,960	0,329
7	2,5	2,882	0,913	0,316
8	3,2	2,835	0,866	0,305
9	4	2,756	0,818	0,297
10	5	2,693	0,740	0,275 (Mittel)
11	6	2,630	0,677	0,257
12	7,5	2,535	0,598	0,236
13	10	2,441	0,488	0,200
14	12	2,409	0,425	0,177
15	15	2,346	0,362	0,154
16	20	2,315	0,267	0,115 (Hoch)
17	30	2,283	0,189	0,083
18	50	2,252	0,110	0,049

$$I_L = \frac{U_C}{2 \cdot R} \quad (74) \quad U_{C90} = 1,44 \text{ V} \quad \text{und} \quad U_{C10} = 0,16 \text{ V}$$

$$I_{L90} = \frac{U_{C90}}{2 \cdot R} \quad (75) \quad I_{L90} = \frac{1,44 \text{ V}}{2.1003 \Omega} \quad I_{L90} = 717,85 \mu\text{A}$$

$$I_{L10} = \frac{U_{C10}}{2 \cdot R} \quad (76) \quad I_{L10} = \frac{0,16 \text{ V}}{2.1003 \Omega} \quad I_{L10} = 81,76 \mu\text{A}$$

$$I_L = I_{L90} - I_{L10} = 717,85 \mu\text{A} - 81,76 \mu\text{A} \quad (77) \quad I_L = 638,09 \mu\text{A}$$

$$G_{RC} = 55,015 \mu\text{Hz}$$

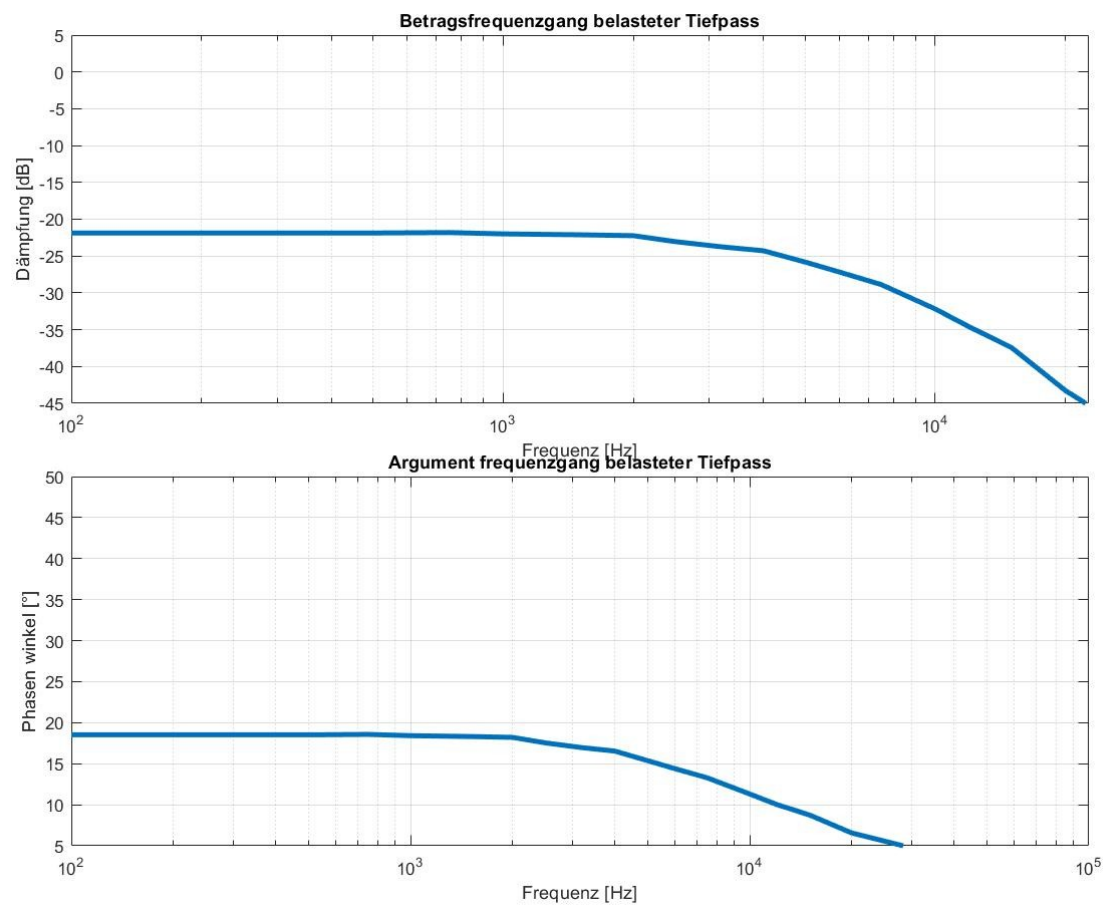


Abbildung 12: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim belasteter Tiefpass

## 4.4 Frequenzgang eines aktiven Tiefpasses

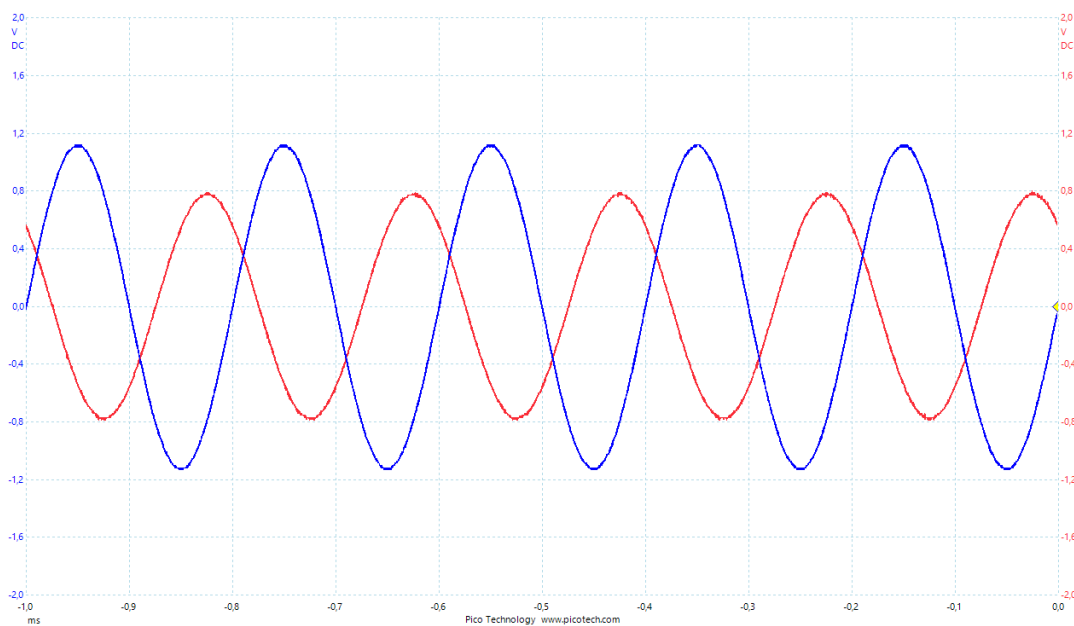


Abbildung 13: Signalverlauf bei mittlerem Wert der Frequenz beim aktiven Tiefpass

Die Beobachtung des Signalverlaufs dieser Schaltung sieht gleich aus wie der Signalverlauf beim unbelasteten Tiefpass: die Schaltung des aktiven Tiefpasses verhält sich näherungsweise wie der unbelastete Tiefpass.

**Tabelle 3: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten(aktiver Tiefpass)**

#	Frequenz[kHz]	Ue(Kanal A)[V]	Ua(Kanal B)[V]	Ua/Ue
1	0,5	2,268	2,268	1(Niedrig)
2	5	2,252	2,252	1(Mittel)
3	20	2,252	0,566	0,251(Hoch)

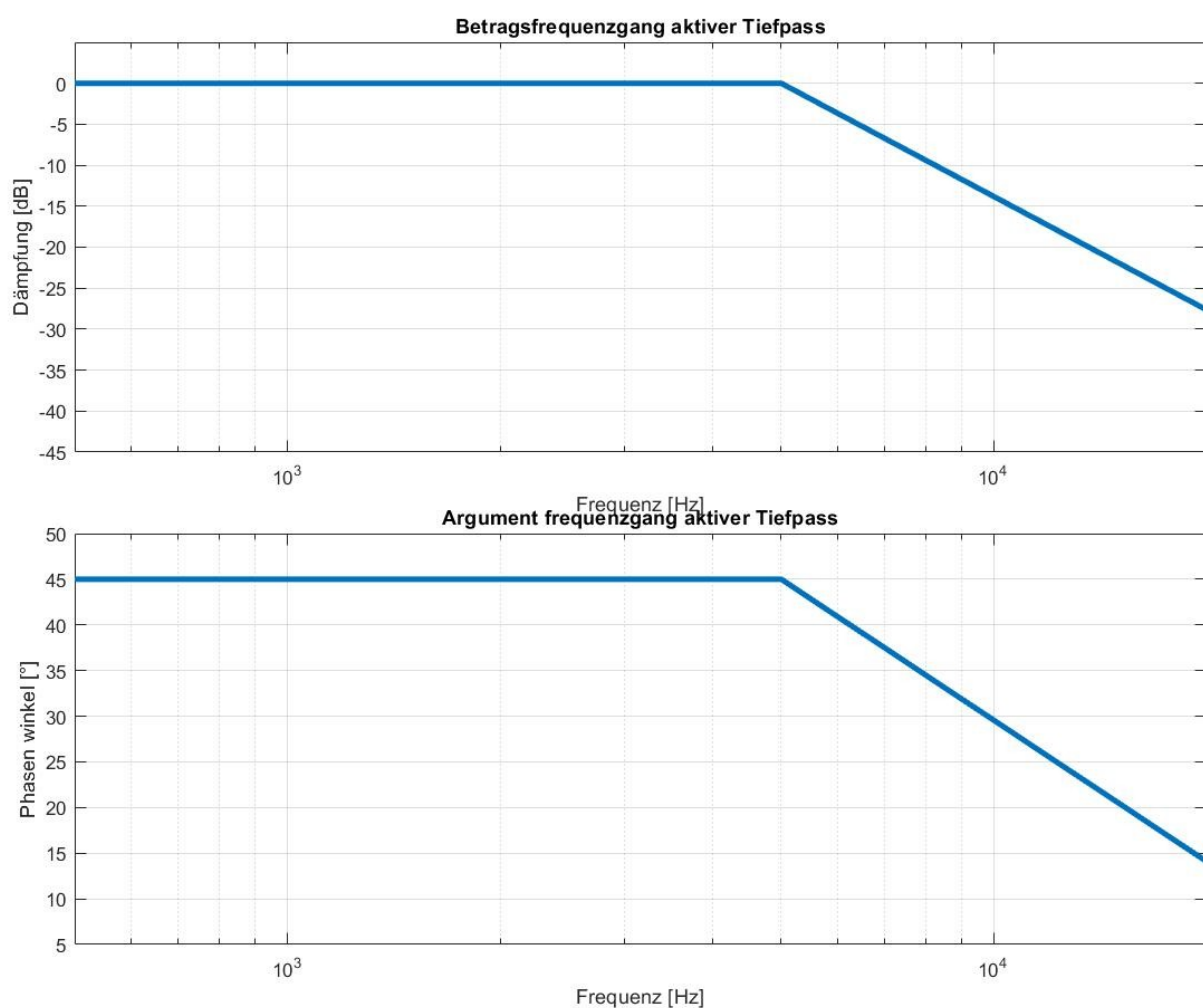


Abbildung 14: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim aktiver Tiefpass

**Tabelle 4: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten(aktiver Tiefpass mit Belastung)**

#	Frequenz[kHz]	Ue(Kanal A)[V]	Ua(Kanal B)[V]	Ua/Ue
---	---------------	----------------	----------------	-------

1	0,1	2,268	1,134	0,5
2	0,5	2,268	1,134	0,5(Niedrig)
3	0,75	2,268	1,118	0,49
4	1	2,268	1,102	0,48
5	1,5	2,268	1,071	0,47
6	2	2,252	1,039	0,46
7	2,5	2,252	1,008	0,44
8	3,2	2,268	0,944	0,41
9	4	2,268	0,881	0,38
10	5	2,268	0,787	0,34(Mittel)
11	6	2,252	0,724	0,32
12	7,5	2,252	0,629	0,27
13	10	2,252	0,504	0,22
14	12	2,252	0,441	0,19
15	15	2,252	0,346	0,15
16	20			(Hoch)
17	30			
18	50			

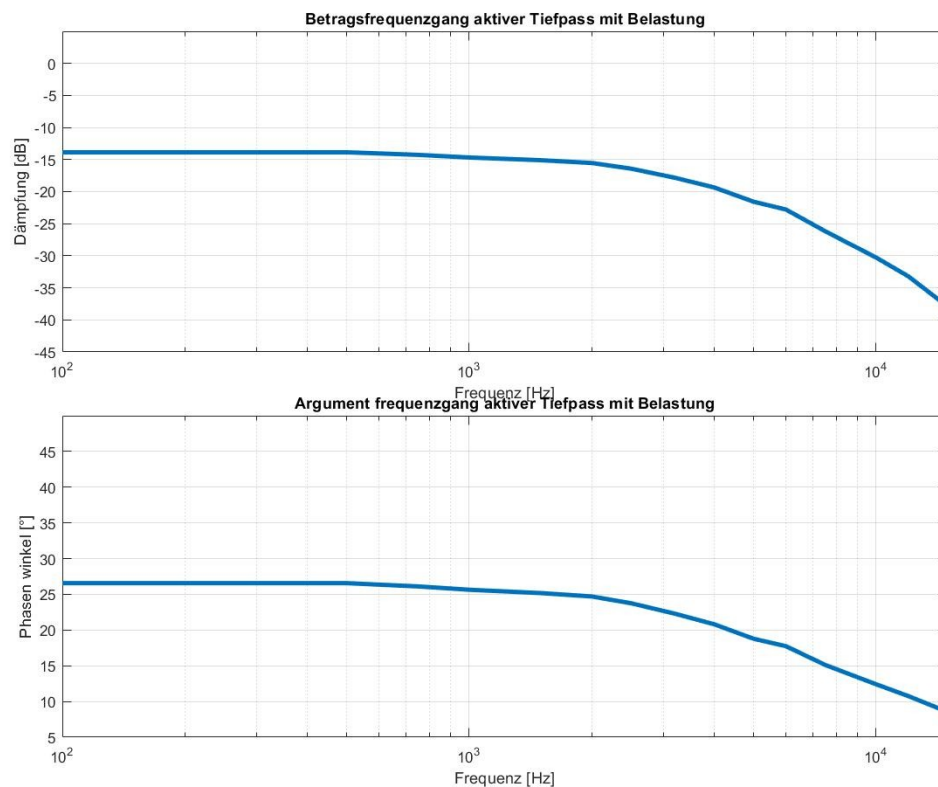


Abbildung 15: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim aktiver Tiefpass mit Belastung

## 5 Diskussion

**Tabelle 5: Vergleichende Messwerten bei niedrigen/mittleren/hohen Frequenzen**

$\frac{U_a}{U_e}$	Passiver RC-Tiefpass	Belasteter RC-Tiefpass	Aktiver Tiefpass	Aktiver Tiefpass mit Belastung
Niedrig (0,5kHz)	1	0,335	1	0,5
Mittel (5kHz)	0,70	0,275	1	0,34
Hoch (20kHz)	0,24	0,115	0,251	-

Der Tabelle lässt sich entnehmen, dass der passive - und aktive - Tiefpass bei niedrigen/mittleren und hohen Frequenzen ähnliche Werte haben, während der belastete und der aktive Tiefpass mit Belastung sich auch fast gleich verhalten.

Aus den ermittelten Werten geht hervor, dass die Schaltungen, die nicht belastet sind, unabhängig vom Operationsverstärker sich fast gleich verhalten genauso wie Schaltungen mit Belastung.

Grund dafür ist, dass beim RC-Tiefpass die Stromstärke der Spannung vorausseilt. Die ist leicht einzusehen, wenn man von einem völlig entladenen Kondensator ausgeht. Legt man ihn an eine Energiequelle, dann wird im ersten Moment ein hoher Ladungsstrom vorhanden sein, dessen Stärke mit der Zeit abnimmt. Je mehr Ladungen auf den Kondensatorplatten sind, desto mehr nimmt die Ladungsbewegung ab. Mit dem Ladungsfluss baut sich eine Spannung über den Platten auf.

# (Quellen)Literatur- Abbildung und - Tabellenverzeichnis

## Literaturverzeichnis

- [1] [Passiven Tiefpass 1. und 2. Ordnung berechnen Funktionsweise, Formel, Tiefpass Rechner – ElectronicBase](#)
- [2] [Aktive RC-Filterschaltungen \(elektroniktutor.de\)](#)
- [3] [Reglersynthese Christian Krachler](#)
- [4] [⚡ Spannungsquelle !\[\]\(5ba1bc70d78f05c00988641e5e513c62\_img.jpg\) einfach und verständlich erklärt - F.M.H. \(fmh-studios.de\)](#)

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: RC-Tiefpass*
- Abbildung 2: Phasenverschiebung eines RC-Tiefpasses*
- Abbildung 3: Belasteter RC-Tiefpass mit einem Schalter*
- Abbildung 4: Tiefpasswiderstand und R Last parallelgeschaltet*
- Abbildung 5: Aktiver Tiefpass mit einem Operationsverstärker*
- Abbildung 6: Versuchsaufbau*
- Abbildung 7: Signalverlauf nach Konfigurierung des Signalgenerators*
- Abbildung 8: Signalverlauf des Ausgangs des Signalgenerators auf Kanal A*
- Abbildung 9: Signalverlauf bei mittlerem Wert der Frequenz beim passiven Tiefpass*
- Abbildung 10: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim passiver Tiefpass*
- Abbildung 11: Signalverlauf bei mittlerem Wert der Frequenz beim belasteten Tiefpass*
- Abbildung 12: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim belasteter Tiefpass*
- Abbildung 13: Signalverlauf bei mittlerem Wert der Frequenz beim aktiven Tiefpass*
- Abbildung 14: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim aktiver Tiefpass*
- Abbildung 15: Betragsfrequenzgang des Bode-Diagramms beim aktiver Tiefpass mit Belastung*

## Tabellenverzeichnis

*Tabelle 1: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten (passiver Tiefpass)*

*Tabelle 2: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten (belasteter Tiefpass)*

*Tabelle 3: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten (aktiver Tiefpass)*

*Tabelle 4: Spitze-Spitze-Werte der Frequenzwerten sowie deren Quotienten (aktiver Tiefpass mit Belastung)*

*Tabelle 5: Vergleichende Messwerten bei niedrigen/mittleren/hohen Frequenzen*

## Anhang A: MATLAB-Skript Betragsfrequenzgang passiver Tiefpass

```
1 function [tau] = rc_step_bode()
2 %
3 % Sprungantwort und Bodediagramm des RC-Tiefpasses
4 % Mev, 10/2017, 11/2020
5
6 %% RC-Tiefpass
7 %-----
8 %R = 1000; % Widerstand
9 %C = 33e-6; % Kapazität
10 %tau = R*C; % Zeitkonstante
11 %fg = 1/2; % Frequenz
12
13 freq = [1 1000]; % Frequenzbereich
14 G = [1, 1]; % Amplitudengang
15 R = 1003; % Widerstand
16 C = 54.85e-6; % Kapazität
17 tau = R*C; % Zeitkonstante
18 fg = 5000; % Frequenz
19 amp = 20; % Amplitude
20 phi = atan(-1/fg*tau); % Phase
21
22 % Betrag
23 G_RC = @(f) 1/sqrt(1+(f*tau)^2);
24
25 %% Grafik
26 %-----
27 figure(1)
28 set(gcf, 'Name', 'Argument frequenzgang passiver RC-Tiefpass')
29 clf
30
31 %% Sprung
32 %h1 = subplot(2,1,1);
33 %set(h1, 'Name', 'Sprungantwort');
34 %[u,t] = step(G, tau);
35 %hs = plot(t, u, 'b');
36 %grid
37 %title('RC-Tiefpass, Sprungantwort')
38 %hold on
39 %yline(0, 'k--');
40 %xline(tau, 'k--');
41 %ylabel('u');
42 %xlabel('t');
43 %hold off
44
45 %% Amplit
46 h1 = subplot(2,1,1);
47 set(h1, 'Name', 'Amplitudengang');
48 set(h1, 'YLim', [5 50]);
49 Ad = plot(freq, G, 'b');
50 set(h1, 'XLog', 'on');
51 xlabel('Frequenz [Hz]');
52 set(h1, 'YLog', 'off');
53 grid on
54 ylabel('Amplitude [dB]');
55 xlabel('Frequenz [Hz]');
56 grid on
57 title('Argument frequenzgang belasteter Tiefpass')
58
59 %% Phase
60 h2 = subplot(2,1,2);
61 set(h2, 'Name', 'Phasenwinkel');
62 set(h2, 'YLim', [-3 3]);
63 Pw = plot(freq, phi, 'b');
64 set(h2, 'XLog', 'on');
65 xlabel('Frequenz [Hz]');
66 set(h2, 'YLog', 'off');
67 grid on
68 title('Argument frequenzgang passiver RC-Tiefpass')
69
70 %% Bodediagramm
71 %h2 = subplot(2,1,2);
72 %set(h2, 'Name', 'Bodediagramm');
73 %set(h2, 'YLim', [-3 3]);
74 %f = logspace(0, 3, 1000);
75 %hb = semilogx(f, 20*log10(G_RC(2*pi*f)));
76 %grid
77 %title('RC-Tiefpass, Betragsfrequenzgang')
78 %hold on
79 %yline(-3, 'k--');
80 %xline(fg, 'k--');
81 %ylabel('Dämpfung [dB]');
82 %xlabel('Frequenz [Hz]');
83 %hold off
```



## Anhang B: MATLAB-Skript Betragsfrequenzgang belasteter Tiefpass

```
1 function [tau] = rc_step_bode()
2 %
3 % Sprungantwort und Bodediagramm des RC-Tiefpasses
4 % Mev, 10/2017, 11/2020
5
6 %% RC-Tiefpass
7 R = 1003;           % [Ohm]
8 C = 54.85e-9;       % [F]
9 tau = R*C;          % [s]   Zeitkonstante
10 fg = 5000; % in [Hz] Grenzfrequenz
11
12 freq = [100,500,750,1000,1500,2000,2500,3200,4000,5000,6000,7500,10000,12000,1500
13 G = [0.335,0.335,0.336,0.333,0.331,0.329,0.316,0.305,0.297,0.275,0.257,0.236,0.200
14
15 % Amplitude und Phasenwinkel
16 amp = 20*log(G);
17 phi = atand(G);
18
19 % Betrag des Frequenzgangs
20 G_RC = @(w) 1./sqrt(1+(w*tau).^2)
21
22 %% Grafiken
23 %-----
24 figure(1)
25 set(gcf,'units','normalized','position',[0.3 0.05,0.6,0.85])
26 clf
27
28 %% Amplitudengangdiagramm
29 h1 = subplot(2,1,1);
30 set(h1,'position', [0.08,0.56,0.88,0.4]);
31 set(h1,'fontsize',12)
32 Ad = plot(freq,amp,'linewidth', 3);
33 set(h1,'xscale','log');
34 xlabel('Frequenz [Hz]')
35 set(h1,'ylim', [-45 5]);
36 grid on
37 title('Betragsfrequenzgang belasteter Tiefpass')
38 %hold (h1, 'on')
39 %fminmax = get(h1,'xlim');
40 %plot(fminmax,[-3, -3],'k--')
41 %gminmax = get(h1,'ylim');
42 %plot([fg,fg],gminmax,'k--')
43 ylabel('Dämpfung [dB]')
44 %hold (h1, 'off')
45
46 %% Phasenwinkel
47 h2 = subplot(2,1,2);
48 set(h2,'position', [0.08,0.08,0.88,0.4]);
49 set(h2,'fontsize',12)
50 Pw = plot(freq,phi,'linewidth', 3);
51 %get(h2);
52 set(h2,'xscale','log');
53 set(h2,'ylim', [5 50]);
54
55 ylabel('Phasen winkel [°]')
56 xlabel('Frequenz [Hz]')
57 grid on
58 title('Argument frequenzgang belasteter Tiefpass')
```

# Anhang C: MATLAB-Skript Betragsfrequenzgang aktiver Tiefpass

```
1 function [tau] = rc_step_bode()
2 %
3 % Sprungantwort und Bodediagramm des RC-Tiefpasses
4 % Mev, 10/2017, 11/2020
5
6 %% RC-Tiefpass
7 R = 1003;           % [Ohm]
8 C = 54.85e-9;       % [F]
9 tau = R*C;          % [s]   Zeitkonstante
10 fg = 5000; % in [Hz] Grenzfrequenz
11
12 freq = [500,5000,20000];
13 G = [1,1,0.251];
14
15 % Amplitude und Phasenwinkel
16 amp = 20*log(G);
17 phi = atand(G);
18
19 % Betrag des Frequenzgangs
20 G_RC = @(w) 1./sqrt(1+(w*tau).^2)
21
22 %% Grafiken
23 %-----
24 figure(1)
25 set(gcf,'units','normalized','position',[0.3 0.05,0.6,0.85])
26 clf
27
28 %% Amplitudengangdiagramm
29 h1 = subplot(2,1,1);
30 set(h1,'position', [0.08,0.56,0.88,0.4]);
31 set(h1,'fontsize',12)
32 Ad = plot(freq,amp,'linewidth', 3);
33 set(h1,'xscale','log');
34 xlabel('Frequenz [Hz]')
35 set(h1,'ylim', [-45 5]);
36 grid on
37 title('Betragsfrequenzgang aktiver Tiefpass')
38 %hold (h1, 'on')
39 %fminmax = get(h1,'xlim');
40 %plot(fminmax,[-3, -3],'k--')
41 %gminmax = get(h1,'ylim');
42 %plot([fg,fg],gminmax,'k--')
43 ylabel('Dämpfung [dB]')
44 %hold (h1, 'off')
45
46 %% Phasenwinkel
47 h2 = subplot(2,1,2);
48 set(h2,'position', [0.08,0.08,0.88,0.4]);
49 set(h2,'fontsize',12)
50 Pw = plot(freq,phi,'linewidth', 3);
51 %get(h2);
52 set(h2,'xscale','log');
53 set(h2,'ylim', [5 50]);
54 ylabel('Phasen winkel [°]')
55 xlabel('Frequenz [Hz]')
56 grid on
57 title('Argument frequenzgang aktiver Tiefpass')
```

# Anhang D: MATLAB-Skript Betragsfrequenzgang aktiver Tiefpass mit Belastung

```
1 function [tau] = rc_step_bode()
2 %
3 % Sprungantwort und Bodediagramm des RC-Tiefpasses
4 % Mev, 10/2017, 11/2020
5
6 %% RC-Tiefpass
7 %-----
8 %R = 1000;          % [Ohm]
9 %C = 33e-9;         % [F]
10 %tau = R*C;         % [s]   Zeitkonstante
11 %fg = 1/2/pi/(R*C); % [Hz] Grenzfrequenz
12
13 freq = [100,500,750,1000,1500,2000,2500,3200,4000,5000,6000,7500,10000,12000,1500
14 G = [0.5,0.5,0.49,0.48,0.47,0.46,0.44,0.41,0.38,0.34,0.32,0.27,0.22,0.19,0.15];
15
16 R = 1003;          % [Ohm]
17 C = 54.85e-9;      % [F]
18 tau = R*C;         % [s]   Zeitkonstante
19 fg = 5000; % in hz
20 amp = 20*log(G);
21 phi = atand(G);
22
23 % Betrag des Frequenzgangs
24 G_RC = @(w) 1./sqrt(1+(w*tau).^2)
25
26 %% Grafiken
27 %-----
28 figure(1)
29 set(gcf,'units','normalized','position',[0.3 0.05,0.6,0.85])
30 clf
31
32 %% Sprungantwort
33 hl = subplot(2,1,1);
34 %set(hl,'position', [0.08,0.56,0.88,0.4],'fontsize',12);
35 % [u,t] = step(tf(1,[R*C, 1])); % (Control System Toolbox)
36 %hs = plot(t,u,'linewidth',2);
37 %grid
38 %title('RC-Tiefpass (R = 1 k\Omega , C = 33 nF), Sprungantwort')
39 %hold on
40 %yline(0.63,'k--')
41 %xline(tau,'k--')
42 %ylabel('Spannung u(t) [V]')
43 %xlabel('Zeit [s]')
44 %hold off
45
46 %% Amplitudengangdiagramm
47 hl = subplot(2,1,1);
48 set(hl,'position', [0.08,0.56,0.88,0.4]);
49 set(hl,'fontsize',12)
50 Ad = plot(freq,amp,'linewidth', 3);
51 set(hl,'xscale','log');
52 xlabel('Frequenz [Hz]')
53 set(hl,'ylim', [-45 5]);
```

```

54 grid on
55 title('Betragsfrequenzgang aktiver Tiefpass mit Belastung')
56 %hold (h1, 'on')
57 %fminmax = get(h1,'xlim');
58 %plot(fminmax, [-3, -3], 'k--')
59 %gminmax = get(h1, 'ylim');
60 %plot([fg, fg], gminmax, 'k--')
61 ylabel('Dämpfung [dB]')
62 %hold (h1, 'off')
63
64 %% Phasenwinkel
65 h2 = subplot(2,1,2);
66 set(h2, 'position', [0.08, 0.08, 0.88, 0.4]);
67 set(h2, 'fontsize', 12)
68 Pw = plot(freq, phi, 'linewidth', 3);
69 %get(h2);
70 set(h2, 'xscale', 'log');
71 set(h2, 'ylim', [5 50]);
72 ylabel('Phasen winkel [°]')
73 xlabel('Frequenz [Hz]')
74 grid on
75 title('Argument frequenzgang aktiver Tiefpass mit Belastung')

```

## Anhang E: Vorbereitung

---

HOCHSCHULE BREMEN

Elektrische Messtechnik (ELMESS)

Laborversuch 2: LAG-USB

Laborgruppe C7

1. Kelly Mbitketchie Koudjo 5136175 (ISTI)

2. Kevin Pfeifer 5131378 (DSI)

Vorbereitung

3.) Herleitung





## Anhang F: Protokoll

<b>Hochschule Bremen</b> Labor Elektrische Messtechnik		<b>Angaben zur Veranstaltung</b> WS 2021/22
<b>Protokoll</b> zum Laborversuch <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">ZAG-UBB</span> (Kürzel)		Modul: ELMESS Dozent/Dozentin: Prof. Dr.-Ing. Manfred Mevenkamp
Signalerfassung und Frequenzganguntersuchung mit (Versuchsbezeichnung) <span style="color: blue;">USB-Oszilloskop</span>		Versuchsdatum: <span style="color: blue;">29.11.2021</span>
Kelly Mbitsetchie Kouadio (I.S.T.I) (Protokollführer / Protokollführerin) (Studiengang)		Testat / Benotung: Vorbereitung
5136175 (Matrikel-Nr.)		Testat / Benotung: Protokoll
Gruppe:	weitere Gruppenmitglieder: (Studiengang) 1. Kevin Pfeifer (I.S.T.I) 2. ( )	Testat / Benotung: Protokoll
Notizen zum Versuchsablauf – nur grober Zeitverlauf und Besonderheiten (Messwerte und Versuchsdokumentation auf den folgenden Blättern)		
<div style="color: blue;"> <p>9:00 Uhr Begrüßung des Professors</p> <p>9:05 Uhr Alle Teilnehmer anwesend, Beginn, Inbetriebnahme</p> <p>9:15 Uhr 3.2.1 Messung des Signalgeneratorsausgangs</p> <p>9:25 Uhr 3.3.1 Widerstand</p> <p>9:30 Uhr 3.3.2 Anstiegszeit</p> <p>10:15 Uhr 3.4 Frequenzgang des RC-Tiefpasses</p> <p>11:10 Uhr 3.5 Frequenzgang eines belasteten RC-Tiefpasses</p> <p>11:35 Uhr 3.6.1 Inbetriebnahme und Test</p> <p>12:00 Uhr 3.6.2 Frequenzgang des aktiven Tiefpasses mit Belastung</p> <p>12:15 Uhr Ende der Versuchsdurchführung</p> </div>		

## Durchführung

9:00 Uhr Begrüßung des Professors

9:05 Uhr Alle TN anwesend und Beginn  
Inbetriebnahme:

Ein BNC-Kabel am Signalgenerator des Oszilloskops

Ein BNC-Kabel an Kanal A des Oszilloskops

Beide Kabel miteinander verbunden

~~Signalgenerator nach Aufgabenstellung konfiguriert~~

~~Messung vorgenommen, Bild gespeichert~~

9:15 Uhr 3.2.1 Messung des Signalgeneratorsausgangs  
Signalgenerator nach Aufgabenstellung konfiguriert  
Messung vorgenommen, Bild gespeichert

9:25 Uhr 3.3.1 Widerstand

Zero-Abgleich durchgeführt

Messung durchgeführt

$R = 1,003 \text{ k}\Omega$ ,  $\Delta R = \pm (0,1\% \text{ v. MW} + 50)$  (Datenblatt Multimeter)

9:30 Uhr 3.3.2 Anstiegszeit

Signalgenerator am Tiefpasseingang gebunden

Kanal A mit Tiefpasseingang verbunden

Darstellung gespeichert

Kanal B mit Ausgang des Tiefpasses verbunden

Darstellung gespeichert

Der Effekt einer nicht-idealen Spannungsquelle ist hier zu erkennen. Die Signale an Kanal A und B sind nicht mehr rechteckig

Kanal A Darstellung deaktiviert

Trigger auf Kanal B

Anstiegszeitmessung anhand 1,6 V



Horizontale Cursor auf  $1,6V \cdot 0,9 = 1,44V$

\* Vertikale Cursor auf 1,6V.  $0,1 = 0,16V$

Messungen:  $t_{10} = -530,8 \mu s$       $\Delta t_{10} = \pm 1 \mu s$

$$t_{90} = -409,9 \mu s \quad \Delta t_{90} = \pm 2 \mu s$$
$$t_r = 120,9 \mu s$$

Zeitkonstante:  $\tau \approx 0,455 \cdot 120,9 \mu s$   
 $\approx 55,0095 \mu s$

Kapazität:  $C = \frac{T}{R} = \frac{55,0095 \mu s}{1,003 K\Omega} \quad C \approx 54,85 \mu s$

$$C \approx 54,85 \text{ nF}$$

20:15 Uhr 3.4 Frequenzgang des RC-Tiefpasses

Signalgenerator nach Aufgabenstellung

Konfiguriert: Membereich:  $\pm 2V$

Signal: sinusform

~~Frequency~~ Frequency:  $500\text{Hz}$

Amplitude: 1,8V

Offset: DV

Darstellung der Kanäle  $A(V_k)$  und  $B(V_a)$  gespeichert

Messungen hinzugefügt

Spitze-Spitze-Spannungen und Frequenzen eingetragen

Es lässt sich beobachten, dass der Frequenzgang bei höheren Frequenz abfällt.

Schätzwert Grenzfrequenz:  $f_g = 5 \text{ kHz}$

11:10 Uhr 3.5 Frequenzgang eines belasteten RC-Tiefpasses  
Schalter der Platine auf „on“  
Kanal B mit dem neuen Ausgangssignal verbunden  
Messung des Betragsfrequenzgangs wie im Abschnitt 3.4

11:35 Uhr 3.6.1 Inbetriebnahme und Test  
Versorgungsspannungen angeschlossen  
Eingang  $U_E$  („IN“) mit dem Signalgenerator angeschlossen  
und über Kanal A gemessen  
Ausgangssignal („OUT1“) an Kanal B angeschlossen  
Diese Schaltung verhält sich näherungsweise wie der  
unbelastete Tiefpass

12:00 Uhr 3.6.2 Frequenzgang des aktiven Tiefpasses mit  
Belastung

Ausgang der Spannungsteiler auf („on“) zugeschaltet  
Kanal B an „OUT2“ angeschlossen  
Betragsfrequenzgang wie in den Abschnitten 3.4 und  
3.5 bestimmt  
Letzte 3 Messungen wegen Zeit nicht durchgeführt

12:15 Uhr Ende der Durchführung

## Anhang G: Geräteliste

Geräteliste zum Laborversuch DAQ-VSB

Datum: 29.11.2021

[illegible]

Beispiel:

1	Gossen Metrawatt	METRAHIT X-TRA	Ohmmeter	1 k $\Omega$	0,2% v. MW + 5D	"5D" $\triangleq$ 500 m $\Omega$
---	------------------	----------------	----------	--------------	-----------------	----------------------------------