

## Versuch: Filterschaltung

Die Filterschaltungen (Hoch-, Tief- und Bandpass) werden im Frequenz- und Zeitbereich untersucht.

Protokollführer: Raimund Rothammel Mat.Nr: 96667  
Gruppe: A2  
Gruppenmitglieder: Blunck Marc, Takam Stephan  
Versuchsdatum: 05.01.2004  
Abgabetermin: 19.01.2004  
Auftraggeber: Prof. Dr.-Ing M. Mevenkamp  
Dipl.-Ing. W. Hävecker

### **Zusammenfassung:**

In dem Versuch Filterschaltungen sollten die einzelnen Filter( Tief-, Hoch- und Bandpass) untersucht werden. Die Unterschiede zwischen aktiven und passiven Filtern wurden verglichen.

Wir haben festgestellt, dass die aktiven Filter in vielen Eigenschaften (z.B. hoher Eingangswiderstand) sich besser eignen als passive Filter. Es wurden auch Verfahren zur Bestimmung der Grenzfrequenz untersucht, die mehr oder weniger zum Erfolg führen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Eigenschaften und Funktionalität der Filter</b>	<b>3</b>
2.1 Tiefpass(RC- Tiefpass)	3
2.2 Hochpass(RC- Hochpass)	5
2.3 Bandpass(RC- Bandpass)	5
<b>3 Versuchsaufbau und –Durchführung</b>	<b>6</b>
3.1 <i>Geräteliste</i>	6
3.2 <i>Versuchsaufbau</i>	6
3.3 <i>Versuchsdurchführung</i>	7
<b>4 Auswertung der Versuchsergebnisse(passiver Filter)</b>	<b>8</b>
4.1 Frequenzgang des Tiefpass	8
4.2 Frequenzgang des Bandpass	10
<b>5 Auswertung der Versuchsergebnisse(aktiver Filter)</b>	<b>14</b>
5.1 Aufbau des aktiven Filters	14
5.2 Frequenzgang des aktiven Tiefpasses	15
5.3 Vergleich des aktiven und passiven Tiefpasses	17
5.4 Bandpass(aktiver Tiefpass in Verbindung mit einem passiven Hochpass)	18
<b>6 Messung der Grenzfrequenz mit dem Oszilloskop</b>	<b>21</b>
6.1 Grenzfrequenz des Tiefpasses aus der Anstiegszeit	21
6.2 Grenzfrequenz des Hochpasses aus der Anstiegszeit	22
<b>7 Quellen</b>	<b>22</b>
<b>Anlagen</b>	
<i>Messprotokoll</i>	

## 1 Einführung

Filterschaltungen finden häufigen Einsatz in der Fernseh-, Audio- oder Regelungstechnik und in vielen weiteren Gebieten. Um die auch vernünftig anwenden zu können, muss man das Frequenz- und Zeitverhalten untersuchen.

*Was versteht man nun unter Filterschaltungen?*

Wie man schon aus dem Namen erkennen kann, funktioniert eine Filterschaltung wie ein Filter, so dass bestimmte(gewollte) Frequenzen durchgelassen werden und andere nicht.

*Beispiel:*

Ein bekanntes Beispiel sind Frequenzweichen in HiFi - Lautsprecher Systemen. Bekanntlich besteht Musik aus akustischen Schwingungen, die durch eine Überlagerung von sinusförmigen Einzelschwingungen unterschiedlicher Frequenz entstehen. z.B. hat der Kammerton A eine Frequenz von 440 Hz, wenn er jedoch aus einer Gitarre oder einem Saxophon kommt, sind dem Grundton verschiedene Obertöne, auch Oberschwingungen genannt, überlagert, welche die eigentliche Klangfarbe des Instrumentes ausmachen.

In einem HiFi- Lautsprecher System tauchen die unterschiedlichen Tonfrequenzen als elektrische Spannungen mit entsprechender Frequenz auf. Sie müssen getrennt und dem Tief-, Mittel- und Hochtonlautsprecher separat zugeführt werden.

Die Frequenzweiche hat die Aufgabe diese Signaltrennung durchzuführen, sie arbeitet als Signalfilter, der bestimmte Frequenzen durchlässt oder sperrt.

Beispiel-Quelle: Fachhochschule Südwestfalen(Prof. Dr. Ing. T. Skrotzki)

Unter den Filterschaltungen unterscheidet man zwischen aktiven und passiven Filter. RLC - Bauelemente bezeichnet man als „passiv“, da sie keine aktiven Funktionen im Stromkreis wahrnehmen. Dioden, Transistoren, Operationsverstärker usw. werden als aktive Bauelemente bezeichnet. Filter mit RLC - Bauelementen nennt man daher passive Filter.

In diesem Versuch untersuchen wir drei Filterschaltungen:

Tiefpass: Sperrt hohe Frequenzen, lässt tiefe Frequenzen passieren.

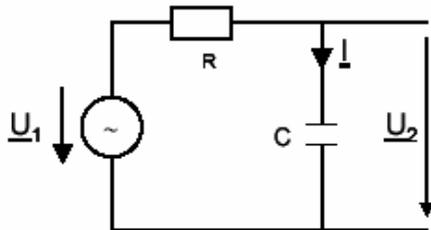
Hochpass: Sperrt tiefe Frequenzen, lässt hohe Frequenzen passieren.

Bandpass: Lässt einen bestimmten Frequenzbereich passieren.

## 2 Eigenschaften und Funktionalität der Filter

Um nun die Funktionalität der Filter voll ausnutzen zu können, muss man sein Verhalten in Abhängigkeit der Frequenz betrachten.

### 2.1 Tiefpass(RC- Tiefpass)



$\underline{U}_1$  = Eingangswechselspannung mit einer bestimmten Frequenz.

$\underline{U}_2$  = Ausgangswechselspannung

R = Widerstand C = Kondensator

An dem Bild sieht man, dass die Ausgangsspannung am Kondensator abgegriffen wird, so dass nur die tiefen Frequenzen durchgelassen werden. Wie kommt das?

Überlegung: Der Blindwiderstand des Kondensators ist definiert durch:  $X_C = \frac{1}{\omega C}$

Kreisfrequenz:  $\omega = 2\pi f \Rightarrow X_C = \frac{1}{2\pi f C}$

Jetzt kann man an dem Blindwiderstand erkennen, dass bei Erhöhung der Frequenz sein Widerstandswert immer kleiner wird.

Aus dem Ohmschen Gesetz folgt dann, dass bei kleinerem Widerstand auch der Spannungsabfall am Kondensator kleiner wird.

$$f \rightarrow \infty \Rightarrow X_C \rightarrow 0$$

$$f \rightarrow 0 \Rightarrow X_C \rightarrow \infty$$

Durch diese Überlegung kann man schon sagen, dass bei hohen Frequenzen der Eingangsspannung die Ausgangsspannung gedämpft wird.

Nun stellt sich die Frage, ab welcher Frequenz die Ausgangsspannung abgedämpft wird. Ab der Grenzfrequenz wird die Ausgangsspannung abgedämpft, wenn die Frequenz weiter erhöht wird.

**Grenzfrequenz:** Die Grenzfrequenz ist definiert als:  $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$

Herleitung: Die Grenzfrequenz ist genau dann, wenn die Widerstände gleichen Wert haben.

$$R = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow \omega = \frac{1}{RC} \quad f = \frac{\omega}{2\pi} \Rightarrow f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

Beispiel 1:  $R = 1k\Omega$   $C = 0,1\mu F$   $f_g = \frac{1}{2\pi 1000\Omega \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} F} = 1591 Hz$

Bis zur „Grenzfrequenz“  $f_g = 1591 Hz$  werden Sinusschwingungen gut übertragen, oberhalb der Grenzfrequenz jedoch mit steigender Frequenz zunehmend gedämpft.

Um nun eine graphische Darstellung der Frequenzabhängigkeiten zu erstellen, benutzt man ein Bode-Diagramm.

**Bode-Diagramm:** Hier wird einmal der Amplitudengang und der Phasengang gezeichnet.

Amplitudengang: Ist definiert durch:  $\underline{G}(\omega) = \frac{|U_2|}{|U_1|} \Rightarrow \underline{G}(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{|U_2|}{|U_1|}\right)$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \Rightarrow \underline{G}(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{1 + j\omega RC}\right) \Rightarrow |G(\omega)| = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{1 + (\omega RC)^2}\right)$$

Der Amplitudengang wird doppeltlogarithmisch aufgetragen, um eine bessere Übersicht erhalten.

**Phasengang:** Der Phasengang beschreibt die Phasenverschiebung zwischen der Eingangsspannung und der Ausgangsspannung.

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = \frac{1 - j\omega RC}{1 + (\omega RC)^2} = \frac{1}{1 + (\omega RC)^2} - j \frac{\omega RC}{1 + (\omega RC)^2}$$

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{\frac{\omega RC}{1 + (\omega RC)^2}}{\frac{1}{1 + (\omega RC)^2}}\right) = -\arctan(\omega RC)$$

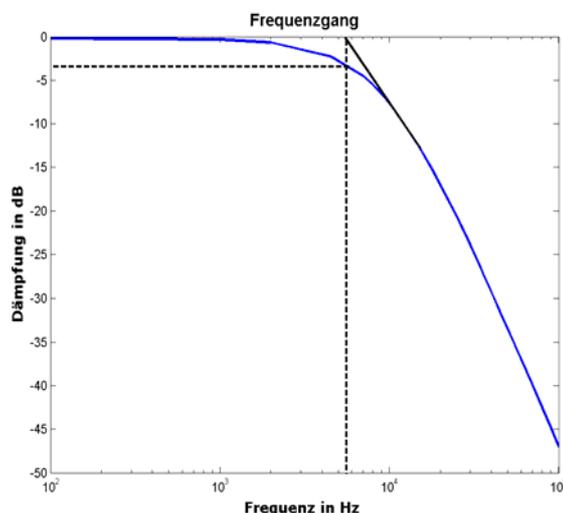
Bei der Grenzfrequenz besteht zwischen  $U_1$  und  $U_2$  eine Phasenverschiebung von  $45^\circ$ .

**Der Phasengang wird in dem Versuch nicht ausgewertet.**

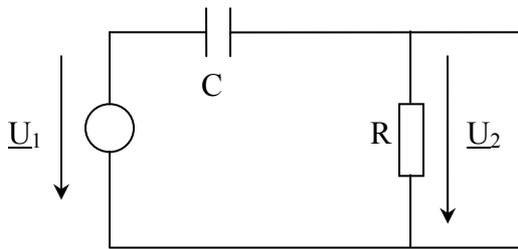
*Graphische Untersuchung nach der Grenzfrequenz:*

Im Bodediagramm kann man die Grenzfrequenz graphisch bestimmen, indem man eine Tangente an das Abfallenden-Teilstück anlegt und den Schnittpunkt mit der Frequenzachse bestimmt. Der Schnittpunkt ist gerade die Grenzfrequenz. Des Weiteren findet man die Grenzfrequenz bei -3dB und dort, wo die

Ausgangsspannung =  $\frac{\text{Eingangsspannung}}{\sqrt{2}}$   
 ist.



## 2.2 Hochpass(RC- Hochpass)



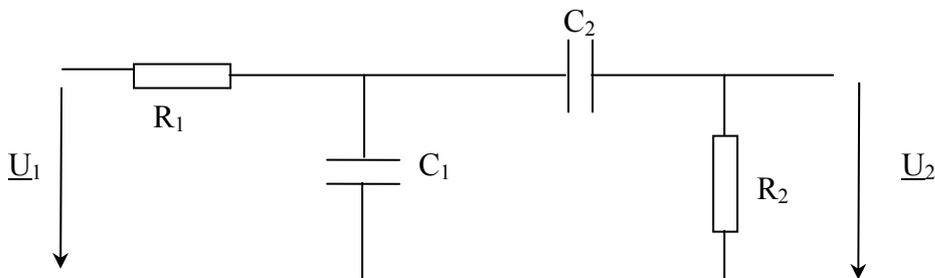
Bei einem Hochpass werden die hohen Frequenzen durchgelassen, da die Ausgangsspannung jetzt am Widerstand abgegriffen wird. Man kann hier mit den selben Überlegungen wie beim Tiefpass auf das Ergebnis kommen.

Grenzfrequenz:  $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$       Bedingung für Grenzfrequenz:  $X_c = \frac{1}{\omega C}$

Amplitudengang:  $\underline{G}(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}\right) \Rightarrow |G(\omega)| = 20 \cdot \log\left(\frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}\right)$

Phasengang:  $\varphi = 90^\circ - \arctan(\omega CR)$

## 2.3 Bandpass(RC- Bandpass)



Eine Kombination aus Tiefpass und Hochpass führt zum Bandpass. Seine wesentliche Eigenschaft besteht darin, dass er Schwingungen mit Frequenzen in der Umgebung der Bandmittenfrequenz  $f_0$  relativ gut überträgt, tiefere und höhere Frequenzen jedoch mehr und mehr dämpft. Zwischen dem Eingang und Ausgang herrscht Phasengleichheit.

*Bandmittenfrequenz:* Da es hier zwei Grenzfrequenzen gibt, muss man hier die Bandmittenfrequenz finden, bei der die Schwingungen gut Übertragen werden. Dazu legt man wieder Tangenten von beiden Seiten und der Schnittpunkt ist gerade diese Bandmittenfrequenz.

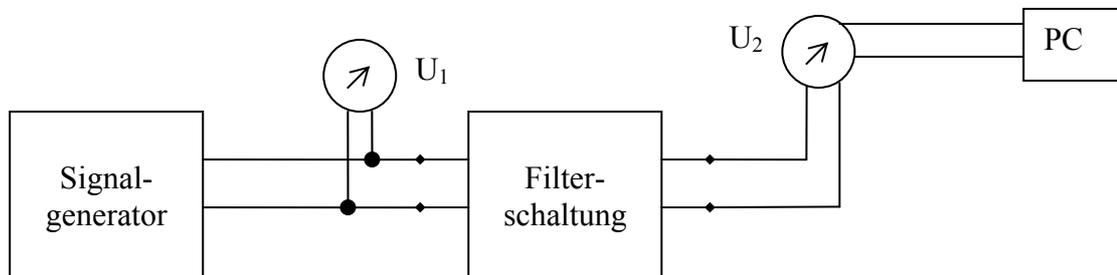
### 3 Versuchsaufbau und –Durchführung

#### 3.1 Geräteliste

Gerät	Typ	Inventarnummer
Oszilloskop	HAMEG	88006
Signalgenerator	HAMEG	ELGM 2011
Voltmeter	HP 400E AC	-
Multimeter	HP 34401A	-
Stufenwiderstand	Siemens B2086	EMT539
Stufenkondensator	Siemens B2088	EMT499
Stufenkondensator	Siemens B2088	EMT540
Widerstandsdekade	B. Schmidt	EMT535
PC	-	Elge 1

#### 3.2 Versuchsaufbau

So sieht der Versuchsaufbau allgemein aus:



Die Spannung  $U_1$  wird mit dem Voltmeter gemessen, um die Eingangsspannung konstant zu halten.

An  $U_2$  ist der Multimeter angeschlossen, der die Ausgangsspannung und die Frequenz aufnimmt. Die Werte aus dem Multimeter können auf dem PC gespeichert werden. In dem Block Filterschaltung werden dann die einzelnen Filter eingesetzt.

### **3.3 Versuchsdurchführung**

Erste Aufgabe bestand darin, dass ein Gruppenmitglied (Takam Stephan) unserer Gruppe einen aktiven Tiefpassfilter zusammenlöten sollte (Nähere Beschreibung im Kapitel 5).

Die Versuchsdurchführung bestand hauptsächlich in diesen Schritten:

1. Die Schaltung wurde aufgebaut.
2. Vorher sollte die Grenzfrequenz ausgerechnet werden, um in den uns vorgegebenen Frequenzbereich vernünftige Stützstellen aussuchen zu können.
3. Die Eingangsspannung sollte konstant auf 5V gehalten werden. Dies wurde mit dem Voltmeter nachkontrolliert.
4. Nun wurde die Frequenz nach den von uns ausgewählten Frequenzstützstellen eingestellt und die von Multimeter aufgenommene Ausgangsspannung und Frequenz im PC gespeichert.

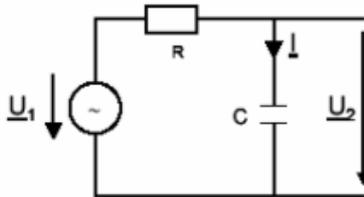
So wurde der Versuch in diesen Schritten für alle Filter durchgeführt. Damit es übersichtlich bleibt, werde ich die Schaltungen noch mal in der Auswertung aufzeichnen.

## 4 Auswertung der Versuchsergebnisse (passiver Filter)

Hinweis: Bei den Messwerten in den Tabellen werde ich den Wert markieren, der in der Umgebung der Grenzfrequenz ist.

### 4.1 Frequenzgang des Tiefpass

Schaltung:



Frequenzbereich: 100Hz – 100kHz

Aufnahme von 15 – 20 Stützstellen

Mit  $R = 1,6 \text{ k}\Omega$  und  $C = 10 \text{ nF}$

$$\text{Grenzfrequenz: } f_g = \frac{1}{2\pi \cdot 1,6 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 9947 \text{ Hz} = 9,95 \text{ kHz}$$

$$\text{Amplitudengang: } \underline{G}(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{1 + j\omega RC}\right) \Rightarrow |G(\omega)| = 20 \cdot \log\left(\frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}\right)$$

$$\text{Ausgangsspannung bei Grenzfrequenz: } U_2 = \frac{U_1}{\sqrt{2}} = \frac{5\text{V}}{\sqrt{2}} = 3,54\text{V}$$

Gemessene Werte:

Die Werte wurden bei konstanter Eingangsspannung aufgenommen.

Freq. [Hz]	99.96	998.9	1999	4504	7000	8001	9002	9503	9805	9942	10998	14998
$U_2$ [V]	4.95	4.91	4.83	4.46	3.99	3.79	3.60	3.50	3.45	3.42	3.23	2.65

14998	18003	25005	30000	40007	45003	48006	55012	59997	69971	80023	90074	100042
2.65	2.32	1.78	1.51	1.16	1.03	0.975	0.975	0.788	0.679	0.595	0.530	0.477

Vergleich der Werte bei der errechneten Grenzfrequenz:

	Gerechnet	Gemessen
Grenzfrequenz	9947 Hz	9942 Hz
Ausgangsspannung	3,54V	3,42V

Hier kann man leicht sehen, das im „Realen“ sich die Grenzfrequenz leicht verschiebt.

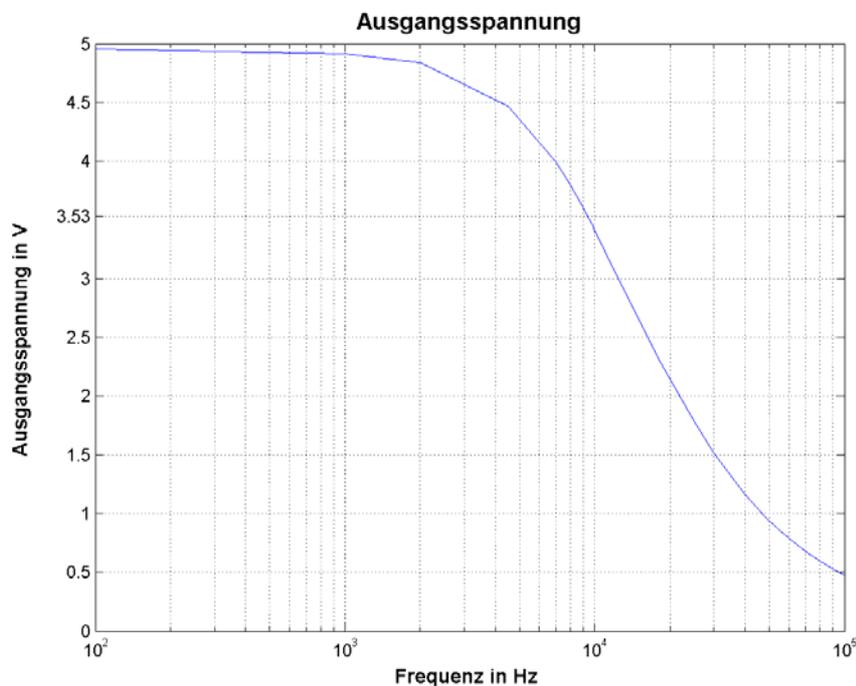
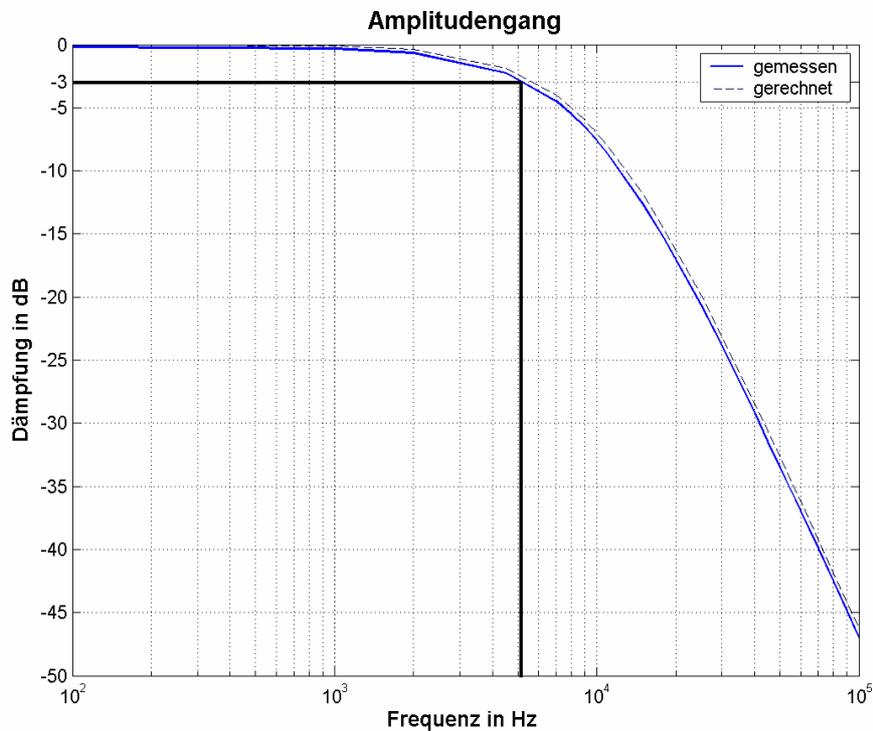
Näheres dazu im folgenden Bodediagramm auf der nächsten Seite.

Während der Messung musste die Eingangsspannung immer konstant gehalten werden.

Dies hängt damit zusammen, da der Frequenzgenerator einen Innenwiderstand hat und mit steigender Frequenz der Kondensatorwiderstand immer kleiner wird. Wenn der

Kondensatorwiderstand kleiner wird, so wird der Eingangswiderstand des Tiefpasses auch kleiner und somit fällt mehr Spannung am Generator- Innenwiderstand ab.

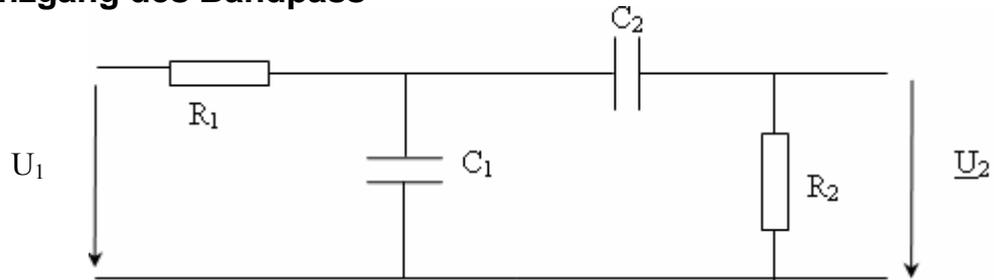
*Bodediagramm:*



Der Amplitudengang verlief bei dem Tiefpass wie erwartet: Bis zu der Grenzfrequenz wird die Eingangsspannung nahezu Vollständig(0dB) an den Ausgang weitergeleitet und ab der Grenzfrequenz wird die Ausgangsspannung immer mehr gedämpft. In dem Amplitudengang habe ich meinen errechneten Amplitudengang eingezeichnet und wie man es sehen kann, ist er ziemlich Identisch mit dem aufgezeichneten Amplitudengang.

## 4.2 Frequenzgang des Bandpass

Schaltung:



Teilversuch A:  $R_1 = 1.6 \text{ k}\Omega$   $R_2 = 16 \text{ k}\Omega$   $C_1 = 10 \text{ nF}$   $C_2 = 10 \text{ nF}$

$$f_u = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 16 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 994,7 \text{ Hz}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 1,6 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 9947 \text{ Hz} = 9,95 \text{ kHz}$$

Gemessene Werte:

Die Werte wurden bei konstanter Eingangsspannung aufgenommen.

Freq. [Hz]	10	100	150	200	300	400	500	750	850	994	1250
$U_2$ [V]	0,048	0.49	0.73	0.96	1.40	1.80	2.15	2.81	3.0	3.23	3.53

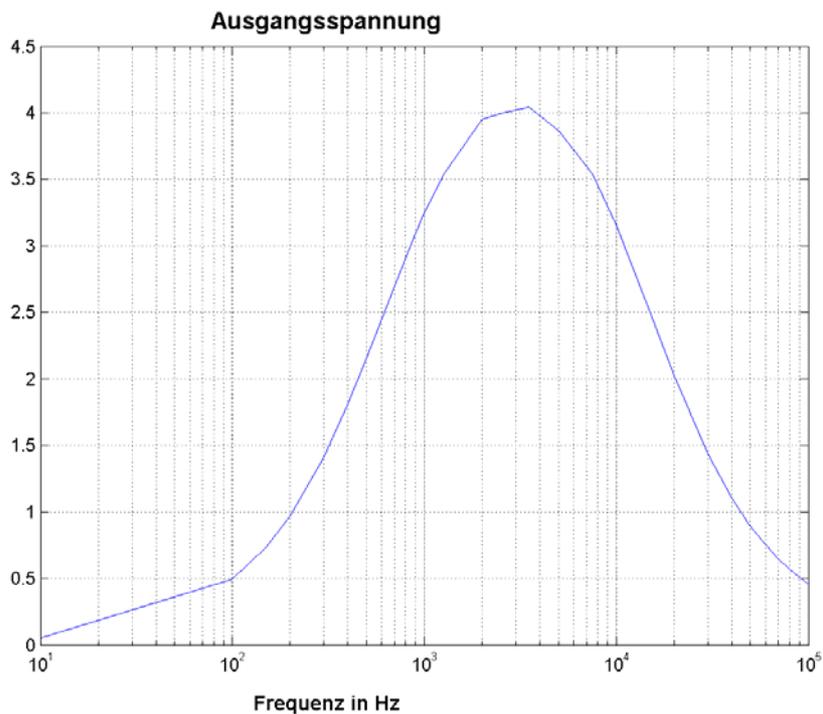
2000	2570	3497	5000	7497	10001	15004	20009	30005	40007	50004	60018
3.95	4.0	4.04	3.86	3.54	3.15	2.49	2.02	1.43	1.1	0.89	0.75

70000	80057	89969	100018
0.64	0.56	0.50	0.45

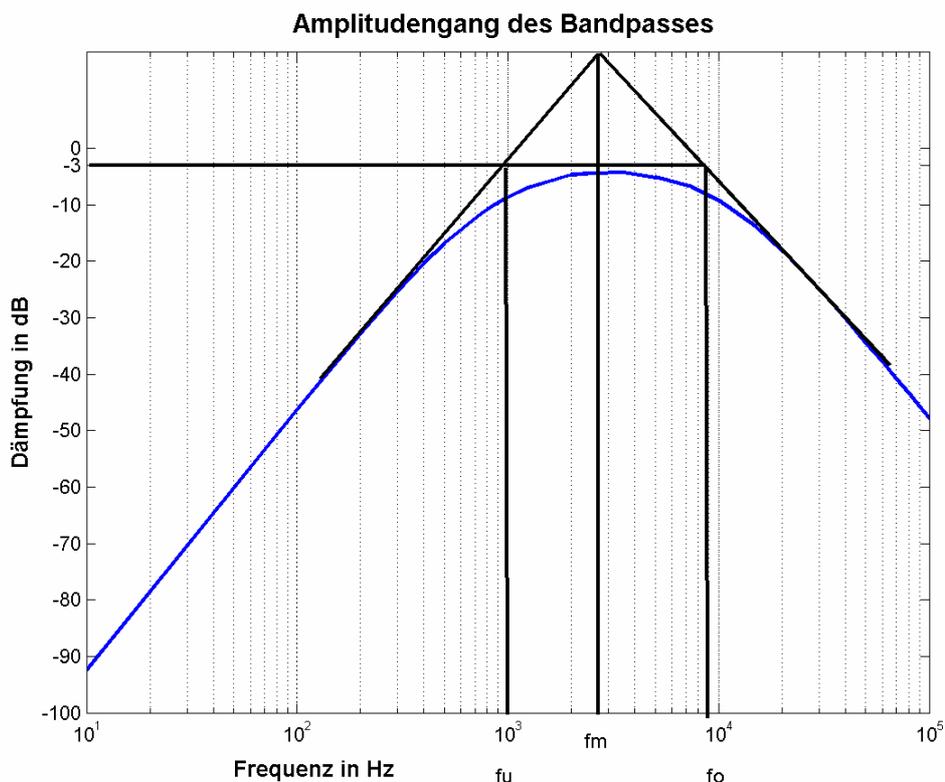
Aus der Tabelle kann man schon ungefähr heraus lesen, dass die Mittenfrequenz bei  $\approx 3500 \text{ Hz} \pm 500 \text{ Hz}$  sich befinden muss. Bei dieser Mittenfrequenz ist die Obere und die Untere Frequenz gleich.

Die Auswertung und das Bodediagramm folgen auf der nächsten Seite.

Bodediagramm:



Aus der Ausgangsspannung erkennt man, dass sie nur max. bis 4,04V geht.



Wie in der Einführung schon erläutert wurde, lässt der Bandpass nur bestimmte Grenzfrequenzen durch. Bei den tiefen Frequenzen wird die Ausgangsspannung von dem Hochpass abgedämpft und nach der Mittenfrequenz werden sie durch den Tiefpass abgedämpft. Die beste Übertragung findet an der Mittenfrequenz statt. Die Mitten-, Ober- und Unterfrequenz habe ich zeichnerisch aus der Zeichnung ermittelt. Eingetragen sind sie auf der

Frequenzachse. Wenn man diese mit den errechneten Werten vergleicht, so weiche die nur geringfügig ab.

Teilversuch B:  $R_1 = 1.6 \text{ k}\Omega$   $R_2 = 16 \text{ k}\Omega$   $C_1 = 10 \text{ nF}$   $C_2 = 100 \text{ nF}$

$$f_U = \frac{1}{2\pi \cdot R_2 \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 16 \cdot 10^3 \Omega \cdot 100 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 99,47 \text{ Hz}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 1,6 \cdot 10^3 \Omega \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 9947 \text{ Hz} = 9,95 \text{ kHz}$$

Gemessene Werte:

Die Werte wurden bei konstanter Eingangsspannung aufgenommen.

Freq. [Hz]	10	50	100	150	200	250	300	400	500	750	1000	1500
U <sub>2</sub> [V]	0.49	2.14	3.29	3.8	4.0	4.1	4.26	4.34	4.38	4.40	4.41	4.39

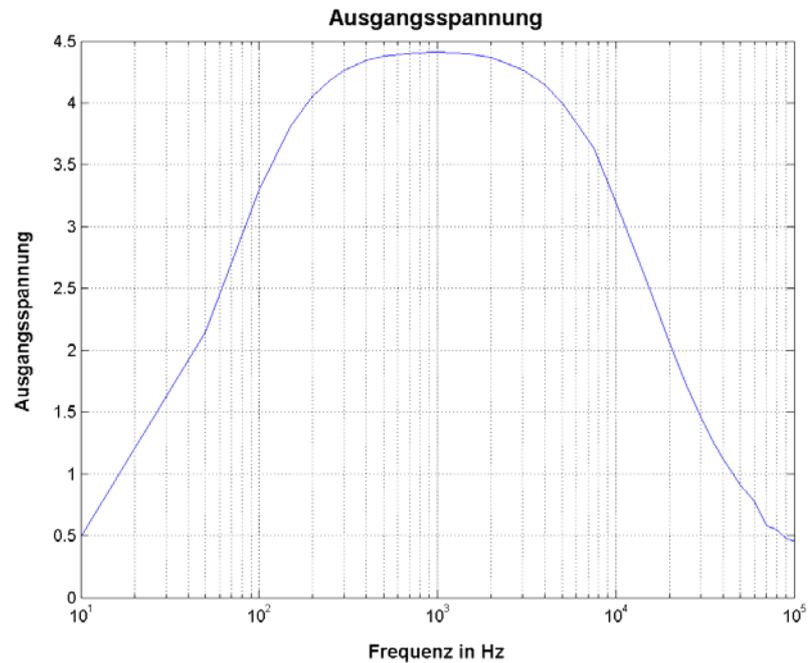
2000	2996	3998	5000	7500	10000	15000	20000	25000	30000	35000	40000
4.36	4.26	4.14	4.0	3.6	3.19	2.54	2.0	1.7	1.46	1.27	1.12

50000	60000	70000	80000	90000	100000
0.91	0.77	0.58	0.55	0.46	0.47

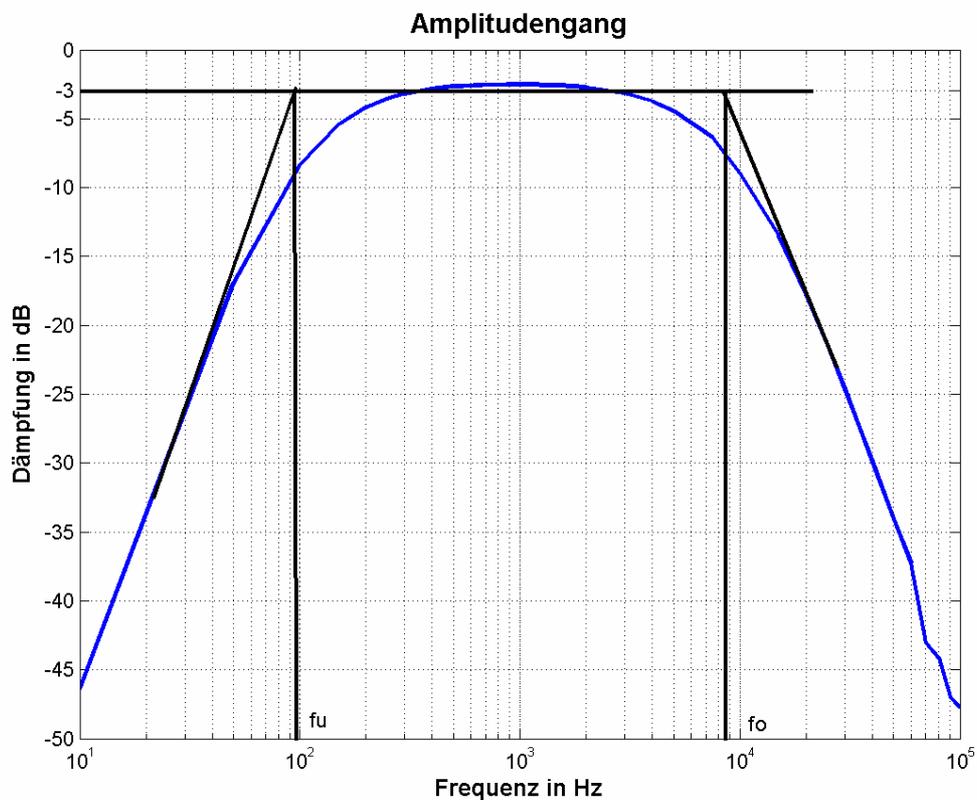
Aus der Tabelle kann man wieder abschätzen, dass die Mittenfrequenz bei  $\approx 1000 \text{ Hz} \pm 250 \text{ Hz}$  liegt.

Die Auswertung und das Bodediagramm folgen auf der nächsten Seite.

Bodediagramm:

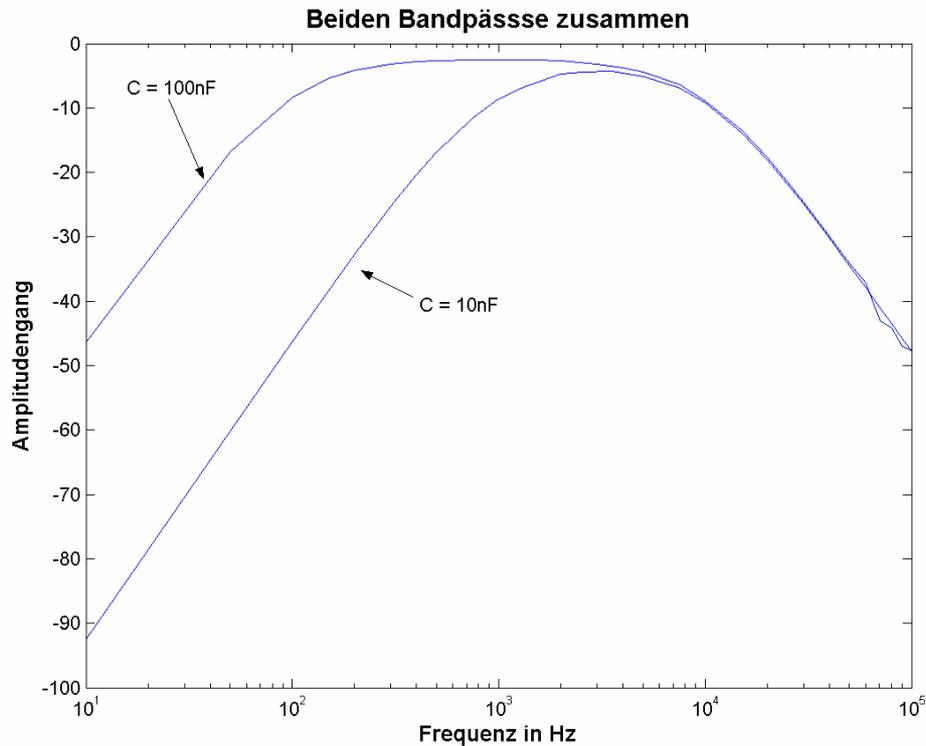


An der Ausgangsspannung kann man schon erkennen, dass mit größerem Kondensator der Durchlassbereich größer ist und Spannung besser übertragen wird.



Hier sieht man noch mal deutlich, dass sich der Durchlassbereich viel größer ist. Die Ober- und Unterfrequenz liegen weiter auseinander und stimmen mit den errechneten überein.

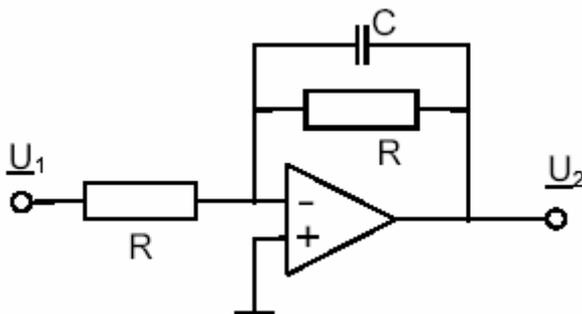
Um nun die beiden Bandpässe besser vergleichen zu können, habe ich sie auf ein Koordinatensystem zusammengebracht.



Hier kann man jetzt deutlich sehen, um wie viel größer der Durchlassbereich geworden ist. Nach der Oberen- Grenzfrequenz fallen die Graphen zusammen.

## 5 Auswertung der Versuchsergebnisse(aktiver Filter)

### 5.1 Aufbau des aktiven Filters



Für diesen aktiven Tiefpassfilter sollte der Widerstand R und der Kondensator C so dimensioniert werden, damit die selbe Grenzfrequenz rauskommt, wie bei dem passiven Tiefpass. Die beiden Widerstände R wurden mit  $R = 3,3 \text{ k}\Omega$  bestückt.

$$\text{Grenzfrequenz: } f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

$$\text{Kondensator: } 9947 \text{ Hz} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 3,3 \text{ k}\Omega \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 3,3 \text{ k}\Omega \cdot 9947 \text{ Hz}} = 4,85 \text{ nF}$$

## 5.2 Frequenzgang des aktiven Tiefpasses

Bei diesem OP – Verstärker ist die Verstärkung definiert als:  $v = \frac{U_a}{U_e} = -\frac{Z_r}{Z_v}$  daraus kann man dann den Amplitudengang ausrechnen.  $Z_r = R \parallel C$   $Z_v = R$

Amplitudenfrequenzgang: 
$$-\frac{U_a}{U_e} = \left( \frac{\frac{1}{1/R + j\omega C}}{R} \right) = \left( \frac{1}{1 + j\omega RC} \right)$$

$$\underline{G}(\omega) = 20 \cdot \log \left( \left| \frac{1}{1 + j\omega RC} \right| \right) \Rightarrow |G(\omega)| = 20 \cdot \log \left( \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \right)$$

Grenzfrequenz:  $f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 9944 \text{ Hz}$

Diese Werte wurden für den aktiven Tiefpass aufgenommen:

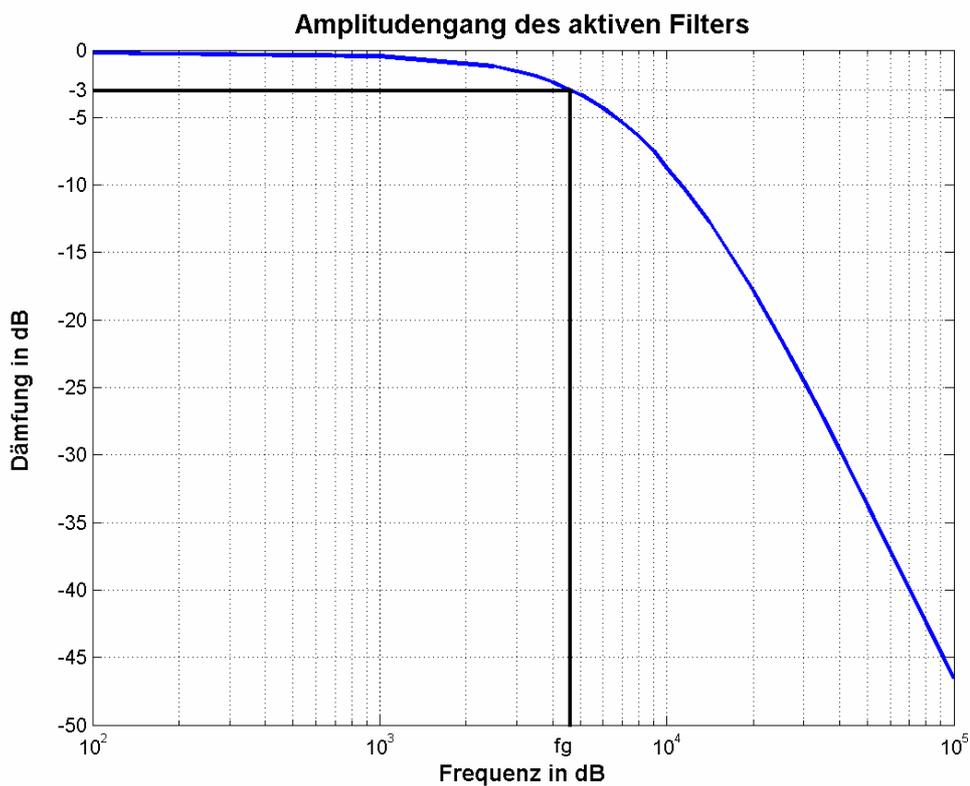
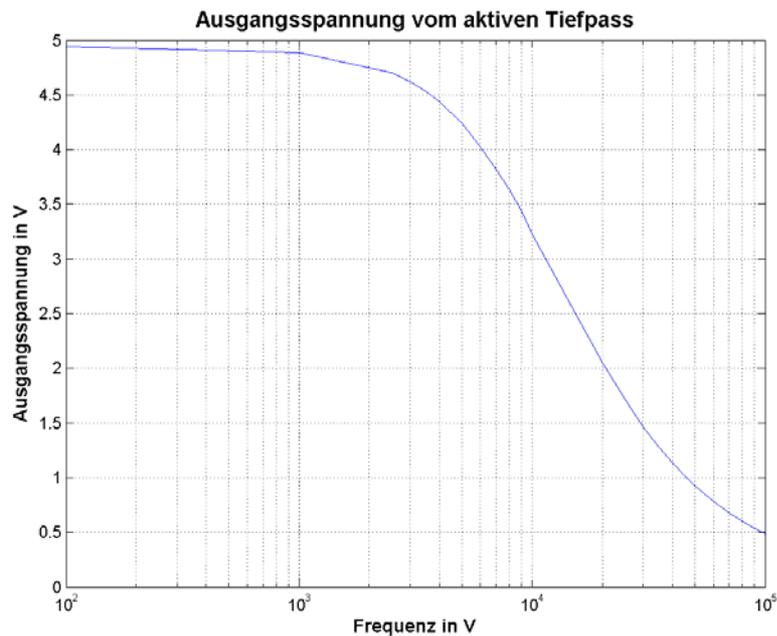
<b>Freq. [Hz]</b>	100	1000	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000
<b>U<sub>2</sub> [V]</b>	4.94	4.88	4.70	4.62	4.53	4.43	4.23	4.02	3.82

8000	9000	9999	11400	14000	20006	25000	30000	35004	40004
3.62	3.44	3.22	3.00	2.64	2.05	1.71	1.46	1.28	1.13

45007	50009	55012	60021	70001	80059
1.01	0.92	0.84	0.78	0.67	0.59

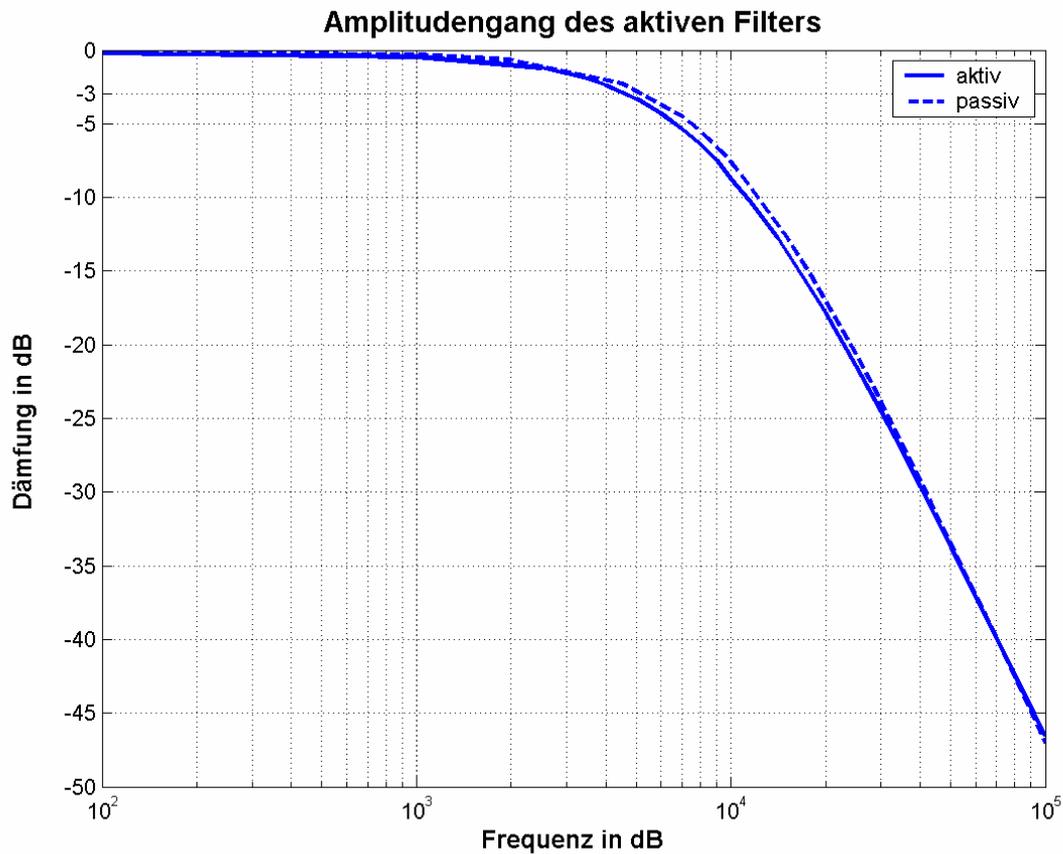
Auf der nächsten Seite befindet sich das Bode – Diagramm.

Bodediagramm:



Die Kennlinien verlaufen genauso, wie es bei einem Tiefpass sein muss. In diesem Versuchsteil brauchten wir nicht die Eingangsspannung nachstellen, da die Operationsverstärker einen sehr hohen Eingangswiderstand haben und deshalb kaum einen Einfluss aufweisen.

### 5.3 Vergleich des aktiven und passiven Tiefpasses

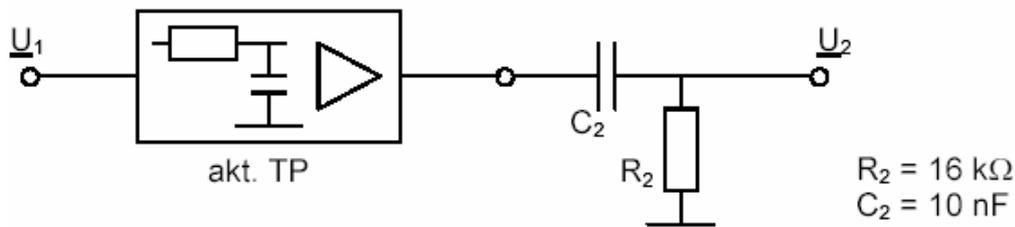


Die beiden Tiefpässe Übertragen die Eingangsspannung fast genau gleich, außer bei der Grenzfrequenz (und Umgebung). Bei der Grenzfrequenz wird die Ausgangsspannung beim passiven Tiefpass mehr abgedämpft.

### 5.4 Bandpass(aktiver Tiefpass in Verbindung mit einem passiven Hochpass)

Bei dem vorletzten Versuchsteil sollte ein Bandpass aus einem aktiven Tiefpass und einem passiven Hochpass untersucht werden.

So sieht er aus:



Aufgenommene Werte:

<b>Freq. [Hz]</b>	10	99,99	150	199	300	400	499	599	700
<b>U<sub>2</sub> [V]</b>	.49	.49	.73	.96	1.41	1.82	2.19	2.52	2.80

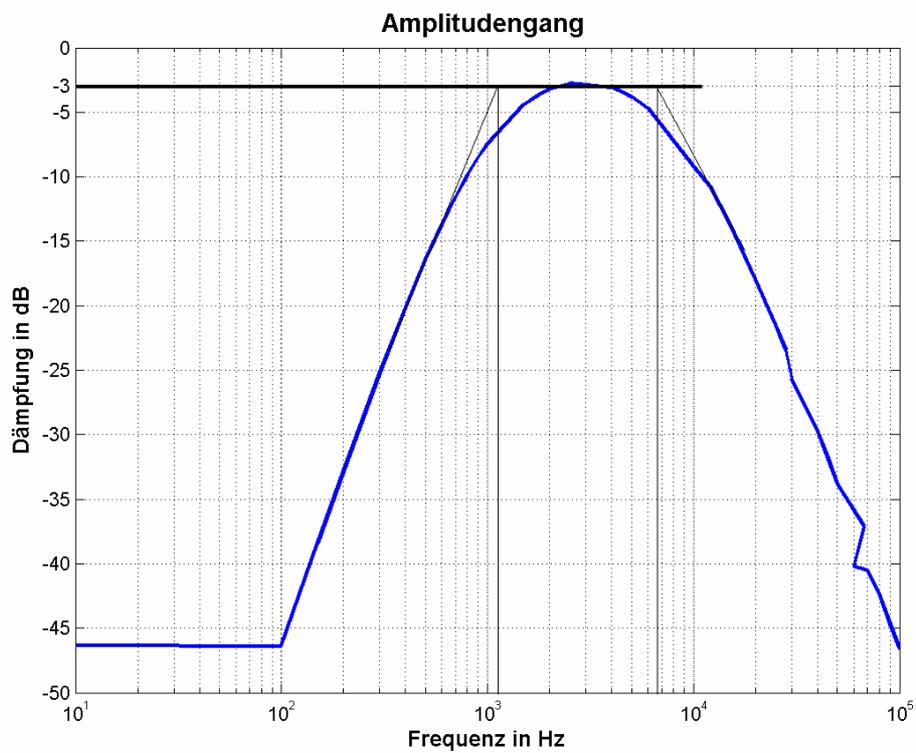
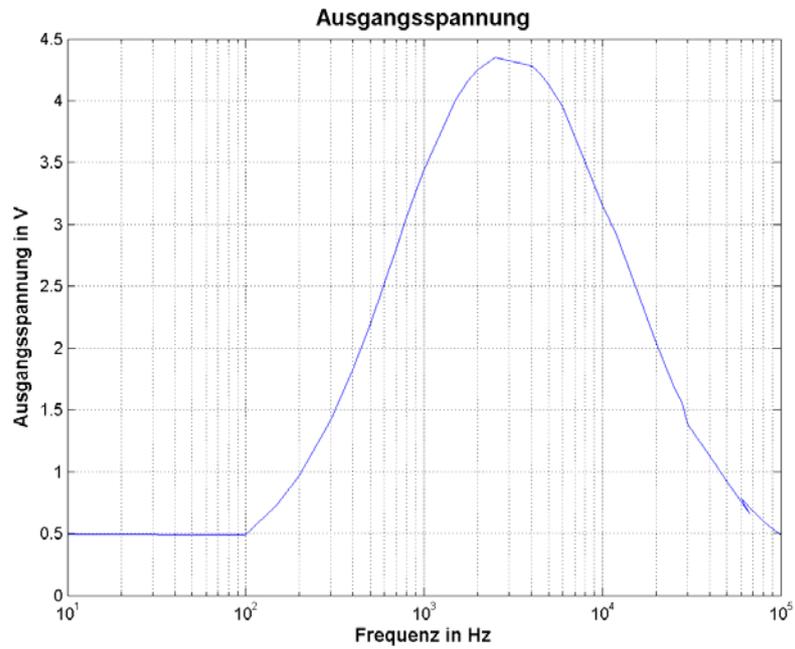
799	900	999	1499	1753	2000	2500	4000	4100	4500
3.05	3.26	3.44	4.00	4.15	4.25	4.34	4.28	4.27	4.21

5000	6002	10062	11998	15003	20001	25006	28002	30003	40204
4.13	3.95	3.15	2.91	2.52	2.03	1.70	1.55	1.38	1.12

45007	50007	67049	60016	70055	80052	90032	100018
1.01	0.92	0.65	0.78	0.67	0.59	0.53	0.53

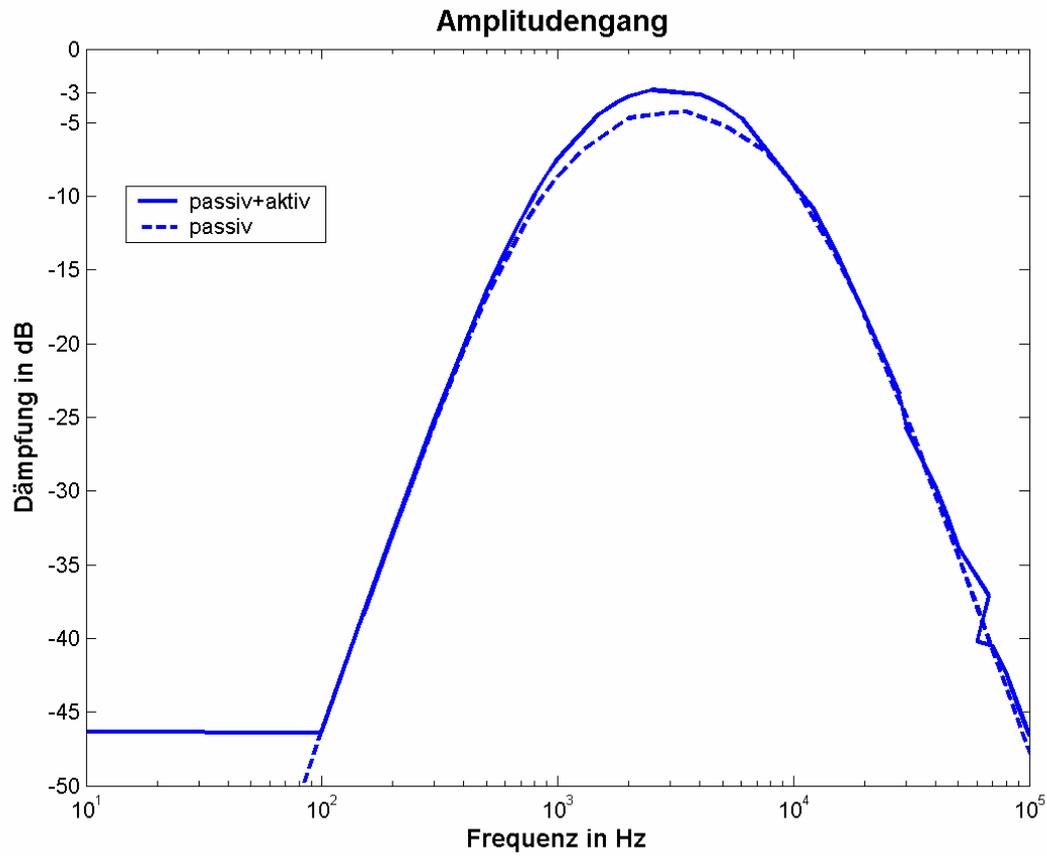
Das dazugehörige Bode-Diagramm ist auf der nächsten Seite.

Bodediagramm:



Hier ist wieder der „normale“ Bandpass mit seinen zwei Grenzfrequenzen.

*Vergleich mit passivem Bandpass:*



Man sieht es wie auch bei dem passiven Tiefpass, dass die Übertragung fast überall übereinstimmt außer, dass bei der Grenzfrequenz(hier die Mittenfrequenz) der passive Bandpass mehr abgedämpft wird.

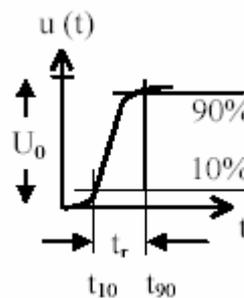
## 6 Messung der Grenzfrequenz mit dem Oszilloskop

In diesem Versuchsteil soll die Grenzfrequenz auf andere Art und Weise bestimmt werden.

### 6.1 Grenzfrequenz des Tiefpasses aus der Anstiegszeit

Die Grenzfrequenz eines Tiefpasses kann über die Anstiegszeit berechnet werden. Die Anstiegszeit ist die Zeit, welche das Ausgangssignal braucht um von 10% auf 90% anzusteigen. Durch die Markierung auf dem Oszilloskop(0% 10% 90% 100%) kann man das Ausgangssignal so einstellen, dass man es gut ablesen kann.

So sieht das Vorgehen aus:



Für  $t_r$  haben wir  $t_r = 32\mu s$  abgelesen.

Und so wird dann die Grenzfrequenz berechnet:

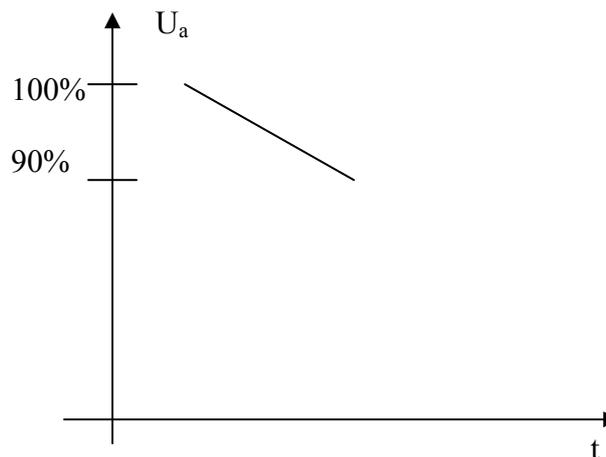
$$f_{g0} \approx \frac{0,35}{t_r} \approx \frac{0,35}{32\mu s} \approx 10937,5 Hz \quad \text{die ausgerechnete Frequenz war: } 9947 \text{ Hz}$$

Hier kann man schon erkennen, dass diese Verfahren viel zu ungenau sind. Die Abweichung beträgt 990,5Hz . Die Fehler erfolgen durch ungenaues Ablesen des Wertes vom Oszilloskop.

## 6.2 Grenzfrequenz des Hochpasses aus der Anstiegszeit

Die Grenzfrequenz eines Hochpasses kann auch über den Dachabfall berechnet werden. Der Dachabfall beträgt bei der Grenzfrequenz 10%. Auch bei dieser Methode werden die Markierungen des Oszilloskops ausgenutzt, indem man das Ausgangssignal von 0% bis 100% darstellen lässt und die Frequenz so lange variiert, bis das „Dach“ zwischen 90% und 100% liegt.

So sieht es dann aus:



So wird dann die Grenzfrequenz berechnet:

$$f_{gu} \approx \frac{2p}{\pi} \cdot f_{Generator} \approx \frac{2 \cdot 0,1}{\pi} \cdot 16,4kHz \approx 1044Hz$$

Ausgerechnete Grenzfrequenz: 994,7Hz

Der gemessene Wert liegt ziemlich nahe bei dem ausgerechneten Wert. Doch man konnte z.B. den Dachabfall auch bei 13,5kHz ablesen, so dass diese Verfahren sehr Ungenau sein können.

## 7 Quellen

1. Elemente der angewandten Elektronik (Erwin Böhmer) Verlag: vieweg  
ISBN 3-528-84090-0
2. Elektronik 2 Bauelemente (Klaus Beuth) Verlag: VOGEL  
ISBN 3-8023-0529-9