

Elektronikpraktikum

# Versuch 0: Einführung und Vorversuch

Carlos Pascua <sup>\*1</sup>, Anna Maróti<sup>†1</sup>, and Cornelius Heiming<sup>‡1</sup>

<sup>1</sup>Uni Bonn

4. Mai 2025

---

<sup>\*</sup>s87cpasc@uni-bonn.de

<sup>†</sup>s32amaro@uni-bonn.de

<sup>‡</sup>s64heim@uni-bonn.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
1.1	Das Oszilloskop . . . . .	1
1.2	Bandbreite . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Voraufgaben</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Fazit bzw. Resultat</b>	<b>11</b>

# 1 Theorie

## Einführung

In diesem Versuch soll der Umgang mit relevanten Geräten des Elektronikpraktikums geübt werden, indem verschiedene Signaltypen eines Funktionsgenerators analysiert werden. Im Anschluss wird die Anstiegszeit eines Rechtecksignals bestimmt.

## Signalquellen

- Spitze-Spitze  $U_{SS}[V_{SS}]$  oder  $U_{pp}[V_{pp}]$ : Die Differenz zwischen den niedrigsten und höchsten Spannungswert des Signals.
- Spitzenwert  $U_S[V_S]$  oder  $U_p[V_p]$ : Maximalwert der auftretender Spannung
- Effektivwert  $U_{eff}$ : ist gleich der Spannung, die bei einer konstanten Gleichspannung und einem Ohmschen Widerstand die gleiche mittlere Leistung  $P$  liefert.  $U_{eff} = \sqrt{\langle U^2(t) \rangle}$

## 1.1 Das Oszilloskop

Das Oszilloskop, ein elektronisches Messgerät mit welchem periodische Signale dargestellt werden können, besteht aus den folgenden Bauteilen

- Netzteil
- Elektronenstrahlröhre: bestehend aus einem Glaskolben mit einer Glühkathode und einer Lochanode, die sich innerhalb eines Wehneltzylinders befinden (1). Zwischen Kathode, woraus Elektronen emittiert werden, und der Lochanode herrscht ein elektrisches Feld, wodurch die Elektronen zur Anode beschleunigt werden. Danach geht der gebündelte Elektronenstrahl durch zwei weiteren Elektroden mit elektrischen Feldern (2) wodurch er weiter abgelenkt wird. Schließlich trifft der Strahl (4) auf einen Leuchtschirm (3), auf dem er als leuchtender Punkt (5) sichtbar wird
- y-Verstärker: ein Breitbandverstärker
- Zeitablenkeinheit: Um ein stehendes Bild einer periodischen Spannung zu erhalten, wird mit einem Sägezahn-Signal am zweiten Elektrodenpaar eine Spannung angelegt. Hierdurch bewegt sich der Strahl mit konstanter Geschwindigkeit über den Leuchtschirm. Damit ein Bild entstehen kann muss noch die Bedingung erfüllt werden, dass die Frequenz der Messspannung ein ganzzahliges Vielfaches der Kippfrequenz ist.

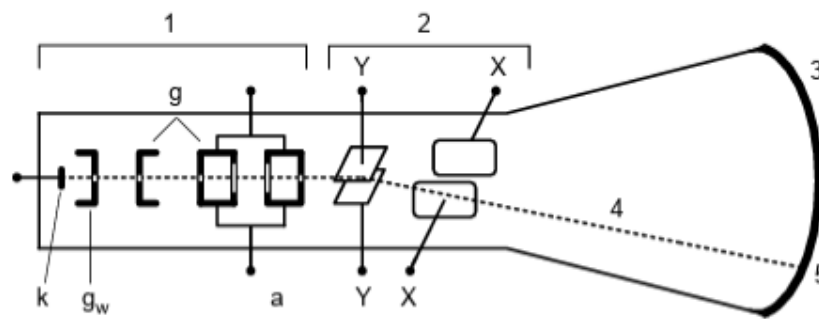


Abbildung 1: Aufbau eines Elektronenstrahlröhres [1]

## 1.2 Bandbreite

Die Bandbreite wird bei diesem Versuch durch einen RC-Tiefpass begrenzt, welches die hohen Frequenzen vollständig dämpft.

$$B = f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (1)$$

Hier entspricht  $R$  dem Ohmschen Widerstand und  $C$  ist die Kapazität des Kondensators.

### Anstiegszeit

Bei einem realen Rechtecksignal weist der Spannungsverlauf eine endliche Anstiegszeit  $\Delta t$  auf, bevor das Signal seinen Maximalwert erreicht. Die Anstiegszeit ist definiert als der Zeitraum zwischen  $t(0,9 \cdot U_{\text{max}} - 0,1 \cdot U_{\text{max}})$ , also die Zeit des Spannungsanstiegs von 10% auf 90 %. Abbildung 2 Dieser gemessene Wert setzt sich aus dem theoretischen Wert der Anstiegszeit und dem Anstiegszeit des Oszilloskops folgendermaßen zusammen:

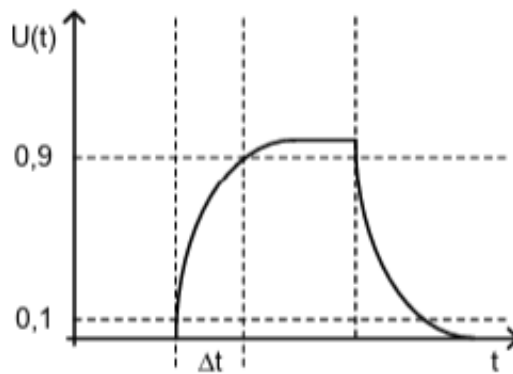


Abbildung 2: Anstiegszeit eines Rechtecksignals[1]

$$\Delta t_{\text{gemessen}}^2 = \Delta t_{\text{signal}}^2 + t_{\text{Osz}}^2 \quad (2)$$

wobei für den Oszilloskop gilt:  $B \cdot \Delta t = 0,35$

## 2 Voraufgaben

### Aufgabe A

Folgende Größen gelten für die Spannung  $U(t) = U_0 \cdot \sin(\omega t)$  :

Spitze-Spitze-Spannung:

$$U_{SS} = 2 \cdot U_0 \quad (3)$$

Spitzenspannung:

$$U_S = U_0 \quad (4)$$

Effektivspannung:

$$U_{eff} = \sqrt{\langle U_0^2 \sin^2(\omega t) \rangle} = \sqrt{U_0^2 \langle \sin^2(\omega t) \rangle} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

wobei  $\langle \sin^2(\omega t) \rangle = \frac{1}{2}$  ist.

### Aufgabe B

Der Effektivwert eines symmetrischen Rechtecksignals mit  $U_S = 10V$  entspricht:

$$U_{eff} = \sqrt{\langle U_0^2 \rangle} = \sqrt{\langle U_S^2 \rangle} = U_S = 10V \quad (5)$$

### Aufgabe C

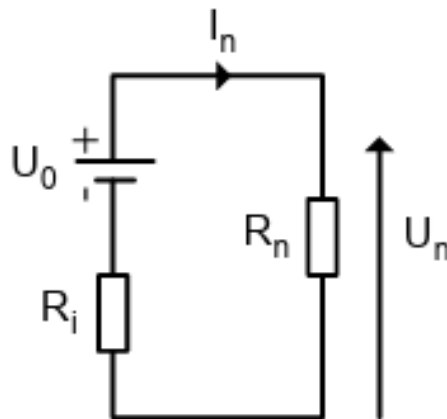


Abbildung 3: Ersatzschaltbild der Generator-Spannungsquelle<sup>[1]</sup>

Für die Bestimmung des Innenwiderstandes des Generators, kann die Spannung zunächst so ausgedrückt werden:

$$U_n = U_0 \frac{R_n}{R_n + R_i} \quad (6)$$

wobei  $R_i$  der Innenwiderstand ist. Dieses kann zu folgender Formel umgestellt werden:

$$U_0 = \frac{U_n \cdot (R_n + R_i)}{R_n}$$

Dann gilt die Formel für zwei unterschiedliche Widerstände:

$$U_1 \cdot \left(1 + \frac{R_i}{R_1}\right) = U_2 \cdot \left(1 + \frac{R_i}{R_2}\right)$$

$$\Leftrightarrow U_1 + R_i \cdot \left(\frac{U_1}{R_1}\right) = U_2 + R_i \cdot \left(\frac{U_2}{R_2}\right)$$

Mit der  $I = \frac{U}{R}$  folgt:

$$\Leftrightarrow U_1 + I_1 \cdot R_i = U_2 + I_2 \cdot R_i$$

$$\Leftrightarrow R_i \cdot (I_1 - I_2) = U_2 - U_1$$

$$\Leftrightarrow R_i = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} \quad (7)$$

Anhand dieser Formel und den folgenden Angaben aus dem Skript kann der Wert des Innenwiderstands berechnet werden:

Maximalamplitude ohne Belastung:  $U_1 = 20V_{SS}$ .

Maximalamplitude bei einer Belastung von  $R = 50\Omega$ :  $U_2 = 10V_{SS}$ .

Der Spitze-Spitze Wert für den Strom ist:  $I_1 = 0A_{SS}$  und  $I_2 = 0,2A_{SS}$ . Jetzt kann man Gleichung 7 benutzen.

$$R_i = \frac{20 - 10}{0,2 - 0} = 50\Omega$$

## Aufgabe D

Anordnung des Oszilloskops wurde studiert und sich über die Funktion der Elemente aufgeklärt.

## Aufgabe E

Folgender Zusammenhang wird für den Tiefpass geprüft:  $B \cdot \Delta t = 0,35$ .

Bei Tiefpassfilter gilt für die Bandbreite:

$$B = f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi\tau} \quad (8)$$

Die Anstiegszeit entspricht:

$$\Delta t = (\ln(0,9) - \ln(0,1)) \cdot \tau$$

Also erhält man die folgende Formel:

$$\Leftrightarrow B = \frac{1}{2\pi\tau} \cdot (\ln(0,9) - \ln(0,1)) \cdot \tau$$

$$\Leftrightarrow B = \frac{\ln(0,9) - \ln(0,1)}{2\pi} \approx 0,35$$

Also entspricht dieses dem genannten Zusammenhang.

### 3 Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung

#### Bestimmung der Anstiegszeit des Oszillographen

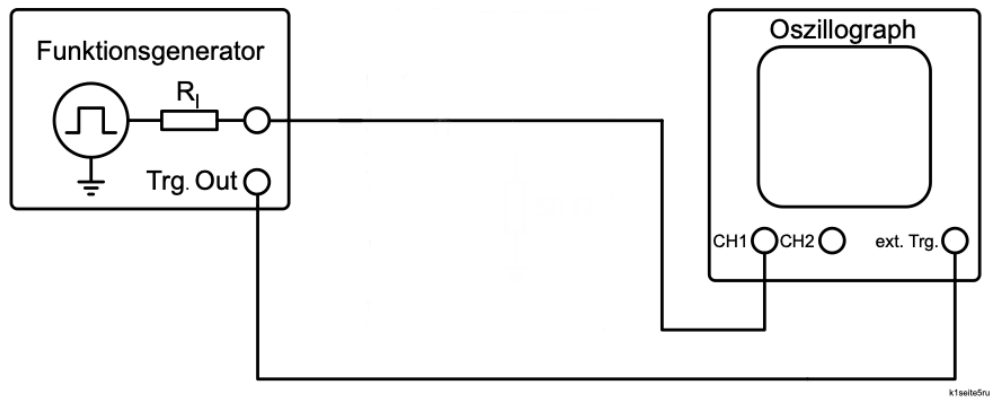


Abbildung 4: Schaltplan Funktionsgenerator und Oszilloskop [1]

- a In dieser Aufgabe soll der Oszillograph untersucht werden. Dafür wird der Generatorausgang mit dem CH1 Eingang des Oszilloskops mittels eines Koaxialkabels verbunden. Nach dem Triggern können verschiedene Oszillogramme beobachtet werden.

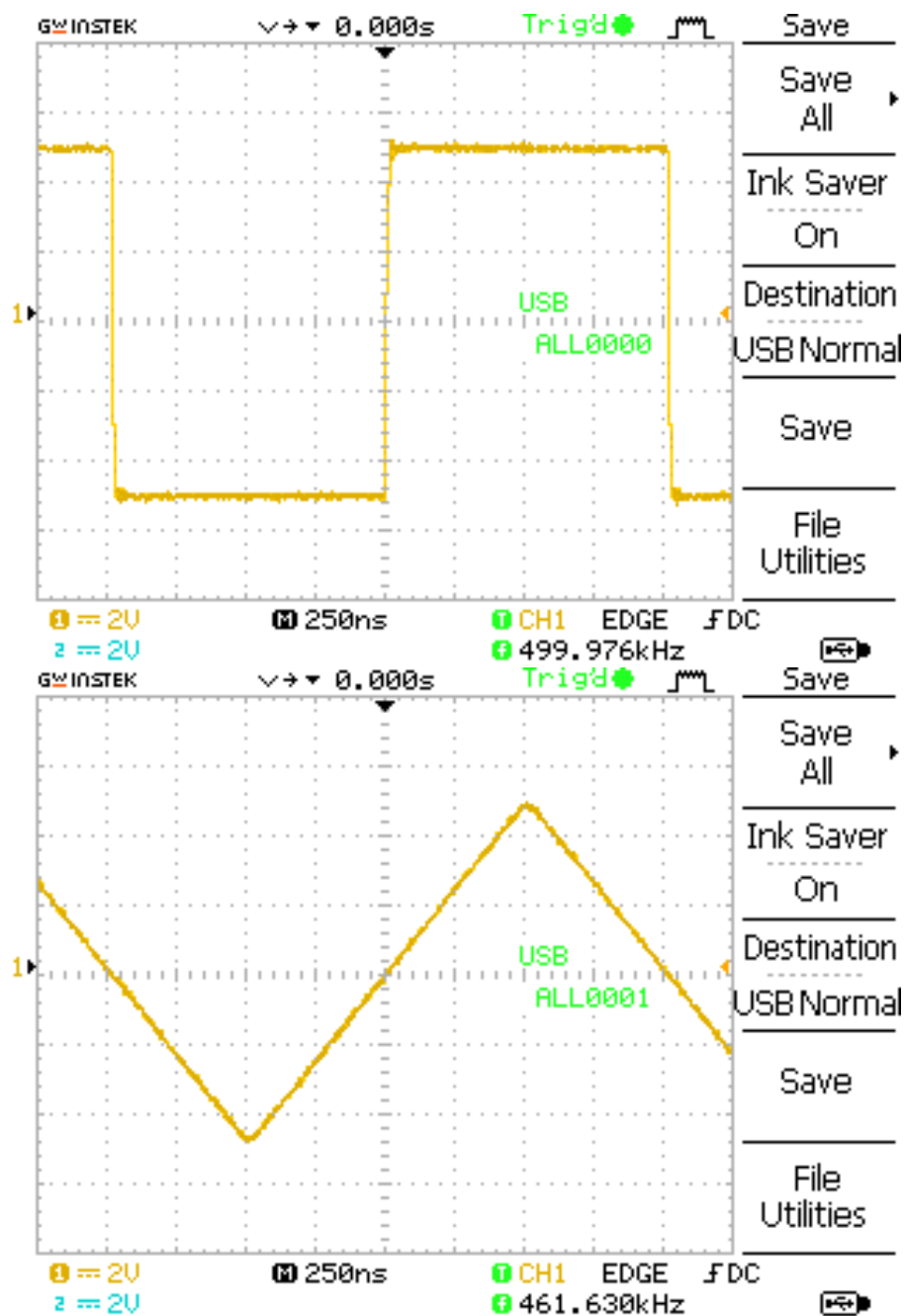


Abbildung 5: Oben: Rechtecksignal, unten: Dreieckssignal



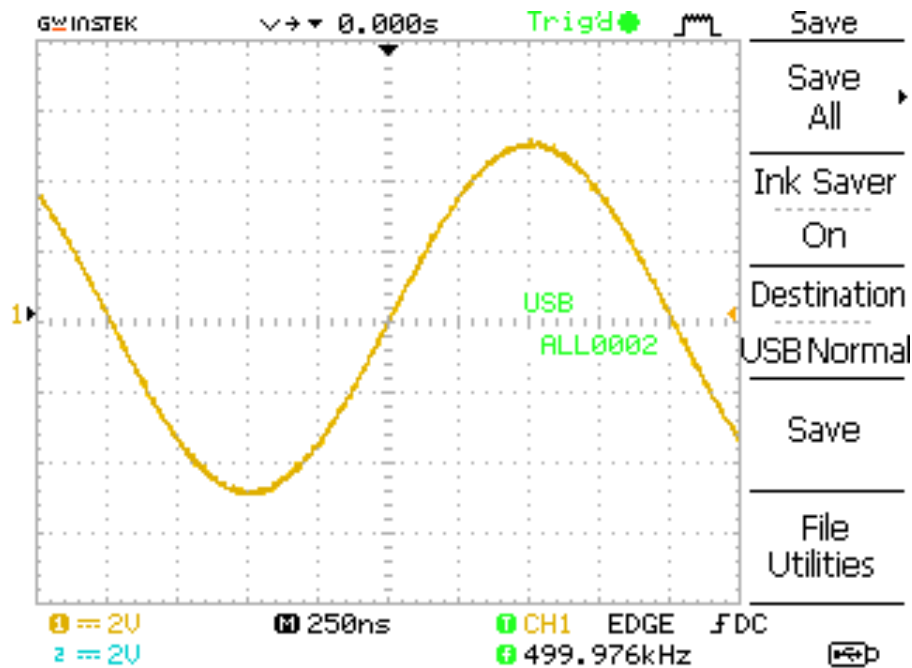


Abbildung 6: Sinussignal

Rechtecks-, Dreiecks- und Sinussignal konnten erfolgreich eingestellt werden. Hiermit konnten die Zusammenhänge der Amplitude und Frequenz des Funktionengenerators im Zusammenhang mit dem Bild des Oszillogramms untersucht werden. Die Amplitude hat eine proportionale Auswirkung auf  $U_S$ , also der y-Achse, und die Frequenz beeinflusst antiproportional die Darstellung auf der x-Achse (je höher die Frequenz desto gestauchter ist das Signal).

- b) Danach wird ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 2 MHz und einer Amplitude von beispielsweise 1 V eingestellt. Die Anstiegszeit  $\Delta t_{\text{gemessen}}$  wird bestimmt, indem die Zeitdifferenz zwischen dem Zeitpunkt, an dem  $U(t)$  den Wert  $0.1U_0$  erreicht, und dem Zeitpunkt, an dem  $U(t)$  den Wert  $0.9U_0$  erreicht, gemessen wird.

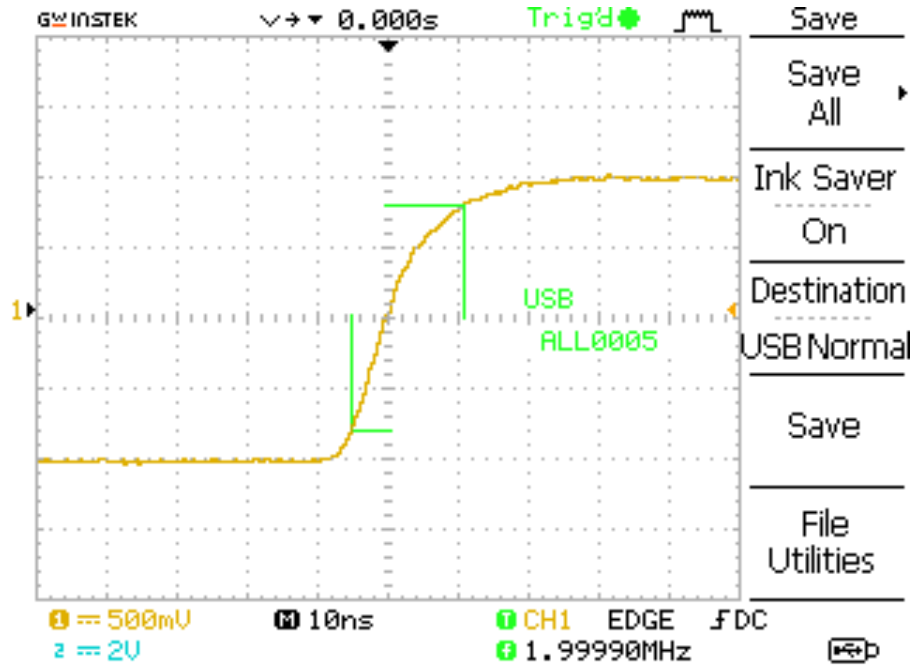


Abbildung 7: Rechteckssignalanstieg (detailliert)

Aus der Grafik 7 kann die Anstiegszeit  $\Delta t_{\text{gemessen}}$  abgelesen werden. Dafür wurden die 10% und 90% markiert und damit die Zeitpunkte ermittelt, an denen die Spannung  $U(t)$  den Wert  $0.1U_0$  und  $0.9U_0$  erreicht. Die Anstiegszeit  $\Delta t_{\text{gemessen}}$  beträgt dann 16 ns (Genau 8 Einheiten der Skala, die je  $\frac{1}{5}$  von 10 ns sind). Der Messfehler beträgt 4 Pixel, also  $\Delta(\Delta t_{\text{gemessen}}) = 1$  ns. Der Betriebsanleitung des Oszilloskops [1] zufolge beträgt die Bandbreite des Oszilloskops  $B = 50$  MHz. Daraus folgt mit der Formel  $B \cdot \Delta t = 0.35$  (siehe Voraufgabe 2) die Anstiegszeit:

$$\Delta t_{\text{Oszi}} = \frac{0.35}{50 \text{ MHz}} = 7 \text{ ns}$$

Für die Anstiegszeit des Signals  $\Delta t_{\text{Signal}}$  gilt nach der Anleitung[1] die Näherung:

$$\begin{aligned} (\Delta t_{\text{Signal}})^2 &= (\Delta t_{\text{Oszi}})^2 - (\Delta t_{\text{gemessen}})^2 \\ \Delta t_{\text{Signal}} &= \sqrt{(\Delta t_{\text{Oszi}})^2 - (\Delta t_{\text{gemessen}})^2} \\ &= \sqrt{(16 \text{ ns})^2 - (7 \text{ ns})^2} \approx 14.39 \text{ ns} \end{aligned}$$

Mittels Gaußscher Fehlerfortpflanzung ergibt sich:

$$\begin{aligned} \Delta(\Delta t_{\text{Signal}}) &= \frac{2t_{\text{gemessen}}}{\sqrt{(\Delta t_{\text{gemessen}})^2 - (\Delta t_{\text{Oszi}})^2}} \cdot \Delta(\Delta t_{\text{gemessen}}) \\ &= \frac{216 \text{ ns}}{\sqrt{(16 \text{ ns})^2 - (7 \text{ ns})^2}} \cdot 1 \text{ ns} \\ &\approx 2.3 \text{ ns} \end{aligned}$$

Also ergibt sich für die Anstiegszeit des Signals:

$$\Delta t_{\text{Signal}} = 14.4 \text{ ns} \pm 2.3 \text{ ns}$$

Hiermit lässt sich die Bandbreite des Funktionsgenerators bestimmen:

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{0.35}{\Delta t_{\text{Signal}}} \\
 &= \frac{0.35}{14.4 \text{ ns}} \approx 24.3 \text{ MHz} \\
 \Delta B &= \frac{0.35}{(\Delta t_{\text{Signal}})^2} \cdot \Delta(\Delta t_{\text{Signal}}) \approx 3.9 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

Also entspricht die Bandweite des Funktionengenerators.  $B = (24.3 \pm 3.9) \text{ MHz}$

- c Zuletzt wird der Generatorausgang mit einem R-C-Filter verbunden. Es soll eine Zeitkonstante von  $\tau = \mathcal{O}(10 \mu\text{s} \text{ bis } 100 \mu\text{s})$  realisiert werden, also können bspw.  $R = 22 \text{ k}\Omega$  und  $C = 1 \mu\text{F}$  gewählt werden. Der R-C-Filter wird erneut mit dem CH1-Eingang des Oszilloskops verbunden. Der Generator wird auf ein Sinus-Signal mit 10 verschiedenen Frequenzen eingestellt, die für die Messung sinnvoll sind. Dabei wird sich jeweils die Amplitude am Signalgenerator notiert und in einer Tabelle aufgetragen.

Die Grenzfrequenz berechnet sich zu:

$$f_{\text{grenz}} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \mu\text{F} \cdot 22 \text{ k}\Omega} \approx 7.24 \text{ Hz}$$

Mit unseren Grenzfrequenz ist der Punkt, ab dem Signal abgedämpft wird, gefunden und daraus werden die Messpunkte ausgewählt.

$\omega$ [kHz]	$U_{\text{pp}}$ [V]
6.5	2.85
6.7	2.81
7.0	2.75
7.05	2.75
7.1	2.74
7.15	2.74
7.2	2.73
7.22	2.72
7.24	2.71
7.26	2.70
7.31	2.70
7.61	2.65
8.0	2.60
10.0	2.25
50.0	0.59
100.0	0.31

Tabelle 1: Messwerte von  $\omega$  und  $U_{\text{pp}}$

Nun werden die berechnete Dämpfung in  $dB$  gegen die Frequenz aufgetragen und erhält man den folgenden Graphen bzw. in einer sogenannten *BODE*-Diagramm.

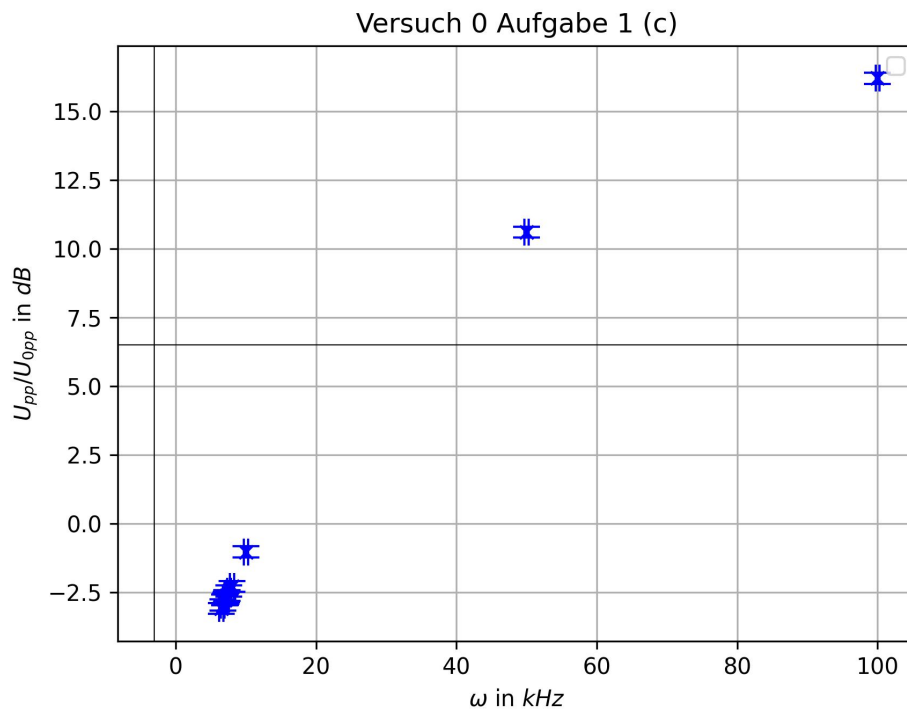


Abbildung 8: Dämpfungsplot

Wie man aus der Grafik erkennen kann, die Mehrheit der gewählten Messpunkten waren nah zu dem berechneten Grenzfrequenz, damit diese experimentell bestätigt werden kann. Aus diesem Grund ist eine Haufen von Messwerten am Anfangs von Graphen zu sehen. Die erwartete Kurve ist aber trotzdem zu erkennen und man sieht, dass höhere Frequenzen mehr gedämpft werden, nachdem die Grenzfrequenz erreicht wurde.

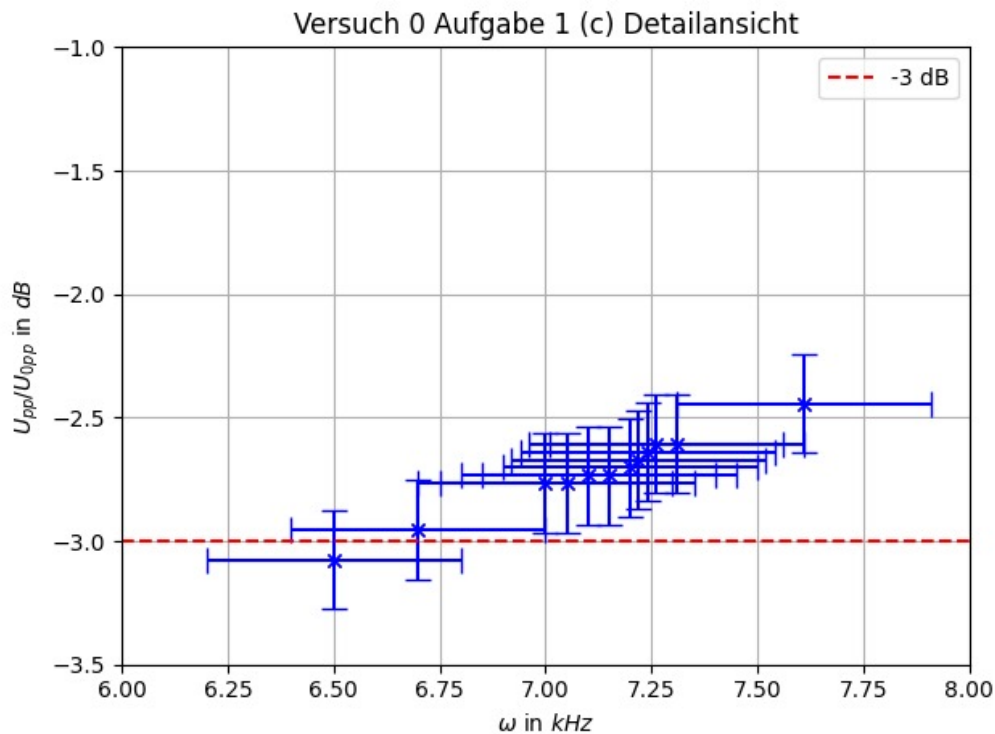


Abbildung 9: Dämpfungsplot in detaillierten Ansicht

Wenn man nun die Dämpfungskurve im Bereich der Grenzfrequenz näher betrachtet, kann man anhand der  $-3\text{dB}$  Linie den experimentellen Grenzfrequenz ablesen. In diesem Fall liegt er geschätzt bei  $f_{\text{grenzE}} \approx (6.65 \pm 0.10)$  Hz.

Somit ergibt sich eine absolute Abweichung von etwa 8.9%. Diese Abweichung könnte aus verschiedenen Quellen entstanden sein. Einerseits haben die benutzten Widerstände und Kondensatoren eigene Fehler, weshalb die der theoretisch errechnete Wert auch nur eine Approximierung ist. Des Weiteren wurde mit realen Materialien gearbeitet, wo man systematische Fehler nicht ausschließen kann.

## 4 Fazit bzw. Resultat

In diesem Versuch wurden anhand eines Funktionsgenerators die Arbeit mit einem Oszilloskopen geübt. Hierzu wurde die realistische Anstiegszeit von einem Rechtecksignal  $\Delta t_{\text{Signal}} = (14.4 \pm 2.3)\text{ns}$  und die Bandweite  $B = (24.3 \pm 3.9)\text{MHz}$  für den Funktionsgenerator bestimmt. Des weiteren wurde ein Bode-Plot für einen Tiefpass aufgenommen, welches den Erwartungen entsprach, da es zeigte, dass hohe Frequenzen stärker gedämpft wurden. Anhand des Graphens wurde noch die Grenzfrequenz des Tiefpasses auf  $f_{\text{grenzE}} \approx (6.65 \pm 0.10)\text{Hz}$  bestimmt, welches eine totale Abweichung 8.9% von dem errechneten Wert  $f_{\text{grenz}} \approx 7.24\text{Hz}$  besaß.

## Literatur

- [1] *Elektronikpraktikum – Versuchsbeschreibungen*, Universität Bonn, 04.04.2025