



## Protokoll zum Versuch

### *Oszilloskop*

(Versuch 25)

Autor: Finn Zeumer (hz334)  
Versuchspatnerin: Annika Künstle  
Versuchsbegleiter: Jonathan Rodemers  
Datum der Ausführung: 19.09.2025  
Abgabedatum: 26.09.2025

# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1. Aufgabe/Motivation . . . . .	3
1.2. Physikalische Grundlagen . . . . .	3
1.3. Aufbau und Funktionsweise eines Oszilloskops . . . . .	3
1.3.1. yt-Betrieb . . . . .	4
1.3.2. Triggerung . . . . .	4
1.3.3. Bedienung . . . . .	4
1.3.4. Reflexion auf Leitungen . . . . .	4
1.3.5. Pulsweitenmodulation (PWM) . . . . .	4
<b>Messdaten</b>	<b>5</b>
<b>II. Durchführung</b>	<b>8</b>
2.1. Durchführung Versuch 25: Oszilloskop . . . . .	8
2.1.1. Aufgabe 1: Bedienung des Oszilloskops . . . . .	8
2.1.2. Aufgabe 2: Amplituden- und Zeitmessung . . . . .	8
<b>III. Auswertung</b>	<b>12</b>
3.1. Aufgabe 1: Function Generator . . . . .	13
3.2. Aufgabe 2: Analyse der 9 Signale . . . . .	13
3.3. Aufgabe 3: Pulsweitenmodulation . . . . .	21
3.4. Aufgabe 4: Koaxialkabel . . . . .	21
<b>IV. Diskussion</b>	<b>22</b>
4.1. Zusammenfassung . . . . .	22
4.2. Diskussion . . . . .	22
4.3. Kritik . . . . .	22

# I. Einleitung

## 1.1. Aufgabe/Motivation

Ziel des Versuchs war es, den grundlegenden Umgang mit dem Oszilloskop zu erlernen. Dazu gehörte das Kennenlernen der Bedienelemente, das Aufnehmen und Analysieren elektrischer Signale sowie das Verständnis der Messprinzipien. Das Oszilloskop dient in fast allen Bereichen der Elektronik als zentrales Werkzeug, weshalb die sichere Handhabung für weitere Anwendungen essenziell ist.

## 1.2. Physikalische Grundlagen

[Wag25a] Zunächst werden einige grundlegende Größen und Konzepte eingeführt, die für die weitere Analyse wichtig sind. Die Periodendauer  $T$  eines Signals gibt die Zeit an, die eine vollständige Periode durchläuft, während die Frequenz  $f$  durch

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

definiert ist.

Für Wechselspannungen werden mehrere Spannungsarten unterschieden. Die Spitze-Spitze-Spannung  $U_{SS}$  gibt die Differenz zwischen dem maximalen und minimalen Spannungswert an. Der Effektivwert  $U_{eff}$  ist die konstante Gleichspannung, die an einem Widerstand die gleiche Energie liefert wie die Wechselspannung. Für eine sinusförmige Spannung gilt:

$$U_{eff} = \frac{U_{SS}}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Wechselstrom (AC, alternating current) ändert periodisch Richtung und Betrag, während Gleichstrom (DC, direct current) zeitlich konstant bleibt.

## 1.3. Aufbau und Funktionsweise eines Oszilloskops

Ein Oszilloskop dient der zeitlichen Darstellung elektrischer Signale. Analoge Oszilloskope nutzen einen Elektronenstrahl, der durch elektrische Felder auf einem Leuchtschirm abgelenkt wird. Das Eingangssignal steuert die vertikale Ablenkung, eine Sägezahnspannung die horizontale Ablenkung. Dies basiert auf den Bewegungsgesetzen geladener Teilchen im elektrischen Feld und Prinzipien der Elektronenoptik. Vorteil: kontinuierliche Darstellung, hohe Amplitudenaufösung.

Digitale Oszilloskope nehmen das Signal über einen Analog-Digital-Wandler (ADC) in festen Intervallen auf, speichern die Werte und stellen sie auf einem Bildschirm dar. Das Nyquist-Theorem bestimmt die minimale Abtastrate, um Signale korrekt zu rekonstruieren. Vorteile: Speicherung, mathematische Verarbeitung, Triggerung, digitale Analyse. Nachteil: begrenzte Auflösung durch diskrete Abtastwerte.



Abbildung I.1.: Zwei verschiedene Signale gleichzeitig.

### 1.3.1. yt-Betrieb

Im yt-Betrieb wird Spannung gegen Zeit dargestellt. Das Signal wird am Eingang gedämpft, verstärkt, gefiltert und dann abgetastet. Die Abtastrate muss höher als die Signalfrequenz sein, um Verzerrungen zu vermeiden. Die Bandbreite definiert die Frequenz, bei der ein sinusförmiges Signal auf 71% seiner Amplitude abgeschwächt wird.

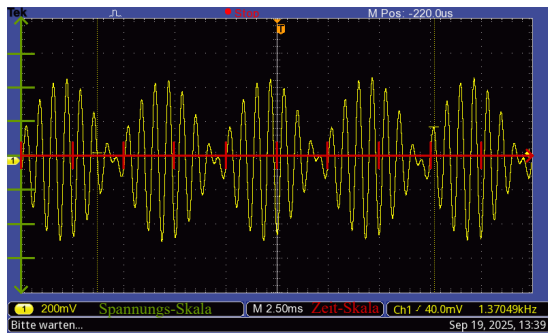


Abbildung I.2.: Achsen klar visualisiert

### 1.3.2. Triggerung

Triggerung stabilisiert periodische Signale, verhindert Flackern und sorgt dafür, dass immer der gleiche Signalabschnitt dargestellt wird. Meistens wird eine Flankentriggerung verwendet, bei der ein Triggerlevel festgelegt wird, an dem das Signal abgebildet wird. Steigende oder fallende Flanken können gewählt werden.

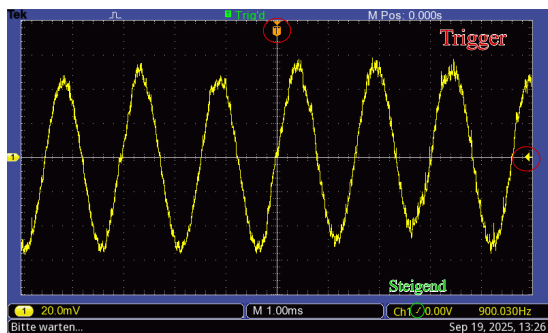


Abbildung I.3.: Visualisierung Triggering

### 1.3.3. Bedienung

Wichtige Funktionen sind die Eingangskopplung (AC, DC, Erde) sowie die vertikale und horizontale Skalenanpassung. AC-Kopplung filtert Gleichanteile, DC-Kopplung zeigt sie an. Die Erde-Position dient zur Nulljustierung.

### 1.3.4. Reflexion auf Leitungen

Ändert sich der Wellenwiderstand einer Leitung, wird ein Teil der Welle reflektiert. Der Wellenwiderstand  $Z$  hängt von Induktivität  $L'$  und Kapazität  $C'$  pro Längeneinheit ab:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad [\Omega]. \quad (3)$$

Offene Leitungen reflektieren ohne Phasensprung, kurzgeschlossene mit Phasensprung. Passender Abschluss eliminiert Reflexionen.

### 1.3.5. Pulsweitenmodulation (PWM)

PWM regelt Effektivspannung ohne Änderung der Betriebsspannung. Bei einer Impulsspannung  $U_0$  ergibt sich Mittelwert  $U_M$  und Effektivwert  $U_{\text{eff}}$  über das Verhältnis von Pulsdauer  $t$  zu Periodendauer  $T$ :

$$U_M = U_0 \frac{t}{T}, \quad U_{\text{eff}} = U_0 \sqrt{\frac{t}{T}}. \quad (4)$$

So kann man bspw. LEDs dimmen.

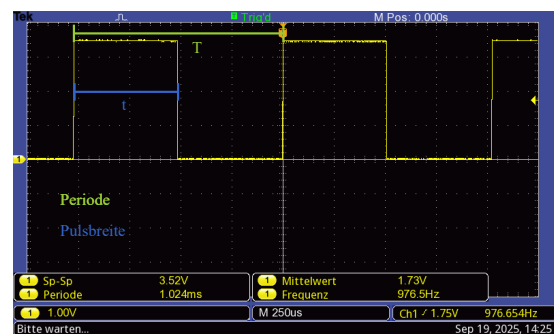


Abbildung I.4.: Eingezeichnet sind die Periode  $T$  und die Pulsbreite  $t$ .

## 25 - Oszilloskop

Ziel: Im heutigen Versuch wollen wir die Funktionsweise eines Oszilloskops verstehen. Dabei geht es dieses mal nicht um die Bestimmung einer physikalischen Größe.

### Aufgabe 1)

Zunächst wollen wir qualitativ die Eigenschaften unseres Oszilloskops betrachten. Dazu schließen wir eine Sinus-Spannung von 100 Hz an Kanal 1 an. Die Spannung wird von einem Funktionsgenerator in die gewünschte Form gebracht. Wir haben 1-Fache Dämpfung.

Skizze:

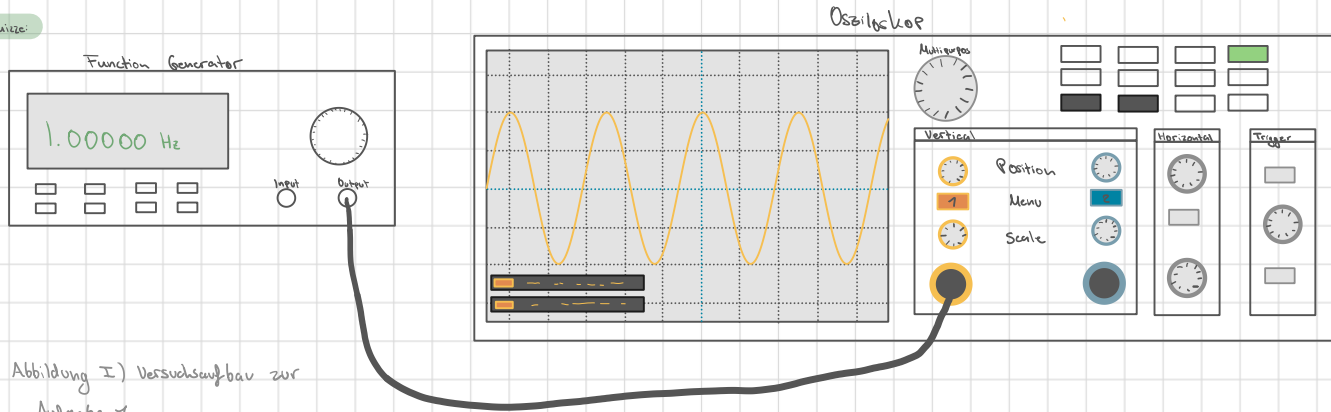


Abbildung 1) Versuchsaufbau zur Aufgabe 1.

### Qualitative Beobachtung:

- Vertical-Scale: verändert die Amplitude der Anzeige
- Horizontal-Scale: verändert Zeitachsenstreckung.
- Positionsregler: Verschiebt das Signal auf der Anzeige.
  - ↳ Zurückgesetzt durch drücken auf Trigger (symmetrisch)

### Trigger-Modus...

- ... Auto: Ist der Trigger falsch gesetzt, wird dennoch ein Signal visualisiert (flackert)
- ... Normal: Ist der Trigger falsch gesetzt, wird auch das Signal nicht visualisiert.

Triggerlevel: Horizontal verschiebbare Linie → Hier wird getriggert.

Triggerflanke: Je nachdem, ob Signal steigen oder fallen soll am Triggerpunkt.

## Aufgabe 2)

Nun wollen wir uns verschiedene Signale anschauen und unterschiedliche Eigenschaften messen.

### Tabelle I) Signale 1-4

Signal(Fart)	Automatisch Periodendauer [ms]	Cursor Periodendauer [ms]	Automatisch U <sub>ss</sub> [V]	Cursor U <sub>ss</sub> [V]	Automatisch Gleichspannungsanteil [V]	Cursor Gleichspannungsanteil [V]	Automatisch U <sub>max</sub> [V]	Cursor U <sub>max</sub> [V]	Automatisch U <sub>min</sub> [V]	Cursor U <sub>min</sub> [V]
1. <small>000</small>	4,383 (206)	5000	1,060	1,064	0,930 (Hilfswert)		1,500	1,500	0,400	0,460
2. <small>008</small>	2 (?)	1,560	0,104	0,1256	1,610 (Hilfswert)		-1,560	0,0688	-1,670	0,0568
3.										
4.										

Gemessene Eigenschaften der Signale 1-4. Abbildungen der Signale sind unten zu entnehmen. Gemessen in DC.

### Tabelle II) Signal 5

Signal(Fart)	Halbwertszeit [ms]	Zeit	Amplitude	Bid
5.	2,40 ± 0,2	Maximale Genauigkeit: 10 ns Minimale Genauigkeit: 2 s	80 μV 200 mV	Signal 3) 0003 Signal 4) 2010

Gemessene Halbwertszeit der  
eines Kondensators bei einer Zeitauflösung  
von

Pro DIV 25 mögliche Positionen  
für Cursor.

Unterschied AC und DC im Fall des (Ent-)Ladungsvorganges eines Kondensators:

DC bedeutet, dass Signale 1:1 durchgelassen werden, also inklusive des Gleichspannungsteil.

Dahingegen ist bei AC ein Notpass eingebaut, welcher Spannungen filtert.

AC) 0015

DC) 0016

Signal 6) 0017

Signal 7) 0018

Signal 8) 0018 - 21

Tabelle 3) Signal 9 0022

Signal (Art)	<sup>5 Perioden</sup> $T_5$ [ms]	$T$ [ms]	$P_2$ [W]	$P_1$ [W]	$P_I$ [W]	$P_{II}$ [W]
9.	3,300	0,660	100	1,51	1380	1580

Aufgabe 3) Pulsweitenmodulation

Tabelle 4)

Einstellung	Pulsbreite [ms]	Pulsweite [V]	Periode $T$ [s]	Mittelwert [V]	Effektivspannung [V]
<sup>0028</sup> I	0,510	3,98	1,000	1,73	2,45
<sup>0027</sup> II	0,260	3,48	1,030	1,05	1,80

ZU) 0031 offen) 0032

Zustand	Zeit [ms]	Widerstand [Ω]
zu "0"	188	—
Offen	188	—
R	—	38,3

## II. Durchführung

### 2.1. Durchführung Versuch 25: Oszilloskop

#### 2.1.1. Aufgabe 1: Bedienung des Oszilloskops

Zunächst wird der Funktionsgenerator an **Kanal 1** des Oszilloskops angeschlossen. Als Signalfunktion wird ein **Sinus mit einer Frequenz von ca. 100 Hz** gewählt. Über die Kanaltaste wird sichergestellt, dass für die Dämpfung der Wert **1X** eingestellt ist, da sonst die gemessenen Spannungen verzerrt dargestellt werden.

Nachdem der Trigger korrekt eingestellt wurde, sollte das Signal als **stehendes Bild** sichtbar sein. Anschließend werden die **Scale-Regler** für das Vertikal- und Horizontalfeld sowie die **Positionsregler** getestet, um die Auswirkungen auf das Oszilloskopbild zu beobachten. Die horizontale Position wird danach wieder symmetrisch eingestellt.

Im Triggerfeld wird der Modus auf **Auto** gesetzt. Mit Hilfe des **Level-Reglers** lässt sich beobachten, wie sich das Signal an der Triggerposition verschiebt. Liegt der Triggerlevel außerhalb des Signals, erfolgt keine Triggerung, das Signal wird aber weiterhin angezeigt. Danach wird der Modus auf **Normal** umgeschaltet, und die Auswirkungen der **Triggerflanke** werden untersucht. Alle Beobachtungen werden im Protokoll dokumentiert.

#### 2.1.2. Aufgabe 2: Amplituden- und Zeitmessung

##### Signale 1–4

Der Signalgenerator erzeugt verschiedene Signale mit unterschiedlicher Amplitude und Fre-

quenz. Über die Taster können die Signale ausgewählt werden. Der Ausgang 2 des Signalgenerators wird mit Kanal 1 des Oszilloskops verbunden, und die Versorgungsspannung wird eingeschaltet.

Die **Nullage des Signals** wird eingestellt, indem die Kopplung auf **Erde** gesetzt und die Signalmitte in die vertikale Bildschirmmitte verschoben wird. Danach wird die Kopplung wieder auf **DC** gestellt.

Für jedes Signal werden folgende Größen gemessen:

- Periodendauer / Frequenz
- Spitze-Spitze-Spannung (USS) und Gleichspannungsanteil
- Bild oder Skizze des Signals

Die Messungen erfolgen sowohl mit der **Cursor-Funktion** als auch mit den **automatischen Messfunktionen**, wobei der Fehler für die Cursor-Messung aus der Ablesegenauigkeit abgeschätzt wird. Die Signale werden auf einem USB-Stick gespeichert.

##### Signal 5

Signal 5 zeigt einen **periodisch exponentiell abfallenden und ansteigenden Verlauf** (Lade- und Entladevorgang eines Kondensators). Hier wird die **DC-Kopplung** eingestellt, da die AC-Kopplung zu Verzerrungen führt. Es wird die **Halbwertszeit** des Signals gemessen. Die Zeitbasis wird so gewählt, dass der größte mögliche Zeitbereich sichtbar ist.

##### Signale 6–8 (qualitativ)

- **Signal 6:** Wellenpakete unterschiedlicher Höhe werden ausgesendet. Mit **Auto-**



**Triggerung** erscheinen die Pakete nur kurz. Durch **manuelle Triggerung** können gezielt einzelne Pakete dargestellt werden.

- **Signal 7:** Beobachtung im Auto-Modus. Der Triggerlevel muss angepasst werden, um eine stabile Anzeige zu erhalten.
- **Signal 8:** Beide Kanäle des Oszilloskops werden aktiviert. Kanal 1 ist verrauscht, Kanal 2 sauber. Die Triggerung erfolgt auf Kanal 2, um beide Signale stabil darzustellen.

### Signal 9: Frequenzspektrum

Signal 9 zeigt eine **Schwebung**, d.h. die Überlagerung zweier Sinussignale. Nach Aktivierung der **AC-Kopplung** und Stopp des Signals wird die **Schwingungsfrequenz**  $f_1$  und die **Schwebungsfrequenz**  $f_2$  mittels Cursor bestimmt. Anschließend wird die **Fouriertransformation (FFT)** genutzt, um die Grundfrequenzen  $f_I$  und  $f_{II}$  zu messen.

### Ausführliche Ablesefehleranalyse

In diesem Teil soll aufgeschlüsselt werden, wie hoch die Ablese Ungenauigkeit der Cursor-Funktion des Oszilloskops ist. Dazu betrachten wir zunächst den Aufbau des Displays.

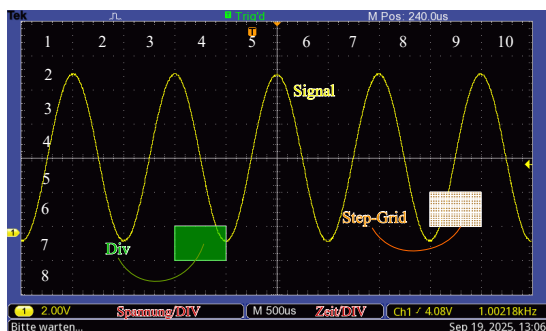


Abbildung II.1.: Beispiel aus dem Versuch. 8 mal 10 DIVs.

Es werden dabei immer  $8 \times 10$  DIVs angezeigt. Die 8 sind die Amplituden in [V] und die 10 die Zeitachse [s]. Beide Achsen können dabei separat in ihrer Größe verändert werden. Insgesamt besteht jeder DIV aus  $25 \times 25$  »steps«<sup>1</sup>. Jeder Setep ist dabei die Position, an der ein Cursor stehen kann. Für einen Gesamten DIV hat somit 200 Steps auf der Vertikalen und 250 Stept auf der Horizontalen.

Darüber lässt sich nun immer der Mindestabstand bestimmen, den zwei Cursor messen können. 50% dieses Abstandes (also der Zeit- bzw. Spannungsdifferenz) sind dann der Ablesefehler des Oszilloskops. Damit haben wir einen immergleichen prozentualen Fehler der Cursorgenauigkeit.

Spannungsungenauigkeit:

$$\Delta U_{Cursor} = 0,5 \cdot \frac{1}{200} \text{ der Skaler} \quad (1)$$

Zeitungenauigkeit:

$$\Delta t_{Cursor} = 0,5 \cdot \frac{1}{250} \text{ der Skaler} \quad (2)$$

Wir schauen in die Anleitung [Cap25] und bekommen zwei wichtige Informationen. Auf Seite 112 bekommen wir die Informationen, dass die Spannungsreihe in »1-2-5 Sequenzen« eingeteilt sind. Die Zeit wird anders sequenziert, sie hat lediglich mehr Teile. Für die Tabelle wird dennoch die 1-2-5 Sequenzen verwedet, da sich alle anderen Werte ohnehin mit den gegebenen Werten berechnen lassen. Es ist vermutlich eine »1-2-2,5-5 Sequenzierung«. Aber sicher bestätigen konnte ich dies aus der Anleitung nicht. Außerdem finden wir heraus, dass auf den Seiten 115 und 116 die Ranges der beiden Achsen stehen. Für die Spannung  $2 \frac{mV}{Div} \rightarrow 5 \frac{V}{Div}$  und für die Zeit  $5 \frac{ns}{Div} \rightarrow 50 \frac{s}{Div}$  (da wir 70MHz haben).

Hier ist jedoch wichtig, dass die [Tabelle II.1](#) die Ungenauigkeit pro Cursor beschreibt. Der

<sup>1</sup>Steps ist nicht der formale Begriff, sondern der von mir genutzte

Fehler, der sich für das benutzen von zwei Cursors ergibt ist somit:

$$\Delta_{2 \times \text{Cursor}} = \sqrt{2 \cdot \Delta_{\text{Cursor}}} \quad (3)$$

Und somit für unsere Spannungsungenauigkeit von zwei Cursors:

$$\Delta U_{2 \times \text{Cursor}} = \sqrt{\frac{1}{200}} = 0,0707 \hat{=} 7,1\% \quad (4)$$

Und für die Zeitungenauigkeit:

$$\Delta t_{2 \times \text{Cursor}} = \sqrt{\frac{1}{250}} = 0,0632 \hat{=} 6,3\% \quad (5)$$

Es gibt jedoch neben der Ablesegenauigkeit noch weitere Fehlerquellen, die auf den Messprozess des Gerätes zurückzuführen sind. Diese sind auch auf den Seiten 115 und 116 gefunden.

### Time Base Accuracy

Die Time Base Accuracy gibt an, wie genau das Oszilloskop die horizontale Achse (Zeit) skaliert. Sie wird in ppm (parts per million) angegeben. Unser Oszilloskop hat dabei 50 ppm.

**Bedeutung:** Wir wollen den systematischen Zeitfehler  $\Delta t_{\text{sys}}$  des Oszilloskops bestimmen. Dabei definieren wir  $t_{\text{div}}$  also die Auflösung.

- 50 ppm = 50 Teile pro 1.000.000 Teile = 0,00005 = 0,005%
- Dies bedeutet, dass die tatsächliche Zeit  $\Delta t_{\text{true}}$  von der angezeigten Zeit  $t_{\text{div}}$  höchstens um diesen Faktor abweichen kann:

$$\Delta t_{\text{sys}} = t_{\text{div}} \pm 50 \text{ ppm} \cdot t_{\text{div}} \quad (6)$$

$$= t_{\text{div}} \pm 0,00005 \cdot t_{\text{div}}. \quad (7)$$

**Beispielrechnung:** Für eine Einstellung von 1 ms/Div gilt:

$$\Delta t_{\text{sys}} = 1 \text{ ms} \cdot 0,00005 = 50 \text{ ns/Div}. \quad (8)$$

Bei 10 ms/Div wäre der Fehler:

$$\Delta t_{\text{sys}} = 10 \text{ ms} \cdot 0,00005 = 0,5 \text{ } \mu\text{s/Div}. \quad (9)$$

Die Time Base Accuracy ist ein systematischer Fehler der horizontalen Skala. In den meisten Messungen ist dieser Fehler sehr klein im Vergleich zu Cursorauflösung, kann aber für sehr präzise Zeitmessungen berücksichtigt werden.

### DC gain accuracy

Der systematische Fehler  $\Delta V_{\text{sys}}$  wird in der Anleitung mit  $\pm 3\%$  für den Bereich 10mV/Div bis 5V/Div angegeben.

Ganz zum Schluss werden die Fehler zu einem Gesamtfehler bestimmt, der dann als Gerätefehler der jeweiligen Auflösung genutzt werden kann.

Spannung [V/Div]	$\Delta V_{\text{Cursor}}$ [V]	$\Delta V_{2 \times \text{Cursor}}$ [V]	$\Delta V_{\text{sys}}$ [V]	$\Delta V_{\text{gesamt}}$ [V]
$2,00 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-6}$	$1,41 \times 10^{-4}$	–	–
$5,00 \times 10^{-3}$	$1,25 \times 10^{-5}$	$3,54 \times 10^{-4}$	–	–
$1,00 \times 10^{-2}$	$2,50 \times 10^{-5}$	$7,07 \times 10^{-4}$	$3,00 \times 10^{-4}$	$7,68 \times 10^{-4}$
$2,00 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-5}$	$1,41 \times 10^{-3}$	$6,00 \times 10^{-4}$	$1,54 \times 10^{-3}$
$5,00 \times 10^{-2}$	$1,25 \times 10^{-4}$	$3,54 \times 10^{-3}$	$1,50 \times 10^{-3}$	$3,84 \times 10^{-3}$
$1,00 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-4}$	$7,07 \times 10^{-3}$	$3,00 \times 10^{-3}$	$7,68 \times 10^{-3}$
$2,00 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-4}$	$1,41 \times 10^{-2}$	$6,00 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-2}$
$5,00 \times 10^{-1}$	$1,25 \times 10^{-3}$	$3,54 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-2}$	$3,84 \times 10^{-2}$
1,00	$2,50 \times 10^{-3}$	$7,07 \times 10^{-2}$	$3,00 \times 10^{-2}$	$7,68 \times 10^{-2}$
2,00	$5,00 \times 10^{-3}$	$1,41 \times 10^{-1}$	$6,00 \times 10^{-2}$	$1,54 \times 10^{-1}$
5,00	$1,25 \times 10^{-2}$	$3,54 \times 10^{-1}$	$1,50 \times 10^{-1}$	$3,84 \times 10^{-1}$
Zeit [t/Div]	$\Delta t_{\text{Cursor}}$ [s]	$\Delta t_{2 \times \text{Cursor}}$ [s]	$\Delta t_{\text{sys}}$ [s]	$\Delta t_{\text{gesamt}}$ [s]
5 ns	$1,00 \times 10^{-11}$	$3,16 \times 10^{-10}$	$2,50 \times 10^{-13}$	$3,16 \times 10^{-10}$
10 ns	$2,00 \times 10^{-11}$	$6,32 \times 10^{-10}$	$5,00 \times 10^{-13}$	$6,32 \times 10^{-10}$
20 ns	$4,00 \times 10^{-11}$	$1,26 \times 10^{-9}$	$1,00 \times 10^{-12}$	$1,26 \times 10^{-9}$
50 ns	$1,00 \times 10^{-10}$	$3,16 \times 10^{-9}$	$2,50 \times 10^{-12}$	$3,16 \times 10^{-9}$
100 ns	$2,00 \times 10^{-10}$	$6,32 \times 10^{-9}$	$5,00 \times 10^{-12}$	$6,32 \times 10^{-9}$
200 ns	$4,00 \times 10^{-10}$	$1,26 \times 10^{-8}$	$1,00 \times 10^{-11}$	$1,26 \times 10^{-8}$
500 ns	$1,00 \times 10^{-9}$	$3,16 \times 10^{-8}$	$2,50 \times 10^{-11}$	$3,16 \times 10^{-8}$
1 $\mu$ s	$2,00 \times 10^{-9}$	$6,32 \times 10^{-8}$	$5,00 \times 10^{-11}$	$6,32 \times 10^{-8}$
2 $\mu$ s	$4,00 \times 10^{-9}$	$1,26 \times 10^{-7}$	$1,00 \times 10^{-10}$	$1,26 \times 10^{-7}$
5 $\mu$ s	$1,00 \times 10^{-8}$	$3,16 \times 10^{-7}$	$2,50 \times 10^{-10}$	$3,16 \times 10^{-7}$
10 $\mu$ s	$2,00 \times 10^{-8}$	$6,32 \times 10^{-7}$	$5,00 \times 10^{-10}$	$6,32 \times 10^{-7}$
20 $\mu$ s	$4,00 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-6}$	$1,00 \times 10^{-9}$	$1,26 \times 10^{-6}$
50 $\mu$ s	$1,00 \times 10^{-7}$	$3,16 \times 10^{-6}$	$2,50 \times 10^{-9}$	$3,16 \times 10^{-6}$
100 $\mu$ s	$2,00 \times 10^{-7}$	$6,32 \times 10^{-6}$	$5,00 \times 10^{-9}$	$6,32 \times 10^{-6}$
200 $\mu$ s	$4,00 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-8}$	$1,26 \times 10^{-5}$
500 $\mu$ s	$1,00 \times 10^{-6}$	$3,16 \times 10^{-5}$	$2,50 \times 10^{-8}$	$3,16 \times 10^{-5}$
1 ms	$2,00 \times 10^{-6}$	$6,32 \times 10^{-5}$	$5,00 \times 10^{-8}$	$6,32 \times 10^{-5}$
2 ms	$4,00 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-7}$	$1,26 \times 10^{-4}$
5 ms	$1,00 \times 10^{-5}$	$3,16 \times 10^{-4}$	$2,50 \times 10^{-7}$	$3,16 \times 10^{-4}$
10 ms	$2,00 \times 10^{-5}$	$6,32 \times 10^{-4}$	$5,00 \times 10^{-7}$	$6,32 \times 10^{-4}$
20 ms	$4,00 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-6}$	$1,26 \times 10^{-3}$
50 ms	$1,00 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-3}$	$2,50 \times 10^{-6}$	$3,16 \times 10^{-3}$
100 ms	$2,00 \times 10^{-4}$	$6,32 \times 10^{-3}$	$5,00 \times 10^{-6}$	$6,32 \times 10^{-3}$
200 ms	$4,00 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$1,26 \times 10^{-2}$
500 ms	$1,00 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^{-2}$	$2,50 \times 10^{-5}$	$3,16 \times 10^{-2}$
1 s	$2,00 \times 10^{-3}$	$6,32 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-5}$	$6,32 \times 10^{-2}$
2 s	$4,00 \times 10^{-3}$	$1,26 \times 10^{-1}$	$1,00 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^{-1}$
5 s	$1,00 \times 10^{-2}$	$3,16 \times 10^{-1}$	$2,50 \times 10^{-4}$	$3,16 \times 10^{-1}$
10 s	$2,00 \times 10^{-2}$	$6,32 \times 10^{-1}$	$5,00 \times 10^{-4}$	$6,32 \times 10^{-1}$
20 s	$4,00 \times 10^{-2}$	$1,26 \times 10^0$	$1,00 \times 10^{-3}$	$1,26 \times 10^0$
50 s	$1,00 \times 10^{-1}$	$3,16 \times 10^0$	$2,50 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^0$

Tabelle II.1.: Spannungs- und Zeitaufösung, systematische Fehler und Gesamtfehler des Oszilloskops. Berücksichtigung von Ablese- und Systematischenfehlern.

## III. Auswertung

### Fehlerrechnung

Für die statistische Auswertung von  $n$  Messwerten  $x_i$  werden folgende Größen definiert [Wag25b]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Arithmetisches Mittel} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Variation} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Standardabweichung} \quad (3)$$

$$\Delta \bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad \text{Fehler des Mittelwerts} \quad (4)$$

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad \text{Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz für } f(x, y) \quad (5)$$

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad \text{Fehler für } f = x + y \quad (6)$$

$$\Delta f = |a| \Delta x \quad \text{Fehler für } f = ax \quad (7)$$

$$\frac{\Delta f}{|f|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2} \quad \text{relativer Fehler für } f = xy \text{ oder } f = x/y \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{|a_{lit} - a_{gem}|}{\sqrt{\Delta a_{lit}^2 + \Delta a_{gem}^2}} \quad \text{Berechnung der signifikanten Abweichung} \quad (9)$$

### 3.1. Aufgabe 1: Function Generator

### 3.2. Aufgabe 2: Analyse der 9 Signale

Wir wollen die Signale 1 und 2 genauer analysieren. Signale 3 und 4 werden nur kurz beschrieben. Bei Signal 5 wird die Halbwertszeit berechnet. Signale 7 bis 9 werden dann wieder qualitativ beschrieben.

#### Signal 1

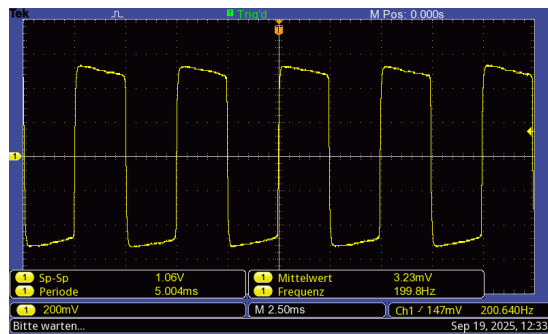


Abbildung III.1.: Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im AC Modus.

Wir mussten zur Vermessung des Signales 1 sowohl manuell mit den Cursors vermessen und automatisch mit den eingebauten Messfunktionen des Oszilloskopes. Wir haben dabei eine DIV grÖÙe von  $200\text{mV} \times 2,5\text{ms}$  im AC-Modus geahbt und  $500\text{mV} \times 2,5\text{ms}$  im DC-Modus. Aus [Tabelle II.1](#) lassen sich somit die Fehler ablesen beziehungsweise aus den Angaben berechnen lassen zu:

$$\Delta V_{AC} = 15 \quad [\text{mV}] \quad (10)$$

$$\Delta V_{DC} = 40 \quad [\text{mV}] \quad (11)$$

$$\Delta t = 0,16 \quad [\text{ms}]. \quad (12)$$

(Es wurde auf signifikante Stellen gerundet).

In den Tabellen werden die Spalten **Grün** angezeigt, wenn sie in AC gemessen wurden und

**Lila**, wenn sie im DC-Modus gemessen wurden. Dies ist nur für die Cursor wichtig.

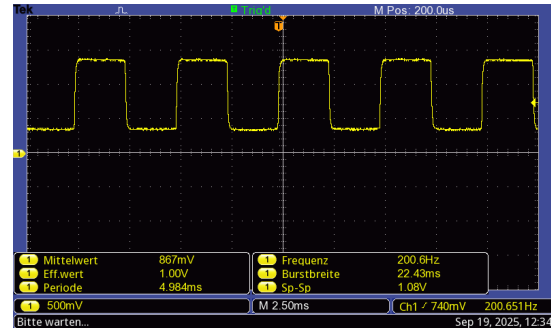


Abbildung III.2.: Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im DC Modus.

Diese Unsicherheiten verwenden wir nun, wenn immer wir Cursor-Messungen zur Berechnung benutzen. Die automatischen Werte sollen als »perfekt« angenommen werden. In den Tabellen beschreibt  $T$  die Periodendauer in ms,  $U_{SS}$  die Spitzen-Spitze-Spannung (also die Differenz von  $U_{max}$  und  $U_{min}$ ).  $U_{max}$  und  $U_{min}$  sind die lokalen<sup>1</sup> Extrempunkte.  $U_G$  ist die  $DC_{offset}$ -Spannung. Berechnet wird dieser über den Mittelwert im DC-Modus.

Wir schreiben daher einmal alle Informationen aus dem [Protokoll](#) in zwei Tabellen, in eine für die automatisch berechneten Werte und eine für die Cursor-Messungen.

T [ms]	$U_{SS}$ [V]	$U_G$ [V]	$U_{max}$ [V]	$U_{min}$ [V]
4,983	1,06	0,93	1,50	0,40

Tabelle III.1.: Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte.

In [Tabelle III.1](#) sind alle automatisch gemessenen Werte eingetragen.

Aus der Periodendauer können wir nun die [Frequenz \(1\)](#) berechnen:

$$f_{auto} = 0,202\text{ms}^{-1} \hat{=} 4,95\text{kHz}. \quad (13)$$

<sup>1</sup>Also die auf dem Display angezeigten Extrempunkte.

Aus den Extrema können wir  $U_G$  auch noch rechnerisch über das [arithmetische Mittel 1](#) bestimmen:

$$U_{G,auto,r} = 0,95V. \quad (14)$$

Merkwürdig ist, dass die Werte  $U_G$  und  $U_{G,auto,r}$  einwenig abweichen. Dies liegt daran, dass das Signal nicht konstant war. Aus nicht bekannten Gründen sind die Werte über die Zeit angestiegen. Da wir die Werte aber nacheinander abgeschrieben haben, waren zu dem Moment die Werte schon nicht mehr stringent. Die Abweichung ist jedoch nicht besonders groß.

T [ms]	$U_{SS}$ [V]	$U_{max}$ [V]	$U_{min}$ [V]
$5,00 \pm 0,16$	1,064	1,500	0,460

Tabelle III.2.: Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte.

Wir wollen nun  $U_G$  bestimmen. Dies ist der [Mittelwert 1](#) von  $U_{max}$  und  $U_{min}$ .

$$U_G = 0,980V. \quad (15)$$

Dabei entspricht  $U_G$  gerade dem Gleichspannungsanteil.

Seinen Fehler bestimmen wir via [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung \(5\)](#):

$$\Delta U_G = \sqrt{(\Delta U_{min})^2 + (\Delta U_{max})^2}. \quad (16)$$

Somit kommen wir auf ein Ergebnis von

$$U_G = (980 \pm 60) mV. \quad (17)$$

Als nächstes berechnen wir die Frequenz der Cursor-Messung:

$$f_{cursor} = 0,2ms^{-1} \hat{=} 5kHz. \quad (18)$$

Den Fehler der Frequenz müssen wir noch bestimmen, wieder über [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung \(5\)](#):

$$\Delta f = \frac{\Delta T}{T^2}. \quad (19)$$

Berechnen wir diesen Fehler und tragen das Ergebnis zusammen, kommen wir zu:

$$f_{cursor} = (0,200 \pm 0,006)ms^{-1}. \quad (20)$$

(Es wurde auf signifikante Stellen gekürzt.)

Nocheinmal die Gefragten Werte zusammengetragen:

$$U_{G,auto} = 930mV$$

$$U_{G,auto,r} = 0,95V$$

$$U_{SS} = 1,06V$$

$$f_{auto} = 0,202ms^{-1}$$

$$U_{G,cursor} = (980 \pm 60) mV$$

$$U_{SS,cursor} = (1064 \pm 15) mV$$

$$U_{SS,cursor,r} = (1040 \pm 60) mV$$

$$f_{cursor} = (0,200 \pm 0,006) ms^{-1}$$

Der Wert  $U_{SS,cursor,r}$  ist dabei der nochmal neu gerechnete Wert, aus dem Maximum und dem Minimum.

Wir berechnen nun noch, wie signifikant die Werte des Cursors sind, indem wir die automatisch berechneten als Referent nehmen. Wir nutzen [Gleichung 9](#) der Fehlerrechnung: Wir beginnen mit der Offset-Spannung  $U_G$ :

$$\frac{|U_{G,auto} - U_{G,cursor}|}{\Delta U_{G,cursor}} = 0,83\sigma. \quad (21)$$

Für die Spitzen-Spitzen-Spannung:

$$\frac{|U_{SS,auto} - U_{SS,cursor}|}{\Delta U_{SS,cursor}} = 17\sigma. \quad (22)$$

Und zuletzt für die Frequenz:

$$\frac{|f_{auto} - f_{cursor}|}{\Delta f_{cursor}} = 0,33\sigma. \quad (23)$$

## Signal 2

Wir schauen uns nun das zweite Signal an, dessen Punkte wir gemessen haben. Die Tabellen sind hier wie bei Signal 1 aufgebaut.

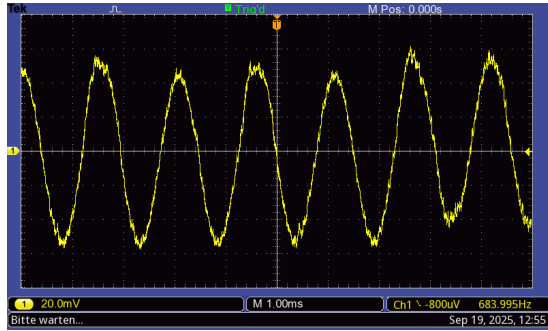


Abbildung III.3.: Signal 2 mit gesetztem Trigger.

T	$U_{SS}$ [V]	$U_G$ [V]	$U_{max}$ [V]	$U_{min}$ [V]
—	0,104	1,61	-1,56	-1,67

Tabelle III.3.: Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte des zweiten Signals.

Die Periodendauer konnte automatisch nicht gemessen werden. Dies lag an dem stark rauschendem (beziehungsweise nicht konstanten) Signal. Auch wenn man es pausiert, kann keine automatische Periodenmessung stattfinden. Als logische Konsequenz kann hier keine Frequenz bestimmt werden.

Neben den automatisch berechneten Werten für  $U_{SS}$  und  $U_G$  wollen wir die Rechnung über die  $U_{max}$  und die  $U_{min}$  nochmal überprüfen:

$$U_{SS,r} = 0,11V, \quad (24)$$

$$U_{G,r} = 1,615V. \quad (25)$$

Es sind leichte Abweichungen zu erkennen, aber grundsätzlich sind die Werte stringent. Die Abweichungen kommen wie bei Signal 1 daher, dass die Signale nicht kontinuierlich sind, sondern Schwankungen unterliegen.

Für die Cursor-Messung müssen wir zunächst wieder die Fehler bestimmen. Wir haben dieses mal für die AC-Spannung ein Step-Grid von  $20mV \times 1,00ms$ . Für die DC-Spannung  $50mV \times 1,00ms$ . Wir greifen wieder

auf die [Tabelle II.1](#) zurück und kommen somit auf Ungenauigkeiten von:

$$\Delta t = 0,006ms \quad (26)$$

$$\Delta U_{AC} = 1,5mV \quad (27)$$

$$\Delta U_{DC} = 4,0mV \quad (28)$$

Wir tragen nun die Werte der Messungen in die Tabelle ein:

T [ms]	$U_{SS}$ [mV]	$U_{max}$ [mV]	$U_{min}$ [mV]
1,560	125,6	68,8	56,8

Tabelle III.4.: Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte.

Wir berechnen die [Frequenzen](#) (1) Cursor-Messung:

$$f_{cursor} = 0,641ms^{-1}. \quad (29)$$

Sein Fehler wird Analog zu [Gleichung 19](#) berechnet. Wir kommen also auf ein Ergebnis von

$$f = (0,6410 \pm 0,0025) ms^{-1}. \quad (30)$$

Als nächstes wollen wir  $U_G$  aus der Cursor-Messung bestimmen. Diese ist wieder Analog zum ersten Signal. Unser  $U_{G,cursor}$  ist somit:

$$U_{G,cursor} = 62,8mV, \quad (31)$$

mit einer Ungenauigkeit von

$$\Delta U_{G,cursor} = 5,657mV. \quad (32)$$

Als Ergebnis also:

$$U_{G,cursor} = (63 \pm 6) mV \quad (33)$$

Recht offensichtlich ist der gemessene Wert der  $U_{SS}$ -Spannung nicht richtig. Wir würden eigentlich erwarten:

$$U_{SS,r} = 12mV \quad (34)$$

Der oben angegebene Wert ist scheinbar einfach die Summe der Extrema. Diese Berechnung ist falsch. Wir haben diesen Wert hier also offensichtlich nicht gemessen, sondern falsch berechnet. Von nun an ist  $U_{SS,r}$  der richtige Wert. Wir müssen seine Ungenauigkeit noch bestimmen. Diese ist jedoch einfach identisch zur  $U_G$ -ungenauigkeit. Unser Ergebnis ist somit:

$$\boxed{U_{SS,cursor} = (12 \pm 6)mV.} \quad (35)$$



## Signal 3

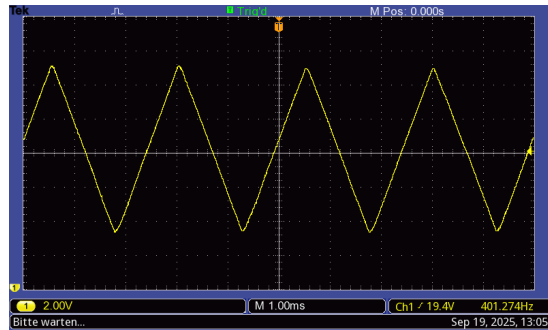


Abbildung III.4.: Signal 3

Signal 3 ist ein Zick-Zack-Signal.

## Signal 4

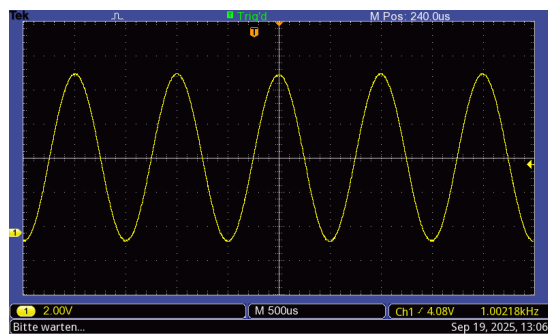


Abbildung III.5.: Signal 4

Signal 4 ist wieder eine Sinus-Funktion.

## Signal 5

Für Signal 5 ist die Halbwertszeit zu bestimmen, also jene Zeit, bei der die Spannung um die Hälfte abgefallen ist. Gemessen haben wir mit einer Divgröße von  $500mV \times 2,5ms$  berechnet. Das Spannungsplatau lag bei  $1V$ . Wir haben also geschaut, wie groß die x-Achsen-Differenz vom Punkt, wo die Spannung abfällt, bis zu dem Punkt, an dem sie  $500mV$  beträgt.

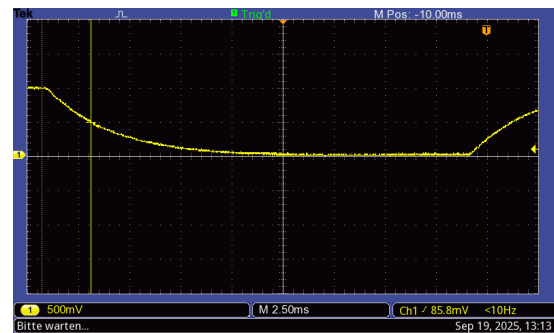


Abbildung III.6.: Signal 5 nah rangezoomed um den Abfall klar zu erkennen.

Die Halbwertszeit liegt dabei bei

$$2,40ms \quad (36)$$

Wir haben eine Auflösung von  $2,5ms$ , wir haben also einen Zeitfehler von:

$$0,16ms \quad (37)$$

Wir tragen das gesamte zu einem Ergebnis zusammen:

$$t_H = (2,40 \pm 0,16) ms \quad (38)$$

Außerdem sind hier nochmal die beiden Grafiken, die zum Vergleich der AC und der DC-Spannung dienen. Abbildung III.7 zeigt die AC-Spannung, Abbildung III.8 die DC-Spannung.

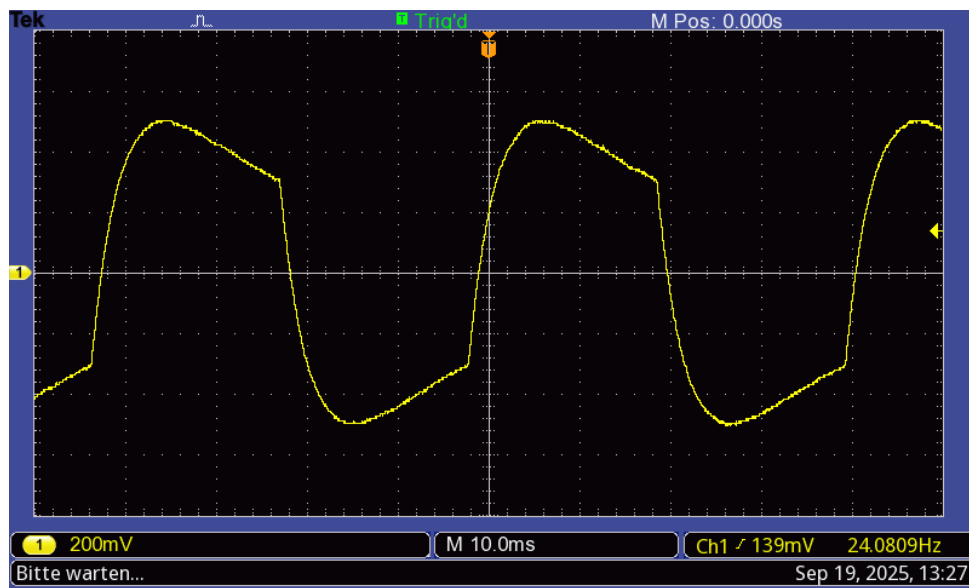


Abbildung III.7.: Signal 5-AC modus

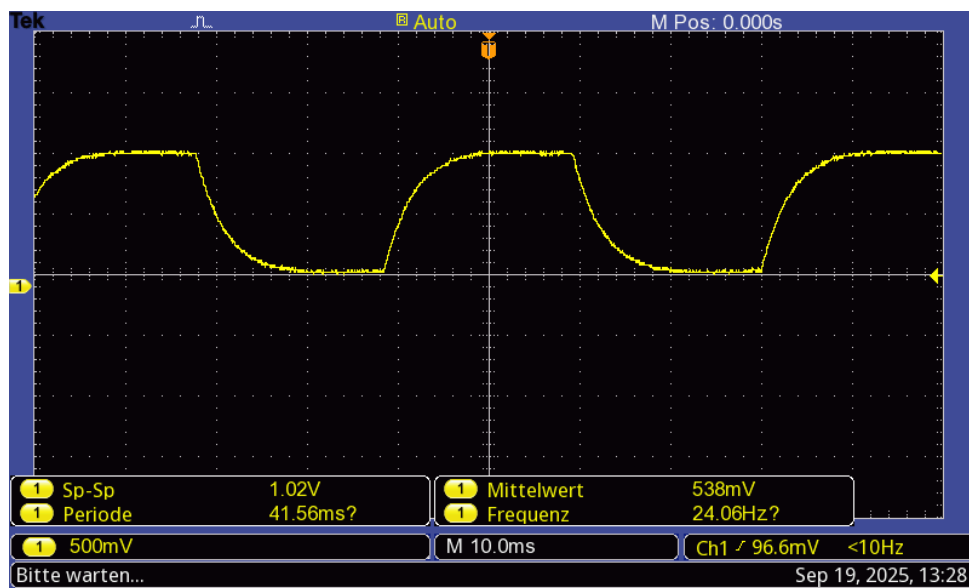


Abbildung III.8.: Signal 5-DC Modus

## Signal 6

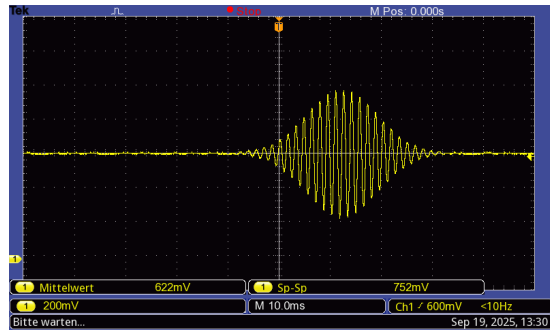


Abbildung III.9.: Signal 6

## Signal 8

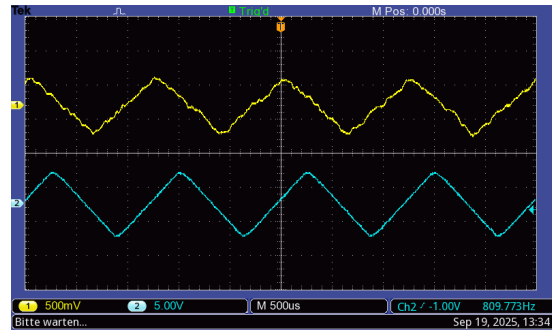


Abbildung III.11.: Signal 8 mit verschobenen Nullpunkten und verschiedenen Amplituden.

## Signal 7

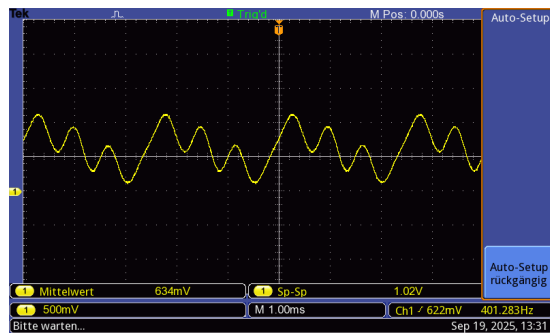


Abbildung III.10.: Signal 7

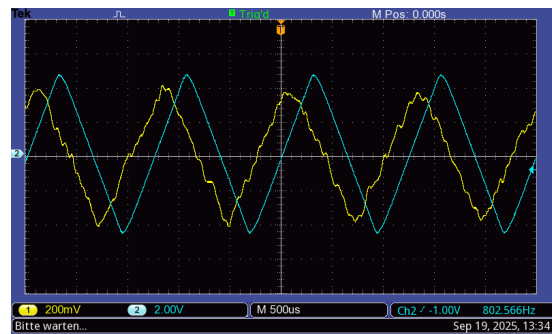


Abbildung III.12.: Signal 8 mit gleichem Nullpunkt, aber verschiedenen Amplituden.

## Signal 9

Für Signal 9 sind wieder Messungen betrieben wurden. D

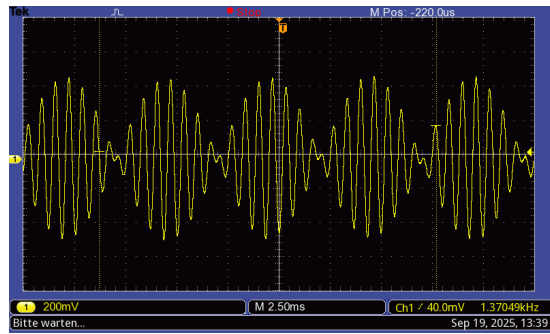


Abbildung III.13.: Signal 9. Man sieht die Phasen und die Gruppen sehr gut

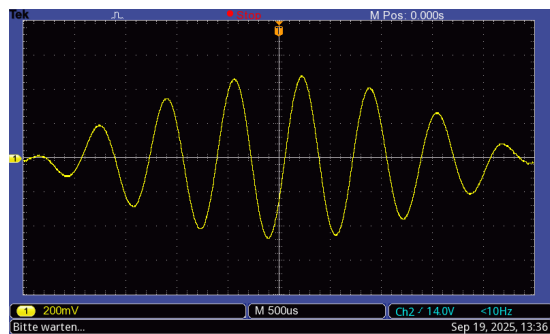


Abbildung III.14.: Signal 9, einzelne Gruppe.

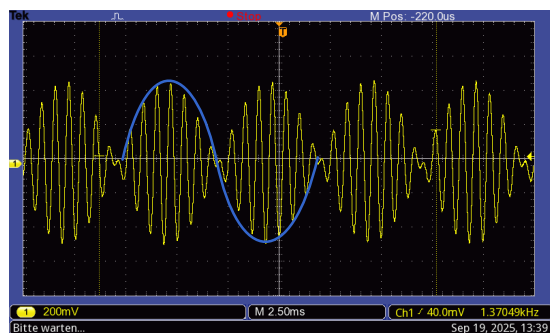


Abbildung III.15.: Signal 9, eingezeichnete Phase.

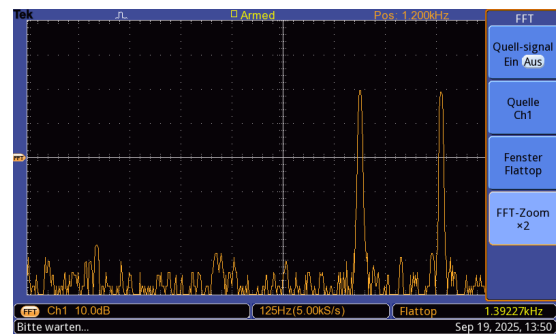


Abbildung III.16.: Signal 9, eingezeichnete Phase.

### **3.3. Aufgabe 3: Pulsweitenmodulation**

### **3.4. Aufgabe 4: Koaxialkabel**

## IV. Diskussion

### 4.1. Zusammenfassung

### 4.2. Diskussion

### 4.3. Kritik

## Abbildungsverzeichnis

I.1. Zwei verschiedene Signale gleichzeitig. . . . .	3
I.2. Achsen klar visualisiert . . . . .	4
I.3. Visualisierung Triggering . . . . .	4
I.4. Eingezeichnet sind die Periode $T$ und die Pulsbreite $t$ . . . . .	4
II.1. Beispiel aus dem Versuch. 8 mal 10 DIVs. . . . .	9
III.1. Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im AC Modus. . .	13
III.2. Signal 1 mit automatischen Messwerten und gesetztem Trigger im DC Modus. . .	13
III.3. Signal 2 mit gesetztem Trigger. . . . .	15
III.4. Signal 3 . . . . .	17
III.5. Signal 4 . . . . .	17
III.6. Signal 5 nah rangezoomed um den Abfall klar zu erkennen. . . . .	17
III.7. Signal 5-AC modus . . . . .	18
III.8. Signal 5-DC Modus . . . . .	18
III.9. Signal 6 . . . . .	19
III.10. Signal 7 . . . . .	19
III.11. Signal 8 mit verschobenen Nullpunkten und verschiedenen Amplituden. . . . .	19
III.12. Signal 8 mit gleichem Nullpunkt, aber verschiedenen Amplituden. . . . .	19
III.13. Signal 9. Man sieht die Paksen und die Gruppen sehr gut . . . . .	20
III.14. Signal 9, einzelne Gruppe. . . . .	20
III.15. Signal 9, eingezeichnete Phase. . . . .	20
III.16. Signal 9, eingezeichnete Phase. . . . .	20

## Tabellenverzeichnis

I.1.	Signale 1-4 . . . . .	8
I.2.	Signal 5 . . . . .	8
I.2.	Signal 9 . . . . .	8
I.2.	Pulsweitenmodulation . . . . .	8
I.2.	Koaxialkabel . . . . .	8
II.1.	Spannungs- und Zeitauflösung, systematische Fehler und Gesamtfehler des Oszilloskops. Berücksichtigung von Ables- und Systematischenfehlern. . . . .	11
III.1.	Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte. . . . .	13
III.2.	Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte. . . . .	14
III.3.	Tabelle der vom Oszilloskop berechneten Werte des zweiten Signals. . . . .	15
III.4.	Tabelle der mit Cursor bestimmten Werte. . . . .	15



[[Dem17](#)]

## Literaturverzeichnis

- [Cap25] Captain Joni. Versuchsanleitung + oszilloskopanleitung, 2025. Zugriff am 20. September 2025.
- [Dem17] Jochen Demtröder. *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 7 edition, 2017.
- [Wag25a] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, chapter 25. Universität Heidelberg, 2025.
- [Wag25b] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, pages 4–28. Universität Heidelberg, 2025.