

# Physikalisches Anfängerpraktikum

## Sommersemester 2023

Versuch 25

Tutor: Brian Hinz

### Oszilloskop

## 1 Einleiung

### 1.1 Ziel des Versuchs

Ziel in diesem Experiment ist das Kennenlernen und richtige Anwenden eines in Wissenschaft und Technik weit verbreiteteten Instrumentes: Oszilloskop. Durch das gezielte Anpassen der Steuerelemente des Oszilloskops und die Beobachtung der daraus resultierenden Veränderungen soll die Handhabung des Oszilloskops trainiert werden. Außerdem durch Messung z.B. Periodendauer, Amplitude, Pulsbreite von verschiedenen Signalformen sollen das Verhalten des Signals, die Pulsweitenmodulation sowie Reflexion an einem Kabel besser verstanden werden.

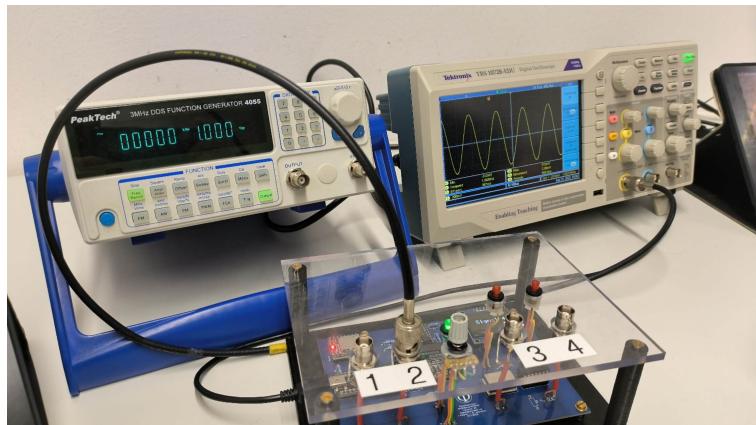


Abbildung 1: Aufbau des Oszilloskops

### 1.2 Physikalische Grundlagen

#### 1.2.1 Beschreibung eines Oszilloskops

Ein Oszilloskop ist ein elektronisches Messgerät, das zur Visualisierung und Analyse von elektrischen Signalen verwendet wird, indem es für eine oder mehrere Eingangsspannungen ihren zeitlichen Verlauf aufzeichnet. In einem analogen Oszilloskop wird das anliegende Signal verwendet, um einen Elektronenstrahl zu steuern. Dieser Elektronenstrahl projiziert das Eingangssignal in Echtzeit auf einen Leuchtschirm und dadurch wird das Eingangssignal demnach kontinuierlich dargestellt.

Im Gegensatz dazu zeichnet ein kann nur die Punktefolge aufnehmen. Stattdessen erfolgt die Messung des aktuellen Spannungswerts stückweise in festen Zeitintervallen mithilfe eines Analog-Digital Wandlers, d.h. digitales Oszilloskop kann nur die Punktefolge abgreifen. Diese gemessenen Werte werden dann in einem Speicher abgelegt und später auf einem Display dargestellt, um sich einmalige Vorgänge wieder aufzeichnen zu lassen und zu einem späteren Zeitpunkt wiederzugeben. In diesem Experiment werden wir das digitale Oszilloskops benutzen.

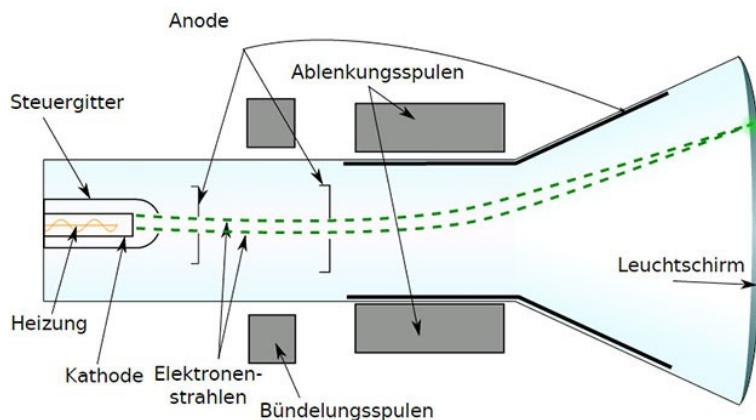


Abbildung 2: Prinzip eines analogen Oszilloskops

## 1.3 Funktionsweisen des Oszilloskops

### 1.3.1 Der $y,t$ -Betrieb

Das zu messende Signal wird über eine Eingangsbuchse zugeführt und durch Analogelektronik aufbereitet. Jedoch hat diese Aufbereitung eine begrenzte Bandbreite, weshalb hohe Frequenzen nicht fehlerfrei verarbeitet werden können. Nach der Analogaufbereitung erfolgt die Digitalisierung des Signals mittels eines schnellen Analog-Digital Wandlers, dazu wird die momentane Signalspannung in festen, diskreten Zeitabständen mit dem AD-Wandler abgetastet und die digitalen Werte in einem Speicher abgelegt.

Die Anzahl der Messungen oder Abtastungen, die pro Zeiteinheit von einem AD-Wandler durchgeführt werden, bezeichnet sich als **Samplerate** oder **Abtastrate**. Die gibt an, wie oft ein analoges Signal pro Sekunde in diskrete digitale Werte umgewandelt und gespeichert wird. Eine höhere Samplerate ermöglicht eine genauere Erfassung und Wiedergabe von schnellen Veränderungen im Signal, insbesondere bei hochfrequenten Signalen. Damit das rekonstruierte Signal möglichst unverfälscht wiedergegeben wird, müssen wir die Abtastrate so einstellen, dass die deutlich höher als die Frequenz des zu messenden Signals sind (Abbildung 3).

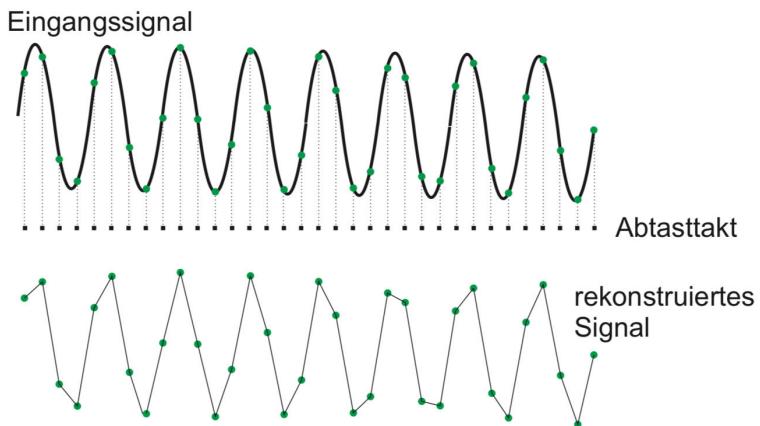


Abbildung 3: Oben: Abtastung eines Eingangssignals mit einem festen Takt. Unten: Rekonstruktion des Signals durch lineare Interpolation.

Die gespeicherten Daten können nach der Aufzeichnung mathematisch verarbeitet werden und auf einem Display angezeigt werden.

### 1.3.2 Triggerung

Damit das Oszilloskop kontinuierliche Sinussignale korrekt auf dem Bildschirm anzeigen kann, muss die mit dem Signal synchronisiert werden, um immer den gleichen Signalausschnitt darzustellen und ein stabiles Bild zu gewährleisten. Dieser Prozess wird als „**Triggern**“ bezeichnet. Dieser sogenannte Triggerlevel lässt sich frei einstellen und wird als waagrechte Linie angezeigt. Nach einem Durchlauf wird die Anzeige abgeschaltet und erst dann wieder eingeschaltet, wenn das Signal wieder diesen Triggerlevel schneidet. Somit wird immer der gleiche Signalausschnitt dargestellt

### 1.3.3 Der xy-Betrieb

Xy-Betrieb ermöglicht, ein zweidimensionales Diagramm zu erstellen, indem zwei verschiedene Eingangssignale auf dem Bildschirm dargestellt werden. Aus der Kombination verschiedener Signale ergeben sich die nach ihrem Entdecker benannten „Lissajous“ Figuren. Sie ermöglichen u.a., die Phase und das Frequenzverhältnis zwischen beiden Eingangssignalen festzustellen.

wenn zwei sinusförmige Signale entlang der x- und y-Achse miteinander kombiniert werden, Die Form der Lissajous-Figur hängt von verschiedenen Parametern ab:

- Frequenzverhältnis ( $m/n$ ): Das Verhältnis der Frequenzen der beiden Signale beeinflusst die grundlegende Form der Lissajous-Figur. Wenn  $m$  und  $n$  ganzzahlige Verhältnisse wie 1:1, 2:1, 3:2 usw. haben, ergeben sich einfache Figuren wie Linien, Ellipsen oder Kreise.

- Phasenverschiebung ( $\Delta\phi$ ): Die Phasenverschiebung zwischen den beiden Signalen bestimmt die Drehung und Asymmetrie der Lissajous-Figur. Bei einer Phasenverschiebung von 0 Grad ergibt sich eine symmetrische Figur.
- Amplitudenverhältnis: Das Verhältnis der Amplituden der beiden Signale kann die Form der Lissajous-Figur beeinflussen, indem sie gestreckt oder gestaucht wird.

Hier unten die Abbildung 4 sind ein paar Beispiele:

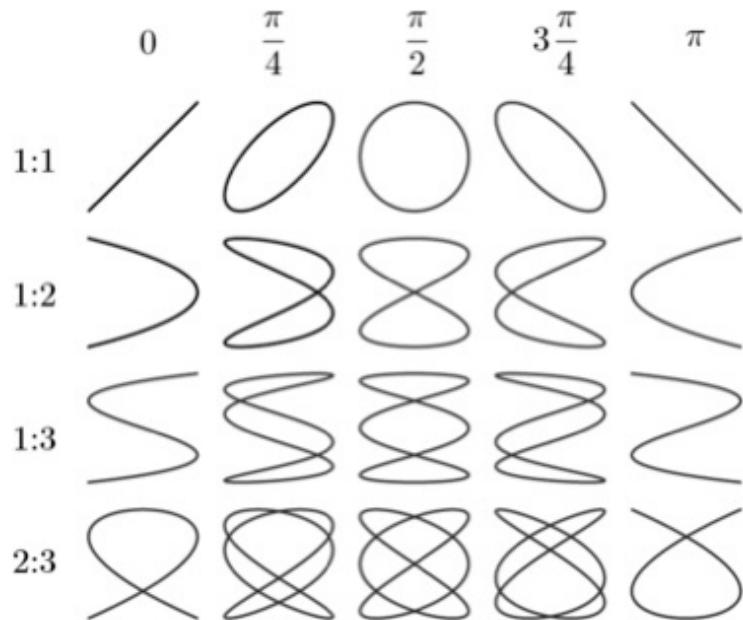


Abbildung 4: Lissajous Figuren Beispiele

## 1.4 Reflexion auf einer Leitung

Wenn sich der Wellenwiderstand der Leitung ändert, trifft eine elektromagnetische Welle auf diesem Medium mit einer unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit so wird diese an der Grenzschicht teilweise reflektiert. Der Wellenwiderstand hängt vom Leitungsmaterial und der Leitungsgeometrie ab und ist gegeben durch:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad [Z] = \Omega \quad (1)$$

wobei  $L'$  Induktivität pro Länge und  $C'$  die Kapazität pro Länge sind.

Wenn ein elektrischer Impuls auf ein offenes Leitungsende trifft, wird er ohne Phasensprung reflektiert und kehrt zum Sender zurück (Reflexion am offenen Ende). Wenn

das Leitungsende jedoch kurzgeschlossen ist, erfolgt die Reflexion mit einem Phasensprung, und die reflektierte Welle hat die umgekehrte Polarität (Reflexion am festen Ende). Wenn ein Abschlusswiderstand am Kabelende angebracht ist, der dem Wellenwiderstand der Leitung entspricht, treten keine Reflexionen auf.

Durch Messung der Laufzeit des reflektierten Puls können wir die Kabellänge bestimmen. Wenn wir am Ende des Kabels einen einstellbaren Widerstand anschließen und beobachten, bei welchem Widerstand die Reflexionen aufhören, können wir auch den Wellenwiderstand der Leitung ermitteln.

## 1.5 Pulsweitenmodulation (PWM) - Dimmung einer LED

Die **Pulsweitenmodulation** (PWM) ist eine Technik zur Steuerung der Leistung von elektrischen Signalen. Bei der PWM wird ein periodisches Signal erzeugt, das als Rechteckwelle oder Pulswelle bezeichnet wird. Die wesentliche Idee hinter der PWM besteht darin, die Pulsbreite, also die Zeitspanne, während der das Signal eingeschaltet ist, zu variieren, um die Durchschnittsleistung oder die durchschnittliche Spannung zu steuern.

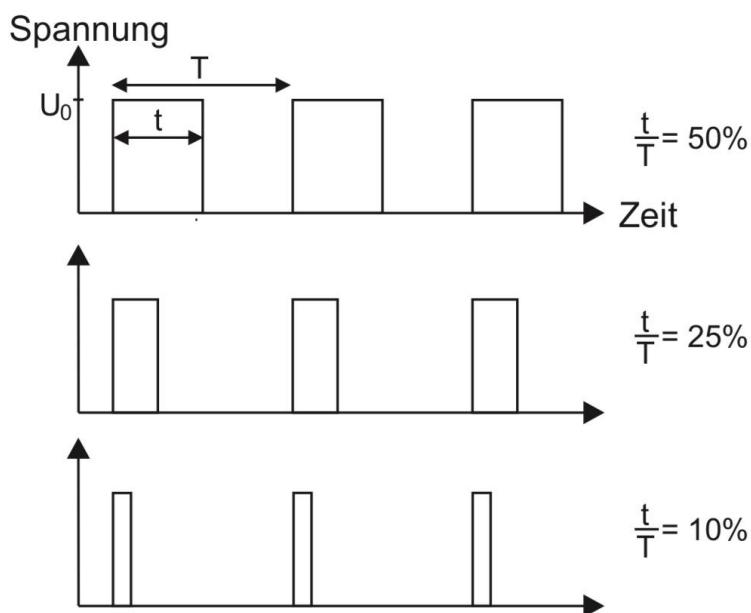


Abbildung 5: Pulsweitenmodulation bei unterschiedlichen Tastgraden

Anstatt die Helligkeit einer LED über die Höhe der Betriebsspannung zu steuern, wird per Pulsweitenmodulation einfach die Spannung für eine kurze Zeit ausgeschaltet. Über das Verhältnis zwischen den Spannungsimpulsen und Pausen kann man die gewünschte Effektivspannung erzeugen (Abbildung 5).

Das Verhältnis der Periodendauer  $T$  zur Pulsdauer  $t$  wird als **Tastgrad** (duty cycle). Für den Mittelwert einer Pulsweltenmodulierte Spannung  $U_M$  und den Effektivwert  $U_{eff}$  ergibt sich bei einer Impulsspannung  $U_0$ :

$$U_M = U_0 \frac{t}{T} \quad (2)$$

$$U_{eff} = U_0 \sqrt{\frac{t}{T}} \quad (3)$$

## 2 Versuchsdurchführung

### 2.1 Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung und Messprotokoll

Siehe folgende Seiten.



Abbildung 6: Oben links: Funktionsgenerator, oben rechts: Signalgenerator, unten: Oszilloskop TBS1072B

Messgeräte:

- Oszilloskop TBS1072B
- Funktionsgenerator
- Signalgenerator
- koaxialkabel RG58,  $50\Omega$ , 25m
- Einstellbarer Abschlusswiderstand

1. Bedienung des Oszilloskops

Mithilfe des Funktionsgenerators können verschiedene Signalformen generiert werden. Für diesen Teil des Versuchs benutzen wir eine Sinusfunktion mit einer Frequenz von 100 Hz.

Mit dem Skal-Regler kann die Kurve horizontal und vertikal gestreckt und gestaucht werden.

Durch Drehen des Level-Reglers lässt sich die Triggerposition verschieben. Um ein stabiles Bild zu bekommen, wählen wir den Modus Normal; dabei kann die Triggerposition nicht verändert werden. Wird der Anstieg verändert, wird die Schwingung an der x-Achse gespiegelt.

2. Amplituden und Zeitmessung

Wir verbinden den Ausgang 2 des Signalgenerators mit Kanal 1 des Oszilloskops und stellen die Nulllage ein, indem wir den Erde-Modus wählen. Die Nulllage wird in die vertikale Mitte geschaut.

Anschließend wird die Kopplung wieder auf DC umgeschaltet.

Wir beobachten nun die fünf Signaloptionen des Generators und messen Periodendauern  $T$ , Frequenz, Spitze-Spitze-



Spannung sowie Gleichspannungsanteil. Die gespeicherten Oszilloskopswerte sind auf den Seiten nach dem Messprotokoll zu finden.

Tabelle 1 : Messungen der wechsel unterschiedlichen Signale (1 - 4)

$\Delta U = 10 \text{ mV}$	Signalnummer	1	2	3	4
$\Delta T = 0.1 \text{ ms}$	Periodendauer [ms]	4.982	1.550	2.450	1.100
$U_{\text{SS}} = 20 \text{ mV}$	$U_{\text{SS}} [\text{mV}]$	1112	135	1040	1024
$= 20 \text{ mV}$	Gleichspannungs- anteil [mV]	3.2	1.0	4.40	3.55
	$U_{\text{max}} / U_{\text{min}} [\text{mV}]$	+556, -556	+75, -60	+520, -520	+512, -512

Signal 5: periodisch exponentiell abfallen und danach wieder exponentiell ansteigen

→ Gemessen: Die Zeit, die das Signal benötigt bis die halbe Spannung  $\pm U_{\text{SS}}$  erreicht wird.

$$T_{1/2} = \frac{1}{2} (44.52 \pm 0.04) \text{ ms} = (20.760 \pm 0.020) \text{ ms} (2.00 \pm 0.20) \text{ ms}$$

Signal 6 (qualitativ).

Wir stellen das Signal ein, welchem einzelne Wellenpakete werden zufällig ausgesendet. unterschiedlicher Höhe  
Die Triggerung muss hier auf manuelle gestellt werden, um die Signale lange darzustellen.

Signal 7: (qualitativ)

Wir schauen uns das Signal im Triggermodus Auto und Akkopplung an, und zentrieren es wieder mit dem Positionsregler und wählen die Zeitbasis, um einige Perioden zu sehen.

Signal 8:

Diesmal sehen wir, dass es 2 Dreieckssignale aufzeichnet



扫描全能王 创建

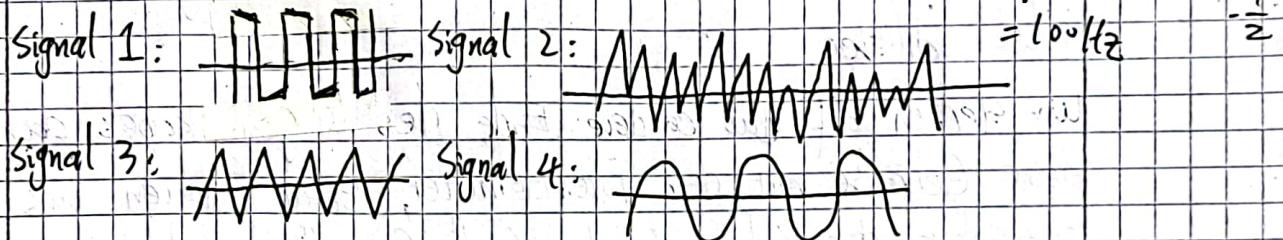
und beobachten fone.

Signal 9: Frequenzspektrum, Fast Fourier- Transformation

Wir überlagern hier 2 Sinus-Signale zu einer Schwingung, und um das auszumessen ist besser das Signal zu speichern. Wir bestimmen mit dem Cursor des Oszilloskops die Schwingungsfrequenz  $f_1$ , indem wir die Zeit von 10 Perioden messen. Die Schwingungsfrequenz  $f_2$  kann aus der Einhüllenden bestimmt werden.

$$\frac{1}{2} t_2 = \frac{1}{2f_2} = 25 \text{ ms} = \frac{200 \text{ Hz}}{100} \quad f_1' = (5.600 : 8)^{-1} = \frac{1}{0.7} \approx 1428.6 \text{ Hz}$$

Fouier:  $f_1' = \frac{1}{T_2} = 200.0 \text{ Hz} = [1590 \text{ Hz} - 1390 \text{ Hz}]$



### 3. Pulsweitenmodulation:

Wir verbinden den Ausgang 3 des Signalgenerators mit Kanal 1 des Oszilloskops, dann variieren wir mit dem Potentiometer den Tastgrad und die Helligkeit der LED.

Wir messen für 2 Einstellungen die Perioden, Pulsbreite und Pulshöhe, notieren zudem den Mittelwert und Effektivwert.

Einstellung 1:  $T = (1.022 \pm 0.003) \text{ ms}$   $h = (3.54 \pm 0.06) \text{ mV}$   
 $U_{\text{eff}} = (2.39 \pm 0.02) \text{ V}$  Pulshöhe  
 $U_{\text{mittel}} = (1.64 \pm 0.01) \text{ V}$  Pulsbreite:  $2174 \text{ Hz}$

Einstellung 2:  $T = (1.022 \pm 0.003) \text{ ms}$   
 $U_{\text{eff}} = (2.72 \pm 0.02) \text{ V}$   
 $U_{\text{mittel}} = (1.11 \pm 0.01) \text{ V}$

Pulshöhe  $(3.52 \pm 0.04)$   
Pulsbreite:  $1567 \text{ Hz}$



## 4. Reflexion auf einer Leitung

Wir verbinden Ausgang 4 des Signalgenerators mit Kanal 1 des Oszilloskops. Um die sehr kurze Pulse zu sehen, stellen wir die Zeitauflösung sehr klein ein. Wir wähle diese Zeitauflösung so, dass wir 2 Pulse auf dem Bildschirm sehen können.

Wir entfernen das Kabel und stecken ein T-Stück auf die Eingangsbuchse von Kanal 1 des Oszilloskops, dann schließen wir Ausgang 4 an das T-Stück an, an den anderen Anschluss des T-Stücks das lange Koaxialkabel schließen.

Wir stecken auf das andere Ende des langen Kabels das kleine Gehäuse mit dem Potentiometer, ~~schau~~ schauen uns zunächst die Pulse in der Stellung offen und kurzgeschlossen an. Wir bestimmen die Zeit nach der das reflektierte Signal das Oszilloskops erreicht.

Offen → zu kurz  $\sigma t = (250 \pm 3) \text{ ns}$

$$R = (64.9 \pm 3)\Omega$$

11.09.23 Ales

## Probleme während des Experiments:

- ~~Wegen des~~ ~~Wegen des~~

~~Wegen des~~ ① Wenn man die Messung von Signal 1 in der DC-Kopplung durchführt, kann man gar nichts sehen.

~~Wegen des~~ ② Messung von Signal 5 in der DC-Kopplung geht nicht.

~~Wegen des~~ ③ Messung von Signal 9: Das Bild sieht nicht als eine Überlagerung von 2 Sinussignalen.



## 3 Auswertung

### 3.1 Messungen im *yt*-Bereich des Oszilloskop

Wir verbinden Ausgang 2 des Signalgenerators mit Kanal 1 des Oszilloskops und führen die folgenden Messungen für die Signale 1 - 4 zunächst in der DC- Kopplung durch. Allerdings wegen des falschen Signalausgangs des Signalgenerators (schlechte Kontakte der Schaltung, es gibt nur flackernde, unregelmäßige sogar teilweise verzerrte Bilder bei DC-Kopplung), haben wir am Ende mit der AC- Kopplung gemacht, was zu einer Unvergleichbarkeit der im Anschluss mithilfe des Fourierreihenmodells ermittelten Frequenzen mit unseren ursprünglichen experimentellen Daten führen wird.

#### 3.1.1 Signale 1 bis 4

Folgende Größen werden gemacht und in einer Tabelle aufgetragen:

Tabelle 1: Messwerte der verschiedenen Signale 1 bis 4

Signale	T [ms]	$U_{ss}$ [mV]	$U_{max}$ [mV]	$U_{min}$ [mV]
1	4,982	1112	+556	-556
2	1,550	135	+75	-60
3	2,450	1040	+520	-520
4	1,100	1024	+512	-512

Signale	$U_G$ [mV]	$U_{eff}$ [mV]	f [Hz]
1	3,2	513	200,647
2	1,0	35,6	8
3	4,4	300	401,331
4	3,6	357	10002,230

$U_{ss}$  bezeichnet sich als die ***Spitze-Spitze-Spannung*** (Peak-to-Peak Voltage), und wird gemessen, indem der Unterschied zwischen dem höchsten positiven und dem niedrigsten negativen Punkt in einem periodischen Signal ermittelt wird.

$$U_{ss} = U_{max} - U_{min} \quad (4)$$

$U_G$  bezeichnet sich als der Gleichspannungsanteil, die in der folgenden Abbildung dargestellt wird:

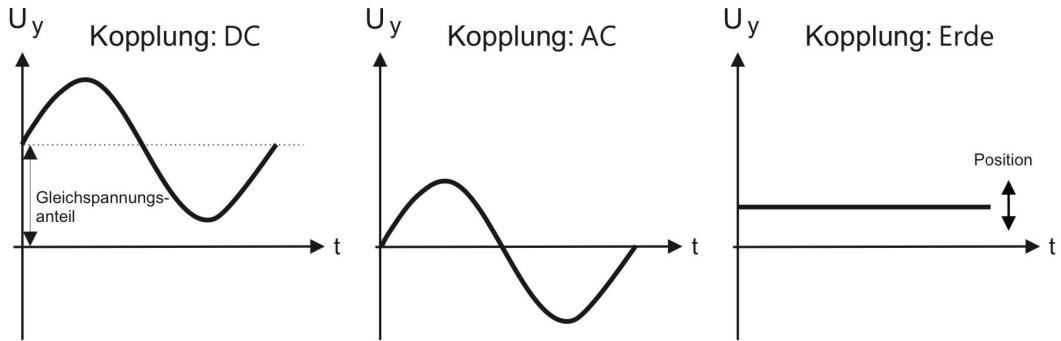


Abbildung 7: In der DC-Kopplung wird sowohl der Gleichspannungs- als auch der Wechselspannungsanteil auf dem Bildschirm angezeigt, während bei der AC-Kopplung nur der Wechselspannungsanteil des Eingangssignals dargestellt wird. In der Erdungseinstellung wird die y-Ablenkung mit der Erde verbunden. Mithilfe des Positionsreglers kann die Nulllinie vertikal verschoben werden, um den Nullpunkt festzulegen.

Hier haben wir bei AC-Kopplung den Mittelwert als Gleichspannungsanteil ermittelt. Das ist allerdings leider nicht 100% richtig, weil bei der AC-Kopplung nur der Wechselspannungsanteil des Eingangssignals dargestellt wird.

Während des Experiments wird immer eine heftige Schwankung bei den Messungen beobachtet, daher haben wir uns für die Fehler entschieden:

Der Fehler der Spannungsmessung beträgt  $\Delta U = 10mV$ ,  $\Delta U_{SS} = 2\Delta U = 20mV$ . Für die Frequenz- und die Zeitfehler gilt  $\Delta T = 0,1ms$ ,  $\Delta f = 100Hz$ .

Die Skizze der Signalformen der Eingangsspannung sind:

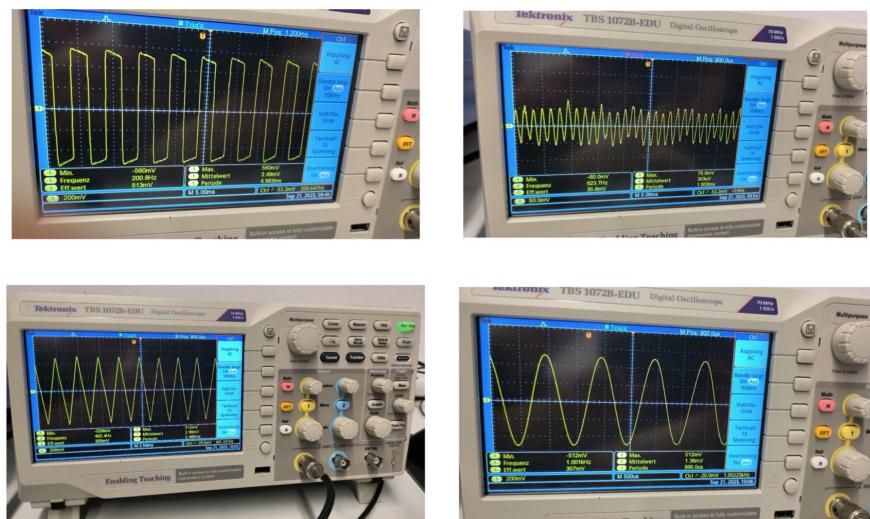


Abbildung 8: Signale 1 - 4 von links nach rechts oben nach unten

### 3.1.2 Signal 5

Bei Signal 5 handelt es sich um ein Signal, dass periodisch exponentiell abfällt und danach wieder exponentiell ansteigt (Lade- und Entladevorgang eines Kondensators).

Tabelle 2: Messwerte des Signals 5

Signale	T [ms]	$U_{ss}$ [mV]	$U_{max}$ [mV]	$U_{min}$ [mV]
5	41,500	1048	+528	-520

Signales	$U_G$ [mV]	$U_{eff}$ [mV]	f [Hz]
5	2,42	411	24,085

Die Fehler sind ähnlich wie 3.1.1 und die Signalform sieht wie unten:

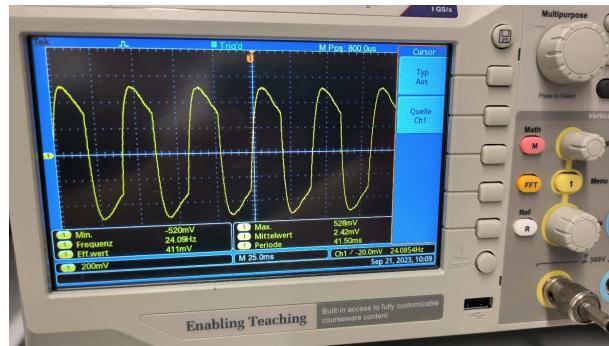


Abbildung 9: Signal 5

Bei einem Signal, das periodisch exponentiell abfällt und danach wieder exponentiell ansteigt, handelt es sich oft um den Lade- und Entladevorgang eines Kondensators in einer Schaltung. In solchen Fällen ist die Einstellung der DC-Kopplung normalerweise die bevorzugte Wahl für die Messung:

- Beim Lade- und Entladevorgang eines Kondensators handelt es sich um eine kontinuierliche und langsame Änderung des Spannungspegels, die als Gleichstrom betrachtet werden kann. Diese Gleichstromkomponenten des Eingangssignals werden mit DC- Kopplung korrekt erfasst.
- Bei der AC-Kopplung wird ein Hochpassfilter eingeführt, der alle Gleichstromanteile blockiert und nur Wechselstromkomponenten durchlässt. Der Lade- und Entladevorgang eines Kondensators kann als eine langsame Änderung des Spannungspegels betrachtet werden, die jedoch mit einer sehr niedrigen Frequenz einhergeht und blockiert wird, was zu einer Verzerrung des Signals führen kann. Das Signal erscheint dann verzerrt und verschoben, da der DC-Offset eliminiert wird.

Und wir habe die Halbwertszeit, die das Signal benötigt um bis die halbe Spannung  $\frac{1}{2}U_{ss}$  zu erreichen, gemessen:

$$T_{1/2} = (2,00 \pm 0,20)ms \quad (5)$$

### 3.1.3 Qualitative Beobachtung: Signale 6, 7, 8

Bei Signal 6 werden zufällig einzelne "Wellenpakete" unterschiedlicher Höhe ausgesendet. Wir haben das Signal mittig im Bildschirm zentriert und die Zeitbasis so ausgewählt, dass ein gesamtes Wellenpaket gesehen werden können. Die Triggerung muss auf manuelle Triggerung umgestellt werden, um das Signal lange darzustellen.

Wir schauen uns das Signal 7 im Triggermodus Auto und AC- Kopplung an und zentrieren es wieder mit dem Positonsregler.

Bei Signal 8 verbinden wir zusätzlich den Ausgang 1 des Signalgenerators mit Kanal 2 des Oszilloskops und schalten Kanal 2 ein. Die beiden Kanäle werden auf AC-Kopplung eingestellt. Bei beiden Signalen handelt es sich um Dreiecksignale wobei das Signal an Kanal 1 verrauscht ist.

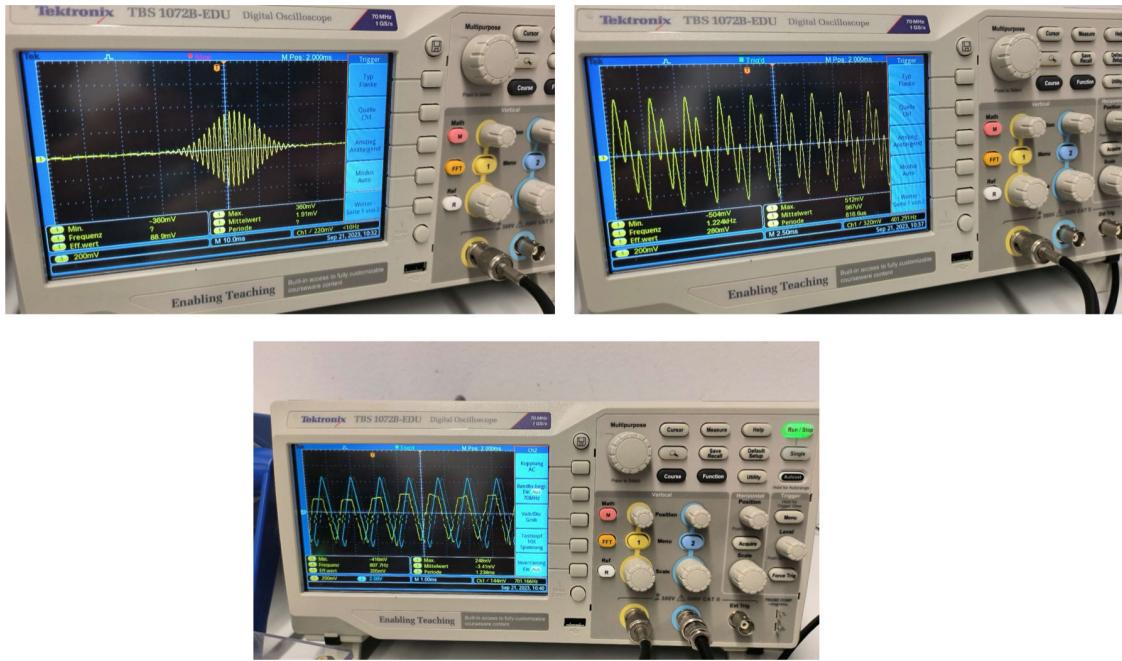


Abbildung 10: Signal 6, 7, 8 von links anch rechts oben nach unten

### 3.1.4 Signal 9: Frequenzspektrum, Fast Fourier Transformation

Wir verbinden Ausgang 4 des Signalgenerators mit Kanal 1 des Oszilloskops und haben die Zeitauflösung sehr klein eingestellt. Wir bestimmen mit dem Cursor des Oszilloskops die Schwingungsfrequenz  $f_1$ , indem wir die Zeit von 8 Perioden messen:

$$f_1 = (5,600ms \div 8)^{-1} \approx 1428,6Hz \quad (6)$$

$$f_2 = (52,219ms \div 8)^{-1} \approx 153,2Hz \quad (7)$$

Wir messen noch die Schwebungsfrequenz  $f_2$ , diese entspricht der Einhullenden des Signals. Beide Frequenzen setzen sich aus der Summe und Differenz zweier Fundamentalfrequenzen zusammen. Diese können wir durch Fouriertransformation bestimmen:

$$f_I = 1390Hz \quad f_{II} = 1590Hz \quad (8)$$

$$\Rightarrow f'_2 = \frac{1}{2}(f_{II} - f_I) = 100Hz \quad (9)$$

$$\Rightarrow f'_1 = \frac{1}{2}(f_{II} - f_I) = 1490Hz \quad (10)$$

Wir vergleichen die zwei Werte von  $f_1$ , die einmal durch Cursor-Math Modus bestimmt und einmal durch FFT-Modus bestimmt werden:

$$\frac{|f_1 - f'_1|}{\sqrt{(\Delta f_1)^2 + (\Delta f'_1)^2}} = \frac{61,4}{\sqrt{2(100)^2}} \approx 0,434 \quad (11)$$

$$\frac{|f_2 - f'_2|}{\sqrt{(\Delta f_2)^2 + (\Delta f'_2)^2}} = \frac{53,2}{\sqrt{2(100)^2}} \approx 0,376 \quad (12)$$

$$(13)$$

Wir haben gesehen, dass die Fehlerabweichung beträgt jeweils  $0,434\sigma$  und  $0,376\sigma$ , weshalb die Abweichung gar nicht signifikant ist. Die zwei Modi haben perfekt miteinander übereinstimmt!

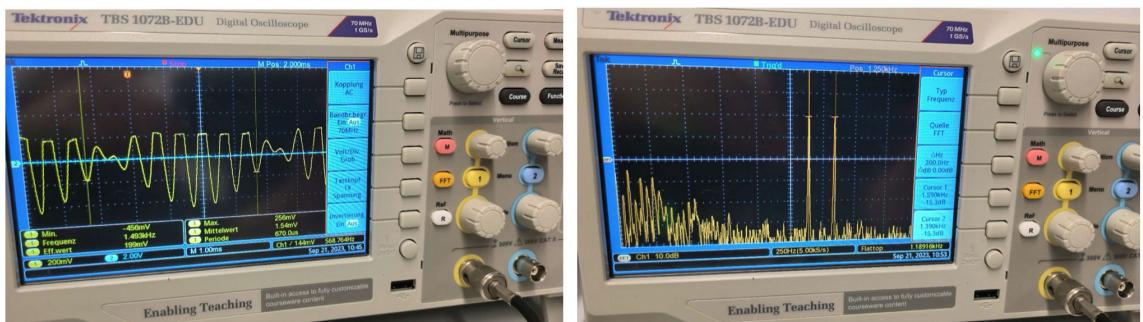


Abbildung 11: Signal 9

### 3.2 Pulsweitenmodulation

Wir haben für zwei Einstellungen der Helligkeit der LED die Periode, die Pulsbreite und Pulshöhe gemessen und jeweils den Mittelwert und den Effektivwert notiert:

Tabelle 3: Messwerte bei Pulsweitenmodulation

	T [ms]	Pulshöhe h [mV]	Pulsbreite d [Hz]	$U_{eff}$ [mV]	$U_{mittel}$ [mV]
Einstellung 1	$1,022 \pm 0,003$	$3,54 \pm 0,06$	$2174 \pm 500$	$2,39 \pm 0,02$	$1,64 \pm 0,01$
Einstellung 2	$1,022 \pm 0,003$	$3,52 \pm 0,04$	$1562 \pm 500$	$2,72 \pm 0,02$	$2,11 \pm 0,01$

Aus Gl.(2), (3) können wir den Mittelwert und den Effektivwert berechnen:

$$U_{M_1} = U_0 \frac{t}{T} = h_1 \frac{1/d_1}{T_1} = 3,54 \cdot \frac{1/2174}{1,022 \cdot 10^{-3}} \approx 1,59 \text{ mV} \quad (14)$$

$$U_{M_2} = U'_0 \frac{t'}{T'} = h_2 \frac{1/d_2}{T_2} = 3,52 \cdot \frac{1/1562}{1,022 \cdot 10^{-3}} \approx 2,21 \text{ mV} \quad (15)$$

$$U_{eff_1} = U_0 \sqrt{\frac{t}{T}} = h_1 \sqrt{\frac{1/d_1}{T_1}} = 3,54 \cdot \sqrt{\frac{1/2174}{1,022 \cdot 10^{-3}}} \approx 2,38 \text{ mV} \quad (16)$$

$$U_{eff_2} = U'_0 \sqrt{\frac{t'}{T'}} = h_2 \sqrt{\frac{1/d_2}{T_2}} = 3,52 \cdot \sqrt{\frac{1/1562}{1,022 \cdot 10^{-3}}} \approx 2,79 \text{ mV} \quad (17)$$

(18)

Der Fehler werden ermittelt als:

$$\Delta U_M = \sqrt{\left(\frac{\partial U_M}{\partial U_0} \Delta U_0\right)^2 + \left(\frac{\partial U_M}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial U_M}{\partial T} \Delta T\right)^2} \quad (19)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{dT} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{h}{Td^2} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{h}{dT^2} \Delta T\right)^2} \quad (20)$$

$$\Delta U_{eff} = \sqrt{\left(\frac{\partial U_{eff}}{\partial U_0} \Delta U_0\right)^2 + \left(\frac{\partial U_{eff}}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial U_{eff}}{\partial T} \Delta T\right)^2} \quad (21)$$

$$= \sqrt{\left(\sqrt{\frac{1}{dT}} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{h}{2Td^2} \sqrt{dT} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{h}{2T^2d} \sqrt{dT} \Delta T\right)^2} \quad (22)$$

Wir setzen alle Werte in die Gl.(20), (22) ein und bekommen:

$$\implies \Delta U_{M_1} = 0,03 \text{ mV} \quad \Delta U_{eff_1} \approx 0,27 \text{ mV} \quad (23)$$

$$\implies \Delta U_{M_2} = 0,06 \text{ mV} \quad \Delta U_{eff_2} \approx 0,45 \text{ mV} \quad (24)$$

(25)

Wir haben dann die theoretisch bestimmten Werte:

$$\Rightarrow \underline{\underline{U_{M_1} = (1,59 \pm 0,03)mV}} \quad U_{eff_1} = (2,38 \pm 0,27)mV \quad (26)$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{U_{M_2} = (2,21 \pm 0,06)mV}} \quad U_{eff_2} = (2,79 \pm 0,45)mV \quad (27)$$

$$(28)$$

Wir vergleichen die Werte mit dem Mittelwert und dem Effektivwert, indem wir die Fehlerabweichung berechnen:

$$\frac{|U_{M_1} - U'_{M_1}|}{\sqrt{(\Delta U_{M_1})^2 + (\Delta U'_{M_1})^2}} = \frac{0,05}{\sqrt{0,03^2 + 0,01^2}} \approx 1,58 \quad (29)$$

$$\frac{|U_{eff_1} - U'_{eff_1}|}{\sqrt{(\Delta U_{eff_1})^2 + (\Delta U'_{eff_1})^2}} = \frac{0,01}{\sqrt{0,02^2 + 0,27^2}} \approx 0,04 \quad (30)$$

$$\frac{|U_{M_2} - U'_{M_2}|}{\sqrt{(\Delta U_{M_2})^2 + (\Delta U'_{M_2})^2}} = \frac{0,10}{\sqrt{0,06^2 + 0,01^2}} \approx 1,64 \quad (31)$$

$$\frac{|U_{eff_2} - U'_{eff_2}|}{\sqrt{(\Delta U_{eff_2})^2 + (\Delta U'_{eff_2})^2}} = \frac{0,07}{\sqrt{0,02^2 + 0,45^2}} \approx 0,16 \quad (32)$$

$$(33)$$

Alle Fehlerabweichungen sind innerhalb von  $3\sigma$  und also nicht signifikant.

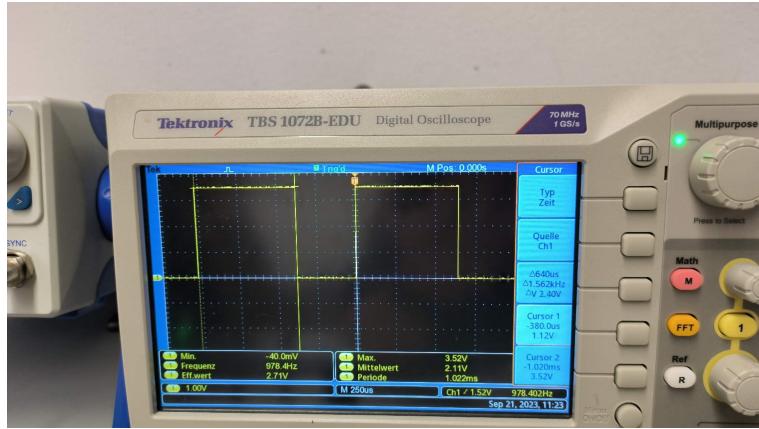


Abbildung 12: Pulsweitenmodulation

### 3.3 Reflexion auf einer Leitung

Wir verbinden Ausgang 4 des Signalgenerators mit Kanal 1 des Oszilloskops und wählen zwei Pulse auf dem Bildschirm aus. Anschließend nehmen wir das Kabel ab

und setzen stattdessen ein T-Stück auf die Eingangsbuchse von Kanal 1 des Oszilloskops. Verbinden Ausgang 4 des Signalgenerators mit dem T-Stück und schließen das lange Koaxialkabel mit einem kleinen Gehäuse mit dem Potentiometer (Kabelrolle) am anderen Anschluss des T-Stücks an.

Jetzt wird die Einstellung "offen" gehalten und es wird fast nur positive Spannungen auf dem Bildschirm gezeigt. Nachdem wir die Einstellung nach "zu" gemacht haben gibt es zum Teil eine Umpolung:



Abbildung 13: Links: Stellung offen, rechts: Stellung kurzgeschlossen

Die Zeit, nach der das reflektierte Signal das Oszilloskop erreicht hat:

$$\Delta t = (250 \pm 3) \text{ ns} \quad (34)$$

Die Länge des Kabels kann durch die Messung der Laufzeit des reflektierten Signals bestimmt werden. Zuerst wird das Signal vom Oszilloskop erfasst, dann durchläuft es das Kabel, wird am anderen Ende reflektiert, kehrt zurück und wird erneut vom Oszilloskop erfasst. Aus diesem Grund entspricht der zeitliche Unterschied zwischen dem ursprünglichen Signal und dem reflektierten Signal am Oszilloskop dem Zweifachen der Länge des Kabels.

Nach der Versuchsanleitung soll die Ausbreitungsgeschwindigkeit 66% der Vakuumlichtgeschwindigkeit betragen:

$$v = \frac{2}{3}c \quad (35)$$

Daher ergibt sich die gesamte Länge:

$$L = \frac{\frac{2}{3}c \cdot \Delta t}{2} \approx 25,0 \text{ m} \quad (36)$$

Hier haben wir  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}^2$  benutzt.

Der Fehler wird gegeben als:

$$\Delta t = \frac{c}{3} \cdot \Delta(\Delta t) \approx 0,3m \quad (37)$$

$$\implies \underline{\underline{L = (25,0 \pm 0,3)m}} \quad (38)$$

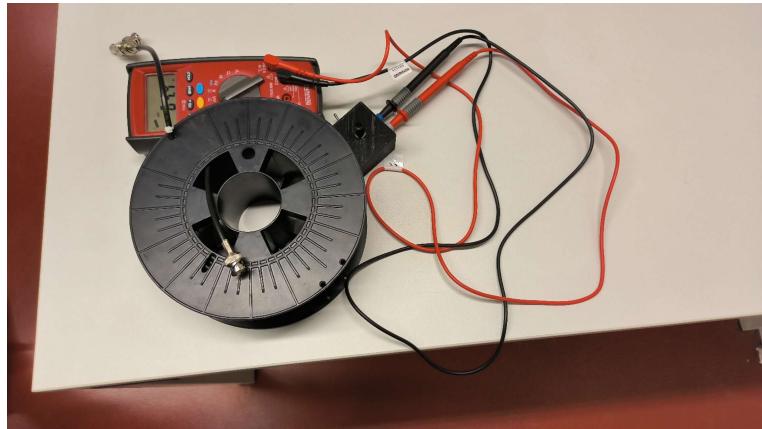


Abbildung 14: Wellenwiderstandiderstand

Zum Schluss möchten wir noch den gemessenen Widerstand  $R_m = (64,9 \pm 3)\Omega$  mit dem Wellenwiderstand des Kabels (Kabel Typ RG58) vergleichen. Laut <http://www.elektron-bbs.de/elektronik/tabellen/koaxialkabel.htm> ist der Wellenwiderstand der Kabel dieses Modells  $50\Omega$ . Dann können wir die Fehlerabweichung berechnen:

$$\frac{|R - R_m|}{\sqrt{R_m^2 + 0}} \approx 5,0 \quad (39)$$

Diese Abweichung  $\geq 3\sigma$  ist schon ein bisschen signifikant. Allerdings im Hinblick auf unserer konservativen Fehlerabschätzung des Widerstands ist das Ergebnis noch akzeptabel.

## 4 Diskussion

In diesem Experiment haben wir nicht nur den Umgang mit dem Oszilloskop und seine Funktionsweise vertieft kennengelernt, sondern auch verschiedene Aspekte der Signalanalyse und Fehlerabschätzung erforscht. Wir begannen mit der Untersuchung der Amplitude, Spannung und des Verhaltens von Signalen 1 bis 4. Anschließend haben wir uns der Analyse von exponentiell fallenden und steigenden Signalen untersucht, wobei wir deren Halbwertszeit bestimmten. Des Weiteren führten wir die qualitative Beobachtungen an Signalen 6 bis 8 durch, um ein besseres Verständnis für die Überlagerung mehrerer periodischer Signale zu erlangen und intuitive Einblicke in einige Eigenschaften z.B. Wellenpaketen zu gewinnen. Signal 9 wurde genutzt, um die

Schwingungsfrequenz (entsprechend der Phasengeschwindigkeit) mithilfe des Cursors zu bestimmen und anschließend im FFT-Modus die Schwebungsfrequenz (entsprechend der Gruppengeschwindigkeit) zu ermitteln.

Zu Beginn des Experiments haben wir zu viel Zeit investiert, um uns mit der Bedienung des Oszilloskops vertraut zu machen und die Messdaten besser zu verstehen. Bedauerlicherweise funktionierte der Signalausgang für die ersten vier Signale nicht optimal, weshalb wir anstelle der DC-Kopplung die AC-Kopplung verwendeten. Dies kann zu gewissen Abweichungen bei den Ergebnissen und einem erschwerten Vergleich mit den späteren Messungen führen. Für den Gleichspannungsanteil haben wir den Durchschnittswert der Spannung benutzt, um unser Messprotokoll zu vervollständigen, jedoch sollte dies zukünftig vermieden werden. Im Hinblick auf der Zeitmangel könnte es hilfreich sein, vor dem Experiment ein Anleitungsvideo zur Verfügung zu stellen, ähnlich wie es bei anderen Experimenten der Fall ist. Alternativ könnten Experimente in zwei Teile aufgeteilt werden, einen zur Einführung und einen zur Durchführung des Experiments. Sonst ist es sehr nervend und hoffnungslos, dass man 8 und 9 Seiten mit theoretischen Grundlage anschaut aber weiß nicht wie das aktuell funktioniert.

Die Fehlerrechnung fällt uns dieses Mal nicht so kompliziert und es ist auch einfach, alle Fehlerquellen ins Betracht zu ziehen. Da das Oszilloskop die Messwerte automatisch aufzeichnete, waren menschliche Fehler nahezu ausgeschlossen, abgesehen von möglichen Ablesefehlern der Messgeräte. Dennoch waren unsere Fehlerabschätzungen konservativ, da das Oszilloskop bei den Messungen eine sehr starke Schwankung zeigte. Daher war es vielleicht sinnvoll, einen größeren Fehler für die Spannung anzunehmen (wir verwendeten nur 10 mV, obwohl 100 mV angemessener gewesen wären). Trotz dieser konservativen Schätzungen waren die Fehlerabweichungen bei den Messungen von Signal 9 im Math-Modus und FFT-Modus sowie bei den Messungen der Pulsweitenmodulation immer kleiner als  $3\sigma$  und daher nicht signifikant erscheinen.

Im dritten Teil des Experiments sollten wir die Kabellänge und den Wellenwiderstand bestimmen. Dabei stellten wir eine signifikante Abweichung zwischen dem gemessenen Widerstand und dem Literaturwert fest. Dies ist größtenteils auf unsere konservative Fehlerabschätzung zurückzuführen. Darüber hinaus erkannten wir, dass zusätzliche Widerstände, wie beispielsweise am Anschluss (z.B. das schwarze Gehäuse), die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen beeinflussen können, jedoch in unseren Berechnungen nicht berücksichtigt wurden. Dies erklärt wahrscheinlich die deutliche Diskrepanz zwischen den gemessenen und Literaturwerten.

Im Ganzen genommen haben wir in diesem Experiment nicht nur unsere Fähigkeiten im Umgang mit Messtechnik und Signalanalyse vertieft, sondern auch wertvolle Einsichten in die Bedeutung von Fehlerabschätzungen (besonders wie man die Fehlerabschätzung auf dem Oszilloskop machen soll, ein Beispiel dafür ist: der Unterschied in den Daten, der durch das Drehen des Knopfes zu einem Block verursacht wird, ist der Ablesefehler.) und deren Auswirkungen auf die Ergebnisse gewonnen. Dieses

Experiment hat uns gezeigt, dass ein gründliches Verständnis der Geräte und eine sorgfältige Fehlerbetrachtung unerlässlich sind, um präzise und zuverlässige Messungen durchzuführen und zu interpretieren.