

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität  
Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

# **LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK**

Übungstitel: Signalleitung

Betreuer:

Gruppennummer: 41

Name: Tanja Maier, Johannes Winkler

Kennzahl: 033 678

Matrikelnummer: 11778750, 00760897

Datum: 20.11.2020

WS 20

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>2</b>
<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2 Voraussetzungen und Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>3 Geräteliste</b>	<b>4</b>
<b>4 Beschreibung der Versuchsanordnung</b>	<b>4</b>
<b>5 Versuchsdurchführung und Messwerte</b>	<b>8</b>
5.1 Zeitlicher Spannungsverlauf an den Enden des Koaxialkabels . . .	8
5.1.1 Angepasster Innenwiderstand . . . . .	8
5.1.2 Hoher Innenwiderstand . . . . .	10
5.1.3 Niedriger Innenwiderstand . . . . .	12
5.2 Bestimmung des Reflexionskoeffizienten . . . . .	13
5.3 Bestimmung der Signalgeschwindigkeit . . . . .	13
5.4 Symmetrischer Verzweiger . . . . .	14
<b>6 Auswertung</b>	<b>14</b>
6.1 Zeitlicher Spannungsverlauf an den Enden des Koaxialkabels . . .	14
6.1.1 Angepasster Innenwiderstand . . . . .	14
6.1.2 Hoher Innenwiderstand . . . . .	14
6.1.3 Niedriger Innenwiderstand . . . . .	14
6.2 Bestimmung des Reflexionskoeffizienten . . . . .	14
6.3 Bestimmung der Signalgeschwindigkeit . . . . .	14
6.4 Symmetrischer Verzweiger . . . . .	15
<b>7 Diskussion</b>	<b>15</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>15</b>
<b>9 Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>

## 1 Aufgabenstellung

1. Messung und Erklärung des zeitlichen Spannungsverlaufes am Anfang und Ende eines etwa 25-30 m langen Koaxialkabels für angelegte Spannungspulse in folgenden Fällen:
  - (a) angepasster Innenwiderstand der Signalquelle.
  - (b) Signalquelle mit hohem Innenwiderstand.
  - (c) Signalquelle mit niedrigem Innenwiderstand.
2. Bestimmung des Reflexionskoeffizienten des Kabelendes als Funktion des Abschlusswiderstandes und Bestimmung der Kabelimpedanz.
3. Bestimmung der Signalgeschwindigkeit im Koaxialkabel. Aus dem Ergebnis ist die relative Permittivität des Isolatormaterials des Koaxialkabels zu ermitteln.
4. Ein Verzweiger dient dazu, das Signal einer Quelle auf mehrere Empfänger aufzuteilen, ohne dass das Signal durch die Aufteilung gestört wird. Aufgabe: Dimensionierung der Widerstände für einen passiven, symmetrischen Verzweiger und experimentelle Demonstration der Funktion der Schaltung.

## 2 Voraussetzungen und Grundlagen

Bei Signalen in Kabeln wird am Ende des Kabels ein Teil reflektiert und ein Teil transmittiert. Nach Kirchhoff gilt

$$U_e + U_r = U_t \quad (1)$$

$$I_e - I_r = I_t \quad (2)$$

Variablen mit  $e$  als Subskript beziehen sich immer auf ein einlaufendes Signal, während  $r$  für reflektiert und  $t$  für transmittiert steht.

Es wird zusätzlich noch der Reflexionskoeffizient benötigt, welcher definiert ist als

$$\rho = \frac{U_r}{U_e} \quad (3)$$

Durch die Impedanz des Kabels  $Z_K = \frac{U_e}{I_e} = \frac{U_r}{I_r}$  und vom Anschluss  $Z_A = \frac{U_t}{I_t}$  folgt für den Reflexionskoeffizienten

$$\rho = \frac{Z_A - Z_K}{Z_A + Z_K} \quad (4)$$

### 3 Geräteliste

Tabelle 1: Liste der verwendeten Geräte

Abk.	Typ	Daten	Inv.Nr.
O	Oszilloskop DSO-X 2022A		
FG1	Frequenzgenerator BK precision 4063		
K1	Koaxialkabel 1	$\ell_2 = (0.50 \pm 0.01) \text{ m}$	
K2	Koaxialkabel 2	$\ell_3 = (X \pm 0.01) \text{ m}$	
R1	Widerstand	$R1 = (1794 \pm 18) \Omega$	
R2	Widerstand	$R2 = (1195 \pm 12) \Omega$	
R3	Widerstand	$R3 = (676.6 \pm 6.8) \Omega$	
R4	Widerstand	$R4 = (330.36 \pm 3.30) \Omega$	
R5	Widerstand	$R5 = (179.80 \pm 0.68) \Omega$	
R6	Widerstand	$R6 = (100.40 \pm 1.00) \Omega$	
R7	Widerstand	$R7 = (68.40 \pm 0.68) \Omega$	
R8	Widerstand	$R8 = (47.60 \pm 0.47) \Omega$	
R9	Widerstand	$R9 = (33.30 \pm 0.33) \Omega$	
R10	Widerstand	$R10 = (12.40 \pm 0.12) \Omega$	
R11	Widerstand	$R11 = (18.32 \pm 0.18) \Omega$	

### 4 Beschreibung der Versuchsanordnung

Im ersten Teil der wird der zeitliche Spannungsverlauf am Anfang und Ende des Kabels gemessen. Dabei variiert der Innenwiderstand der Signalquelle. Die Abbildungen 1, 3 und 5 beschreiben den Aufbau.

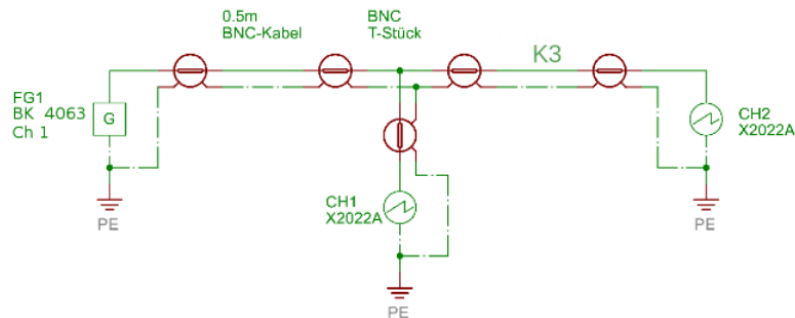


Abbildung 1: Versuch 1 (a): Signalquelle (FG1) ist mit dem zu testenden Koaxialkabel verbunden. CH1 des Oszilloskops misst den Spannungsverlauf am Anfang des Kabels und CH2 am Ende.

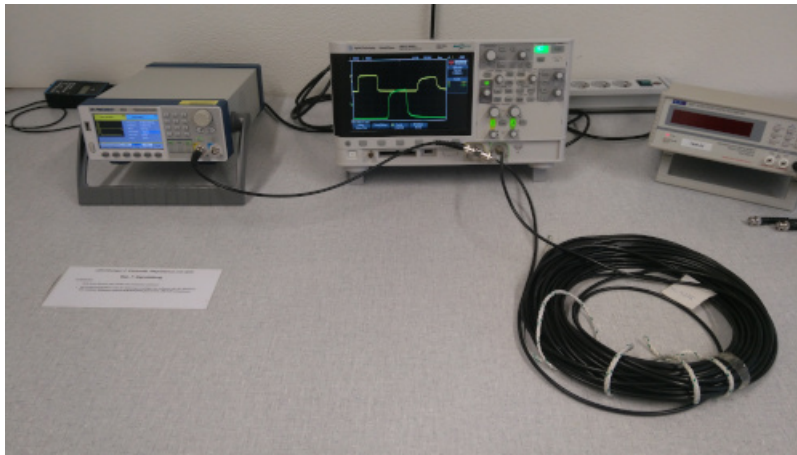


Abbildung 2: Versuch 1 (a) als Foto. Die Kurven am Oszilloskop zeigen die Daten aus Grafik 9.

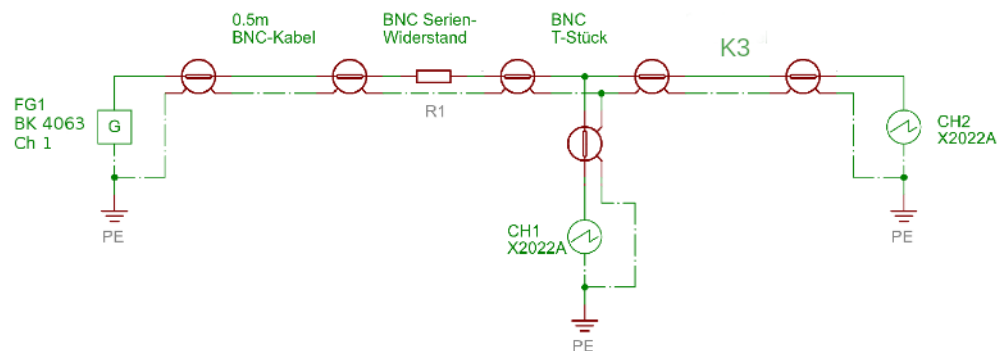


Abbildung 3: Versuch 1 (b): Signalquelle (FG1) ist mit dem zu testenden Koaxialkabel verbunden. Erhöhung des Innenwiderstandes von FG1 durch in Serie geschalteten Widerstand. CH1 des Oszilloskops misst den Spannungsverlauf am Anfang des Kabels und CH2 am Ende.

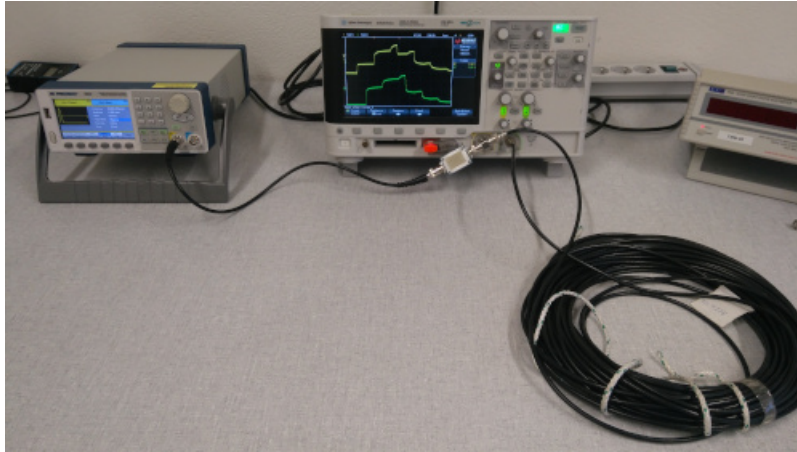


Abbildung 4: Versuch 1 (b) als Foto. Die Kurven am Oszilloskop zeigen die Daten aus Grafik 14.

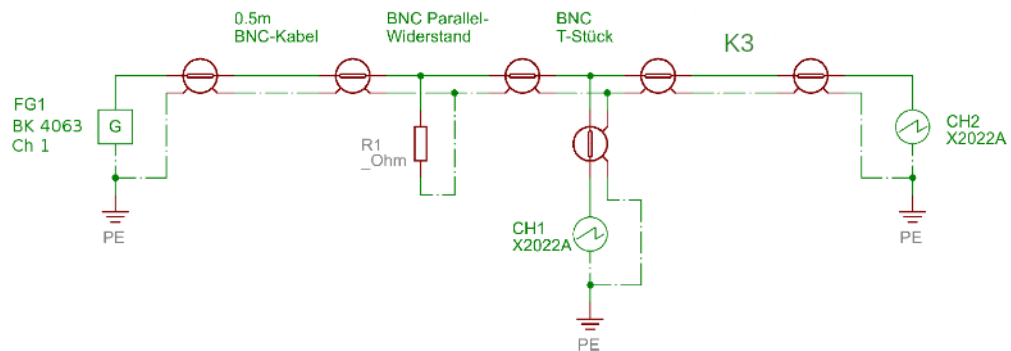


Abbildung 5: Versuch 1 (c): Signalquelle (FG1) ist mit dem zu testenden Koaxialkabel verbunden. Senkung des Innenwiderstandes von FG1 durch parallel geschalteten Widerstand. CH1 des Oszilloskops misst den Spannungsverlauf am Anfang des Kabels und CH2 am Ende.

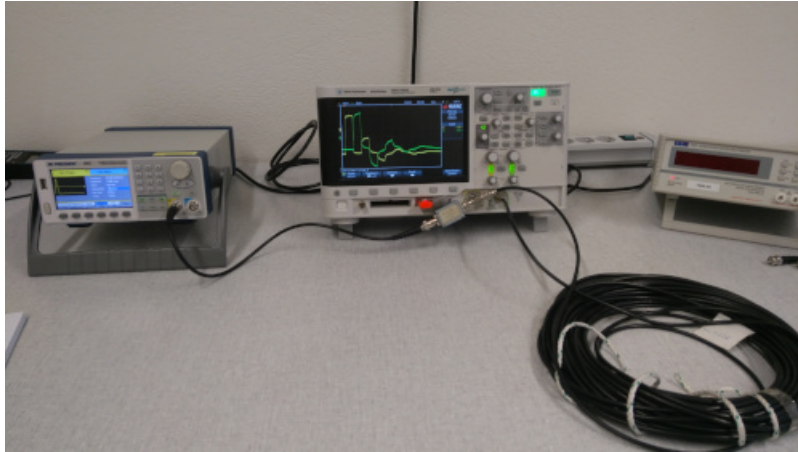


Abbildung 6: Versuch 1 (c) als Foto. Die Kurven am Oszilloskop zeigen die Daten aus Grafik 15.

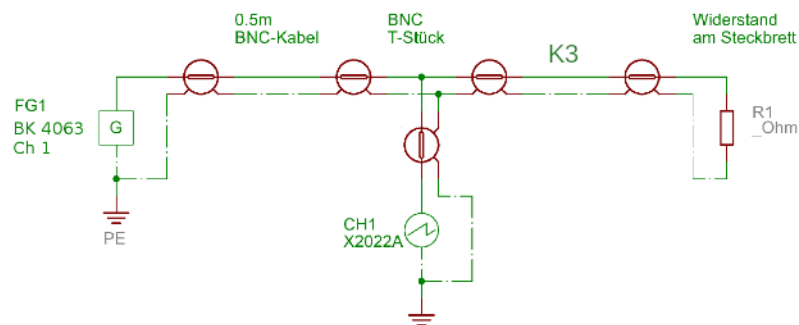


Abbildung 7: Versuch 2: Signalquelle (FG1) ist mit dem zu testenden Koaxialkabel verbunden. CH1 des Oszilloskops misst den Spannungsverlauf am Anfang des Kabels. Am Ende des Kabels befindet sich ein Widerstand. Durch diesen Aufbau kann der Reflexionskoeffizient gemessen werden.

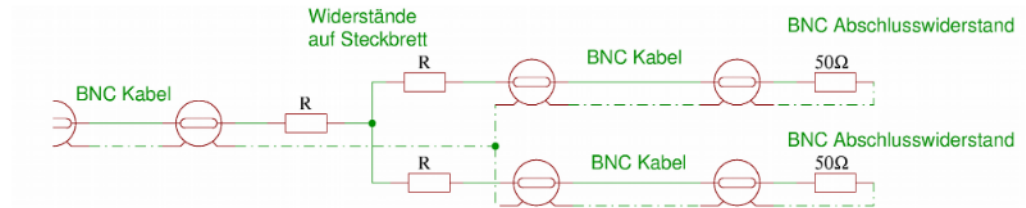


Abbildung 8: Versuch 4: Aufbau eines symmetrischen Verzweigers.  $R$  ist so zu wählen, dass keine Reflexionen auftreten.

## 5 Versuchsdurchführung und Messwerte

### 5.1 Zeitlicher Spannungsverlauf an den Enden des Koaxialkabels

#### 5.1.1 Angepasster Innenwiderstand

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 beschrieben bzw. in Abbildung 2 als Foto dargestellt. Der Frequenzgenerator wird auf **Pulse** mit einer Frequenz von 30 kHz eingestellt. Zusätzlich wird **PulseWidth** auf 100 ns, 240 ns, 500 ns und 750 ns gesetzt.

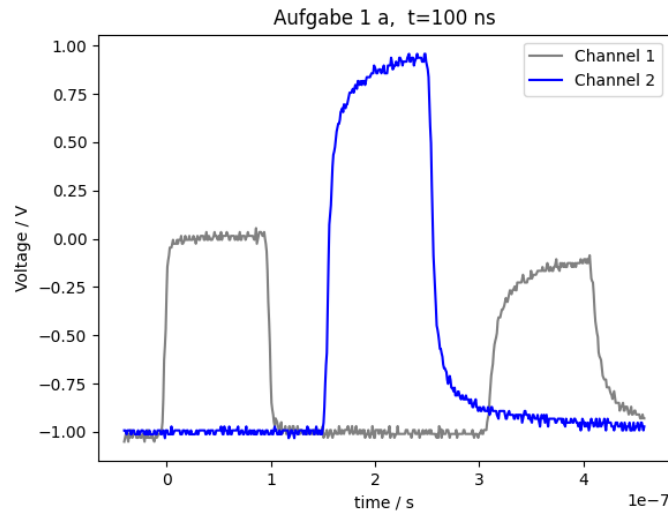


Abbildung 9: Spannungsverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels mit  $t_p = 100$  ns.



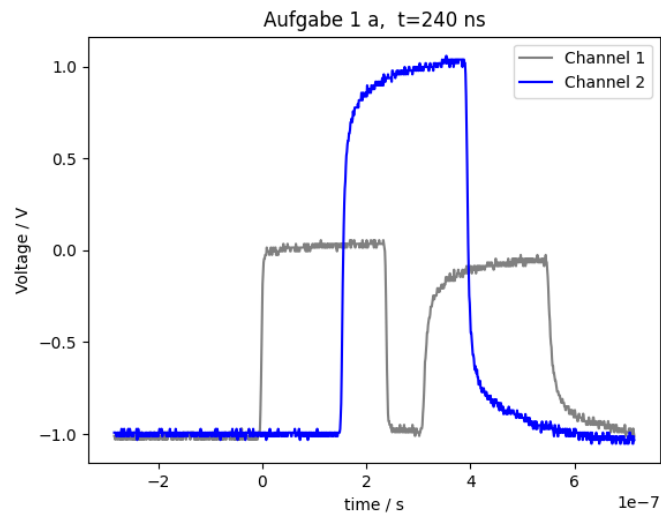


Abbildung 10: Spannungsverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels mit  $t_p = 240$  ns.

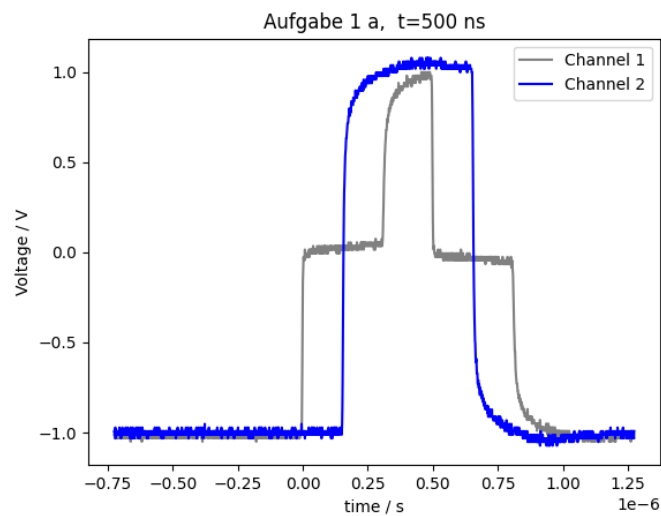


Abbildung 11: Spannungsverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels mit  $t_p = 500$  ns.

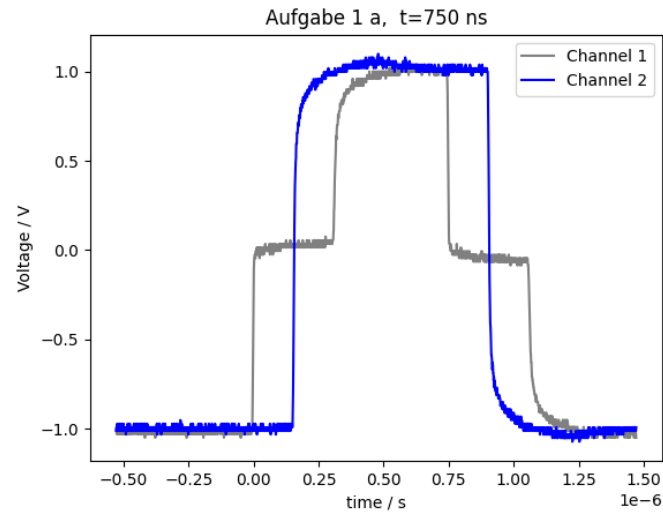


Abbildung 12: Spannungsverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels mit  $t_p = 750$  ns.

### 5.1.2 Hoher Innenwiderstand

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 3 beschrieben. Hier soll ein Puls  $t_p = 150$  ns und einmal  $t_p = 2.3 \mu\text{s}$  als Signal verwendet werden.

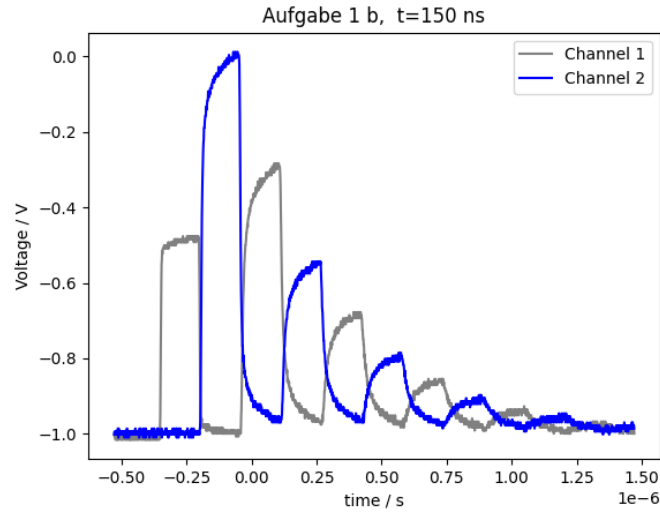


Abbildung 13: Spannungverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels. Hoher Innenwiderstand der Singalquelle. Channel 1 ist Spannung am Beginn des Kabels, Channel 2 am Ende.  $t_p = 150$  ns.

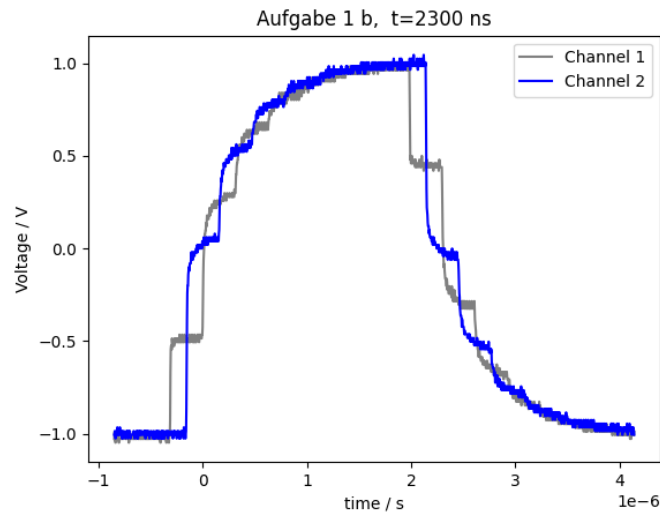


Abbildung 14: Spannungverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels. Hoher Innenwiderstand der Singalquelle. Channel 1 ist Spannung am Beginn des Kabels, Channel 2 am Ende.  $t_p = 2.3$   $\mu$ s.

### 5.1.3 Niedriger Innenwiderstand

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 beschrieben. Hier soll ein Puls  $t_p = 150 \text{ ns}$  und einmal  $t_p = 2.65 \mu\text{s}$  als Signal verwendet werden.

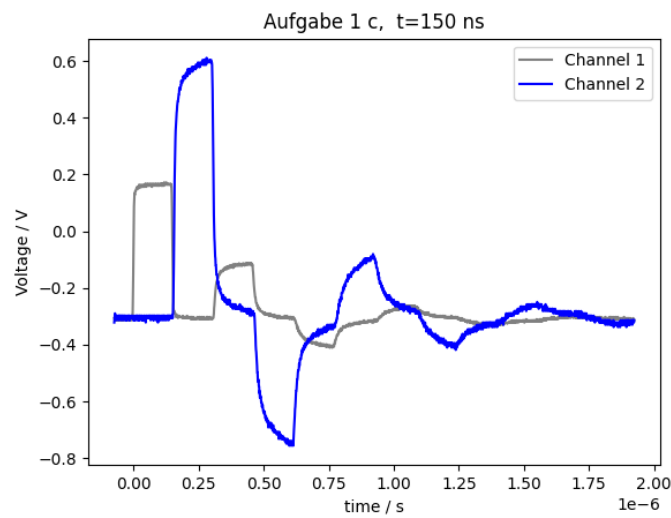


Abbildung 15: Spannungsverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels. Niedriger Innenwiderstand der Signalquelle. Channel 1 ist Spannung am Beginn des Kabels, Channel 2 am Ende.  $t_p = 150 \text{ ns}$ .

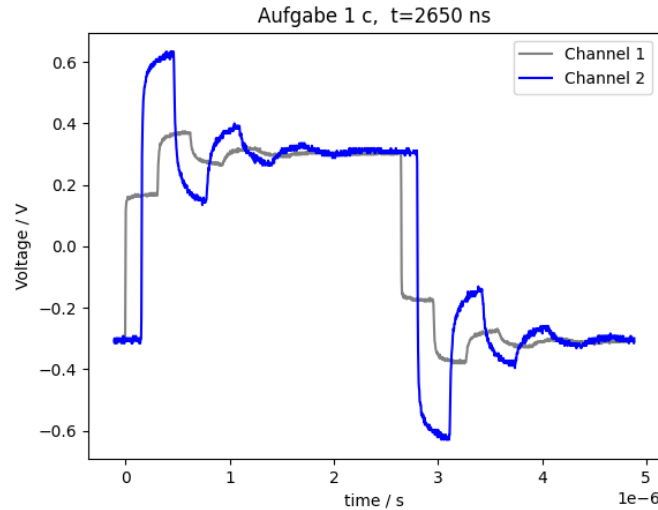


Abbildung 16: Spannungsverlauf an beiden Enden des Koaxialkabels. Niedriger Innenwiderstand der Signalquelle. Channel 1 ist Spannung am Beginn des Kabels, Channel 2 am Ende.  $t_p = 2.65 \mu\text{s}$ .

## 5.2 Bestimmung des Reflexionskoeffizienten

Der Versuchsaufbau ist in Grafik 7 beschrieben.

Analog zur vorherigen Aufgabe, wurde die Frequenz auf 30 kHz gestellt und die Pulszeit  $t_p = 1 \mu\text{s}$ . Jetzt stehen 11 verschiedene Widerstände zur Verfügung (siehe Geräteliste), welche jeweils als Abschlusswiderstand des Kabels genutzt werden.

Im Gegensatz zu Aufgabe 1 wird hier nur die Eingangsspannung gemessen. Der Eingangswiderstand der Signalquelle ist angepasst, so wie in 1 (a). Am Ende des Kabels werden verschiedene Widerstände angeschlossen. Der Spannungsverlauf dieser Widerstände wird in den Grafiken ?? bis ?? dargestellt.

## 5.3 Bestimmung der Signalgeschwindigkeit

Hierbei wird ein Puls ausgesendet und jene Zeit gemessen, bis der reflektierte Impuls ankommt.

## 5.4 Symmetrischer Verzweiger

# 6 Auswertung

## 6.1 Zeitlicher Spannungsverlauf an den Enden des Koaxialkabels

### 6.1.1 Angepasster Innenwiderstand

Die Grafiken ?? bis ?? beschreiben das Ergebnis. Nachdem das Signal durch das Kabel läuft, wird es am Ende reflektiert. Das Signal überlagert sich mit dem reflektierten Signal und es entsteht Interferenz. Durch den angepassten Innenwiderstand in der Signalquelle wird das Signal nicht mehrfach reflektiert.

### 6.1.2 Hoher Innenwiderstand

Durch den hohen Innenwiderstand ist am Anfang des Kabels eine stärkere Reflexion zu beobachten. Durch die stärkere Reflexion sieht man, dass eine *Treppenfunktion* entsteht, da sich die Signale mehrfach im Kabel hin und her bewegen und sich ständig überlagern. Da die Höhe der Treppen immer kleiner wird, lässt sich darauf schließen, dass das Signal beim mit mehrmaligem Vor- und Zurücklauf kontinuierlich abgeschwächt wird.

### 6.1.3 Niedriger Innenwiderstand

## 6.2 Bestimmung des Reflexionskoeffizienten

## 6.3 Bestimmung der Signalgeschwindigkeit

Der elektrische Impuls legt den Weg  $s = 2 \cdot \ell_3$  zurück. Wenn dafür die Zeit  $t$  benötigt wird, dann gilt insgesamt mit Größtfehlermethode

$$c = \left( \frac{2 \cdot \ell_3}{t} \pm \left| \frac{2 \cdot \Delta \ell_3}{t} + \frac{2 \cdot \ell_3}{t^2} \cdot \Delta t \right| \right)$$

Die relative Permittivität des Isoliermaterials ist hier außerdem zu berechnen. Aus  $\varepsilon \cdot \mu = \frac{1}{c^2}$  folgt inklusive Fehleranalyse

$$\varepsilon_r = \frac{1}{c^2 \cdot \mu \cdot \varepsilon_0} \pm \left| \frac{\Delta c}{c^3 \cdot \mu \cdot \varepsilon_0} \right|$$

mit der elektrischen Feldkonstanten  $\varepsilon_0$ ,  $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$  und  $\mu_r = 1$ .

## **6.4 Symmetrischer Verzweiger**

## **7 Diskussion**

## **8 Zusammenfassung**

## **9 Literaturverzeichnis**

- [1] Unterlagen aus Moodle, A. Hohenau, bereitgestellt von der KF Universität Graz.