

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungsnummer: 6

Übungstitel: Halbleiterdiode (KFU)

Betreuer: Florian Küstner

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 15.12.2023

WS 2023/2024

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Voraussetzungen & Grundlagen	3
3	Versuchsanordnung	5
3.1	Teil 1	5
3.2	Teil 2	6
3.3	Teil 3	7
4	Geräteliste	7
5	Versuchsdurchführung & Messergebnisse	7
5.1	Teil 1	7
5.2	Teil 2	8
5.3	Teil 3	9
6	Auswertung und Unsicherheitsanalyse	10
7	Diskussion	10
8	Zusammenfassung	10
	Literatur	10

1 Aufgabenstellung

Das Experiment Halbleiterdiode besteht aus drei Teilaufgaben.

In der ersten Teilaufgabe gilt es die Strom-Spannungs Charakteristik einer Gleichrichterdiode in Durchlassrichtung sowie in Sperrrichtung zu bestimmen.

Im zweiten Teil wird die Strom-Spannungs Charakteristik einer Zenerdiode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung bestimmt.

Im dritten und letzten Teil werden Spannungs- und Stromverläufe in einer Einweg- Gleichrichterschaltung mit unterschiedlichen Glättungskondensatoren sowie mit Belastungswiderständen untersucht.

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [2].

2 Voraussetzungen & Grundlagen

Um mit dem Experiment beginnen zu können gilt es erst zu erklären, was ein Halbleiter ist.

Es gibt drei arten der elektrischen Leitfähigkeit. Leitern, Nichtleitern und Halbleitern. Mithilfe des quantenmechanischen Bändermodells lässt sich die Leitfähigkeit beschreiben. Dieses besteht aus den zwei Energiebändern (Leitungsband und Valenzband) und der Bandlücke. Valenzelektronen befinden sich im Valenzband und dienen als Ladungsträger. Im Grundzustand ist das Leitungsband nicht mit Elektronen besetzt. Zwischen diesen befindet sich bei Halbleitern und Nichtleitern die Bandlücke.

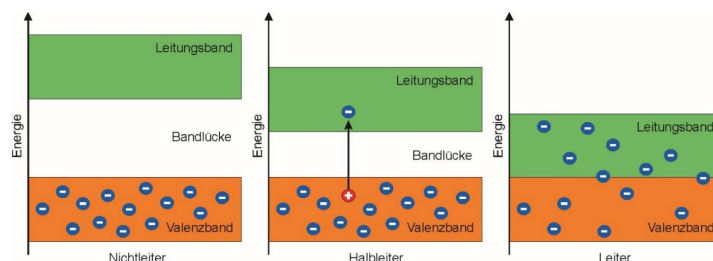


Abb. 1: Bändermodell eines Nichtleiters, Halbleiters und Leiters. Entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 7. [2]

Bei Leitern existiert keine Bandlücke. Das Valenzband ist nicht voll mit Elektronen besetzt oder es überlappt mit dem Leitungsband. Diese Zustände treffen gleichzeitig zu. Bei Nichtleitern ist zwischen Valenzband und Leitungsband die Bandlücke. Das Valenzband ist voll mit Elektronen, diese können aber nicht zum Leitungsband gelangen. Bei Halbleitern ist die Bandlücke sehr klein im Gegensatz zu Nichtleitern. Bei Raumtemperatur können Elektronen vom Valenzband in das Leitungsband gelangen. Dadurch hinterlässt jedes in das Leitungsband übergetretene Elektron ein Loch, welches durch andere Elektronen besetzt wird.

Da die Elektronen aber wieder in dieses Loch zurückfallen würden, ist die Eigenleitfähigkeit dieser Halbleiterelemente nicht verwertbar.

Durch das einbringen fremder Atome in den Halbleiterkristall lässt sich die Leitfähigkeit

ändern. Halbleiter bestehen meist aus Silizium oder Germanium. Bei Silizium handelt es sich um 4-wertige Valenzelektronen. Durch einbringen eines 3-wertigen oder 5-wertigen Atomes lässt sich die Leitfähigkeit gezielt verändern.

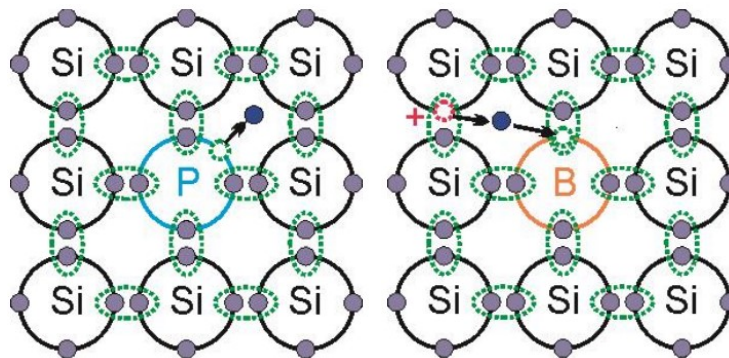


Abb. 2: n-Dotierter Kristall (links) und p-Dotierter Kristall (rechts). Bei dem n-Dotierten Kristall wird Phosphor eingebracht und bei dem p-Dotierten wird Bor eingebracht. Entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 8 und 9. [2]

Bringt man in die Kristallstruktur ein 5-wertiges Dotierelement ein, so spricht man von n-Dotierung. Dieses fünfte Elektron ist dabei frei beweglich. Bringt man ein 3-wertiges Dotierelement ein, so spricht man von p-Dotierung. Dieses entstandene Loch kann ein Außenelektron aufnehmen. Bei einem pn-Übergang ist dies genau der Fall. Dieser ist der Übergangsbereich unterschiedlich dotierter Halbleiterkristalle. Elektronen des n-Kristalls wandern zu den Löchern des p-Kristalls. Löcher des p-Kristalls wandern zu den Elektronen des n-Kristalls. Durch diesen Vorgang entsteht ein elektrisches Feld. Der Halbleiter ist nichtmehr elektrisch neutral und die Kraft, welche das el. Feld erzeugt wirkt auf die verbleibenden Ladungsträger.

Verpackt man einen pn-Übergang in ein Gehäuse und versorgt ihn mit Anschlüssen erhält man eine Diode.



Abb. 3: Schaltbild und Foto einer Diode. Entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 15. [2]

Um aus einer Spannung U und einem Widerstand R einen Strom I zu berechnen benötigt man das Ohm'sche Gesetz, was besagt:

$$I = \frac{U}{R} \qquad \Delta I = \left| \frac{\partial I}{\partial U} * \Delta U \right| + \left| \frac{\partial I}{\partial R} * \Delta R \right| \quad (1)$$

Um die Spannung U_R an einen Widerstand zu bestimmen, benötigt man die Eingangsspannung U_E sowie die Spannung an der Diode U_{D1} .

Es gilt dann:

$$U_{R1} = U_E - U_{D1} \quad \Delta U_{R1} = \left| \frac{\partial U_{R1}}{\partial U_E} \right| * \Delta U_E + \left| \frac{\partial U_{R1}}{\partial U_{D1}} \right| * \Delta U_{D1} \quad (2)$$

3 Versuchsanordnung

Der Versuch wird auf dem Steckbrett aufgebaut und durch mehrere Messgeräte wie Multimeter und Oszilloskope ergänzt.

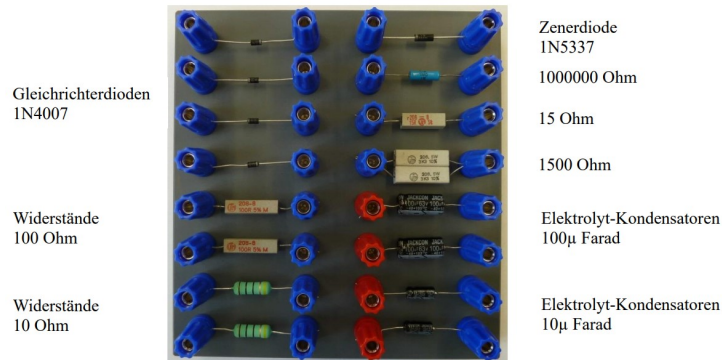


Abb. 4: Steckbrett mit Bauteilen. Entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 1. [2]

3.1 Teil 1

Im ersten Teil wird die Strom-Spannungskennlinie der Gleichrichterdiode in Durchlassrichtung bestimmt. Der Aufbau sieht dabei wie folgt aus.

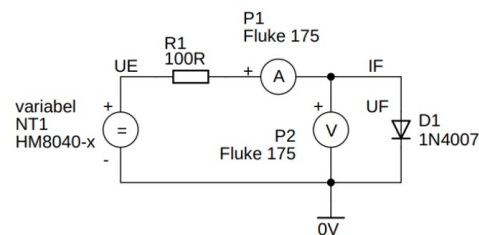
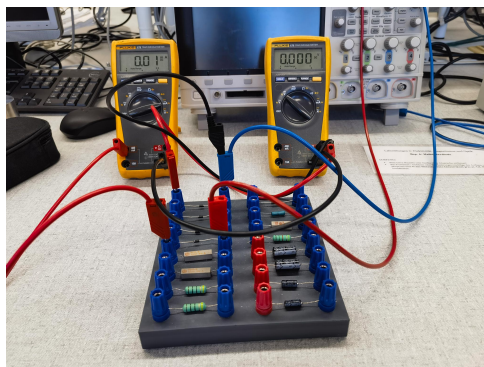


Abb. 5: Schaltbild (links) und Aufbau (rechts) Teil 1. Schaltbild entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 1. [2]

Das gleiche wird anschließend für die Gleichrichterdiode in Sperrichtung wiederholt.

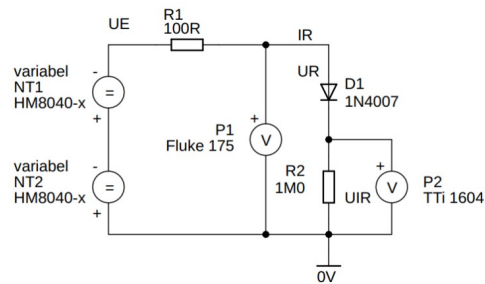
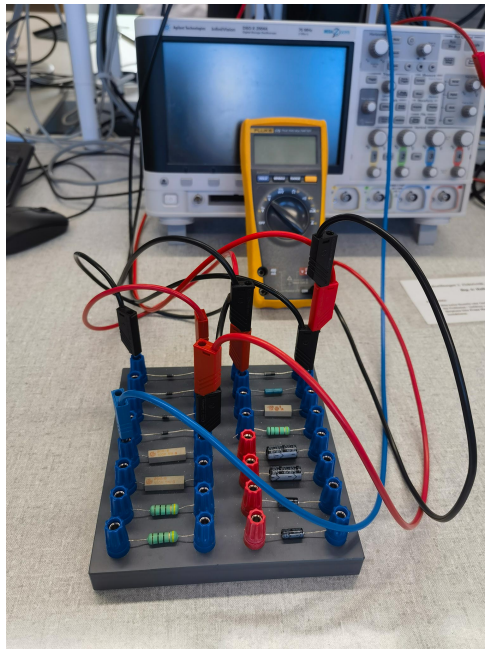


Abb. 6: Schaltbild (links) und Aufbau (rechts) Teil 1. Schaltbild entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 1. [2]

3.2 Teil 2

Im zweiten Teil wird die Strom-Spannungskennlinie einer Zenerdiode aufgenommen.

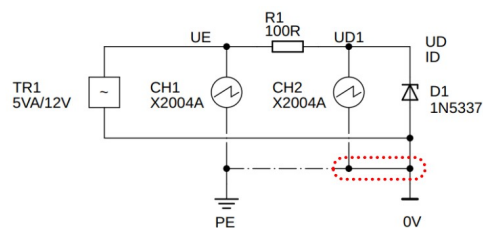
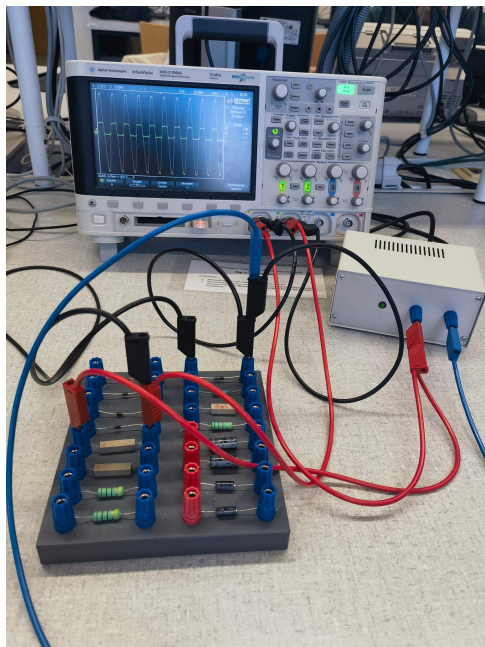


Abb. 7: Schaltbild (links) und Aufbau (rechts) Teil 2. Schaltbild entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 1. [2]

3.3 Teil 3

Im dritten Teil wird die grafische Darstellung der Verläufe von Strom und Spannung bestimmt.

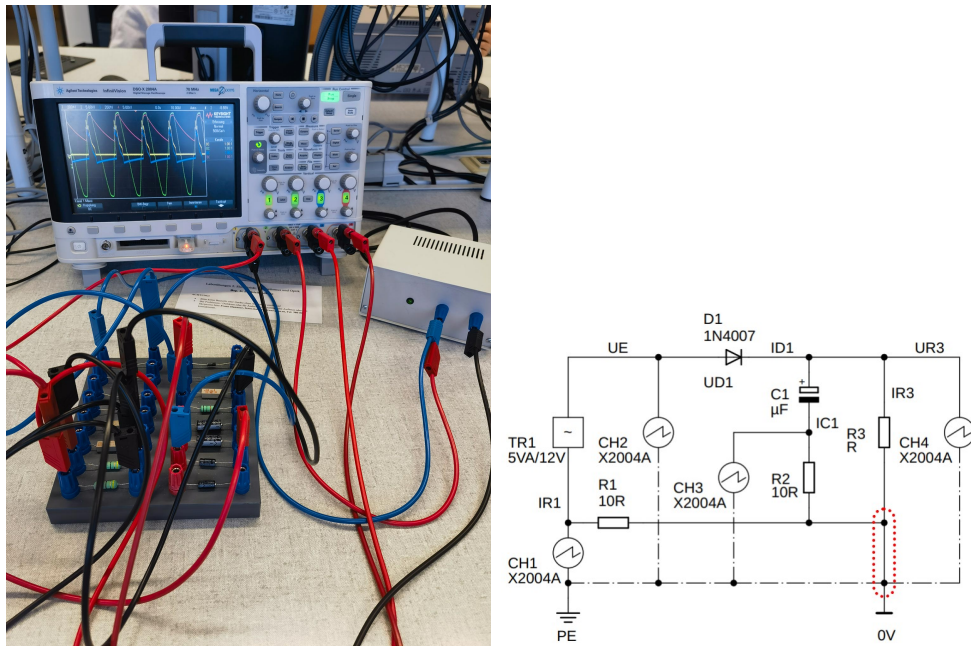


Abb. 8: Schaltbild (links) und Aufbau (rechts) Teil 3. Schaltbild entnommen aus Skriptum Halbleiterdiode Abbildung 1. [2]

4 Geräteliste

Tab. 1: Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerätenummer	Unsicherheit
Steckbrett	n.a	n.a
Multimeter	Fluke 175	$\pm(0.15\% + 2dig.)V$ $\pm(1.0\% + 3dig.)A$ [1]
Multimeter	TTI 1604	$\pm(0.08\% + 4dig.)V$ [3]
Power Supply	HM8040-3	n.a
Trafo	n.a	n.a
Oszilloskop	Agilent Tech. DSO-X 2004A	n.a

5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

5.1 Teil 1

Im ersten Teil werden die Versuche nach den Abbildungen 5 und 6 aufgebaut. Die Aufgabe besteht darin, die Strom-Spannungs Charakteristik einer SI-Gleichrichterdiode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung zu bestimmen. Die Widerstände $R_1 = (100 \pm 1)\Omega$ und $R_2 = (1 \cdot 10^6 \pm 1 \cdot 10^3)\Omega$ werden zuvor mit dem Messgerät kontrolliert (Unsicherheiten implizit angenommen).

Es werden für die Durchlassrichtung der Durchlassstrom I_F sowie die Durchlassspannung U_F gemessen. Die Messungen erfolgen mit den Fluke 175 Messgeräten. Am Netzteil wählt man eine Spannung im Bereich 0-20 V. Durch den Widerstand R1 (Abb. 5) wird der Durchlassstrom auf max. 200 mA begrenzt. Die Unsicherheit der Eingangsspannung U_{ein} ist die Ablesungsunsicherheit.

Tab. 2: Messwerte der SI-Gleichrichterdiode in Durchlassrichtung.

Nr.	$U_{ein} \pm 0.1$ / V	U_F / V	I_F / mA
1	0.1	-0.118 ± 0.003	0.01 ± 0.03
2	0.2	-0.291 ± 0.003	0.01 ± 0.03
3	0.3	-0.356 ± 0.003	0.01 ± 0.03
4	0.4	-0.482 ± 0.003	0.12 ± 0.04
5	0.5	-0.531 ± 0.003	0.35 ± 0.04
6	0.6	-0.569 ± 0.003	0.76 ± 0.05
7	0.7	-0.605 ± 0.003	1.57 ± 0.06
8	0.8	-0.629 ± 0.003	2.54 ± 0.07
9	0.9	-0.641 ± 0.003	3.21 ± 0.08
10	0.10	-0.647 ± 0.003	3.64 ± 0.09
11	0.11	-0.662 ± 0.003	4.93 ± 0.11
12	0.12	-0.672 ± 0.004	5.92 ± 0.12
13	0.13	-0.681 ± 0.004	7.09 ± 0.14
14	0.14	-0.685 ± 0.004	7.52 ± 0.15

Für die Messungen in Sperrichtung wird die Schaltung laut Abbildung 6 umgebaut. An den Netzteilen wählt man einen Bereich von jeweils 0-20 V, was zusammen eine max. Spannung von 0-40 V ermöglicht. Für die Sperrichtung misst man die Sperrstrom-Spannung U_{IR} und die Sperrspannung U_R der Diode. Dabei misst man die Sperrspannung U_R mit dem Fluke 175 Messgerät und die Sperrstrom-Spannung U_{IR} mit dem TTI Messgerät. Die Unsicherheit der Eingangsspannungen U_{ein} ist die Ablesungsunsicherheit.

Tab. 3: Messwerte der SI-Gleichrichterdiode in Sperrichtung.

Nr.	$U_{1ein} \pm 0.1$ / V	$U_{2ein} \pm 0.1$ / V	U_R / V	U_{IR} / mV
1	1.0	1.0	-2.117 ± 0.04	1.69 ± 0.06
2	4.0	3.0	-7.08 ± 0.13	2.18 ± 0.06
3	7.0	5.0	-12.1 ± 0.2	2.42 ± 0.06
4	10.0	7.0	-17.1 ± 0.3	2.64 ± 0.07
5	13.0	9.0	-22.1 ± 0.4	2.83 ± 0.07
6	16.0	11.0	-27.1 ± 0.5	2.94 ± 0.07
7	19.0	13.0	-32.1 ± 0.6	3.04 ± 0.07
8	20.0	17.0	-37.2 ± 0.6	3.14 ± 0.07
9	20.1	20.1	-40.3 ± 0.7	3.20 ± 0.07

5.2 Teil 2

Der Versuch wird wie in Abbildung 7 aufgebaut. Gesucht ist die Strom-Spannungskennlinie einer Zenerdiode D1 in Durchlassrichtung und Sperrichtung. Als Spannungsquelle dient

der Trafo $TR1$. Dabei werden die Eingangsspannung U_E sowie das Signal der Zenerdiode U_{D1} in zeitlicher Abhängigkeit am Oszilloskop dargestellt. Die Daten werden für die spätere Verarbeitung in QTI-Plot als CSV-Datei exportiert. Beim Oszilloskop sollte der Single-Shot Modus verwendet werden, sowie Nulllinien sollten übereinanderliegen.

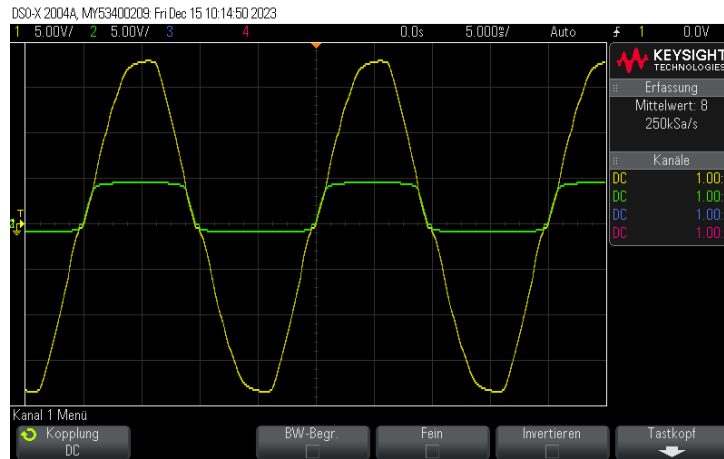


Abb. 9: Screenshot des Oszilloskopes. Dabei ist die gelbe Linie die Eingangsspannung U_E und die grüne Linie die Spannung der Diode U_{D1} .

5.3 Teil 3

Im dritten Teil folgt der Aufbau laut Abbildung 8. Dabei ist das Ziel dieser Aufgabe die Spannungs- und Stromverläufe als zeitabhängige Funktion darzustellen. Für jede Konfiguration des Aufbaus wird am Oszilloskop ein Bild und eine CSV-Datei exportiert. Dabei ist der Channel 1 des Oszilloskopes (gelb) der Spannungsabfall am Widerstand R_1 . Um die Messung mit den richtigen Vorzeichen zu vollziehen, wird dieser Channel am Oszilloskop invertiert. Der Channel 2 (grün) ist die Spannung des Trafos $TR1$. Der Channel 3 (blau) ist die Spannung, die über den jeweils eingesetzten Kondensator läuft. Der Channel 4 (rot) ist dabei die Lade-Entlade kurve des jeweils eingesetzten Kondensators.

Die Messungen werden für die Widerstände $R_3 = \infty$ $R_3 = (1500 \pm 10)\Omega$ und $R_3 = (100 \pm 1)\Omega$ mit den Kapazitäten $C_1 = (10.0 \pm 0.1)\mu F$ und $C_1 = (100 \pm 1)\mu F$ durchgeführt. Unsicherheiten implizit angenommen.

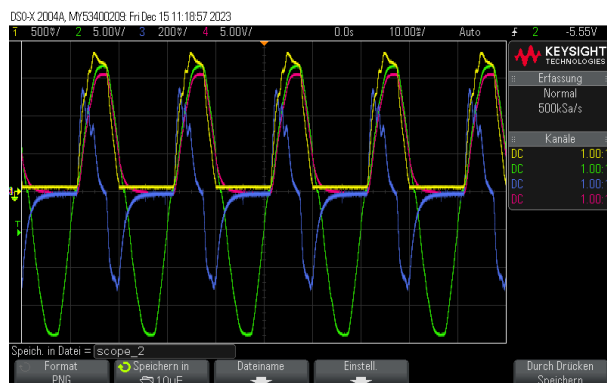


Abb. 10: $R_3 = 100\Omega$, $C_1 = 10\mu F$

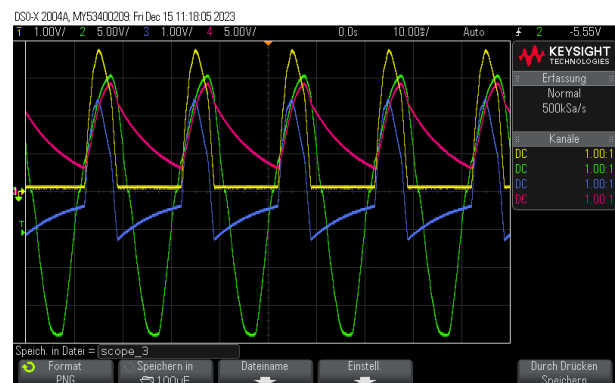


Abb. 11: $R_3 = 100\Omega$, $C_1 = 100\mu F$

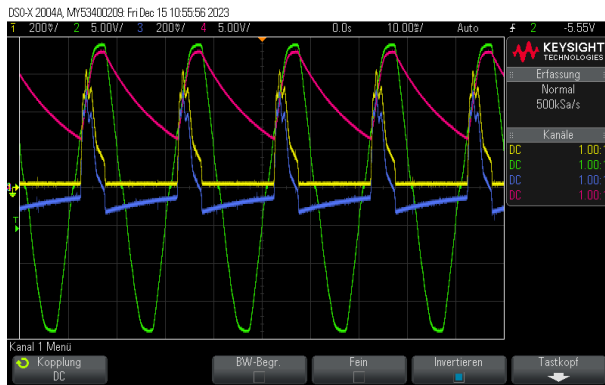


Abb. 12: $R_3 = 1500\Omega$, $C_1 = 10\mu F$

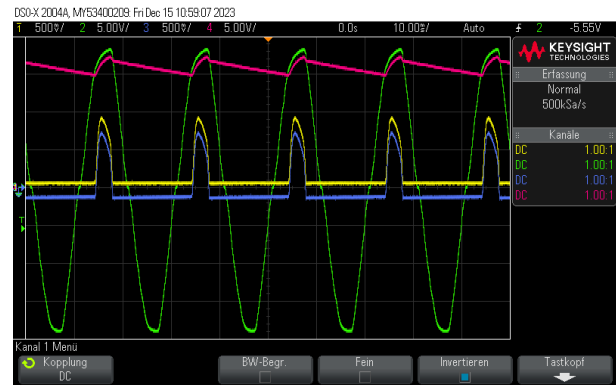


Abb. 13: $R_3 = 1500\Omega$, $C_1 = 100\mu F$

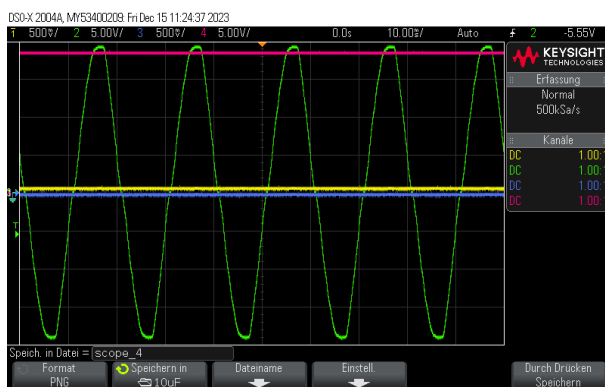


Abb. 14: $R_3 = \infty$, $C_1 = 10\mu F$

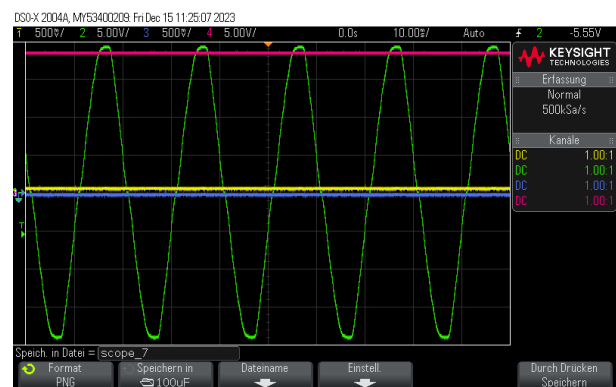


Abb. 15: $R_3 = \infty$, $C_1 = 100\mu F$

6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird, wenn nicht anders angegeben, die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

7 Diskussion

8 Zusammenfassung

Literatur

- [1] Fluke. *Multimeter 175*. (besucht am 15.12.2023). URL: <https://www.fluke.com/de-at/produkt/elektrische-pruefungen/digitalmultimeter/fluke-175>.
- [2] TU Graz TeachCenter. *"Laborübungen 2: Elektrizität, Magnetismus, Optik"*. Kurs: PHYD30UF. (besucht am 15.12.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=796>.

- [3] TTI. *Multimeter Datasheet*. (besucht am 15.12.2023). URL: https://resources.aimtti.com/datasheets/AIM-1604_multimeter_data_sheet-Iss2A.pdf.