

# Elektronikpraktikum

## Versuch 2: Diodenkennlinien

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

<sup>1</sup>Uni Bonn

29.04.2025

---

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

<sup>†</sup>s32amaro@uni-bonn.de

<sup>‡</sup>s64cheim@uni-bonn.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>1</b>
2.1	Halbleiter und Dotierung . . . . .	1
2.2	Diode . . . . .	1
2.3	Realität & Diodenkennlinien . . . . .	1
2.4	Zenerdiode . . . . .	2
2.5	Gleichrichter . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Voraufgaben</b>	<b>3</b>
	Vor Aufgabe A . . . . .	3
	Vor Aufgabe B . . . . .	3
	Vor Aufgabe C . . . . .	3
	Vor Aufgabe D . . . . .	4
	Vor Aufgabe E . . . . .	5
	Vor Aufgabe F . . . . .	5
	Vor Aufgabe G . . . . .	5
	Vor Aufgabe H . . . . .	5
	Vor Aufgabe I . . . . .	6
	Vor Aufgabe J . . . . .	6
	Vor Aufgabe K . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung</b>	<b>9</b>
	Versuchsaufgabe 1: Statische Messung der Diodenkennlinie . . . . .	9
	Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie . . . . .	12
	Versuchsaufgabe 3: Oszillogramm des Einweggleichrichters . . . . .	15
	Versuchsaufgabe 4: Oszillogramm des Zweiweggleichrichters . . . . .	18
	Versuchsaufgabe 5: Stabilisierung mit Zenerdiode . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>25</b>

## 1 Einleitung

In diesem Versuch liegt der Fokus auf Dioden und ihren elektrischen Eigenschaften. Als erstes werden die Kennlinien verschiedener Dioden aufgezeichnet. Danach wird mit Hilfe eines Gleichrichters eine Wechselspannung in Gleichstrom umgewandelt, was dann unter der Verwendung eines Kondensators noch weiter geglättet wird. Und zuletzt wird analysiert, wie eine Zenerdiode die Spannung in einem Stromkreis stabilisieren kann.

## 2 Theorie

### 2.1 Halbleiter und Dotierung

Halbleiter besitzen eine elektrische Leitfähigkeit, die zwischen der von Metallen und Isolatoren liegt. Sie kann gezielt durch Anlegen einer Spannung oder Erhöhung der Temperatur beeinflusst werden. Dieses lässt sich mit dem Bändermodell erklären. Das Bändermodell besagt, dass man Halbleiter als Valenzband und Leitungsband approximieren kann. Zwischen den beiden Gebieten existiert eine Bandlücke mit der Breite der materialabhängigen Gap-Energie. Damit also Strom fließen kann, müssen die Elektronen genug Energie haben, um diese Bandlücke zu passieren. Wie viele Ladungsträger vorhanden sind, kann durch gezielte Verunreinigung des Stoffes (sogenannte Dotierung) explizit beeinflussen kann. Konkret verwendet man häufig Kristalle von Elementen mit vier Valenzelektronen (bspw. Silizium oder Germanium), welche mit Elementen der dritten bzw. fünften Hauptgruppe verunreinigt, d.h. dotiert werden. Ersteres liefert einen Mangel an freien Elektronen, um die vervollständigte Kristallstruktur zu erreichen, weshalb diese als p(ositiv)-dotiert gelten. Andersherum sorgen Elemente der fünften Hauptgruppe für einen Elektronenüberschuss, also eine n(egativ)-Dotierung.

Bringt man nun eine p-Dotierte und eine n-Dotierte Schicht zusammen, können Elektronen übergehen. Dadurch entsteht allerdings eine elektrische Kraft, welches der molekularen Bindungskraft entgegen wirkt, es ergibt sich also ein Gleichgewicht von Kräften. In dem Bereich des Kräftegleichgewichts liegen keine freien Ladungsträger vor, da diese vollständig gebunden sind, d.h. diese Schicht ist nichtleitend. Durch ein äußeres elektrisches Feld (Spannung) kann aber das innere elektrische Feld überlagert werden, was, je nach Richtung der Spannung eine Vergrößerung bzw. Verkleinerung des elektrischen Felds zufolge hat. Ab dem Punkt, an welchem sich äußeres und inneres Feld ausgleichen, liegt keine Grenzschicht mehr vor, die Kombination ist also leitend.

### 2.2 Diode

Eine Diode ist ein elektronisches Bauelement, welches den Strom in genau einer Richtung durchlässt. Man spricht von Durchlass- und Sperrrichtung. Diese wird zumeist mit einem Halbleiter, wie oben beschrieben, umgesetzt.

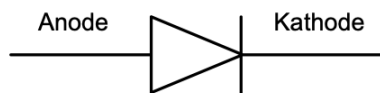


Abbildung 1: Schaltzeichen Diode[2]

### 2.3 Realität & Diodenkennlinien

In der Realität kann eine Diode die idealisierende Bedingung von Durchlass in einer Richtung und Sperrung in der entgegengesetzten nicht erreichen. In Durchlassrichtung muss zunächst die Grenzschicht mittels eines äußeren Felds überwunden werden, danach verhält sich die Diode wie ein Leiter. In der Sperrichtung kann zunächst stets ein kleiner Strom beobachtet werden, da die freien Ladungsträger der n-dotierten Schicht sich an der Kathode befinden, also einfach abfließen können.

Die Elektronen fließen dann durch den Halbleiter nach. Wenn die Spannung in Sperrrichtung groß genug wird, durchbricht die Diode, ist zerstört und leitet den Strom ebenfalls. Dadurch kann man die U-I-Beziehung an einer Diode betrachten - die Diodenkennlinie 2:

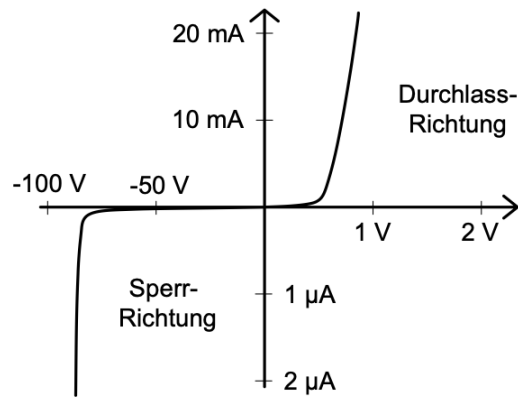


Abbildung 2: Diodenkennlinie[2]

## 2.4 Zenerdiode

Die Zenerdiode ist eine spezielle Diode, die gezielt im Durchbruchbereich in Sperrrichtung betrieben werden kann. Hierdurch kann sie benutzt werden, um Spannungen einzugrenzen und zu stabilisieren.

## 2.5 Gleichrichter

Die grundlegende Eigenschaft einer Diode kann verwendet werden, um eine Wechselspannung in eine Gleichspannung umzuwandeln. Am einfachsten geschieht dies durch in-Reihe-Schalten einer Diode, sodass nur Spannungen einer Richtung auftauchen (vgl. 3 a)). Nachteil daran ist, dass dann mit der Frequenz der Wechselspannung negative Spannungen, welche durch die Diode annulliert werden, vorliegen. Um dies zu vermeiden, wird ein Zweiweggleichrichter verwendet (vgl. 3 b)).

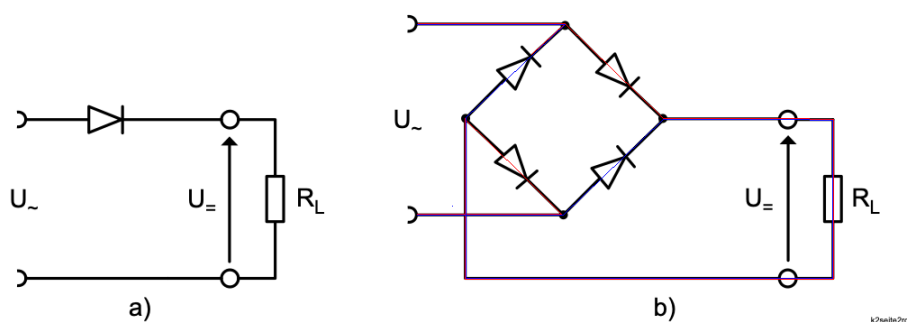


Abbildung 3: Ein- und Zweiweggleichrichter[2]

Auch wenn dies die Spannung gleichrichtet, kommen diverse realistische Effekte zu tragen, welche dafür sorgen, dass keine glatte Gleichspannung entsteht, diese Abweichung wird "Brumm" genannt. Um dies nun auch noch auszuglätten wird parallel zum Verbraucher ein Kondensator angelegt.

### 3 Voraufgaben

#### Vorausgabe A: Was bestimmt die Dicke der Grenzschicht bei einem p-n-Halbleiter?

Die Dicke der Grenzschicht ist erstmal materialabhängig. Trotzdem kann ihre relative Dicke durch die Dotierung und einem äußeren elektrischen Feld beeinflusst werden. Die Dotierung sorgt für die Bereitstellung von Ladungsträgern (Elektronen oder "Löcher"), welche die Grenzschicht bilden und durch das äußere elektrische Feld beeinflusst werden.

#### Vorausgabe B: Wie ändert sich die Kapazität einer Diode im Sperrfall mit der angelegten Spannung?

Im Sperrfall kann die Diode Modellhaft als Plattenkondensator mit dem Sperrband als Dielektrikum modelliert werden. Für die Dicke des Sperrbands  $d$ , dessen relative elektrische Permeabilität  $\epsilon_r$  und die Durchschnittsfläche der Diode  $A$  gilt:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \propto \frac{1}{\sqrt{U_{\text{ext}}}} \quad (1)$$

#### Vorausgabe C: Skizzieren Sie den Kennlinienverlauf, $I = f(U)$ , der Zweipole aus Abb. 2.3 (4) ( $R = 100 \Omega$ ; $D = \text{Diode}$ ). Erläutern Sie bei c) und d) den Einfluss der Widerstände.

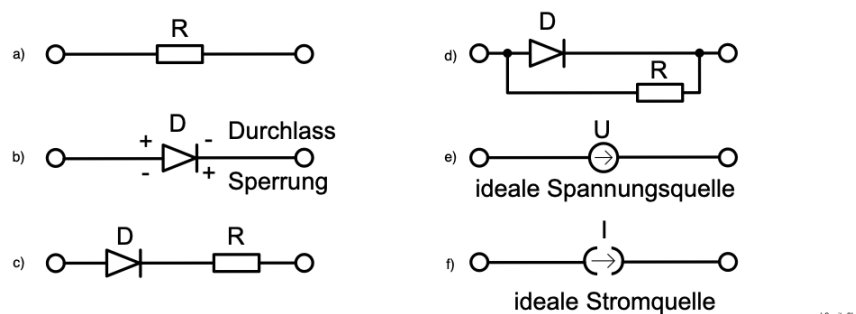


Abbildung 4: Einige Zweipole[2]

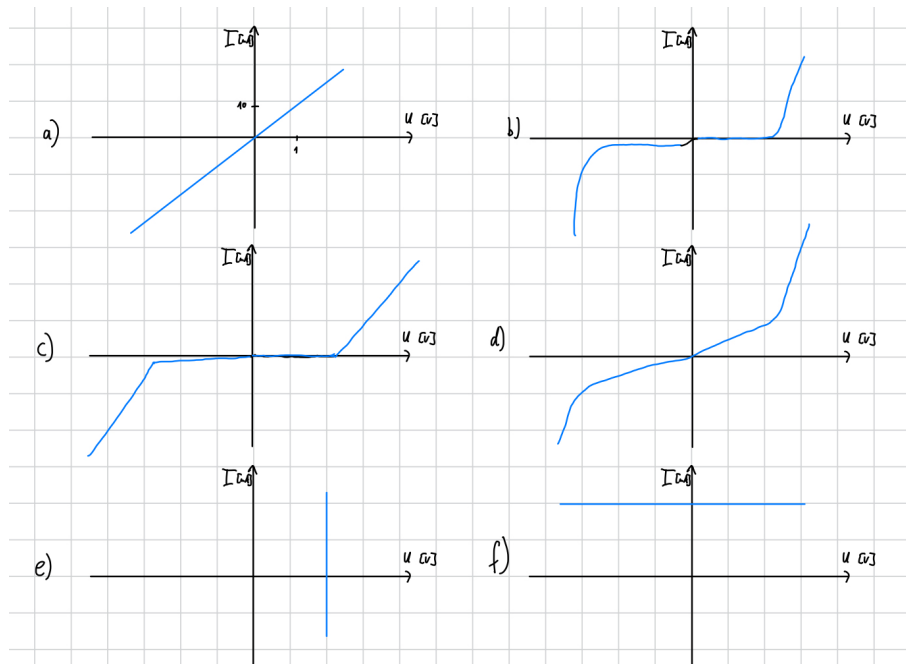


Abbildung 5: Kennlinienverläufe einiger Zweipole

Bei c) ist der Widerstand hinter der Diode in Reihe geschaltet. Für den Bereich, in dem die Diode keinen Strom durchlässt, ist der Strom 0, woran auch der Widerstand nichts ändert. Lässt die Diode allerdings Strom durch, so spiegelt sich der lineare Anstieg durch den Widerstand wider.

Bei d) sind Diode und Widerstand parallel geschaltet. In Sperrrichtung sorgt eine zu hohe Spannung für eine Zerstörung der Diode, wodurch diese zu einem Leiter wird, weshalb der Strom hauptsächlich über diese fließt. Bei einer geringen Sperrrichtungsspannung wird die Diode nahezu ignoriert, weshalb ein linearer Anstieg vorliegt. Wird die Diode leitend, handelt es sich um parallelgeschaltete Widerstände, was einen höheren Strom ermöglicht.

**Vor Aufgabe D:** Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannungen der Schaltungen in Abb. 2.4 (6) (a) und (b), wenn die Eingangsspannung eine weit über der Durchlassspannung der Dioden liegende Sinusspannung ist.

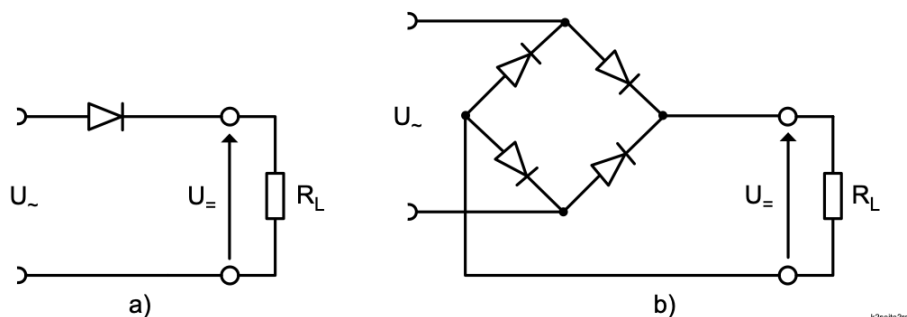


Abbildung 6: Ein- und Zweiweggleichrichter[2]

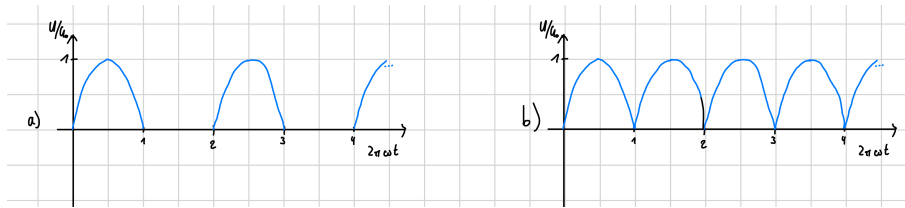


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf der Ausgangsspannungen von Ein- und Zweiweggleichrichter

**Vor Aufgabe E: Wie muss  $C$  dimensioniert sein, um die Welligkeit der Spannung über  $R$  möglichst klein zu halten?**

Ein Glättungskondensator lädt sich durch die Spitzen des gepulsten Stroms und entlädt sich wenn dieser nachlässt. Auf dieser Weise wird der Stromfluss geglättet und der Gleichstrom ist stabiler. Die Welligkeit der Ausgangsspannung wird durch die Entladung des Kondensators bestimmt. Je größer die Kapazität  $C$ , desto länger dauert der Entladevorgang des Kondensators, was eine längere Kompensation des Brummens und somit eine stärkere Stabilisierung der Ausgangsspannung zufolge hat.

**Vor Aufgabe F: Wie würden Sie Strom- und Spannungsmessgerät zur Messung der Kennlinie in Durchlassrichtung und in Sperrrichtung anordnen? Berücksichtigen Sie die Innenwiderstände der beiden Geräte.**

Im Allgemeinen müssen Strommessgeräte in Reihe und Spannungsmessgeräte parallelgeschaltet werden. In Sperrrichtung hat die Diode einen vergleichsweise hohen Widerstand, welcher für einen geringen Strom durch die Diode sorgt. Dieser sollte möglichst genau gemessen werden, weshalb die Spannungsmessung um die Diode und das Strommessgerät herum erfolgen sollte. Andersherum hat die Diode in Durchlassrichtung einen geringen Widerstand, was für einen hohen Strom sorgt, die Abweichung durch eine Spannungsmessung direkt an der Diode sind also eher gering, also zu bevorzugen.

**Vor Aufgabe G: Wie kann man sich eine zu einem Strom proportionale Spannung herstellen?**

Über einen ohmschen Widerstand fällt die Spannung proportional zur Stromstärke ab.

$$U = R \cdot I$$

**Vor Aufgabe H: Für Abb. 2.8 (8): Berechnen Sie größenordnungsmäßig die größte Kapazität, die benutzt werden darf, ohne die Grenzwerte der Si-Diode zu überschreiten. Nehmen Sie dazu an, dass sich  $U$  beim Einschalten um 1 V in 100  $\mu\text{s}$  ändert und vernachlässigen Sie den Einfluss von  $R_L$ .**

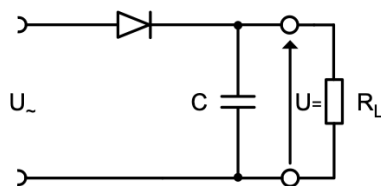


Abbildung 8: Einweggleichrichtung[2]

Der Maximalstrom  $I_{\max}$  einer Si-Diode beträgt 1000 mA (Seite 27 der Anleitung[2]). Wegen Ladungserhaltung gilt:

$$C_{\max} \Delta U = I_{\max} \Delta t$$

Also:

$$C_{\max} = I_{\max} \frac{\Delta t}{\Delta U} = 1 \text{ A} \frac{100 \mu\text{s}}{1 \text{ V}} = 100 \mu\text{F}$$

**Vorübung I: Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung am Ausgang der Schaltungen in Abb. 2.9.**

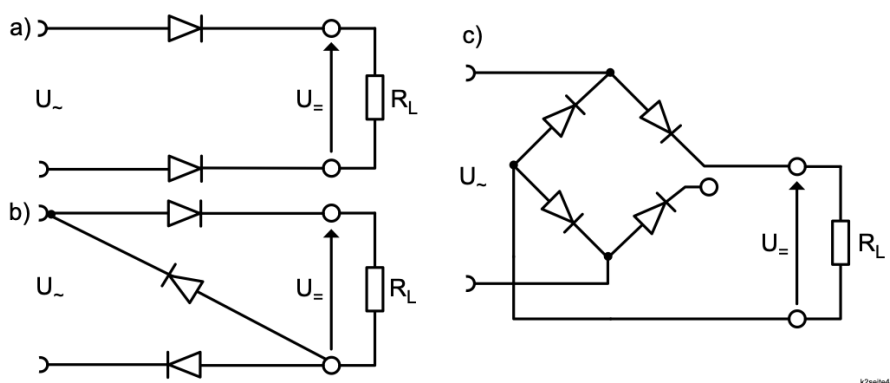


Abbildung 9: Ein- und Zweiweggleichrichtung mit dem Diodenschaltbrett[2]

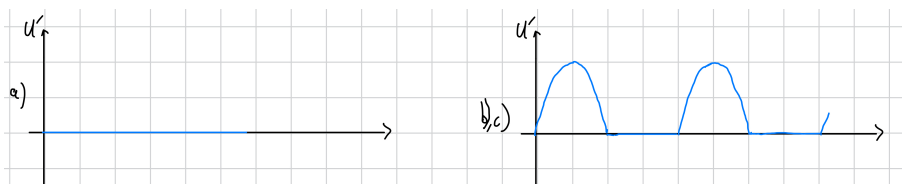


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Spannung am Ausgang der Ein- und Zweiweggleichrichtungsschaltungen

**Vorübung J: Skizzieren Sie die Lastabhängigkeit der Spannung  $U'$  der Schaltung auf der linken Seite in Abb. 2.11. Geben Sie die Formel an, aus der sich  $U'$  in Abhängigkeit von  $U_0$ ,  $R$  und  $R_L$  berechnen lässt. Was sind die Extremwerte für  $U'$  und  $I$ ?**



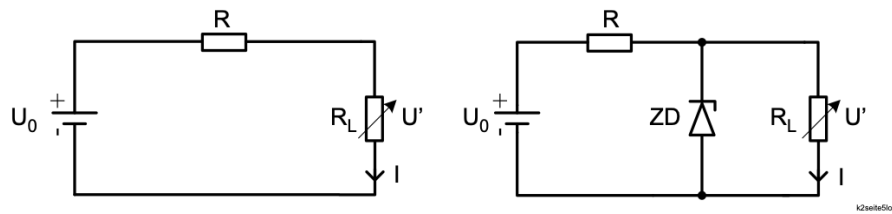
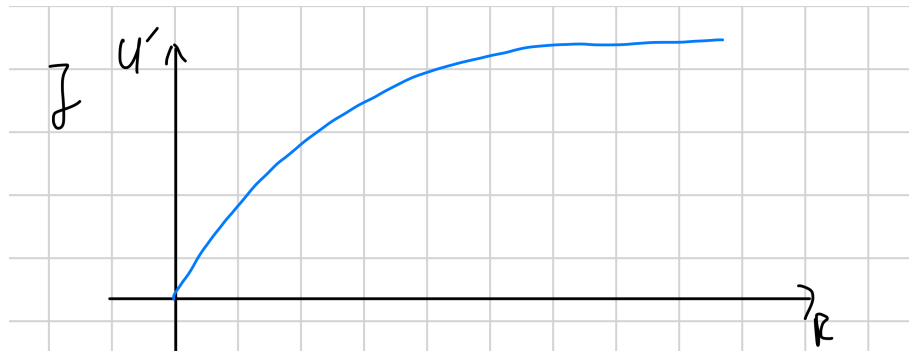


Abbildung 11: Spannungsstabilisierung mittels Zenerdiode[2]

Abbildung 12: Lastabhängigkeit der Spannung  $U'$ 

Gemäß Kirchhoff gilt:

$$U_0 = RI + R_L I$$

$$U' = IR_L \implies U' = U_0 \frac{R_L}{R + R_L}$$

Da  $R$  und  $R_L$  nichtnegativ sind, gilt:

$$U'_{\max} = U_0$$

$$U'_{\min} = 0$$

$$I'_{\max} = \frac{U_0}{R}$$

$$I'_{\min} = 0$$

**Voraufrage K:** Innerhalb welches Wertebereiches muss bei dieser Dimensionierung der Arbeitswiderstand  $R$  liegen, damit die Ausgangsspannung  $U'$  bei der Zenerspannung von 8,2 V stabilisiert wird?

Betriebsdaten der Zenerdiode:

$$U_Z = 8,2 \text{ V}$$

$$U_{0,\max} = 22 \text{ V}$$

$$U_{0,\min} = 16 \text{ V}$$

$$I_{Z,\max} = 100 \text{ mA}$$

$$I_{Z,\min} = 2 \text{ mA}$$

Falls  $R_L = \infty$ , läuft der gesamte Strom durch die Zenerdiode. Dieser darf  $I_{Z,\max}$  nicht überschreiten.

Daher muss  $R_{\min}$  entsprechend gewählt werden:

$$\begin{aligned} I_R &= I_{Z,\max} = \frac{U_{0,\max} - U_Z}{R} \\ \Rightarrow R &> \frac{U_{0,\max} - U_Z}{I_{Z,\max}} = 138 \, \Omega \end{aligned}$$

Weiterhin darf unter keinen Umständen der Wert für  $I_{Z,\min} = 2 \text{ mA}$  unterschritten werden. Hierfür muss der Fall  $U_0 = U_{0,\min}$  und  $R_L = 200 \, \Omega$  betrachtet werden:

$$\begin{aligned} I_{Z,\min} &= I_R - I_L \\ &= \frac{U_{0,\min} - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_{L,\min}} \\ \Rightarrow R &< \frac{U_{0,\min} - U_Z}{I_{Z,\min} + \frac{U_Z}{R_{L,\min}}} = 181 \, \Omega \end{aligned}$$

## 4 Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung

### Versuchsaufgabe 1: Statische Messung der Diodenkennlinie

#### 1 - Aufbau & Durchführung

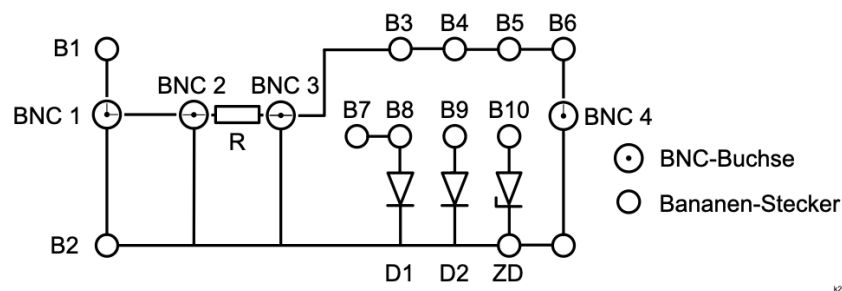


Abbildung 13: oberer Teil des Diodenschaltbretts[2]

Zunächst wird die Diodenkennlinie der unbekannten Dioden D1 und D2 im Rahmen einer statischen Messung bestimmt. Hierzu erfolgt die Spannungs- und Strommessung entsprechend dem Messaufbau aus der vorangegangenen Aufgabe F (3) unter Verwendung eines Amperemeters und eines Voltmeters.

Die erfassten Messwerte werden anschließend in tabellarischer Form dokumentiert, wie exemplarisch in Tabelle 1 sowie Tabelle 2 dargestellt. Diese Tabellen enthalten die charakteristischen Kennlinien der Dioden in Durchlass- bzw. Sperrrichtung und bilden die Grundlage für die anschließende Auswertung.

Spannung $U$ in [V]	Strom $A$ in [mA]
0.104	0
0.201	0
0.304	$2 \cdot 10^{-3}$
0.401	$2 \cdot 10^{-3}$
0.501	0.13
0.601	0.50
0.701	1.1
0.802	1.9
0.902	2.7
1.003	3.5
1.513	8.5
2.061	13.5
5.02	41.8

Tabelle 1: Kennlinie D1 in Durchlassrichtung

Spannung $U$ in [V]	Strom $A$ in [ $\mu A$ ]
-1.004	0
-2.009	0
-3.009	0
-4.002	0
-5.10	0.5
-6.04	0.5
-7.05	0.8
-8.07	0.9
-9.004	1
-10.05	1
-11.00	1,1
-12.03	1.2

Tabelle 2: Kennlinie D1 in Sperrrichtung

Anschließend werden die beiden Messwerttabellen zusammengeführt und in einer graphischen Darstellung visualisiert, wobei jeweils 5 % der gemessenen Werte als Fehlerabschätzung berücksichtigt werden.

Die verbleibenden Tabellen sowie weiterführende Abbildungen, insbesondere zur Kennlinie der Schottky-Diode, sind im Anhang aufgeführt.

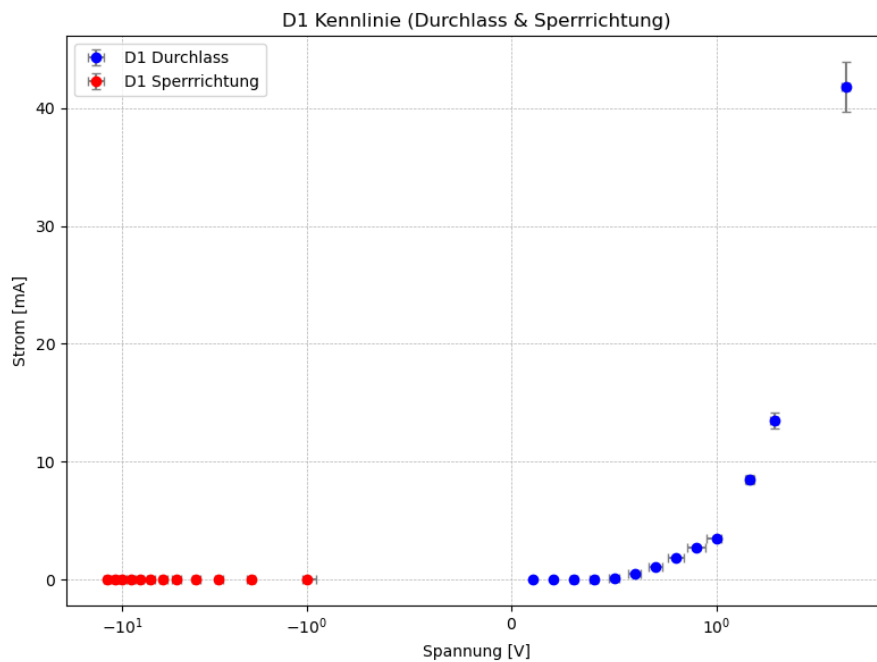


Abbildung 14: Kennlinienverlauf der Siliziumdiode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung aus Tabellen 1, 2

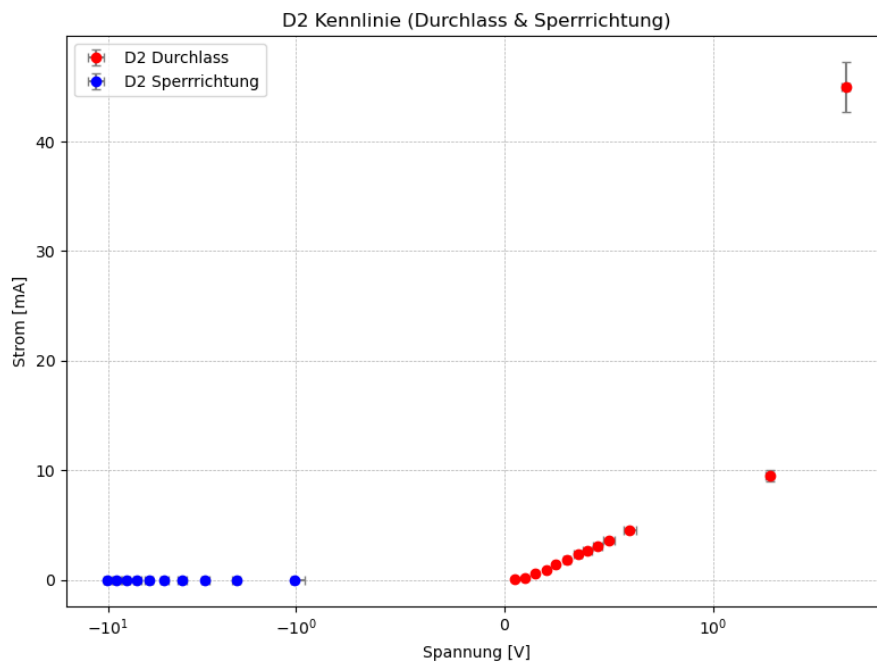


Abbildung 15: Kennlinienverlauf der Schottky-Diode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung aus Tabellen 7, 8

Wie den Abbildungen zu entnehmen ist, unterscheiden sich die Schwellspannungen der beiden Dioden geringfügig. Die Schwellspannung der Siliziumdiode liegt bei etwa 0,6 V und ist damit etwas höher als die der Schottky-Diode, deren Schwellspannung bei rund 0,1 V liegt.

Ab diesen Werten beginnt der Strom zunächst linear anzusteigen, bevor er im weiteren Verlauf einen exponentiellen Verlauf zeigt. Dieser Effekt lässt sich dadurch erklären, dass der Schaltbrett ein integrierter Widerstand hat.

## Versuchsaufgabe 2: Oszillogramm der Diodenkennlinie

### 2 - Aufbau & Durchführung

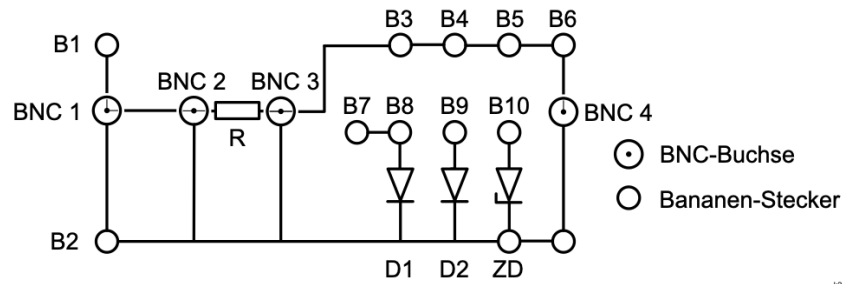


Abbildung 16: oberer Teil des Diodenschaltbretts[2]

Nun soll die Messung nicht mehr analog erfolgen, sondern mittels eines Oszillographens. Hierfür wird der Strom gemäß Voraufgabe G (3) in eine Spannung umgewandelt und dann im Oszillographen im x-y-Modus gegen die anliegende Spannung aufgetragen. Außerdem wird das Bild auf dem Oszilloskop zentriert, indem bei einer sehr geringen Amplitude des Signalgenerators ein Punkt entsteht, der mit den Offsets des Oszillographen auf den Ursprung verschoben wird.

## 2 - Messergebnisse

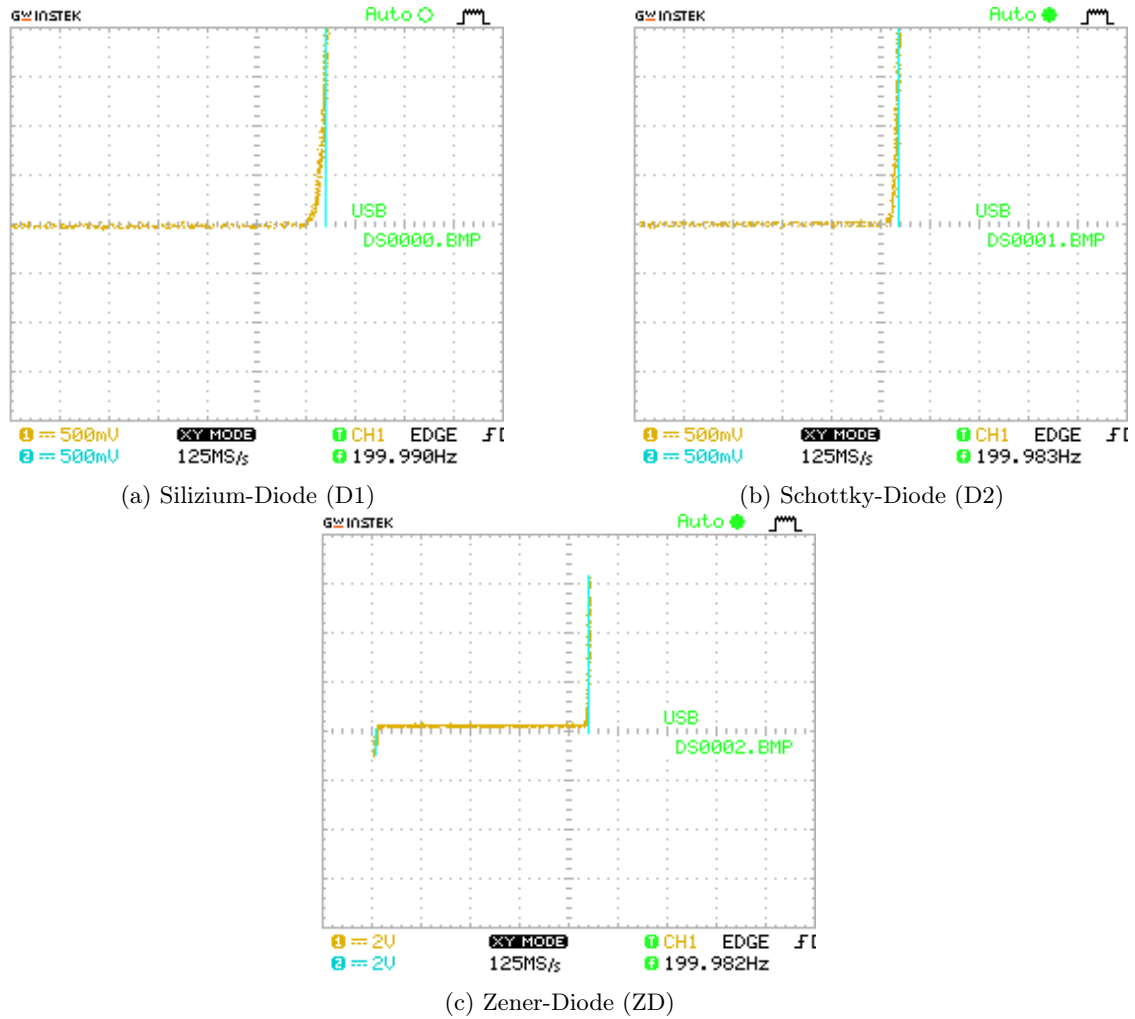


Abbildung 17: Kennlinien der verschiedenen Dioden

## 2 - Auswertung

Aus den x-y-Graphen für die an der jeweiligen Diode anliegende Spannung und dem Strom, der die Diode durchfließt (bzw. einer dazu proportionalen Spannung) (17) lassen sich nun Diffusionsspannung und Zenerspannung (bei der Zenerdiode) graphisch ermitteln:

$$U_{\text{Diffusion,D1}} = (0,70 \pm 0,06) \text{ V}$$

$$U_{\text{Diffusion,D2}} = (0,18 \pm 0,06) \text{ V}$$

$$U_{\text{Diffusion,ZD}} = (0,80 \pm 0,24) \text{ V}$$

$$U_{\text{Zener,ZD}} = (7,84 \pm 0,24) \text{ V}$$

Bei den ersten beiden Dioden lässt sich keine Zenerspannung ermitteln, da im Experiment keine Spannung der passenden Größenordnung verwendet wurde, um die Dioden nicht zu zerstören. Bei der Zenerdiode ist diese dann allerdings gut zu erkennen und liegt im von der Anleitung [2] angegebenen Bereich von 3 V bis 180 V, der Literatur [3] zufolge könnte es sich um eine BZX55/C gV2-Zenerdiode handeln, die eine Zenerspannung von  $U_{\text{Zener}}^{\text{theoretisch}} = 8,2 \text{ V}$  besitzt.

Für die Diffusionsspannung der Siliziumdiode entspricht der ermittelte Wert von  $U_{\text{Diffusion,D1}} =$

$(0,70 \pm 0,06)$  V gerade dem Theoriewert 0,7 V der Anleitung [2]. Die Diffusionsspannung der Schottkydiode soll der Theorie nach niedriger sein, was hier auch bestätigt wird:

$$U_{\text{Diffusion,D2}} = (0,18 \pm 0,06) \text{ V} < (0,70 \pm 0,06) \text{ V} = U_{\text{Diffusion,D1}}$$



## Versuchsaufgabe 3: Oszillogramm des Einweggleichrichters

### 3 - Aufbau & Durchführung

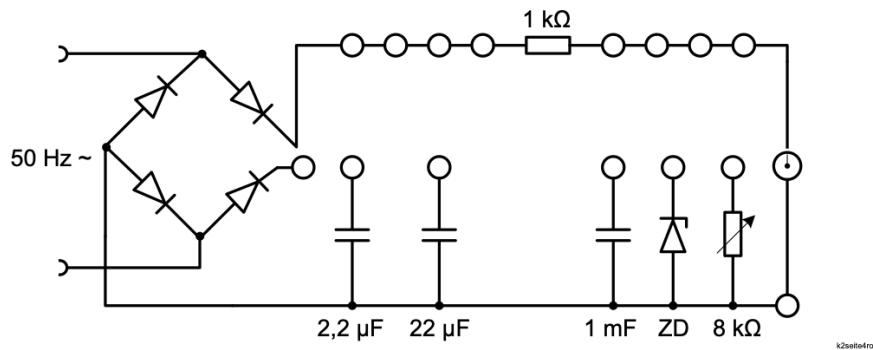


Abbildung 18: unterer Teil des Diodenschaltbretts[2]

Das Schaltbrett wird auf die Einweggleichrichtung eingestellt. Daran wird eine 50 Hz Wechselspannung eingestellt. Als Verbraucher dient das Oszilloskop, welches die zeitliche Spannungsänderung darstellt. Zum Glätten der gleichgerichteten Spannung werden vier verschiedene Kapazitäten dem Verbraucher parallelgeschaltet.

### 3 - Messergebnisse

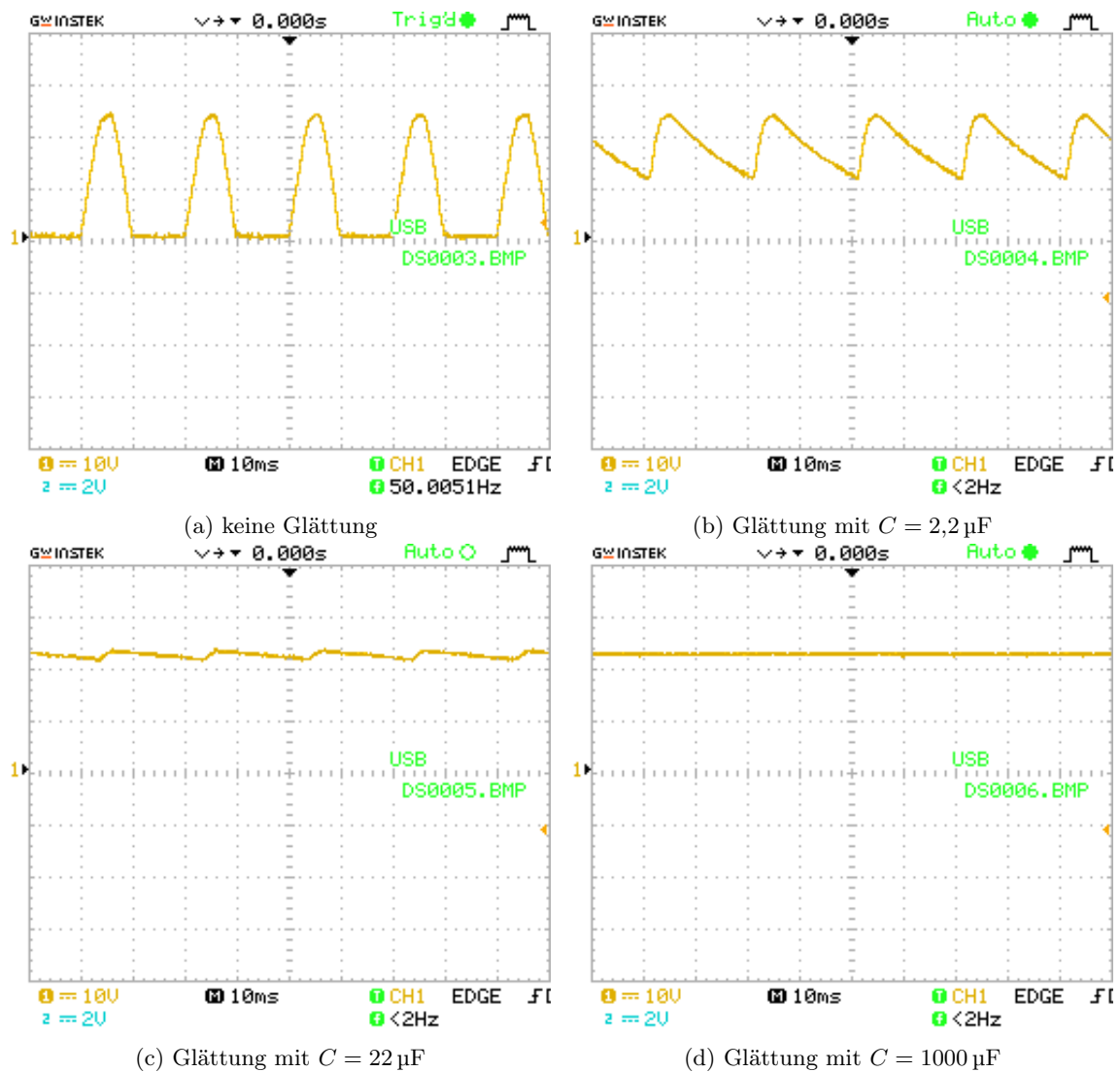


Abbildung 19: Verschiedene Glättungen eines einweggleichgerichteten Signals

Die mittlere Höhe der Gleichspannung und die Brumm-Amplitude werden dem Oszillographen direkt entnommen:

Schaltung	Glättkapazität	mittlere Höhe der Gleichspannung	Brumm-Amplitude
a)	0 $\mu\text{F}$	7,7 V	24 V
b)	2,2 $\mu\text{F}$	17,6 V	12,6 V
c)	22 $\mu\text{F}$	22,3 V	2,2 V
d)	1000 $\mu\text{F}$	22,4 V	0,8 V

Tabelle 3: Brumm- und mittlere Spannung nach Glättung

### 3 - Auswertung

In den Grafiken 19 kann man die Änderung des Signals für verschiedene Kapazitäten erkennen. In 21a ist keine Kapazität zum Glätten zwischengeschaltet, also ist das in 10 theoretisch bestimmte

Bild ersichtlich. Die Brummspannung ist hier maximal und entspricht gerade der Amplitude von 24 V. Der Mittelwert liegt deutlich unter der Amplitude, er sollte in der Theorie  $\frac{\sqrt{2}}{4}U_{\text{Amplitude}}$  entsprechen, was mit  $\frac{\sqrt{2}}{4}24 \text{ V} \approx 8,5 \text{ V}$  im Vergleich zum gemessenen Wert 7,7 V grob der Fall ist.

Beim Einschalten der Kapazitäten lässt sich eine immer stärkere Glättung feststellen, einerseits in der Kurve, die immer glatter wird, andererseits in der kleiner werdenden Brumm-Amplitude und im Steigen der mittleren Höhe der Gleichspannung.

## Versuchsaufgabe 4: Oszillogramm des Zweiweggleichrichters

### 4 - Aufbau & Durchführung

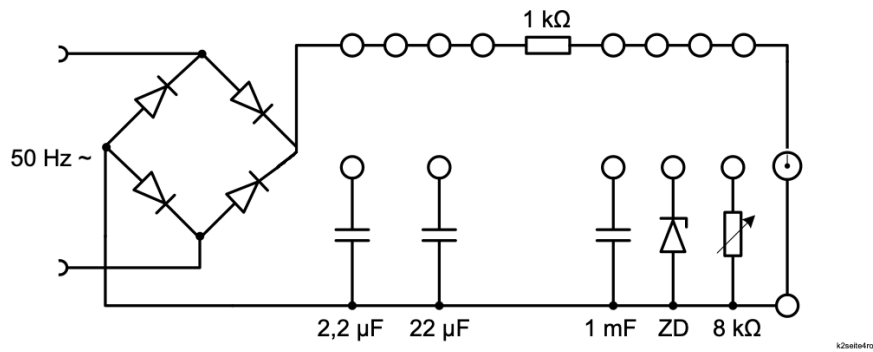


Abbildung 20: unterer Teil des Diodenschaltbretts[2]

Es wird genauso vorgegangen, wie im Einweggleichrichtungsversuchsteil, nur wird der rückläufige Gleichrichtungsweg eingeschaltet.

## 4 - Messergebnisse

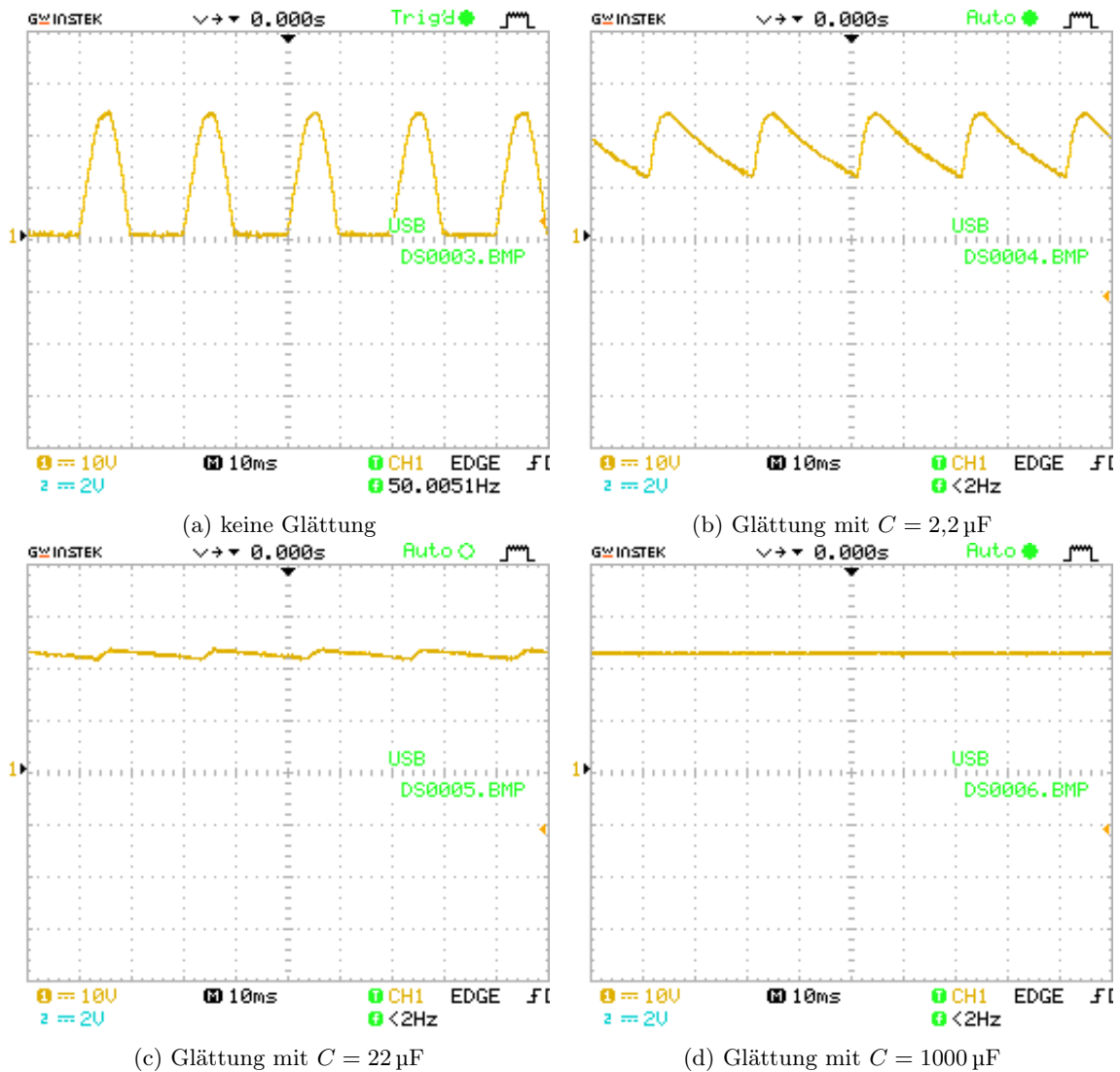


Abbildung 21: Verschiedene Glättungen eines zweiweggleichgerichteten Signals

Schaltung	Glättkapazität	mittlere Höhe der Gleichspannung	Brumm-Amplitude
a)	$0 \mu\text{F}$	15 V	24 V
b)	$2,2 \mu\text{F}$	21 V	6,8 V
c)	$22 \mu\text{F}$	23 V	1,3 V
d)	$1000 \mu\text{F}$	23,1 V	1 V

Tabelle 4: Brumm- und mittlere Spannung nach Glättung

## 4 - Auswertung

Qualitativ verhalten sich die Glättungen gleich zu denen der Einweggleichrichtung. Im Fall ohne Glättkapazität wird allerdings die mittlere Höhe der Gleichspannung verdoppelt, da hier doppelt so viele Peaks durch die Zweiweggleichrichtung entstehen:  $\frac{15 \text{ V}}{7,7 \text{ V}} \approx 2$ . Die Brummamplitude ist für jede Kapazität innerhalb einer Messungenauigkeit von  $0,5 \text{ V}$  kleiner als die bei der Einweggleichrichtung, was dadurch erklärt werden kann, dass die Spannung im Fall der Zweiweggleichrichtung

schon „glatter“ ist. Bei der stärksten Glättung ist dieser Unterschied allerdings fast schon vernachlässigbar bzw. gar nicht vorhanden, da die Glättung insgesamt stark genug ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Zweiweggleichrichter für geringe Glättkapazitäten besser glättet, als der Einweggleichrichter, dieser Effekt aber mit zunehmenden Kapazitäten abklingt. Im Zweigwegefall sind vier Dioden nötig, bei Einweggleichrichtung reicht eine einzige, also muss für die Bevorzugung einer der Methoden die Kosten der Dioden im Verhältnis zu größeren Kapazitäten untersucht werden.

## Versuchsaufgabe 5: Stabilisierung mit Zenerdiode

### 5 - Aufbau & Durchführung

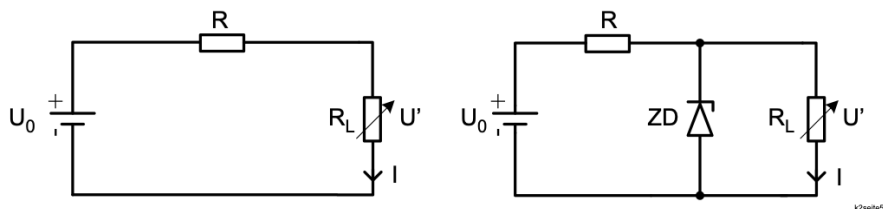


Abbildung 22: Spannungsstabilisierung ohne/mit Zenerdiode [2]

Dann wird das Verhalten von Spannungsstabilisierung durch eine Zenerdiode weiter untersucht. Hierzu wird die Schaltung Abbildung 22 aufgebaut, um eine Einweggleichrichter zu erzeugen. Die Spannung wird zusätzlich mit einem Kondensator mit  $C = 22 \mu\text{F}$  geglättet. Dieses trägt dazu bei, dass, statt der positiven Halbwelle des Sinussignals, die Spannung langsamer abnimmt und es einen sägezahnförmigen Verlauf ergibt, wie in 3 schon betrachtet und erklärt. Der Lastwiderstand  $R = 150 \Omega$  wird anhand der Voraufgabe K gewählt, da diese im errechneten Wertebereich liegt(K). Dann werden die aufgebauten Schaltungen untersucht, indem die Spannung und Stromstärke am Lastwiderstand  $R_L$  gemessen werden, indem mit einem Potentiometer der Lastwiderstand verändert wird. Beim Aufbau ohne die Zenerdiode wird zusätzlich die Brummspannung aufgenommen, indem vom Oszillographen der peakpeak-Spannung abgelesen wird. Die angegebenen Messunsicherheiten aus Tabelle 5 und Tabelle 6 werden basierend auf die Genauigkeit des Multimeters bestimmt. [1]

### 5 - Messergebnisse

$U'$ [V]	$\Delta U'$ [V]	$I$ [mA]	$\Delta I$ [mA]	$V_{\text{Brumm}}$ [V]	$\Delta V_{\text{Brumm}}$ [V]
0.022	0.001	44.3	0.5	1.2	0.1
1.642	0.009	39.9	0.4	4.4	0.1
5.120	0.026	31.9	0.3	8.8	0.1
7.050	0.036	28.1	0.3	10.3	0.1
9.060	0.046	24.3	0.3	10.6	0.1
11.390	0.058	20.1	0.2	10.2	0.1
13.980	0.071	15.4	0.2	9.2	0.1
16.920	0.086	10.4	0.1	6.8	0.1
19.940	0.101	5.3	0.1	4.0	0.1
21.940	0.111	2.2	0.0	2.2	0.1

Tabelle 5: Messwerte ohne Stabilisierung mit Lastwiderstand (aktualisierte Unsicherheiten)

$U'$ [V]	$\Delta U'$ [V]	$I$ [mA]	$\Delta I$ [mA]
0.021	0.001	44.0	0.5
2.456	0.013	37.6	0.4
4.690	0.024	30.8	0.3
5.200	0.027	27.9	0.3
6.170	0.032	21.7	0.2
6.980	0.036	16.0	0.2
7.320	0.038	13.5	0.1
7.980	0.041	7.9	0.1
8.250	0.042	4.8	0.1
8.410	0.043	0.8	0.0

Tabelle 6: Messwerte mit Stabilisierung und Lastwiderstand (aktualisierte Unsicherheiten)

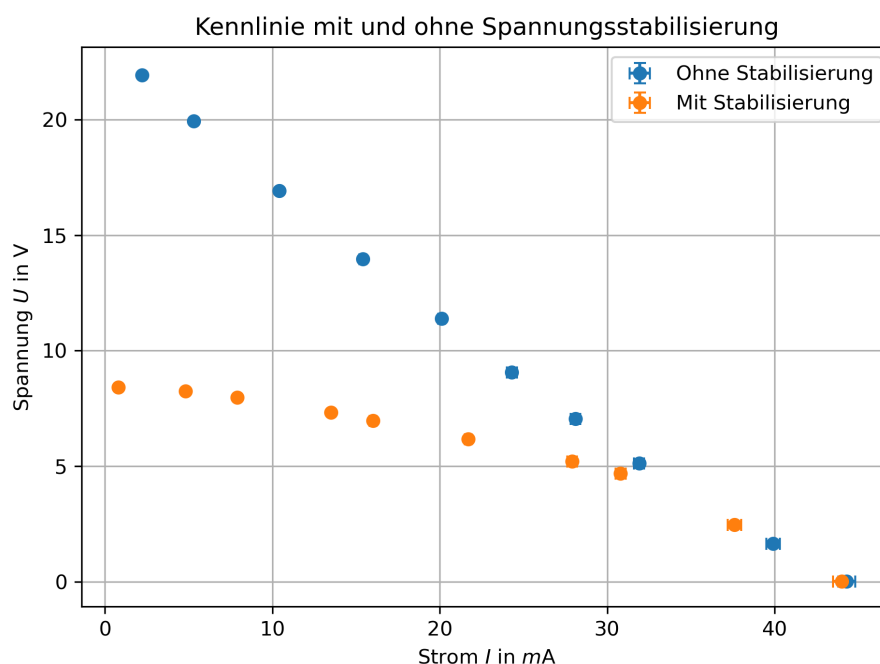


Abbildung 23: Kennlinie mit und ohne Stabilisierung einer Zenerdiode. Unsicherheiten sind eingetragen, treten im Graphen nicht auf, wenn sie zu klein zum Abbilden sind.

## 5 - Auswertung

Am Abbildung 23 kann man nun die Kennlinien von Widerständen mit und ohne Stabilisierung gut erkennen. Zunächst gibt es einen linearen Zusammenhang zwischen  $U$  und  $I$  ohne Stabilisierung. Dieses ist aus dem ohmschen Gesetz  $U = R \cdot I$  zu erwarten und bestätigt die richtige Aufnahme der Daten. Mit der Zenerdiode kann man erkennen, dass sich die Spannung für kleine Ströme stabilisiert. Dies erkennt man daran, dass es einen Knick im Graphen gibt und die Spannung im Intervall  $[0 \text{ mA}, 30 \text{ mA}]$  zwischen 8,5 V und 5 V bleibt. Diese Stabilisierung wird durch die Zenerdiode erreicht. Sie wird in Sperrrichtung betrieben und lässt nur kleinere, vom Widerstand unabhängige Ströme hindurch, weshalb der Betrag der Spannung über einen Bereich nur wenig Veränderung aufweist. Nach dem Ohmschen Gesetz kann nun bestimmt werden, ab welcher Lastspannung die Stabilisierung erfolgt. Hierzu wird aus dem Graphen der Knickpunkt bei  $U' = (5 \pm 1) \text{ V}$  und  $I = (30 \pm 2) \text{ mA}$  verwendet.



$$R_L = \frac{U'}{I} = \frac{5 \text{ V}}{30 \text{ mA}} \approx 166,7 \Omega \quad (2)$$

$$\Delta R_L = \sqrt{\left(\frac{\Delta U'}{I}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I \cdot U'}{I^2}\right)^2} \approx 35,1 \Omega \quad (3)$$

Die Stabilisierung wirkt also ab einem Lastwiderstand von  $R_L = (166,7 \pm 35,1) \Omega$ . In der Vor-aufgabe K ist der Arbeitswiderstand bestimmt, damit die Stabilisierung für den Lastwiderstand von  $R_L > 200 \Omega$  erfolgt. Der berechnete Wert schließt diesen mit seiner Unsicherheit ein. Ohne die Betrachtung der Unsicherheit gibt es eine totale Abweichung von etwa 17%. Diese größere Abweichung entsteht, da man aus dem Graphen schwierig einen genauen Knickpunkt ablesen kann, weshalb die Unsicherheiten auch so groß gewählt werden müssen. Außerdem können die Messungen auch ungenau sein, da in der Realität systematische Fehler der Geräte und Schaltungen eine Rolle spielen.

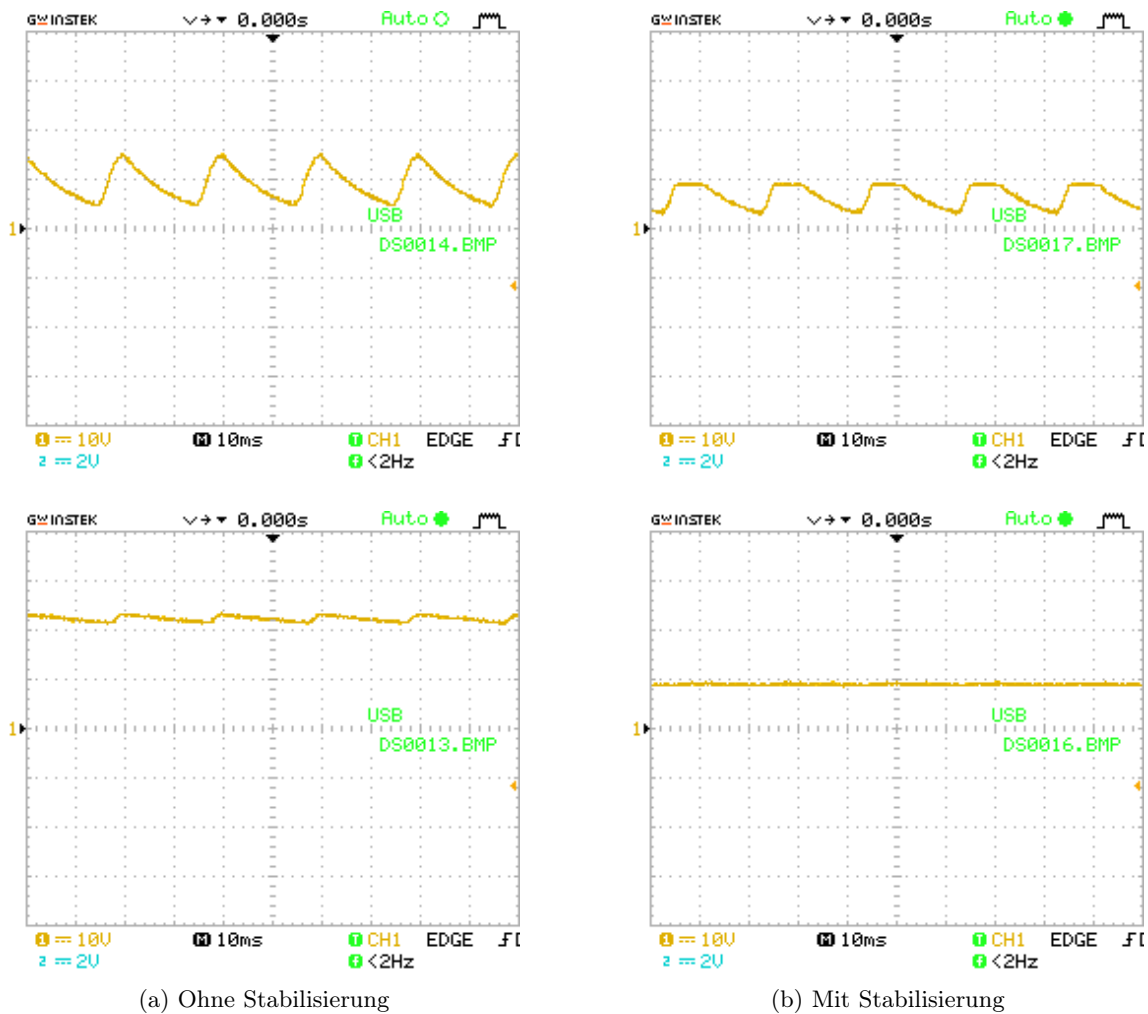


Abbildung 24: Darstellung der Glättung und Brummspannung bei unterschiedlichen Lastwiderständen.

In Abbildung 24 kann man den Unterschied zwischen einer Glättung und einer Glättung mit zusätzlicher Stabilisierung erkennen. Anhand der Abbildung 24 und sowie der letzten Spalte Tabelle 5 kann man erkennen, dass die Glättung mit zunehmendem Lastwiderstand auch steigt. Dies war zu erwarten, da die Aufladezeit des Kondensators proportional zum Widerstand ist:  $\tau = R \cdot C$ . Bei der

Stabilisierung kann man erkennen, dass diese dazu führt, dass die Brummspannung auch geringer wird. Dies führt zu einer stärkeren Glättung.

## 5 Fazit

In diesem Versuch wurden Dioden und ihre Gebrauchsweisen in Stromkreisen als Gleichrichter und als Stabilisierer untersucht. Zunächst wurden hierfür Kennlinien einer Siliziumdiode und einer Schottky-Diode vermessen. Dabei konnte die Durchlassspannung der Siliziumdiode von  $(0,70 \pm 0,06) \text{ V}$  gemessen werden, welche mit dem theoretischen Wert sehr genau übereinstimmt. Die Durchlassspannung der Schottky-Diode wurde auf  $(0,18 \pm 0,06) \text{ V}$  ermittelt, was auch gut mit dem theoretischen Wert übereinstimmte. Hiernach wurden Kennlinien der Silizium-, Schottky, und der Zenerdiode vermessen und auf dem Oszillosgraphen dargestellt. Diese wurden miteinander verglichen und hatten die theoretisch ermittelte Ordnung, nämlich, dass die Durchlassspannung der Siliziumdiode die der Schottkydiode übersteigt. Auch die Durchlass- und Zenerspannung sind mit den Literaturwerten im Einklang. Dann wurde ein Gleichstrom mit unterschiedlichen Gleichrichtern hergestellt. Zunächst wurde untersucht, wie ein Kondensator die Spannung glättet und festgestellt, dass höhere Kapazitäten eine höhere Glättung bewirken. Außerdem sorgte die Zweiweggleichrichtung für ein gleichgerichteteres Signal für niedrige Kapazitäten, als die Einweggleichrichtung. Zuletzt wurde noch ein Gleichstrom mit einer Zenerdiode hergestellt und untersucht, wie dieser die Spannung stabilisiert. Die Messergebnisse bestätigen die Spannungsstabilisierung durch die Zenerdiode im Bereich kleiner Ströme. Der ermittelte Lastwiderstand von  $R_L = (166,7 \pm 35,1) \Omega$  lag im erwarteten Bereich. Die Stabilisierung reduzierte zudem die Brummspannung.

## 6 Anhang

Spannung $U$ in [V]	Strom $A$ in [mA]
0.050	0.02
0.100	0.14
0.150	0.59
0.200	0.94
0.247	1.4
0.299	1.8
0.352	2.3
0.398	2.7
0.448	3.1
0.502	3.6
0.600	4.5
2.016	9.5
5.100	45.0

Tabelle 7: Kennlinie D2 in Durchlassrichtung

Spannung $U$ in [V]	Strom $A$ in [ $\mu A$ ]
-1.010	23
-2.074	29
-3.042	32
-4.03	38
-5.02	43
-6.07	48
-7.01	55
-8.01	60
-9.02	65
-10.04	70

Tabelle 8: Kennlinie D2 in Sperrrichtung

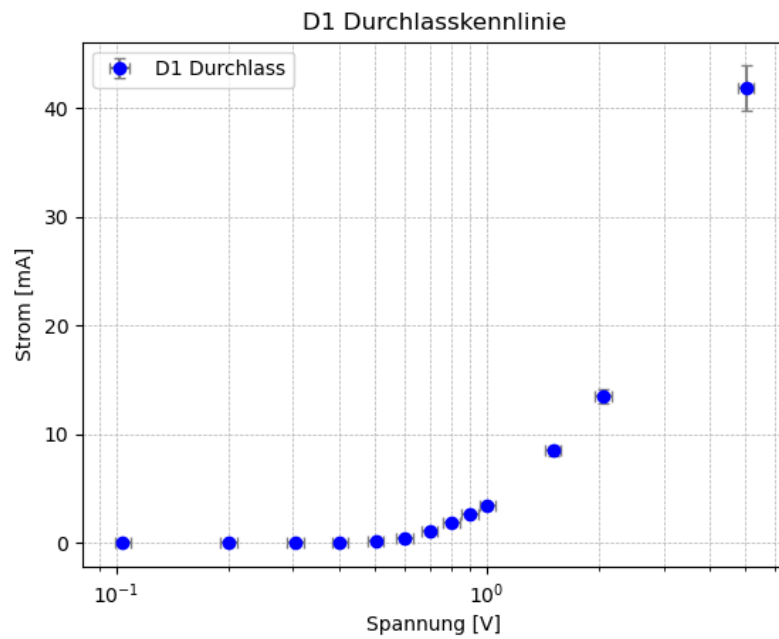


Abbildung 25: Kennlinienverlauf der Siliziumdiode in Durchlassrichtung MRA4004; Sperrspannung 400V[2]

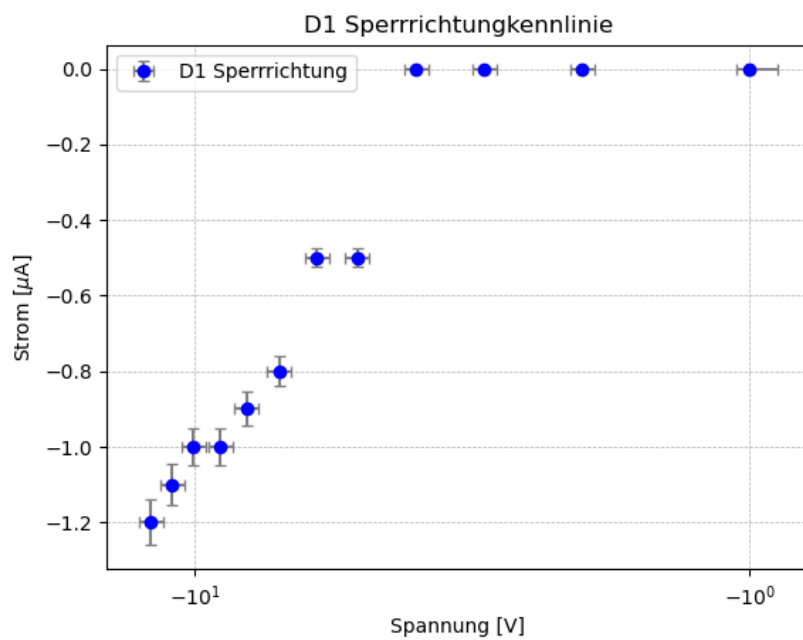


Abbildung 26: Kennlinienverlauf der Siliziumdiode in Sperrrichtung MRA4004; Sperrspannung 400V[2]

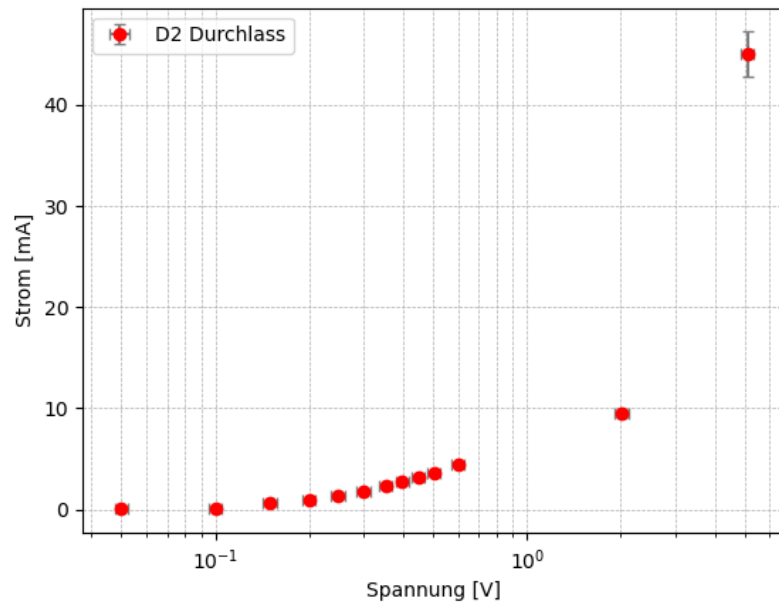


Abbildung 27: Kennlinienverlauf der Schottky-Diode in Durchlassrichtung 10BQ015; Sperrspannung 15V[2]

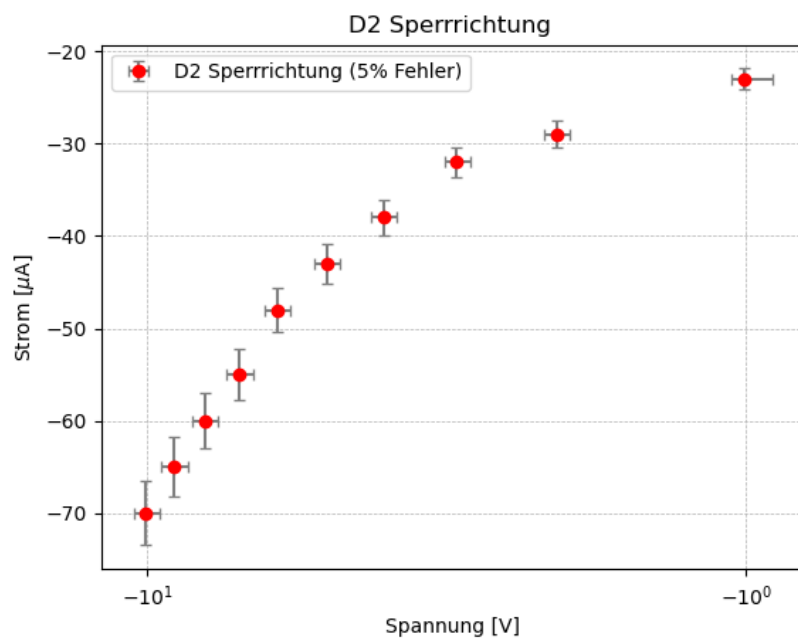


Abbildung 28: Kennlinienverlauf der Schottky-Diode in Durchlassrichtung 10BQ015; Sperrspannung 15V[2]

## Abbildungsverzeichnis

1	Schaltzeichen Diode[2] . . . . .	1
2	Diodenkennlinie[2] . . . . .	2
3	Ein- und Zweiweggleichrichter[2] . . . . .	2
4	Einige Zweipole[2] . . . . .	3
5	Kennlinienverläufe einiger Zweipole . . . . .	4
6	Ein- und Zweiweggleichrichter[2] . . . . .	4
7	Zeitlicher Verlauf der Ausgangsspannungen von Ein- und Zweiweggleichrichter . . .	5
8	Einweggleichrichtung[2] . . . . .	6
9	Ein- und Zweiweggleichrichtung mit dem Diodenschaltbrett[2] . . . . .	6
10	Zeitlicher Verlauf der Spannung am Ausgang der Ein- und Zweiweggleichrichtungs- schaltungen . . . . .	6
11	Spannungsstabilisierung mittels Zenerdiode[2] . . . . .	7
12	Lastabhängigkeit der Spannung $U'$ . . . . .	7
13	oberer Teil des Diodenschaltbretts[2] . . . . .	9
14	Kennlinienverlauf der Siliziumdiode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung aus Ta- bellen 1, 2 . . . . .	10
15	Kennlinienverlauf der Schottky-Diode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung aus Tabellen 7, 8 . . . . .	11
16	oberer Teil des Diodenschaltbretts[2] . . . . .	12
17	Kennlinien der verschiedenen Dioden . . . . .	13
18	unterer Teil des Diodenschaltbretts[2] . . . . .	15
19	Verschiedene Glättungen eines einweggleichgerichteten Signals . . . . .	16
20	unterer Teil des Diodenschaltbretts[2] . . . . .	18
21	Verschiedene Glättungen eines zweiweggleichgerichteten Signals . . . . .	19
22	Spannungsstabilisierung ohne/mit Zenerdiode [2] . . . . .	21
23	Kennlinie mit und ohne Stabilisierung einer Zenerdiode. Unsicherheiten sind einge- tragen, treten im Graphen nicht auf, wenn sie zu klein zum Abbilden sind. . . . .	22
24	Darstellung der Glättung und Brummspannung bei unterschiedlichen Laswiderstän- den. . . . .	23
25	Kennlinienverlauf der Siliziumdiode in Durchlassrichtung MRA4004; Sperrspannung 400V[2] . . . . .	26
26	Kennlinienverlauf der Siliziumdiode in Sperrrichtung MRA4004; Sperrspannung 400V[2]	26
27	Kennlinienverlauf der Schottky-Diode in Durchlassrichtung 10BQ015; Sperrspan- nung 15V[2] . . . . .	27
28	Kennlinienverlauf der Schottky-Diode in Durchlassrichtung 10BQ015; Sperrspan- nung 15V[2] . . . . .	27

## Literatur

- [1] *Digitalmultimeter M2005*. <https://die-kettwiger.jimdo.free.com/braun-design/messen-technik/multimeter-digital/m2005/>. Zugriff am 10. Mai 2025.
- [2] *Elektronik-Praktikum - Versuchsbeschreibungen*. [https://ecampus.uni-bonn.de/goto\\_ecampus\\_file\\_3695287\\_download.html](https://ecampus.uni-bonn.de/goto_ecampus_file_3695287_download.html). Apr. 2025.
- [3] Inc. New Jersey Semi-Conductor Products. *Silicon planar zener diodes*. <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/616938/NJSEMI/BZX55C8V2.html>.