

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität  
Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

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

Übungstitel: Halbleiterdiode

Betreuer:

Gruppennummer: 41

Name: Tanja Maier, Johannes Winkler

Kennzahl: 033 678

Matrikelnummer: 11778750, 00760897

Datum: 27.11.2020

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>
2.1 Halbleiter und Leitfähigkeit . . . . .	3
2.2 Bänder und Halbleiter . . . . .	3
2.3 Dotierung von Halbleitern . . . . .	4
2.4 pn-Übergang . . . . .	5
<b>3 Geräteliste</b>	<b>5</b>
<b>4 Beschreibung der Versuchsanordnung</b>	<b>6</b>
4.1 Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode . . . . .	6
4.2 Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode . . . . .	7
<b>5 Versuchsdurchführung und Messwerte</b>	<b>7</b>
5.1 Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode . . . . .	7
5.2 Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode . . . . .	8
<b>6 Auswertung</b>	<b>9</b>
6.1 Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode . . . . .	9
6.2 Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode . . . . .	10
<b>7 Diskussion</b>	<b>12</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>12</b>
<b>9 Literaturverzeichnis</b>	<b>12</b>

## 1 Aufgabenstellung

1. Messtechnische Ermittlung der Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode in Durchlassrichtung und in Sperrrichtung
2. Automatisierte Aufnahme der Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode in Durchlassrichtung und Sperrrichtung
3. Messtechnische Untersuchung von Spannungs- und Stromverläufen in einer Einweg- bzw. Gleichrichterschaltung mit unterschiedlichen Glättungskondensatoren und Belastungswiderständen

## 2 Voraussetzungen und Grundlagen

### 2.1 Halbleiter und Leitfähigkeit

Als Halbleiter bezeichnet man einen kristallinen Feststoff, der aufgrund von seiner elektrischen Leitfähigkeit sowohl als Leiter als auch als Nichtleiter gesehen werden kann. Die Leitfähigkeit ist dabei stark temperaturabhängig, im Bereich des absoluten Nullpunktes sind Halbleiter praktisch nicht leitfähig (da so gut wie keine frei beweglichen Elektronen vorhanden sind) und verhalten sich wie Isolatoren. Nicht elektrisch leitfähige Halbleiter werden auch als ideale Halbleiterkristalle bezeichnet und besitzen trotz der fehlenden Ladungsträger eine gewisse Oberflächenleitfähigkeit, die durch das Fehlen der Partneratome an den Grenzflächen und den damit verbundenen „Defektelektronen“ begründet werden kann. Solche Effekte treten auch im Inneren des Kristalles auf und tragen zur Eigenleitfähigkeit des Halbleiters bei. Die elektrische Leitfähigkeit von Halbleitern nimmt mit steigender Temperatur zu, sie werden deshalb auch als Heißeiter bezeichnet. (vgl. [1], [2])

### 2.2 Bänder und Halbleiter

Das Bändermodell ist ein quantenmechanisches Modell, mit dem elektronische Energiezustände in einem Kristall und somit die Leitfähigkeit von Leiter, Halbleitern und Isolatoren beschrieben werden kann. Ausgegangen wird davon, dass sich die Atomrümpfe in einem festen Gitter, also an fixen Positionen im Kristall befinden. Der Bereich der Ladungsträger wird dann in Valenzband, Bandlücke und Leitungsband aufgeteilt. Die Elektronen befinden sich zunächst im Valenzband, im Grundzustand ist das Leitungsband nicht besetzt. Die jeweilige Größe der Bandlücke entscheidet über die elektrische Leitfähigkeit. (vgl. [1], [2])

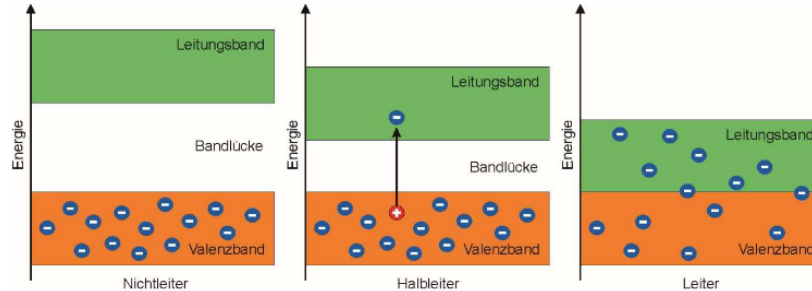


Abbildung 1: Bändermodell

Bei elektrischen Leitern ist das Valenzband entweder nicht vollständig besetzt oder Valenzband und Leitungsband überlappen sich – die Bandlücke ist also nicht vorhanden. Dies ermöglicht den Elektronen sich frei über das Valenzband und Leitungsband zu bewegen. Elektrische Leiter sind beispielsweise Metalle wie Kupfer oder Aluminium. (vgl. [1], [3], [4])

Bei Halbleitern ist die Bandlücke gerade so groß, dass zumindest ein Teil der Elektronen bereits bei geringer Anregung (z.B. Raumtemperatur) vom Valenzband in das Leitungsband gelangen. Jedes Elektron, das so in das Leitungsband gelangt hinterlässt dabei eine Lücke im Valenzband, die durch ein weiteres Elektron aus „dem Inneren“ wieder aufgefüllt werden muss. So entsteht der Eindruck als würde die Lücke immer weiterwandern. Wichtig zu beachten ist, dass es dabei immer gleich viele positive Ladungen (Lücken) und negative Ladungen im Valenzband gibt – der Halbleiterkristall ist also insgesamt elektrisch neutral. Eines der wichtigsten Halbleitermetalle ist Silizium. (vgl. [1], [5])

Bei Isolatoren ist die Bandlücke so groß, dass kein Elektron vom Valenzband in das Leitungsband gelangt. Die Elektronen sind also im Valenzband „eingesperrt“ und könnten, wenn überhaupt nur mit großem Energieaufwand stark genug angeregt werden, um in das Leitungsband zu gelangen. Als Isolatoren geeignete Materialien sind zum Beispiel Gummi oder Glas. (vgl. [1], [3], [4])

### 2.3 Dotierung von Halbleitern

Das Dotieren beschreibt das Einbringen von Fremdatomen in den Halbleiter, um so gezielt seine Leitfähigkeit zu verändern. Man unterscheidet dabei zwischen n-Dotierung und p-Dotierung. Bei der n-Dotierung werden Fremdatome mit fünf Valenzelektronen, wie beispielsweise Phosphor in einen Siliziumkristall (Halbleiter mit vier Valenzelektronen) eingebracht. Vier der Valenzelektronen des Phosphors werden dabei für die Elektronenpaarbindung zu den Siliziumatomen benötigt. Das fünfte Valenzelektron bleibt übrig und löst sich bereits bei geringer Energie vom Fremdatom ab und zurück bleibt nur noch der positive

Atomrumpf des Fremdatoms – das Fremdatom wird daher auch oft als Donator bezeichnet, da es quasi sein für die Bindung nicht benötigtes Valenzelektron „spendet“. Durch den Einbau dieser Donatoratome kommt es also zu frei beweglichen Ladungsträgern und somit zu höherer elektrischer Leitfähigkeit.

Bei der p-Dotierung werden Fremdatome mit nur drei Valenzelektronen, wie zum Beispiel Bor in einen Siliziumkristall eingebracht. Für die Elektronenpaarbindung werden jedoch vier Valenzelektronen benötigt, das heißt, dass sich die Boratome das fehlende Elektron aus ihrer Umgebung (also von einem nicht an der Bindung beteiligten Siliziumatom) holen und somit positive „Löcher“ kreieren, welche wiederum von anderen Elektronen befüllt werden. Diese dreiwertigen Fremdatome werden deshalb auch als Akzeptoratome bezeichnet. (vgl. [1], [6])

## 2.4 pn-Übergang

Ein pn-Übergang ist der Grenzbereich, der entsteht, wenn man ein p-dotiertes und ein n-dotiertes Material zusammenbringt. Das darauf resultierende Bauelement ist die Halbleiterdiode. Die Stärke der elektrischen Leitfähigkeit einer Diode hängt dabei von der Richtung des Stromflusses ab. Man unterscheidet hier zwischen der Polung in Durchlassrichtung (Pluspol der Spannungsquelle liegt an p-Schicht), bei der der Strom fließt und der Polung in Sperrrichtung (Pluspol der Spannungsquelle liegt an n-Schicht), bei der kein Strom fließen kann. (vgl. [7], [8])

## 3 Geräteliste

Tabelle 1: Liste der verwendeten Geräte

Abk.	Gerätename	Modell
N	Netzgerät	Hameg HM8040-2
MM	Multimeter	Fluke 175
OS	Osizolloskop	InfiniiVision DSOX2022A

Sämtliche Daten wurden nach den Versuch mit Python3.8 ausgewertet, wobei für Grafiken die Library `Matplotlib` verwendet wird.

## 4 Beschreibung der Versuchsanordnung

### 4.1 Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode

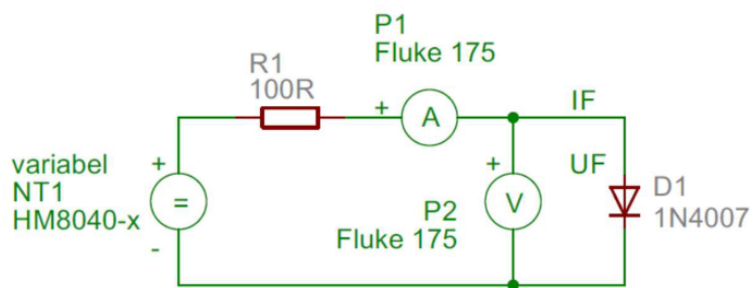


Abbildung 2: Versuchsaufbau von Aufgabe 1 (a)

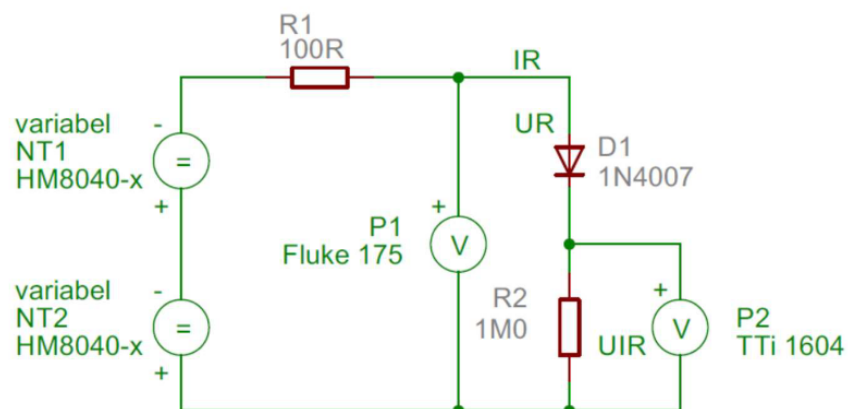


Abbildung 3: Versuchsaufbau von Aufgabe 1 (b)

## 4.2 Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode

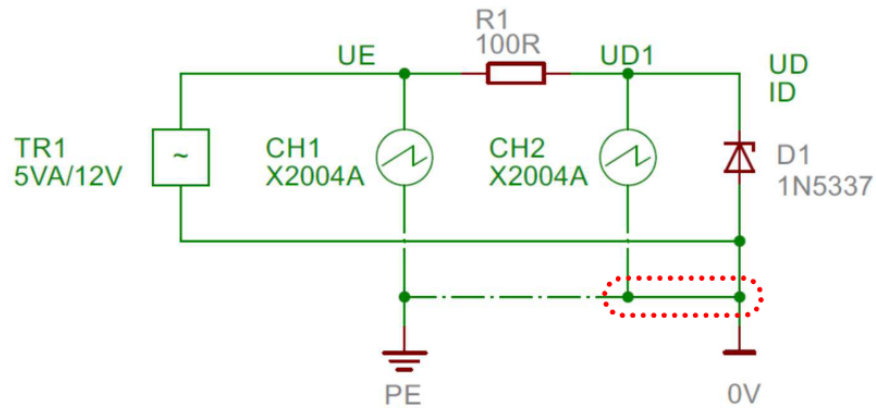


Abbildung 4: Versuchsaufbau von Aufgabe 2

## 5 Versuchsdurchführung und Messwerte

### 5.1 Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode

Zuerst wird gemäß Grafik 2 in Durchlassrichtung gemessen. Die Messung erfolgt dabei spannungsrichtig. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Beim Aufbau ist auf die korrekte Polung der Geräte zu achten.

Tabelle 2: Messung der Durchlassspannung  $U_F$  und des Durchlassstromes  $I_F$  an einer Gleichrichterdiode.

$U_F / \text{V}$	$I_F / \text{mA}$
0.000	0.00
0.110	0.01
0.391	0.01
0.510	0.15
0.595	1.02
0.700	10.51
0.723	14.50
0.735	22.16
0.747	32.53
0.764	50.30
0.780	75.60
0.791	101.10
0.799	125.70
0.806	151.80
0.812	176.60
0.815	192.40

Im zweiten Teil wird gemäß Grafik 3 gemessen. Diesmal ist die Messung stromrichtig. Zusätzlich werden zwei Netzgeräte in Serie geschaltet, um eine höhere Spannung zu erzielen. Der Sperrstrom wird anhand des Spannungsabfalls an einem seriell geschalteten hochohmigen Widerstand gemessen. Da bei der Sperrrichtung die Polung vertauscht ist, sind die Spannungen entsprechend negativ.

Tabelle 3: Messung der Sperrspannung  $U_R$  und der Sperrstromspannung  $U_{IR}$  an einer Gleichrichterdiode in Sperrrichtung.

$U_R / \text{V}$	$U_{IR} / \text{mV}$
0	0.00
-5	-0.45
-10	-0.74
-15	-1.01
-20	-1.19
-25	-1.36
-30	-1.49
-35	-1.58
-40	-1.67

## 5.2 Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode

Gemäß des Aufbaus in Grafik 4 folgt durch Messung



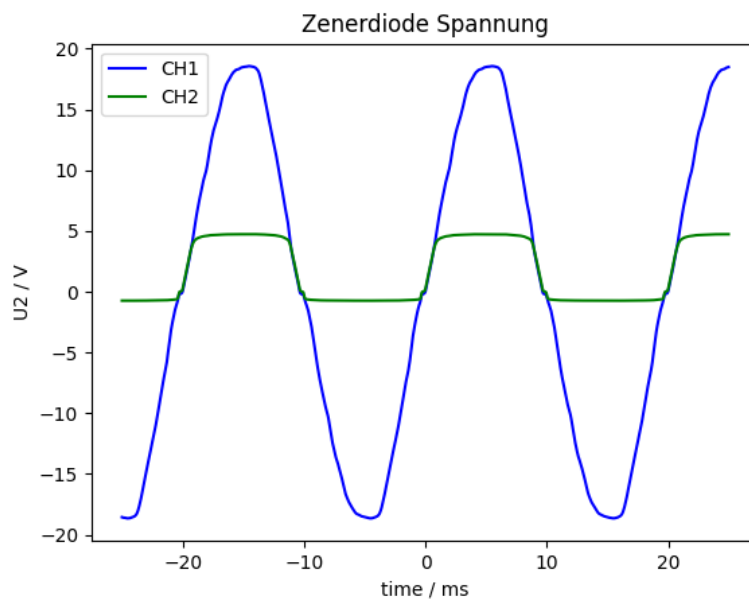


Abbildung 5: Spannungen am Oszilloskop gemäß des Versuchsaufbaus in Grafik 4. Auf CH1 liegt die Eingangsspannung des Transformators an, auf CH2 wird die Spannung über die Diode gemessen.

## 6 Auswertung

### 6.1 Strom-Spannungscharakteristik einer Gleichrichterdiode

Aus den gegebenen Werten kann man eine Kennlinie für diese Diode berechnen. Diese ist in Abbildung 6 dargestellt.

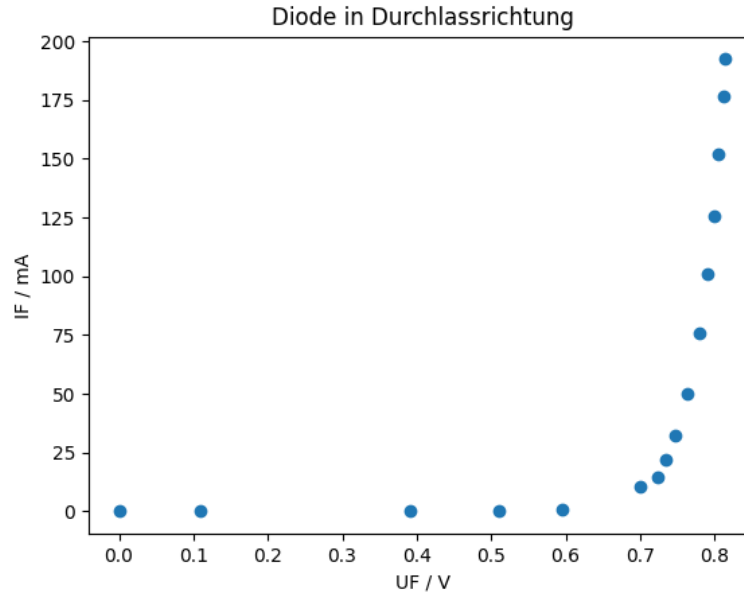


Abbildung 6: Durchlassspannung  $U_F$  und Durchlassstrom  $I_F$  grafisch dargestellt.

Tabelle 4: Berechnung des Sperrstromes aus der Sperrstromspannung. Es gilt  $U_{IR} = R \cdot I_R$  mit  $R = (1000 \pm 10) \text{ k}\Omega$ .

$U_R / \text{V}$	$U_{IR} / \text{mV}$	$I_R / \text{nA}$	$\Delta I_R / \text{nA}$
0	0.00	0.00	
-5	-0.45	-0.45	
-10	-0.74	-0.74	
-15	-1.01	-1.01	
-20	-1.19	-1.19	
-25	-1.36	-1.36	
-30	-1.49	-1.49	
-35	-1.58	-1.58	
-40	-1.67	-1.67	

## 6.2 Strom-Spannungscharakteristik einer Zenerdiode

In diesem Versuch ist der Strom durch die Diode zu berechnen. Gemäß des Versuchsaufbaus in Grafik 5 und den Informationen im Moodle ([1]), gilt

$$I_D = \frac{U_2 - U_1}{R_1}$$

Der zeitliche Verlauf des Stromes ist in Grafik 7 veranschaulicht.

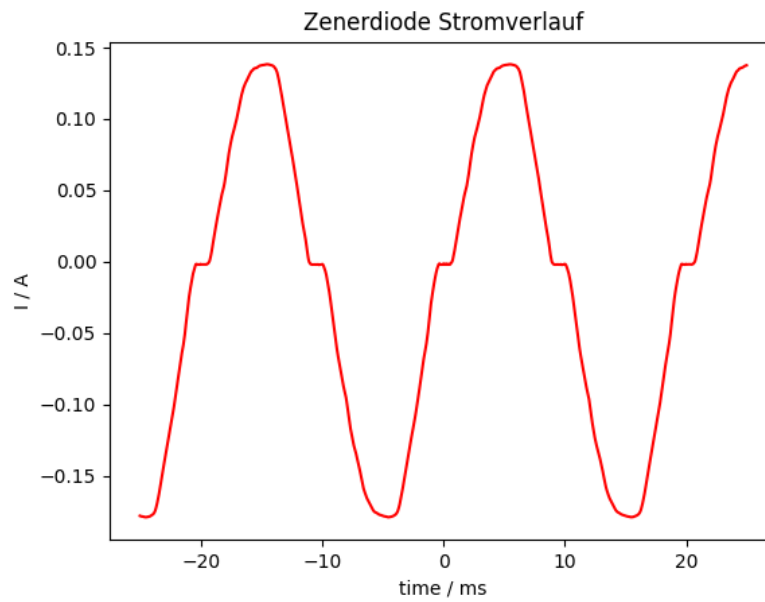


Abbildung 7: Stromverlauf durch die Zenerdiode.

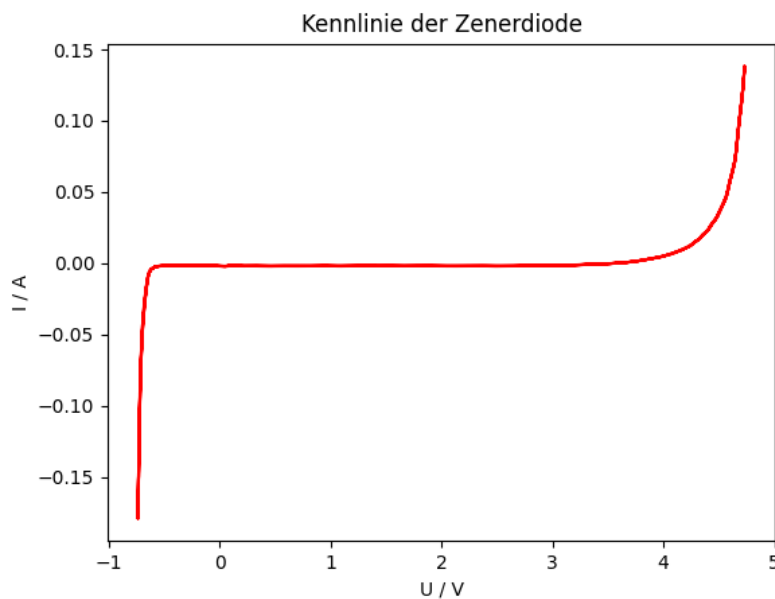


Abbildung 8: Kennlinie der Zenerdiode.

## 7 Diskussion

## 8 Zusammenfassung

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Moodle-Unterlagen zum Versuch, bereitgestellt von der Karl-Franzens-Universität Graz
- [2] <https://www.chemie.de/lexikon/Halbleiter.html>, 22.11.2020 23:25 Uhr
- [3] <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/B%C3%A4ndermodell>, 22.11.2020 23:28 Uhr
- [4] <https://www.greelane.com/wissenschaft-technologie-mathematik/wissenschaft/examples-of-electrical-conductors-and-insulators-608315/>, 22.11.2020 23:29 Uhr
- [5] <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik/artikel/halbleiter>, 22.11.2020 23:32 Uhr

- [6] <https://www.leifiphysik.de/elektronik/einfuehrung-die-elektronik/grundwissen/dotierte-halbleiter>,  
22.11.2020 23:40 Uhr
- [7] <https://www.leifiphysik.de/elektronik/halbleiterdiode/grundwissen/p-n-uebergang-halbleiterdiode>, 24.11.2020 00:08 Uhr
- [8] <https://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/0112072.htm>,  
24.11.2020 00:09 Uhr