

---

BACHELOR  
ELEKTRONIK-PRAKTIKUM  
– UNIVERSITÄT GÖTTINGEN –



---

Anleitung zum Versuch Nr. 1

**Grundlagen der Signalübertragung und  
Halbleiter-Bauelemente**

Fakultät für Physik

---

Betreuer:

Dr. Thomas Kurz – tkurz@dpi.physik.uni-goettingen.de

Dr. Kevin Kröniger – kevin.kroeniger@phys.uni-goettingen.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	<b>1</b>
2.1	Leitungstheorie . . . . .	1
2.1.1	Leitungsabschluss . . . . .	3
2.2	Der $pn$ -Übergang . . . . .	4
2.2.1	$pn$ -Übergang mit äusserer Spannung in Flusspolung . . . . .	4
2.2.2	$pn$ -Übergang mit äusserer Spannung in Sperrpolung . . . . .	4
2.2.3	Durchbruch . . . . .	4
2.3	Diode . . . . .	5
2.3.1	Kennlinie und Kenngrössen . . . . .	5
2.4	Fragen zur Theorie . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Versuchsablauf</b>	<b>6</b>
3.1	Das Oszilloskop . . . . .	6
3.2	Reflexionen an Kabeln . . . . .	7
3.3	Kennlinien von Dioden . . . . .	8
3.4	Spannungsbegrenzung . . . . .	9
3.5	Gleichrichtung von Wechselspannungssignalen . . . . .	10



# 1 Einleitung

Dieser Versuch soll zum einen die grundlegenden Eigenschaften und Mechanismen der Signalübertragung auf Kabeln erläutern, zum anderen soll die Diode als nichtlineares Halbleiterbauelement vorgestellt werden.

Im ersten Teil wird die Reflexion von Signalen in Kabeln untersucht. Die Messung der Kennlinien von Dioden bildet den Auftakt zum zweiten Teil. Dort werden Schaltungen zur Spannungsbegrenzung und Gleichrichtung von Wechselspannungssignalen mittels Dioden realisiert.

**Kenntnisse:** Oszilloskop; Aufbau eines Koaxialkabels, Leitungstheorie, Leitungskonstanten, LC-Glieder, Telegraphengleichung, Wellenwiderstand, Dämpfung, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit, Reflexionsfaktor, Leitungsabschluss; Bändermodell, Halbleiterdiode, *pn*-Übergang; Kennlinie, Sperrstrom, Schwellenspannung, Wechselstromwiderstand; Diodytypen (z.B. Zenerdiode, Thermosensordiode), Spannungsbegrenzung und -stabilisierung, Gleichrichtung von Spannungen.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Leitungstheorie

Doppelleitungen, z.B. Koaxialkabel, können durch vier Kenngrößen charakterisiert werden: *Widerstand R*, *Induktivität L*, *Kapazität C* und *Verlustleitwert G*. Diese Größen hängen von der Länge der Leitung ab. Die Ableitungen dieser Größen bezüglich der Längsachse der Leitung, im folgenden als *z*-Richtung gewählt, bezeichnet man als *Leitungskonstanten* ( $R', L', C', G'$ ). Sie definieren weitere Größen, z.B. den Wellenwiderstand, die Verzögerungszeit und die Dämpfung.



Abbildung 1: Links: Ersatzschaltbild für Leitungen. Rechts: Differentielles Leitungsstück.

Elektrische Leitungen können als eine Reihe von *LC-Gliedern* aufgefasst werden. Abb. 1 (links) zeigt das Ersatzschaltbild einer Leitung. Die Ausbreitung von Signalen kann durch partielle Differentialgleichungen beschrieben werden. Diese ergeben sich aus der bekannten Maschen- und Knotenregel. Zur Herleitung dieser Gleichungen betrachtet

man ein differentielles Leitungsstück (Abb. 1 (rechts)). Aus der Maschenregel folgt:

$$\begin{aligned}
 u(z + dz, t) - u(z, t) &= du \\
 u(z + dz, t) - u(z, t) &= -dL \cdot \frac{\partial i}{\partial t}(z, t) - dR \cdot i(z, t) \\
 \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial z} &= -\frac{\partial L}{\partial z} \cdot \frac{\partial i}{\partial t}(z, t) - \frac{\partial R}{\partial z} \cdot i(z, t) \\
 \frac{\partial u}{\partial z} &= -L' \cdot \frac{\partial i}{\partial t}(z, t) - R' \cdot i(z, t)
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Analog folgt aus der Knotenregel:

$$\begin{aligned}
 i(z + dz, t) - i(z, t) &= di \\
 i(z + dz, t) - i(z, t) &= -C \cdot \frac{\partial u}{\partial t}(z, t) - G \cdot u(z, t) \\
 \Rightarrow \frac{\partial i}{\partial z} &= -\frac{\partial C}{\partial z} \cdot \frac{\partial u}{\partial t}(z, t) - \frac{\partial G}{\partial z} \cdot u(z, t) \\
 \frac{\partial i}{\partial z} &= -C' \cdot \frac{\partial u}{\partial t}(z, t) - G' \cdot u(z, t)
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Durch weiteres Differenzieren und Einsetzen erhält man die *Telegraphengleichungen*:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = R'G' \cdot u + (R'C' + L'G') \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + L'C' \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{2.3}$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial z^2} = R'G' \cdot i + (R'C' + L'G') \cdot \frac{\partial i}{\partial t} + L'C' \cdot \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \tag{2.4}$$

Lösungen dieser Gleichungen sind die Superposition von hin- und rücklaufenden Wellen. Für die Spannung gilt:

$$u(z, t) = (u_h \cdot e^{\gamma z} + u_r \cdot e^{-\gamma z}) \cdot e^{j\omega t} \tag{2.5}$$

wobei

$$\begin{aligned}
 \gamma^2 &= (R' + j\omega L') \cdot (G' + j\omega C') \\
 \Rightarrow \gamma &= \alpha + j\beta.
 \end{aligned}$$

Die Dämpfung eines Kabels wird durch den Realteil  $\alpha = \Re(\gamma)$  beschrieben und *Dämpfungskonstante* genannt. Mit Gl. (2.1) folgert für den Strom:

$$i(z, t) = (u_h \cdot e^{\gamma z} - u_r \cdot e^{-\gamma z}) \cdot \frac{1}{Z} \cdot e^{j\omega t}, \tag{2.6}$$

mit

$$Z = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}. \tag{2.7}$$

Dabei ist  $Z$  der *Wellenwiderstand*.

Die Wellenlänge wird im ungedämpften Fall aus der Periodizitätsbedingung berechnet:

$$\begin{aligned} e^{\gamma z} &= e^{\beta z} = e^{\beta(z+\lambda)} \\ \Rightarrow \lambda &= \frac{2\pi}{\beta} = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{L'C'}}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Die *Phasengeschwindigkeit*,  $v_P$ , ergibt sich somit zu

$$v_P = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}. \quad (2.9)$$

Die *Gruppengeschwindigkeit*,  $v_G$ , ist dann

$$v_G = \frac{d\omega}{d\beta} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}, \quad (2.10)$$

und für den verlustfreien Fall gleich der Phasengeschwindigkeit.

### 2.1.1 Leitungsabschluss

Rücklaufende Wellen entstehen, wenn das hinlaufende Signal am Ende der Leitung reflektiert wird, d.h. die Energie der einlaufenden Welle nicht vollständig am Abschlusswiderstand,  $R_A$ , absorbiert wird. Am Ende einer Leitung,  $z = 0$ , muss immer das Ohmsche Gesetz gelten, d.h.

$$R_A = \frac{u_h + u_r}{i_h + i_r} = Z \cdot \frac{u_h + u_r}{u_h - u_r} = Z \cdot \frac{1 + r}{1 - r}, \quad (2.11)$$

wobei  $r = \frac{u_r}{u_h}$  der *Reflexionsfaktor* ist. Es gilt:

$$r = \frac{R_A - Z}{R_A + Z}. \quad (2.12)$$

Der Reflexionsfaktor hängt also vom verwendeten Abschlusswiderstand ab. Im folgenden werden drei Fälle unterschieden:

**Anpassung:**  $R_A = Z$ . Wird der Abschlusswiderstand gleich dem Wellenwiderstand gewählt, so ist der Reflexionsfaktor  $r = 0$ . Es tritt keine Reflexion auf. Die Ausgangsspannung ist dann  $U_0/2$ .

**Offene Leitung:**  $R_A = \infty$ . Wird als Abschlusswiderstand  $R_A = \infty$  gewählt, so wird der Reflexionsfaktor  $r = +1$ . Die Ausgangsspannung ist dann doppelt so hoch wie beim passenden Abschluss, d.h.  $U_0$ . Der Strom der hin- und rücklaufenden Welle heben sich auf, d.h.  $i_h = -i_r$ .

**Kurzschluss:**  $R_A = 0$ . Wird als Abschlusswiderstand  $R_A = 0$  gewählt, d.h. die Leitung wird kurzgeschlossen, so ist der Reflexionsfaktor  $r = -1$ . Die Ausgangsspannung ist 0 und der Ausgangsstrom gleich dem doppelten Primärstrom.

Siehe z.B. Kap. 13.3.2 in [1], Kap. 24.2.1 in [3] und Kap. 2.2 in [4].

## 2.2 Der $pn$ -Übergang

Beim idealen  $pn$ -Übergang grenzen zwei gleichmässig dotierte  $p$ - und  $n$ -dotierte Schichten aneinander. Durch die unterschiedliche Konzentration freier Ladungsträger auf beiden Seiten kommt es zur Diffusion. Elektronen des  $n$ -dotierten Gebiets wandern zur  $p$ -dotierten Seite und können mit Löchern rekombinieren. Eine positive *Raumladung* entsteht. Analog wandern Löcher aus der  $p$ - in die  $n$ -Zone und rekombinieren. Eine negative Raumladung entsteht. Durch diese Raumladungen entsteht ein elektrisches Feld, welches der Diffusion entgegenwirkt und zu einem Gleichgewicht führt. Die Spannung, welches durch das elektrische Feld erzeugt wird, nennt man *Diffusionsspannung*,  $U_D$ . Das Gebiet um den  $pn$ -Übergang wird *Verarmungszone* oder *Raumladungszone* genannt. Die Ausdehnung der Raumladungszone auf die jeweilige Seite ist proportional zum inversen der Ladungsträgerkonzentration.

### 2.2.1 $pn$ -Übergang mit äusserer Spannung in Flusspolung

Legt man an den  $pn$ -Übergang eine externe Spannung an, so dass die Anode an die  $p$ -Schicht und die Kathode an die  $n$ -Schicht angeschlossen ist, so werden die Elektronen aus dem  $n$ -Gebiet zum  $p$ -Gebiet hin verschoben und andersherum. Die angelegte Spannung,  $U_F$ , wirkt der Diffusionsspannung entgegen. Es gilt für die Potentialdifferenz am  $pn$ -Übergang:

$$U_{pn} = U_D - U_F. \quad (2.13)$$

Mit zunehmender externen Spannung wächst der Strom durch den  $pn$ -Übergang. Man spricht von einem *Durchlassstrom*.

### 2.2.2 $pn$ -Übergang mit äusserer Spannung in Sperrpolung

Legt man eine externe Spannung mit umgekehrter Polung,  $U_R$ , an den  $pn$ -Übergang, so verstärkt diese die Diffusionsspannung und man erhält

$$U_{pn} = U_D + U_F. \quad (2.14)$$

Die Elektronen der  $n$ -Schicht und die Löcher der  $p$ -Schicht werden von der Verarmungszone weggezogen. Die Verarmungszone wächst. Da kein Strom fliesst wird diese Art der Beschaltung auch *Sperrichtung* genannt.

### 2.2.3 Durchbruch

Im Sperrbetrieb können hohe elektrische Felder in der Sperrschicht auftreten. Durch den *Lawineneffekt* und den *Zenereffekt* kommt es zu einem starken Anstieg des *Sperrstroms*.

**Lawineneffekt.** Elektronen, welche durch Paarbildung in der Sperrschicht entstehen, werden durch das elektrische Feld beschleunigt. Bei ausreichender Energie können Elektronen aus Atomverbänden herausgeschlagen werden. Diese sekundären Elektronen können ihrerseits durch Stösse Atome ionisieren und sorgen damit für einen ansteigenden Strom.

**Zenereffekt** Bei hohen Feldstärken können Valenzelektronen aus Paarbindungen herausgezogen werden. Diese tunneln vom Valenzband der  $p$ -dotierten Seite in das Leitungsband der  $n$ -dotierten Seite. Die Tunnelwahrscheinlichkeit steigt exponentiell mit der Feldstärke, d.h. der Sperrstrom steigt mit (leicht) ansteigender Sperrspannung.

Siehe z.B. Kap. 1.8 in [1], Kap. 3.2 in [4] und Kap. 1 und 2 in [5].

## 2.3 Diode

Die Diode ist ein elektronisches Bauelement welches aus einem  $pn$ -Übergang besteht. Die  $p$ -Seite wird *Anode*, die  $n$ -Seite *Kathode* genannt. Die Diode lässt Strom nur von der Anode zur Kathode zu.

### 2.3.1 Kennlinie und Kenngrößen

Die Kennlinie einer Diode ist in Abb. 2 gezeigt. Sie kann durch die Kennlinie eines idealen  $pn$ -Übergangs ausgedrückt werden:

$$I(U) = I_S \cdot \left( e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right), \quad (2.15)$$

wobei  $I_S$  der Sperrstrom ist und  $U_T$  Temperaturspannung genannt wird. Der Sperrstrom beträgt bei Zimmertemperatur etwa  $1\text{--}100 \mu\text{A}$ . Bei einer realen Diode steigt der Strom in Vorwärtsrichtung erst ab der *Schwellenspannung*,  $U_S$ , an. Diese liegt in der Größenordnung von  $0,3\text{--}0,8 \text{ V}$  für Germanium und Siliziumdioden.

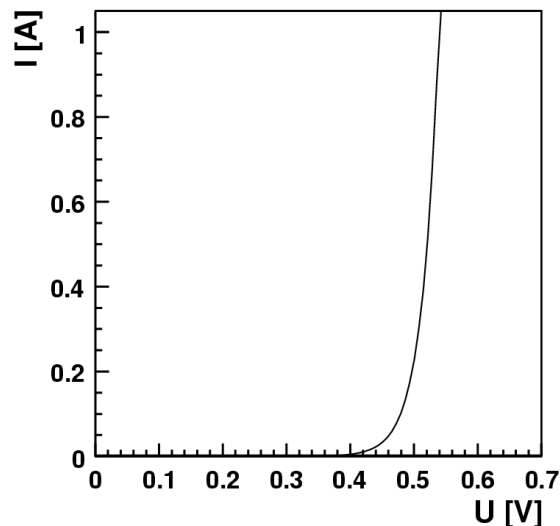


Abbildung 2: Kennlinie einer Diode.

Bei *Zenerdioden* verläuft die Kennlinie in Durchbruchrichtung sehr steil und wird als linear angenommen. Die Hauptanwendung solcher Dioden liegt in der Spannungsstabilisierung.

Der *differenzielle Widerstand* ist definiert als das Verhältnis aus Spannungs- und Stromdifferential am Arbeitspunkt, d.h. als Steigung der Tangente. Dieser entspricht dann dem

*Wechselstromwiderstand* bei kleinen Signalen.

Siehe z.B. Kap. 2.5 in [1], Kap. 1.25 in [2], Kap. 1 in [3], Kap. 4 und 5 in [5], Kap. 3.3 in [4] und Kap. 14 und 15 in [6].

## 2.4 Fragen zur Theorie

1. Verifizieren Sie, dass Gl. (2.5) eine Lösung der Telegraphengleichung (2.3) ist.
2. Berechnen sie  $\alpha$  und  $\beta$  im verlustlosen Fall ( $R' = G' = 0$ ). Was bedeutet dies für die Dämpfung? Berechnen Sie  $u(z, t)$  für den Fall einer zeitlich periodischen Anregung der Form  $u_0 = a \cdot \cos(\omega t)$  und unter der Annahme eines Kurzschlusses.
3. Skizzieren Sie die Kennlinien für folgende Bausteine: Ohmscher Widerstand, Diode, Diode + Widerstand (seriell und parallel).

## 3 Versuchsablauf

### 3.1 Das Oszilloskop

Der erste Versuchsteil soll Ihnen das Oszilloskop und den Funktionsgenerator näher bringen. Insbesondere soll gezeigt werden, dass weder eine ideale Signalerzeugung noch eine ideal Messung möglich sind.

**Geräte:** Oszilloskop, Funktionsgenerator.

**Durchführung:**

1. Schliessen Sie den Ausgang des Funktionsgenerators an den CH1-Eingang des Oszilloskops an. Betrachten Sie die verschiedenen Funktionen, welcher der Funktionsgenerator erzeugt. Verändern Sie Frequenz und Amplitude und machen Sie sich mit der Zeitbasis und dem Y-Verstärkungsfaktor vertraut. Notieren Sie sich die minimalen und maximalen Amplituden und Frequenzen des Funktionsgenerators.
2. Schliessen Sie den Ausgang des Funktionsgenerators an den CH1-Eingang des Oszilloskops an und stellen Sie eine Sinusfunktion mit einer Frequenz von 1 kHz ein. Sie können die Frequenz mit dem Oszilloskop messen. Verwenden Sie dazu im Menü "Measure" die Funktion "Frequency". Wie gross sind die Abweichungen zwischen der Anzeige des Funktionsgenerators und der das Oszilloskops? Korrigieren sie die Frequenz am Generator.
3. Schliessen Sie den Ausgang des zweiten Kanals am Funktionsgenerator an den CH2-Eingang des Oszilloskops an. Erzeugen Sie an beiden Kanälen eine Sinusfunktion. Schalten Sie das Oszilloskop auf den XY-Mode um. Am Funktionsgenerator können Sie nun die Phase zwischen den beiden Signal variieren. Beobachten Sie die Figuren auf dem Oszilloskop. Korrigieren Sie ggf. die Frequenz der beiden Signale. Variieren Sie anschliessend die Frequenz des zweiten Kanals, insbesondere um Vielfache der Frequenz am ersten Kanal.

- Verwenden Sie jetzt nur noch einen Kanal. Stellen Sie den Generator auf ein Rechtecksignal mit der Frequenz 1 MHz und einer Amplitude von 1 Volt ein. Messen Sie die Anstiegszeit, d.h. die Zeit, welche das Signal braucht um von 10% auf 90% der Amplitude zu kommen (siehe Abb. 3). (Hinweis: verwenden Sie die automatische Messfunktion des Oszilloskops und mitteln Sie über mehrere Perioden).
- Berechnen Sie die Anstiegszeit des Oszilloskops,  $T_0$ , aus seiner Bandbreite,  $B$ . Verwenden Sie dazu die folgende Formel:

$$B \cdot T_0 = 0.35 . \quad (3.1)$$

Die Bandbreite ist auf der Vorderseite des Oszilloskops angegeben.

- Berechnen Sie die Anstiegszeit des Rechtecksignals. Die gemessene Anstiegszeit,  $T$ , setzt sich dabei aus den Anstiegszeiten des Funktionsgenerators,  $T_F$ , und der des Oszilloskops,  $T_0$ , wie folgt zusammen:

$$T^2 = T_F^2 + T_0^2 . \quad (3.2)$$

- Wiederholen Sie die Messung für eine begrenzte Bandbreite des Oszilloskops. Diese können Sie im Menu des entsprechenden Kanals auf 20 MHz reduzieren (siehe Handbuch Seite 143).

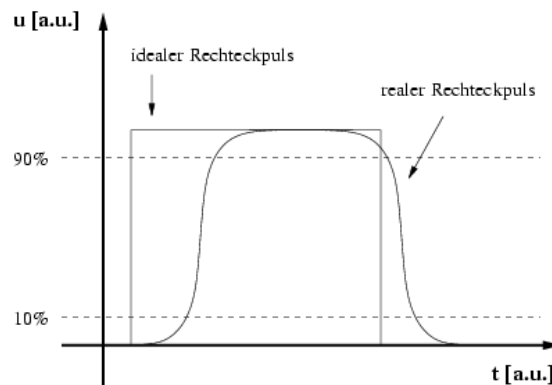


Abbildung 3: Idealer und realer Rechteckpuls..

### 3.2 Reflexionen an Kabeln

Um störende Reflexionen von Signalen zu verhindern, müssen die Signalleitungen mit Widerständen angepasst (abgeschlossen) werden. Im Folgenden werden verschiedene Abschlüsse untersucht.

**Geräte:** Oszilloskop, Funktionsgenerator, LCR-Meter.

**Bauteile:** T-Stück, 50  $\Omega$ -Abschlusswiderstand, verschiedene Verzögerungskabel.

#### Durchführung:

- Schliessen Sie ein BNC T-Stück an den Eingang des Oszilloskops. Verbinden Sie den Funktionsgenerator mit einem der beiden Enden. Schliessen Sie das andere mit einem 50  $\Omega$ -Widerstand ab.

- Wählen Sie am Funktionsgenerator einen Rechteckpuls mit einer Frequenz von 1 MHz, 1 V Amplitude und einem Tastverhältnis (engl. "duty cycle") von 1%. Beschreiben Sie das auf dem Oszilloskop beobachtete Signal.
- Schliessen Sie nun ein ca. 1 m langes Koaxialkabel anstatt des 50  $\Omega$ -Widerstands an. Lassen Sie das Kabel offen und beschreiben Sie das Signal am Oszilloskop.
- Schliessen Sie das Kabel mit einem 50  $\Omega$ -Widerstand ab. Was ändert sich?
- Nehmen Sie ein Stück Draht oder eine Pinzette und schliessen sie das Kabel kurz. Wie verändert sich das Signal jetzt?
- Verwenden Sie statt des 1 m langen Kabels jetzt das 15 m lange Verzögerungskabel. Schliessen Sie das Kabel geeignet ab und bestimmen Sie den Wellenwiderstand des Kabels. Wie gross ist die Verzögerungszeit zwischen dem eigentlichen und dem reflektierten Signal? Vergleichen Sie die gemessene Verzögerungszeit für einen 50  $\Omega$ -Abschluss mit der Vorhersage von 5 ns/m. Berechnen Sie die Signalgeschwindigkeit im Kabel.
- Berechnen Sie aus den Daten Ihrer Messung die Kapazität und die Induktivität des Kabels (für einen Meter Kabel). Vergleichen Sie die Werte mit den Literaturwerten. Messen Sie die Grössen außerdem mit einem LCR-Meter nach (bitte den Assistenten fragen).

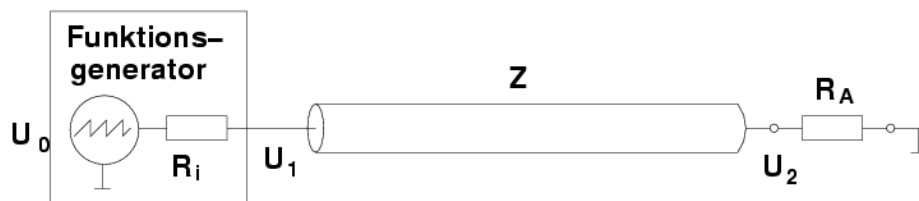


Abbildung 4: Schaltung zu Reflexionen an Kabeln.

### 3.3 Kennlinien von Dioden

Dieser Versuchsteil soll Ihnen die Eigenschaften nicht-linearer Bauteile am Beispiel der Diode näher bringen. Sie werden verschiedene Diodentypen kennenlernen und vermessen.

**Geräte:** Oszilloskop, Gleichspannungsquelle, Multimeter.

**Bauteile:** 100  $\Omega$  Widerstand, Diode 1N 4148, weitere Dioden (z.B. 1N 4007, ZD 8,2, 1N 5820, Photodioden).

#### Durchführung:

- Bauen Sie einen einfachen Schaltkreis aus Gleichspannungsquelle, Diode (in Durchlassrichtung) und Strommessgerät auf. Messen Sie die Spannung über der Diode. Hinweis: der dunkle Ring an einer der beiden Seiten der Diode deutet die Kathode an (wie im Ersatzschaltbild). Wird diese an den negativen Pol der Spannungsquelle angeschlossen, so betreibt man die Diode in Durchlassrichtung.

2. Variieren Sie die Spannung und notieren Sie gleichzeitig die Spannung über der Diode und den Strom. Polen Sie die Spannungsquelle um und messen Sie im Sperrbereich. Wo liegt die Schwellenspannung für die Diode?
3. Wiederholen Sie die Messung jetzt automatisiert. Erweitern Sie dazu den Schaltkreis um einen  $100\ \Omega$ -Widerstand. Greifen Sie die Spannung über dem Widerstand ab und legen Sie das Signal auf den CH2-Eingang des Oszilloskops. Greifen Sie die Spannung über der Diode ab und legen Sie das Signal auf den CH1-Eingang. Invertieren Sie den CH1-Eingang und wählen Sie den XY-Modus. Sie sollten einen leuchtenden Punkt sehen.  
Hinweis: beim Abgreifen der Spannungen sollten Sie darauf achten, dass die Massen der beiden Kanäle des Oszilloskops miteinander verbunden sind. Deshalb sollten Sie die beiden Massen auf den selben Punkt zwischen dem Widerstand und der Diode legen. Ansonsten würde einer der beiden Eingänge auf Masse gezogen werden. Machen Sie sich klar, warum der Kanal 1 invertiert werden muss.
4. Stellen Sie das Oszilloskop so ein, dass es unendlich lange nachleuchtet. Fahren Sie die Spannung von Hand hoch. Am Oszilloskop sollte jetzt langsam eine Kennlinie entstehen.
5. Untersuchen Sie andere Diodentypen, z.B. Zenerdiode oder Photodiode, und variieren Sie die externen Parameter. Wo liegt die Durchbruchspannung der Zenerdiode?

### 3.4 Spannungsbegrenzung

Um empfindliche Bauteile vor zu hohen Spannungen zu schützen werden Zenerdioden zur Spannungsbegrenzung und -stabilisierung eingesetzt. Eine einfache Realisierung einer solchen Anwendung wird in diesem Versuchsteil untersucht.

**Geräte:** Gleichspannungsquelle, Funktionsgenerator, Oszilloskop.

**Bauteile:**  $100\ \Omega$ -Widerstand,  $1\ \text{k}\Omega$ -Widerstand, Zenerdiode ZD 8,2.

#### Durchführung:

1. Vermessen Sie die Zenerspannung der Zenerdiode.
2. Berechnen Sie  $U_1$  in Abhängigkeit von  $U_0$  (Spannungsteiler!). Dimensionieren Sie die Widerstände der Schaltung in Abb. 5 so, dass die Spannung  $U_1$  bei der Zenerspannung begrenzt wird.
3. Bauen Sie die Schaltung auf und messen Sie  $U_1$  als Funktion von  $U_0$ .
4. Wiederholen Sie die Messung jetzt automatisiert. Wählen Sie  $R = 100\ \Omega$  und  $R_L = 1\ \text{k}\Omega$ . Schliessen Sie statt der Gleichspannung nun ein Rampensignal mit einer Frequenz von  $1\ \text{kHz}$  an. Wählen Sie Amplitude und Offset so, dass die Spannung mehr als den gesamten erlaubten Bereich abdeckt. Legen Sie die Eingangsspannung auf den CH1-Eingang des Oszilloskops und die Spannung  $U_1$  an CH2-Eingang. Stellen Sie das Oszilloskop auf den XY-Modus. Sie sollten jetzt das Antwortverhalten der Schaltung als Funktion der Eingangsspannung sehen. Skizzieren Sie die Oszillogramme für beide Spannungen.

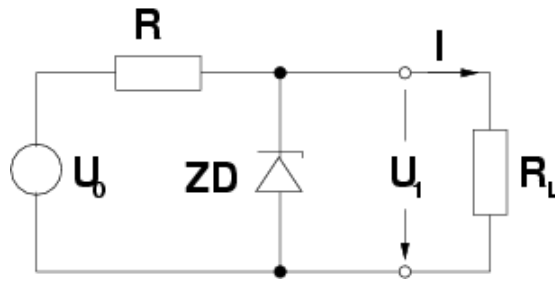


Abbildung 5: Schaltung zur Spannungsbegrenzung.

### 3.5 Gleichrichtung von Wechselspannungssignalen

Im letzten Versuchsteil wird eine einfache Gleichrichterschaltung realisiert. Verschiedene Kondensatoren werden zur Glättung der Amplitude verwendet.

**Geräte:** Funktionsgenerator, Oszilloskop.

**Bauteile:** Diode 1N 4148, verschiedene Elektrolyt-Kondensatoren ( $10 \mu\text{F}$ – $100 \mu\text{F}$ ), Lastwiderstand  $1 \text{ k}\Omega$ .

**Durchführung:**

1. Bauen Sie einen Einweggleichrichter wie in Abb. 6 auf. Variieren Sie die Kapazität des Glättungskondensators. Achten Sie bei den Elektrolytkondensatoren auf die Polarität.
2. Skizzieren Sie die Oszillogramme für die verschiedenen Kapazitäten.
3. Messen Sie die mittlere Höhe der Gleichspannung und die Amplitude der restlichen Wechselspannung für verschiedene Kapazitäten. Dies können Sie automatisch am Oszilloskop machen, indem Sie im Menü "Measure" die Funktion "Pk.-Pk." wählen.

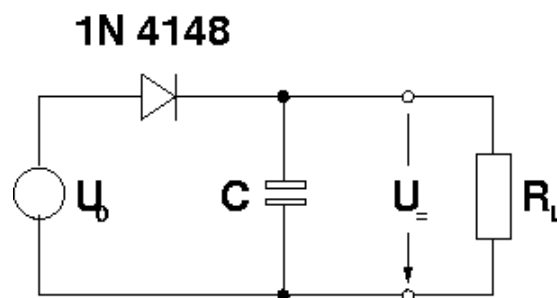


Abbildung 6: Schaltung zur Gleichrichtung von Signalen.

## Literatur

- [1] E. Hering, K. Bressler, J. Gutekunst, Elektronik für Ingenieure und Naturwissenschaftler, 5., aktualisierte Auflage, Springer, 2005.
- [2] P. Horowitz, W. Hill, The Art of Electronics, 2. Auflage, Cambridge University Press, 1997.
- [3] U. Tietze, C. Schenk, Halbleiterschaltungstechnik, 12. Auflage, Springer, 2002.
- [4] H. Hinsch, Elektronik, Springer, 1996.
- [5] S. Goßner, Grundlagen der Elektronik, 6., überarbeitete Auflage, Shaker, 2006.
- [6] K. Beuth, O. Beuth, Elementare Elektronik, 7., überarbeitete Auflage, Vogel, 2003.