



BAUELEMENTE UND SCHALTUNGEN

# Dioden-Kennlinien

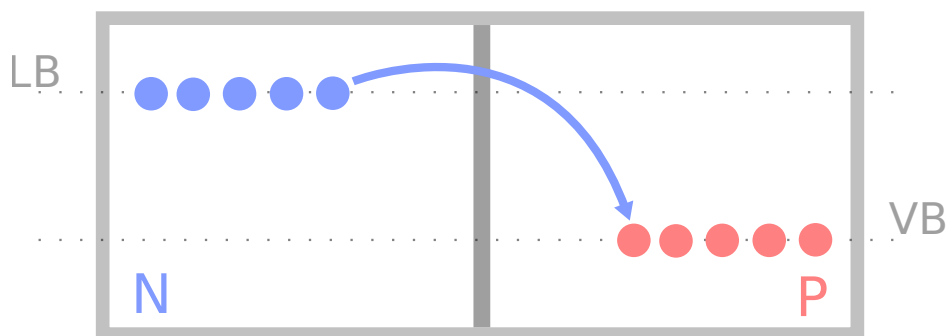
Studien- und Vorbereitungsaufgaben

*Autor:* Richard GRÜNERT

10.11.2019

# 1 Vorbereitungsaufgaben

## 1.1 Aufbau und Wirkungsweise eines pn-Übergangs

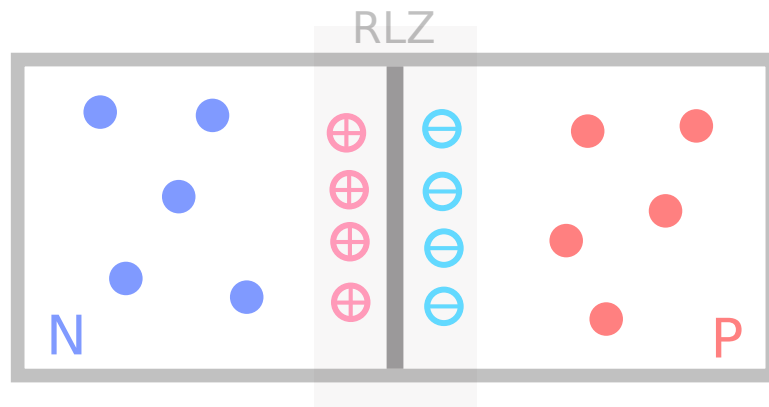


Dotiert man einen Halbleiterkristall (z.B. Si oder Ge) mit Fremdatomen, wird die elektrische Leitfähigkeit des Halbleiters beeinflusst.

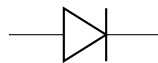
- Bei Dotierung mit 5-(oder höher-)wertigen Atomen (z.B. P oder As) geraten zusätzliche Elektronen in das Leitungsband des Halbleiterkristalls; es wird *n-Leitung* provoziert
- Bei Dotierung mit 3-(oder geringer-)wertigen Atomen (z.B. B oder Ga) entstehen Elektronenfehlstellen im Valenzband des Halbleiterkristalls; es wird *p-Leitung* provoziert.

Die Elektronenkonzentration im n-Leiter ist somit höher als die im p-Leiter. Bringt man unterschiedlich dotierte Halbleiter in Kontakt, kommt es durch Diffusion zum Übergang von (höher-energetischen) Elektronen im Leitungsband des n-Leiters in das (nieder-energetische) Valenzband des p-Leiters. Im p-Leiter werden dann die Elektronenfehlstellen gefüllt und es entstehen negative Ionen; Im n-Leiter werden durch die Elektronenwanderung Fehlstellen von den Elektronen zurückgelassen, wodurch

sich dort positive Ionen bilden. Die Diffusion findet so lange statt, bis die Ladung bzw. das elektrische Feld der gebildeten Ionen einem weiteren Elektronenübergang vollständig entgegenwirkt. Die verbleibende Übergangszone, die den Ladungstransfer verhindert wird folglich *Raumladungszone* genannt.



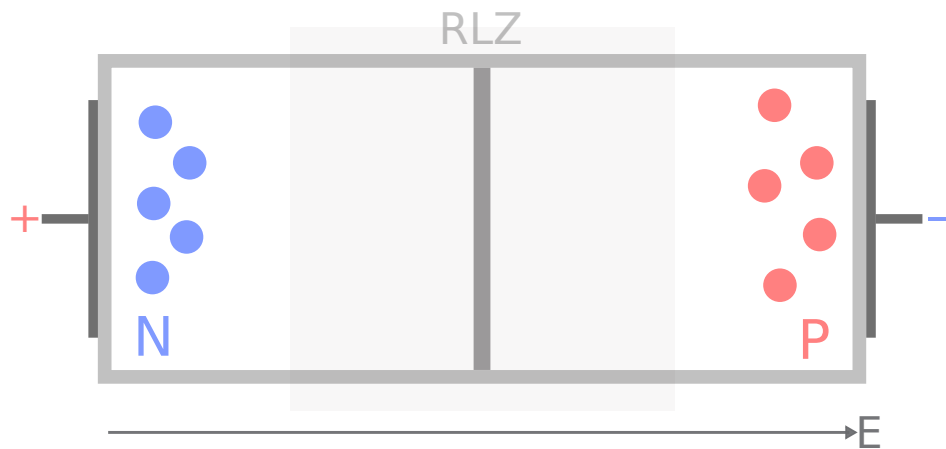
## 1.2 Aufbau und Wirkungsweise einer Diode



Die elektrischen Eigenschaften des pn-Übergangs können technisch ausgenutzt werden, um eine *Diode* zu realisieren. Der Stromfluss durch den pn-Übergang ist von der Polarität der über ihn angelegten Spannung abhängig. Man definiert daher die Orientierung der Diode in *Sperr-* und *Durchlassrichtung*.

Will man einen Strom durch die Diode treiben, so müssen die Elektronen des n-Gebiets bzw. die Fehlstellen des p-Gebiets die Raumladungszone überqueren können. Legt man eine negative Spannung über den pn-Übergang/die Diode, das heißt positives Potential an den n- und negatives an den p-Leiter, wirkt die Influenz des äußeren elektrischen Feldes

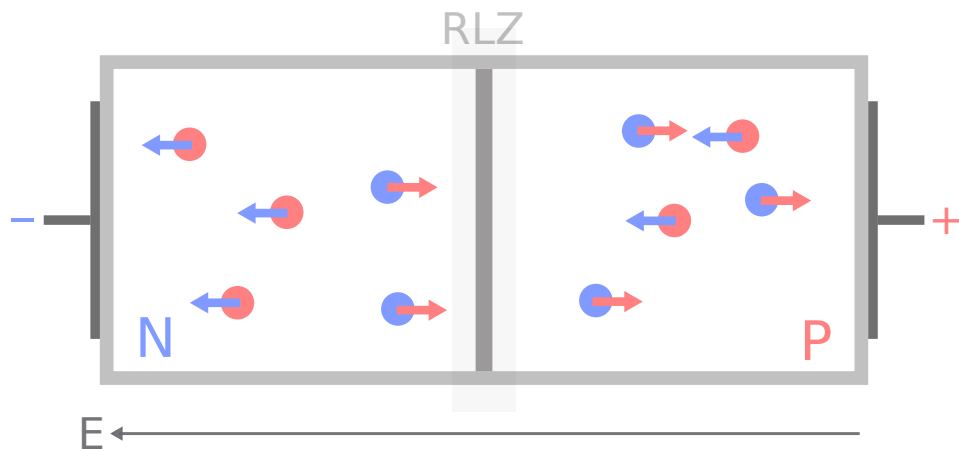
so, dass sich die Majoritätsladungsträger des jeweiligen Gebiets (Elektronen im n- und 'Fehlstellen' im p-Gebiet) von der Raumladungszone entfernen und diese somit vergrößern<sup>1</sup>. Die Diode nimmt einen statischen Zustand (bezüglich der Majoritätsladungsträger) ein und wirkt somit elektrisch isolierend/sperrend. Reale Dioden besitzen allerdings eine maximale Sperrspannung, ab welcher sie durchbrechen und ihre Sperrfähigkeit verlieren.



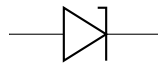
Legt man eine (ausreichend) positive Spannung über die Diode, also positives Potential an den p- und negatives an den n-Leiter, bewegen sich die Majoritätsladungsträger des jeweiligen Bereichs in Richtung der Raumladungszone und verkleinern diese dadurch. In dieser Richtung wirkt die Diode elektrisch leitfähig.

---

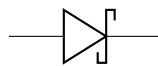
<sup>1</sup>Fehlstellen bewegen sich nicht tatsächlich, sondern nur modellhaft. Sie stellen die positiv geladenen, *ortsfesten* Atomrümpfe dar, die u.a. durch die Elektronenbewegung hinterlassen werden.



### 1.3 Z- und Schottky-Dioden

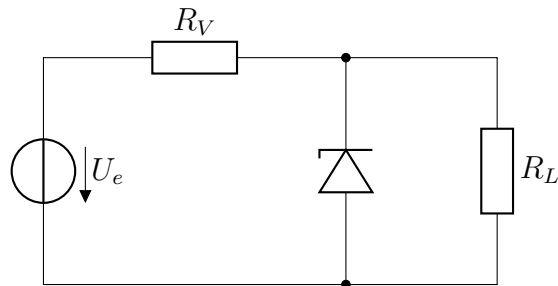


Die Z-Diode ist eine besondere Diodenbauform, die kontrolliert im Durchbruchbereich arbeiten kann. In Sperrrichtung betrieben arbeitet sie bis zu einer bestimmten *Z-Spannung*, ab welcher sie durchbricht und ihre Leitfähigkeit exponentiell steigt. Im Durchlassbereich verhält sich die Z-Diode dagegen wie eine normale Diode. Z-Dioden eignen sich zur Realisierung von Spannungsstabilisierungsschaltungen (1.4).



Schottky-Dioden haben keinen üblichen Halbleiter-Halbleiter-, sondern einen Metall-Halbleiter-Übergang. Charakteristisch sind niedrige Durchlassspannungen im Bereich von 150 – 450mV.

## 1.4 Spannungsstabilisierungsschaltung



Die Spannungsstabilisierungsschaltung dient dazu, eine konstante Ausgangsspannung über einer Last auch bei schwankender Eingangsspannung ( $\geq U_Z$ ) zu gewährleisten. Geht man davon aus, dass die Spannung über der Z-Diode nach Erreichen der Z-Spannung mit steigendem Strom konstant bleibt, so hält die Diode auch durch ihre Parallelschaltung mit der Last die Spannung über diese konstant, indem sie den Laststrom konstant hält. Mit steigender Eingangsspannung/steigendem Eingangsstrom steigt daher der Strom durch die Z-Diode, während der Strom durch die Last unverändert bleibt.

Bei Einsatz der Schaltung müssen Vor- und Lastwiderstand so dimensioniert werden, dass der minimale Strom, den die Z-Diode benötigt, um ihre Regulationsfunktion zu bieten, und der maximale Strom, der aufgrund von Wärmeentwicklung nicht überschritten werden darf, eingehalten werden.

Über Messung der Ausgangsspannung und Bezug dieser auf die Eingangsspannung kann die Schaltung getestet werden.

Die Spannungsstabilisierungsschaltung ist allerdings gerade bei hohen Strömen nicht besonders effizient, da jede in der Last unerwünschte Leistung in der Z-Diode bzw. dem Vorwiderstand in Wärme umgesetzt wird.

## 1.5 Dimensionierung des Vorwiderstands

$$U_{e_{\min}} = 8.5 \text{ V}$$

$$U_{e_{\max}} = 12.0 \text{ V}$$

$$I_{L_{\min}} = 50 \text{ mA}$$

$$I_{L_{\max}} = 130 \text{ mA}$$

$$U_Z = 5.6 \text{ V}$$

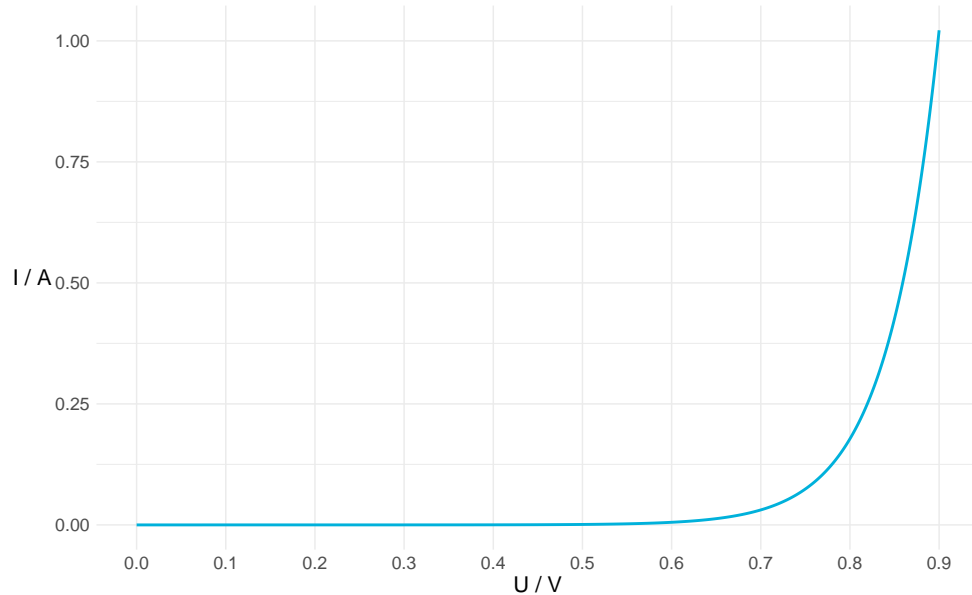
$$I_{Z_{\min}}/I_{Z_{\max}} = 20 \text{ mA}/300 \text{ mA}$$

$$R_{V_{\max}} = \frac{U_{e_{\min}} - U_Z}{I_{Z_{\min}} + I_{L_{\max}}} = \frac{8.5\text{V} - 5.6\text{V}}{20\text{mA} + 130\text{mA}} = 19.33 \text{ } \Omega$$

$$R_{V_{\min}} = \frac{U_{e_{\max}} - U_Z}{I_{Z_{\max}} + I_{L_{\min}}} = \frac{12\text{V} - 5.6\text{V}}{300\text{mA} + 50\text{mA}} = 18.29 \text{ } \Omega$$

→ z.B. ein 18.7  $\Omega$  Widerstand aus der E48-Reihe.

## 1.6 Diodenkennlinie



$$I(U) = I_s \cdot \left( e^{\frac{U}{m \cdot U_T}} - 1 \right)$$

## 1.7 Diodengrenzwerte

Der Strom, der durch die Diode fließt und die Spannung, die über der Diode anliegt ergeben im Produkt die Leistung, die die Diode in (z.B.) Wärme umsetzt. Überschreitet die Leistung einen Grenzwert, kann es zur Überhitzung und u.U. Zerstörung der Diode kommen. Grafisch kann man dies durch den Schnittpunkt der Diodenkennlinie mit einer *Verlustleistungshyperbel* darstellen, welche alle Wertepaare von Strom und Spannung abbildet, die die maximale Verlustleistung der Diode bilden.

Wie in 1.2 bereits erwähnt, sperren Dioden nicht bis zu beliebigen Spannungen sondern brechen bei einer maximalen Sperrspannung durch, wodurch weiteres Sperren verhindert wird.





BAUELEMENTE UND SCHALTUNGEN

# Dioden-Kennlinien

Versuchsaufgaben

*Autoren:* Richard GRÜNERT  
Tim KÄBELMANN  
Pascal HAMADIA

10.11.2019

# 1 Versuchsaufgaben

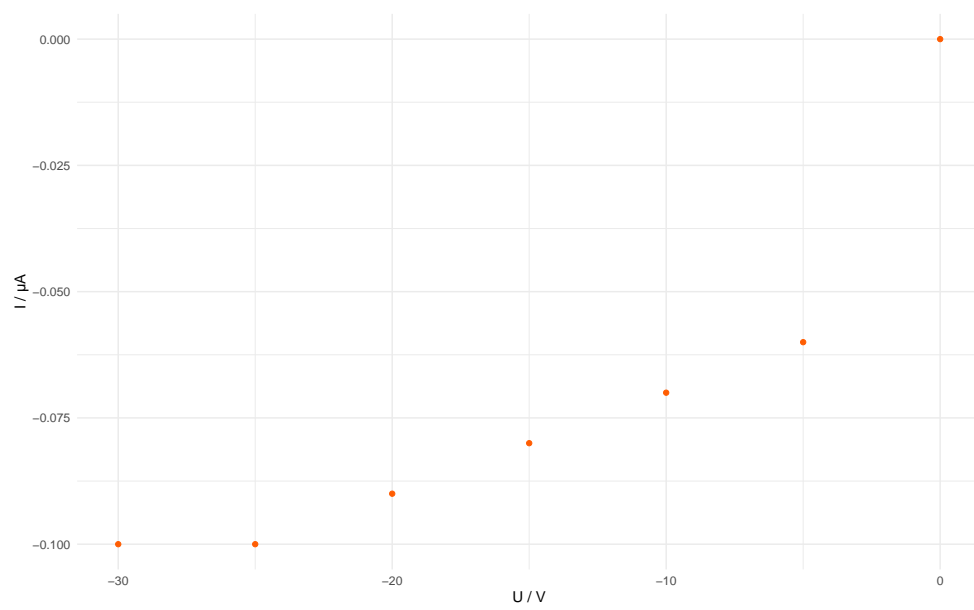
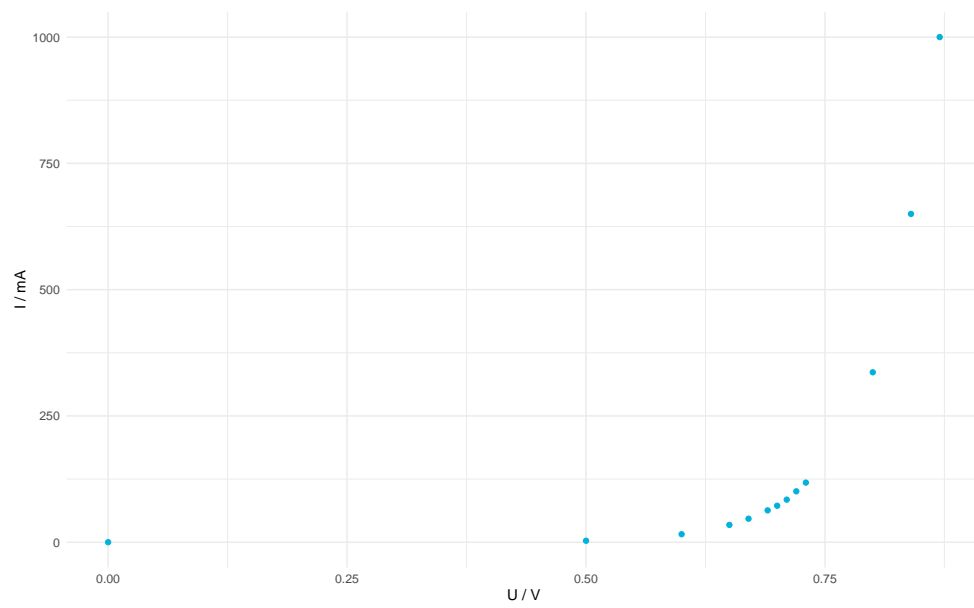
## 1.1 Diodenkennlinie BY500

$U/V$	$I/\text{mA}$
0	0
0.5	2.9
0.6	15.8
0.65	34.3
0.67	46.6
0.69	63
0.7	72.2
0.71	84.3
0.72	100.7
0.73	118
0.8	336.4
0.84	650
0.87	1000

Tabelle 1: Messwerte der Aufgabe 3.1, Diode in Durchlassrichtung

$U/V$	$I/\mu\text{A}$
-0	-0
-5	-0.06
-10	-0.07
-15	-0.08
-20	-0.09
-25	-0.1
-30	-0.1

Tabelle 2: Messwerte der Aufgabe 3.1, Diode in Sperrrichtung



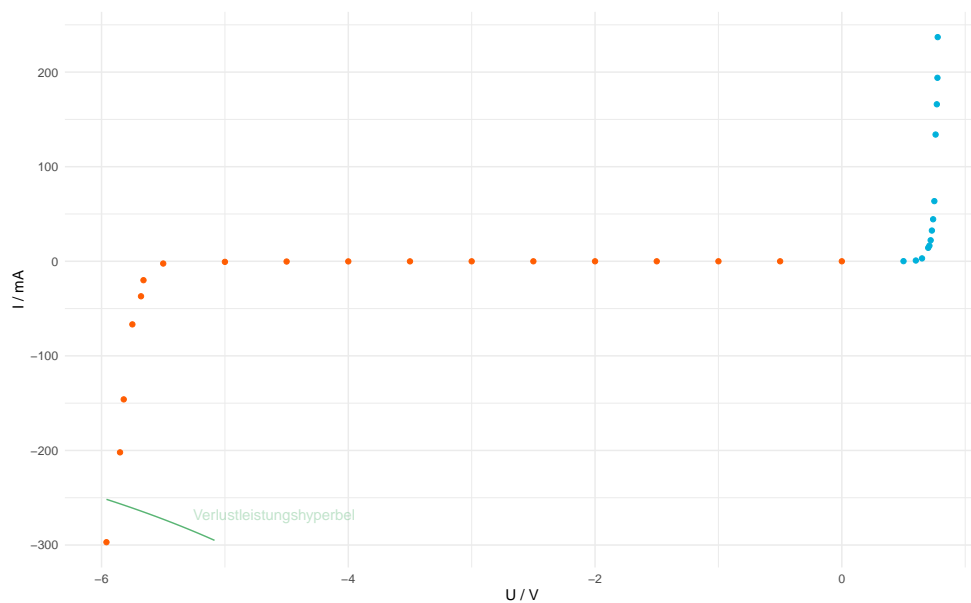
## 1.2 Diodenkennlinie ZY5,6

$U/V$	$I/\text{mA}$
0.5	0.13
0.6	0.819
0.65	3.06
0.7	14.23
0.71	16.5
0.72	22.22
0.73	32.5
0.74	44.43
0.75	63.6
0.76	134
0.77	166
0.775	194
0.777	237

Tabelle 3: Messwerte der Aufgabe 3.2, Z-Diode in Durchlassrichtung

$U/V$	$I/\text{mA}$
0	0
-0.5	-0.0002
-1	-0.00096
-1.5	-0.0032
-2	-0.008
-2.5	-0.0178
-3	-0.0352
-3.5	-0.07
-4	-0.124
-4.5	-0.252
-5	-0.61
-5.5	-2.365
-5.66	-20
-5.68	-37
-5.75	-66.7
-5.82	-146
-5.85	-202
-5.96	-297

Tabelle 4: Messwerte der Aufgabe 3.2, Z-Diode in Sperrrichtung



Aus den Messwerten lassen sich die charakteristischen Eigenschaften einer Z-Diode gut erkennen.

### 1.3 Z-Spannung und differentieller Widerstand

Zur Ermittlung des differentiellen Widerstands  $r_z$  wurden die letzten beiden Wertepaare der Messreihe verwendet, da diese die Linearisierung (theoretisch) am besten abbilden.

$$r_z = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

$$U_2 = -5.96 \text{ V}$$

$$I_2 = -297 \text{ mA}$$

$$U_1 = -5.85 \text{ V}$$

$$I_1 = -202 \text{ mA}$$

$$r_z = \frac{U_2 - U_1}{I_2 - I_1} = \frac{-5.96 - (-5.85) \text{ V}}{-0.297 - (-0.202) \text{ A}} = 1.158 \text{ } \Omega$$

Mit dem differentiellen Widerstand konnte dann die Z-Spannung  $U_z$  über die Geradengleichung

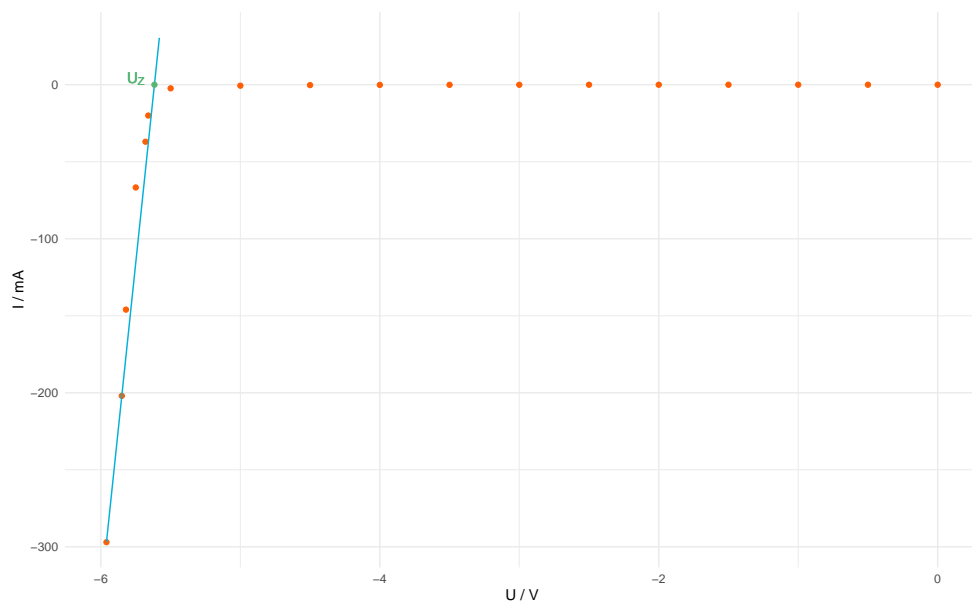
$$U(I) = I \cdot r_z + U_z$$

bestimmt werden.

Nach Einsetzen eines der Wertepaare erhält man:

$$U_z = U(I) - I \cdot r_z = -5.96 \text{ V} - (-0.297 \text{ A} \cdot 1.158 \Omega) = -5.616 \text{ V}$$

Dieser Wert passt zu der im Datenblatt der Diode angegebenen Z-Spannung von  $U_{Z_{DB}} = 5.6 \text{ V}$ .



#### 1.4 Spannungsstabilisierung bei veränderlicher Eingangsspannung

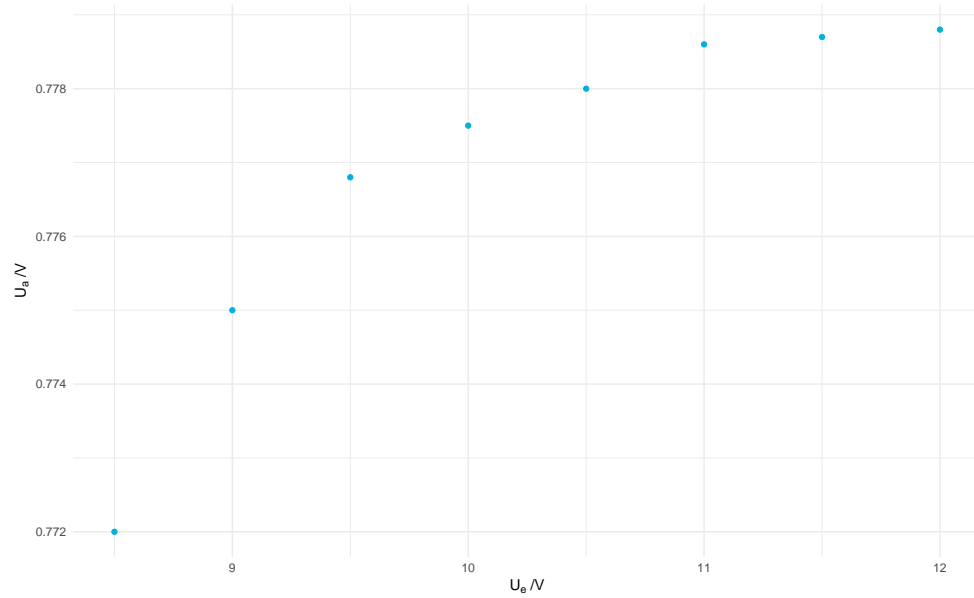
$U_e/\text{V}$	$U_a/\text{V}$
8.5	0.772
9	0.775
9.5	0.7768
10	0.7775
10.5	0.778
11	0.7786
11.5	0.7787
12	0.7788

Tabelle 5: Messwerte der Aufgabe 3.5

$$\Delta U_a = U_{a_{\max}} - U_{a_{\min}} = (0.7788 - 0.772)\text{V} = 0.0068 \text{ V}$$

$$\Delta U_e = U_{e_{\max}} - U_{e_{\min}} = (12 - 8.5)\text{V} = 3.5 \text{ V}$$

$$S = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} = 0.001943 = 0.1943 \text{ \%}$$



## 1.5 Spannungsstabilisierung bei veränderlichem Laststrom

$R_L/\Omega$	$U_a/V$	$I_L/A$
40	5.79	0.145
60	5.82	0.097
80	5.84	0.073
100	5.86	0.059
120	5.87	0.049

Tabelle 6: Messwerte der Aufgabe 3.6



Im Versuch wurde der Lastwiderstand durch eine Widerstandsdekade eingestellt. Der Laststrom wurde dann durch

$$I_L = \frac{R_L}{U_a}$$

berechnet.

$$\Delta U_a = U_{a_{max}} - U_{a_{min}} = (5.87 - 5.79)\text{V} = 0.08 \text{ V}$$

