



SIGNALE UND SYSTEME

Dioden-Kennlinien

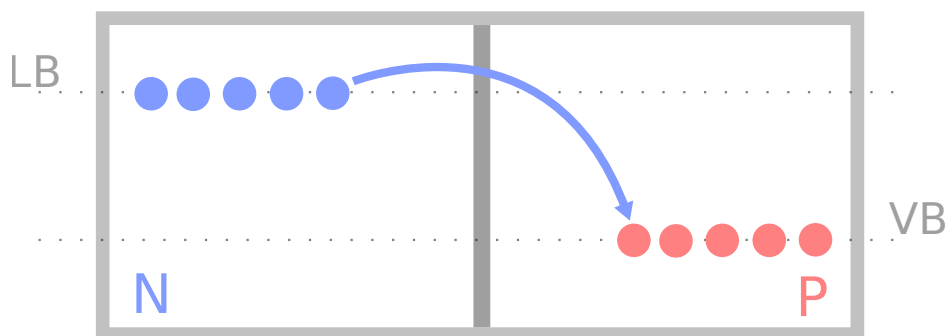
Studien- und Versuchsaufgaben

Autoren: Richard GRÜNERT
Tim KÄBELMANN
Pascal HAMADIA

7.11.2019

1 Vorbereitungsaufgaben

1.1 Aufbau und Wirkungsweise eines pn-Übergangs

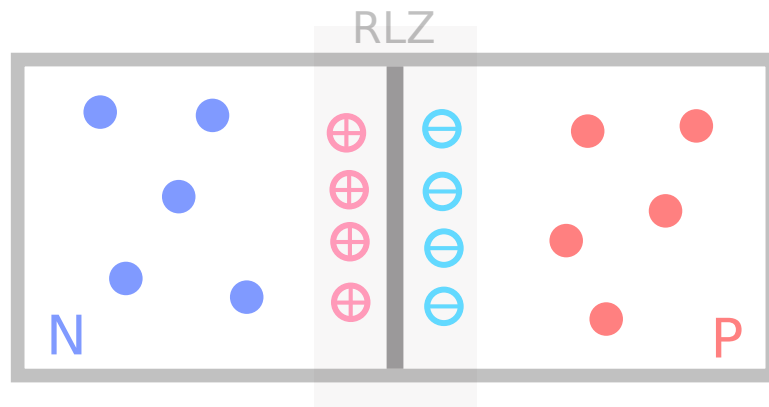


Dotiert man einen Halbleiterkristall (z.B. Si oder Ge) mit Fremdatomen, wird die elektrische Leitfähigkeit des Halbleiters beeinflusst.

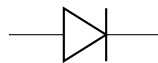
- Bei Dotierung mit 5-(oder höher-)wertigen Atomen (z.B. P oder As) geraten zusätzliche Elektronen in das Leitungsband des Halbleiterkristalls; es wird *n-Leitung* provoziert
- Bei Dotierung mit 3-(oder geringer-)wertigen Atomen (z.B. B oder Ga) entstehen Elektronenfehlstellen im Valenzband des Halbleiterkristalls;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



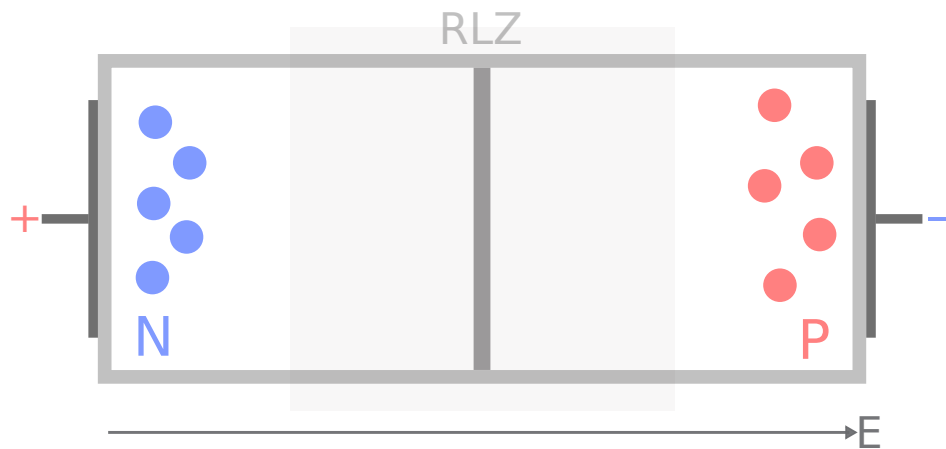
1.2 Aufbau und Wirkungsweise einer Diode



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*.

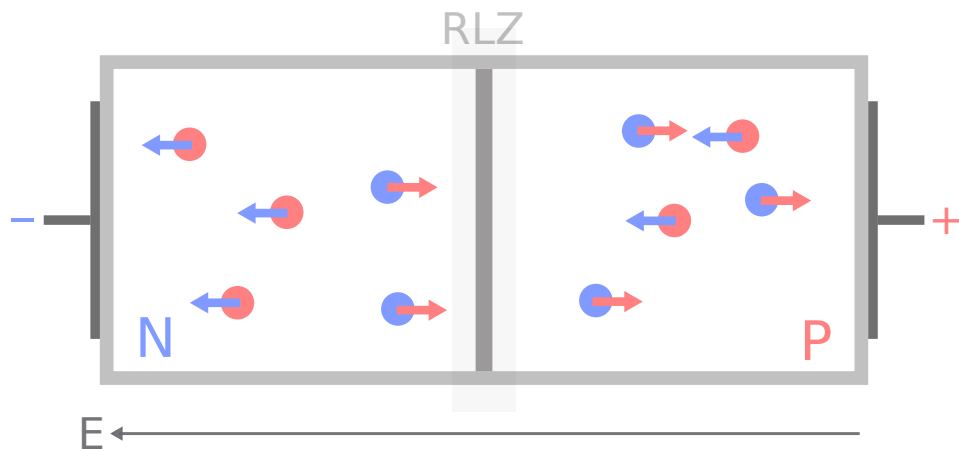
Will man einen Strom durch die Diode treiben, so müssen die Elektronen des n-Gebiets bzw. die Fehlstellen des p-Gebiets die Raumladungszone überqueren können. Legt man eine negative Spannung über den pn-Übergang/die Diode, das heißt positives Potential an den n- und negatives an den p-Leiter, wirkt die 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 vergrößern¹. 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.

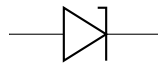


Legt man eine (ausreichend) positive Spannung über die Diode, also positives Potential an den p- und negatives an den n-Leiter, bewegen sich die Majoritätsladungsträger des jeweiligen Bereichs in Richtung der Raumladungszone und verkleinern diese dadurch. In dieser Richtung wirkt die Diode elektrisch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

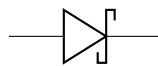
¹Fehlstellen bewegen sich nicht tatsächlich, sondern nur modellhaft. Sie stellen die positiv geladenen, *ortsfesten* Atomrümpfe dar, die u.a. durch die Elektronenbewegung hinterlassen werden.



1.3 Z- und Schottky-Dioden

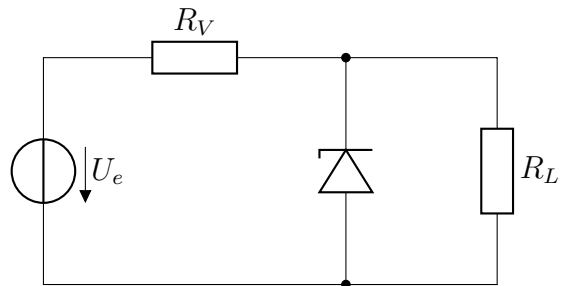


Die Z-Diode ist eine besondere Diodenbauform, die kontrolliert im Durchbruchbereich arbeiten kann. In Sperrrichtung betrieben arbeitet sie bis zu einer bestimmten *Z-Spannung*, ab welcher sie durchbricht und ihre Leitfähigkeit exponentiell steigt. Im Durchlassbereich verhält sich die Z-Diode dagegen 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



1.5 Dimensionierung des Vorwiderstands

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

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

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

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

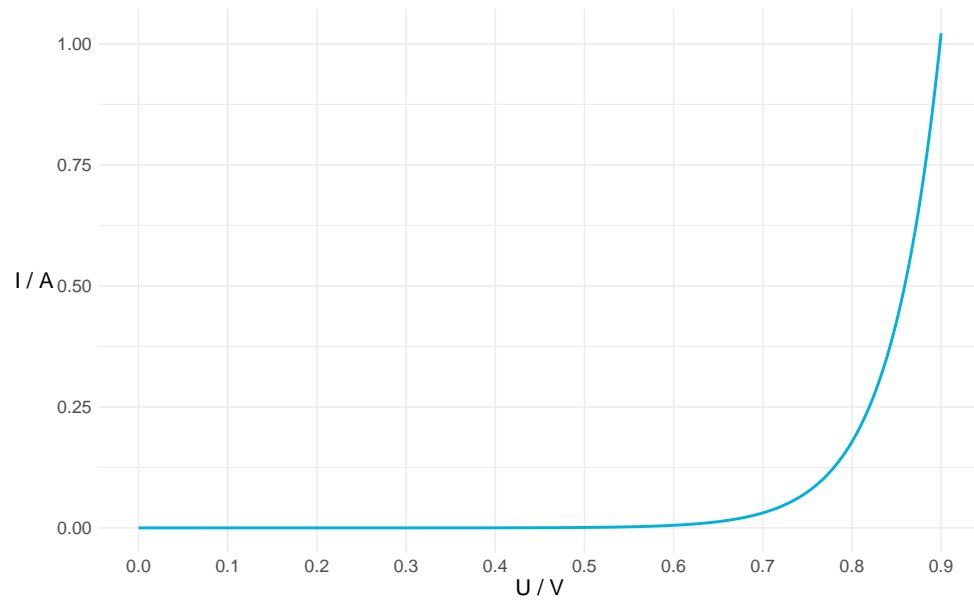
$$U_Z = 5.6 \text{ V}$$

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

$$R_{V_{\min}} =$$

$$R_{V_{\max}} =$$

1.6 Diodenkennlinie



1.7 Diodengrenzwerte

2 Versuchsaufgaben

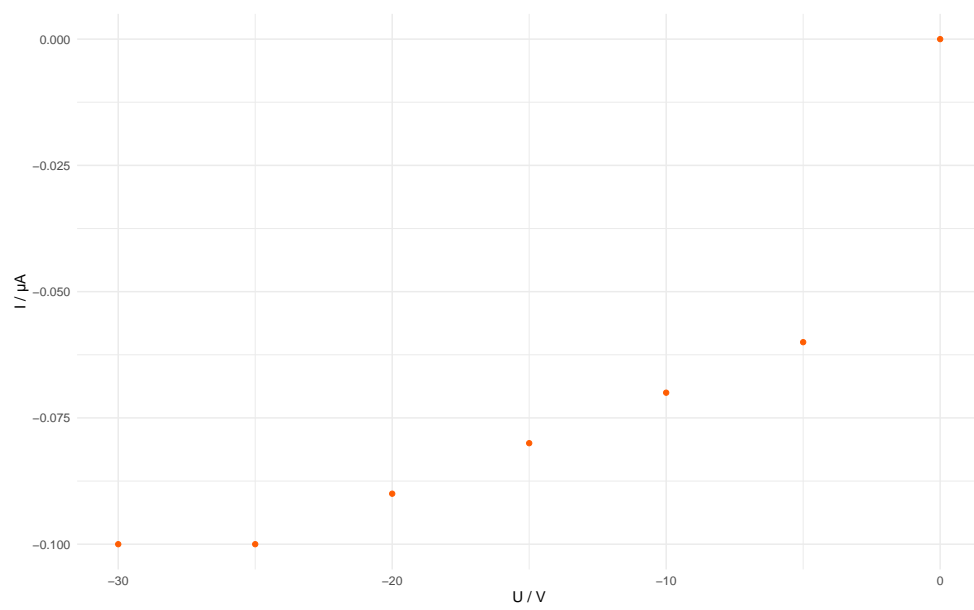
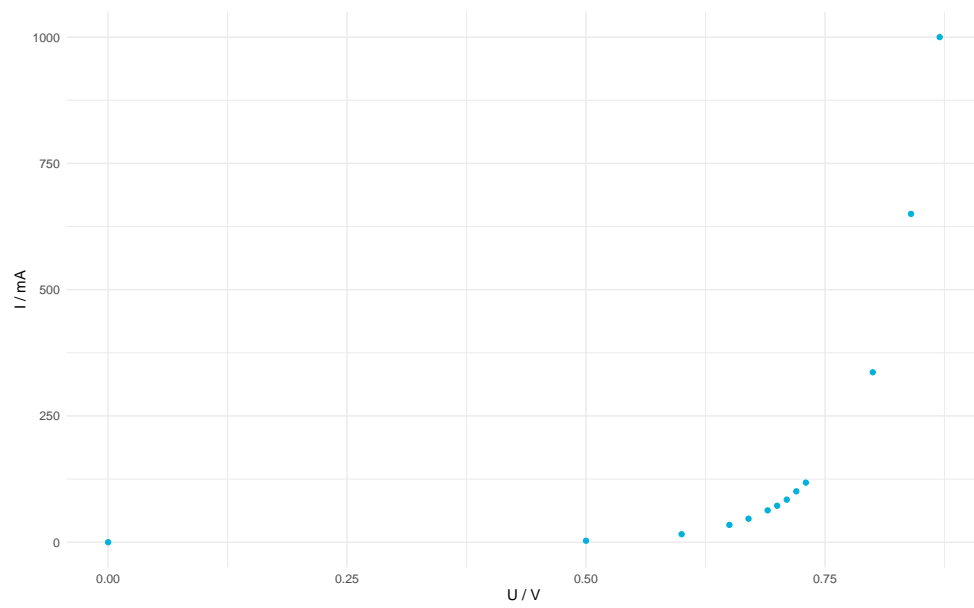
2.1 Diodenkennlinie BY500

U/V	I/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



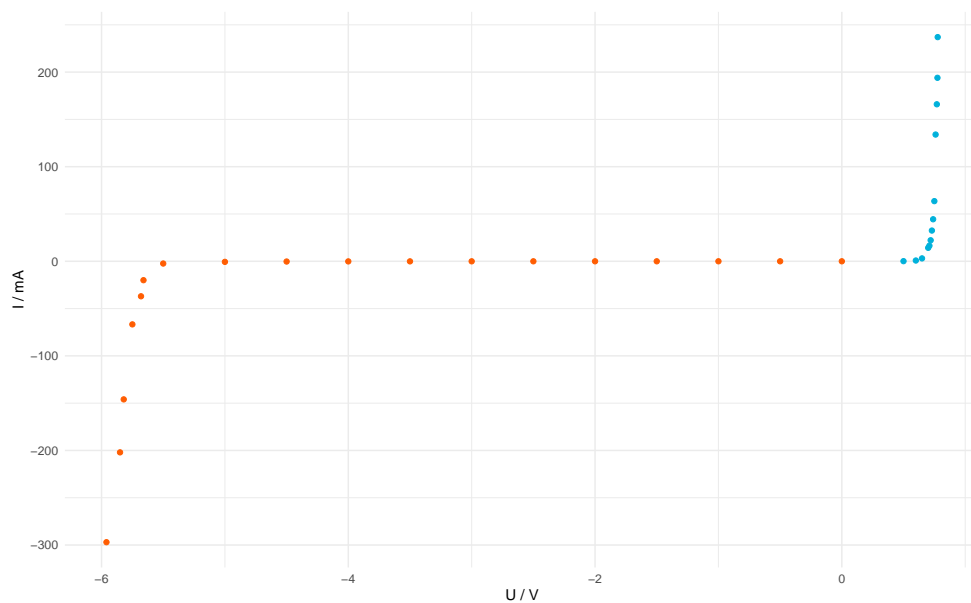
2.2 Diodenkennlinie ZY5,6

U/V	I/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/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.

2.3 Z-Spannung und differentieller Widerstand

Zur Ermittlung des differentiellen Widerstands r_z wurden die letzten beiden Wertepaare der Messreihe verwendet, da diese die Linearisierung 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

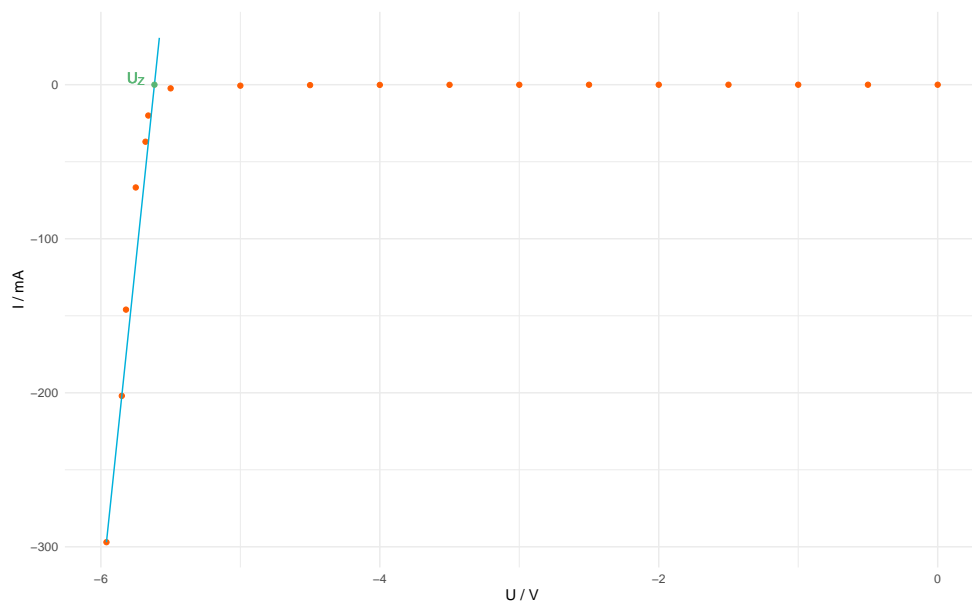
$$U(I) = I \cdot r_z + U_z$$

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 $U_{Z_{DB}} = 5.6 \text{ V}$.



2.4 Spannungsstabilisierung bei veränderlicher Eingangsspannung

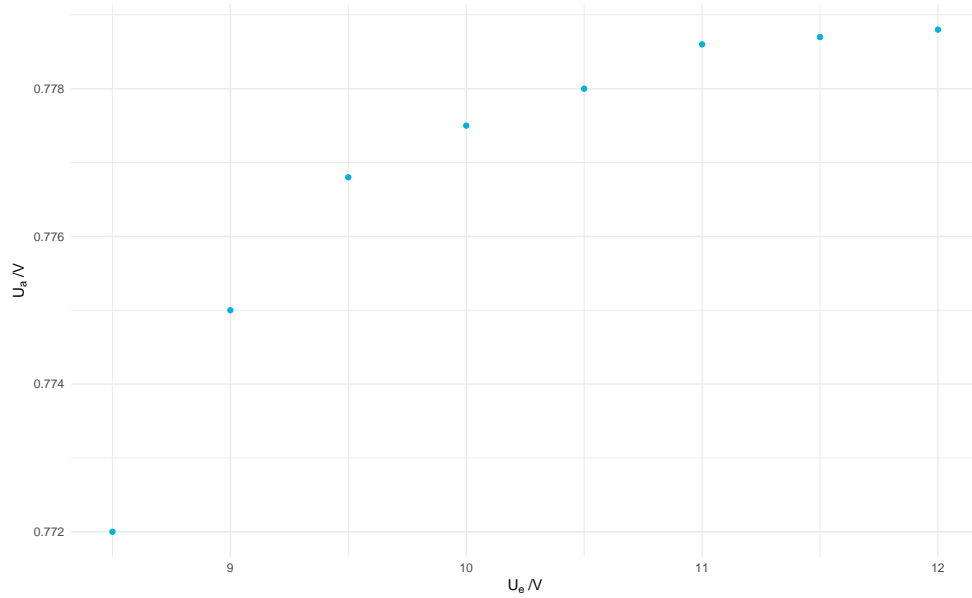
U_e / V	U_a / V
8.5	0.772
9	0.775
9.5	0.7768
10	0.7775
10.5	0.778
11	0.7786
11.5	0.7787
12	0.7788

Tabelle 5: Messwerte der Aufgabe 3.5

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

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

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



2.5 Spannungsstabilisierung bei veränderlichem Laststrom

R_L/Ω	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.

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

