

Praktikumsbericht Elektrotechnik 2.Semester

Versuch 1, Nichtlineare passive Zweipole

12. Oktober 2000

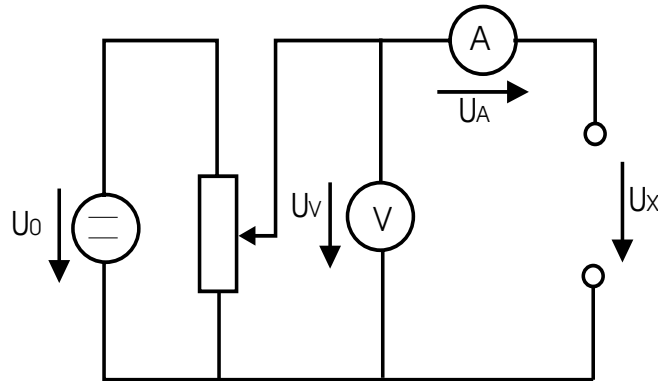
Niels-Peter de Witt Matrikelnr. 2083921
Helge Janicke Matrikelnr. 2083973

Inhaltsverzeichnis

1	Messung von I-U-Kennlinien	3
1.1	Messung am Ohmschen Widerstand	3
1.1.1	Meßtabelle	3
1.2	Messung an eine Silizium-Diode	3
1.2.1	Meßtabelle	3
1.3	Messung an eine Germanium-Diode	3
1.3.1	Meßtabelle	3
1.4	Messung an eine Zener-Diode	4
1.4.1	Meßtabelle	4
1.5	Messung an eine Leucht-Diode (LED)	4
1.5.1	Meßtabelle	4
2	Aufgabe 2: Auswertung der Meßergebnisse	5
2.1	Darstellung der Kennlinien von 1.1 bis 1.5 im linearen Maßstab	5
2.1.1	Ohmscher Widerstand	5
2.1.2	Silizium-Diode	5
2.1.3	Germanium-Diode Durchlaßrichtung	5
2.1.4	Germanium-Diode Sperrichtung	6
2.1.5	Zener-Diode Durchlaßrichtung	6
2.1.6	Zener-Diode Sperrichtung	6
2.1.7	Leuchtdiode	7
2.2	Darstellung der der Kennlinien nach 1.2 und 1.3 im halblogarithmischen Maßstab	7
2.2.1	Silizium-Diode	7
2.2.2	Germanium-Diode	7
2.3	Berechnung der Kennlinie der Silizium-Diode	8
2.3.1	Herleitung der Berechnungsformel	8
2.3.2	Tabelle der errechneten Werte	9
2.3.3	Graphischer Vergleich zwischen Messung und theoretisch zu erwartenden Werten	9
3	Aufgabe 3: Darstellung der I-U-Kennlinien auf dem Oszilloskop	10
3.1	Versuchsaufbau	10
3.2	Ohmscher Widerstand	10
3.3	Silizium-Diode	10
3.4	Germanium-Diode	11
3.5	Zener-Diode	11
3.6	Leuchtdiode	11
4	Aufgabe 4: Temperaturabhängiger Widerstand (NTC)	12
4.1	Versuchsaufbau	12
4.2	Temperatur-Stromkennlinie	12
4.3	Kann eine Diode als Ersatz für einen NTC-Widerstand verwendet werden?	13
4.4	Strom-Temperaturkennlinie	13
4.5	Widerstands-Temperaturkennlinie	13
4.6	Berechnung der Widerstandskennlinie	13
4.7	Graphischer Vergleich zwischen Messung und theoretisch zu erwartenden Werten	14

1 Aufgabe 1: Versuchdurchführung und Auswertung

Spannungsfehlerschaltung zur Messung von Strom-Spannungskennlinien



1.1 Messung am Ohmschen Widerstand

1.1.1 Meßtabelle

U in V	-2.0	-1.5	-1.0	-0.5	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0
I in mA	-1.50	-1.10	-0.76	-0.39	0.00	0.40	0.77	1.20	1.60
R_A in Ω	15	15	150	150	150	150	150	15	15
U_R in V	-1.98	-1.48	0.89	0.44	0.00	0.44	0.88	1.48	1.98

1.2 Messung an eine Silizium-Diode

1.2.1 Meßtabelle

U in V	-5.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.450	0.500	0.550	0.600	0.650
R_A in Ω	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
I in mA	-0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.050	0.125	0.228	0.540	0.519
U_{Si-Di}	-5.000	0.000	0.100	0.200	0.300	0.398	0.443	0.481	0.508	0.519	0.870
U in V	0.570	0.610	0.665	0.710	0.725	0.750	0.665	0.693	0.750	0.800	0.850
R_A in Ω	15	15	15	15	15	15	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
I in mA	1.200	1.900	3.600	5.600	6.200	7.700	10.00	15.00	30.00	52.00	82.00
U_{Si-Di}	0.550	0.580	0.611	0.625	0.632	0.635	0.650	0.670	0.705	0.722	0.727

1.3 Messung an eine Germanium-Diode

1.3.1 Meßtabelle

U in V	-10.00	-9.00	-8.00	-7.00	-6.00	-5.00	-4.00	-3.00	-2.00	-1.00	0.00
R_A in Ω	digitales Amperemeter R_A nicht bekannt.										
I in μA	-10.4	-8.7	-7.2	-5.8	-4.7	-3.7	-2.9	-2.3	-1.7	-1.2	0.00
U_{Ge-Di}											
U in V	0.000	0.100	0.150	0.248	0.250	0.275	0.300	0.325	0.350	0.375	0.400
R_A in Ω	1500	1500	1500	1500	150	150	150	150	150	150	150
I in mA	0.000	0.010	0.030	0.057	0.290	0.360	0.460	0.520	0.620	0.720	0.800
U_{Ge-Di}	0.000	0.085	0.105	0.162	0.207	0.221	0.231	0.247	0.257	0.267	0.280
U in V	0.450	0.500	0.550	0.600	0.650	0.700	0.750	0.800	0.850	0.900	0.950
R_A in Ω	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
I in mA	1.800	2.20	2.70	3.10	3.60	4.10	4.60	5.20	5.70	6.20	6.80
U_{Ge-Di}	0.423	0.467	0.510	0.554	0.596	0.639	0.681	0.722	0.765	0.807	0.848
U in V	1.000	1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600	1.700	1.800	1.900	2.000
R_A in Ω	15	15	15	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
I in mA	7.10	8.40	9.70	10.30	14.00	15.00	17.00	19.00	20.00	22.00	24.00
U_{Ge-Di}	0.894	0.974	1.055	1.285	1.379	1.467	1.575	1.672	1.770	1.867	1.964

1.4 Messung an eine Zener-Diode

1.4.1 Meßtabelle

U in V	0.00	-2.00	-2.50	-3.00	-3.50	-4.00	-4.50	-5.00	-5.50	-6.00	-6.10
R_A in Ω	digitales Amperemeter R_A nicht bekannt.										
I in mA	0.000	-0.000	-0.003	-0.010	-0.021	-0.042	-0.073	-0.112	-0.160	-0.224	-0.300
U_{Z-Di}											
U in V	-6.25	-6.40	-6.50	-6.52	-6.55	-6.58	-6.60	-6.70			
R_A in Ω	digitales Amperemeter R_A nicht bekannt.										
I in mA	-0.500	-0.700	-1.085	-3.000	-5.000	-8.000	-13.50	-18.80			
U_{Z-Di}											
U in V	0.000	0.400	0.500	0.600	0.585	0.560	0.610				
R_A in Ω	15000	15000	15000	15000	1500	150	150				
I in mA	0.000	0.000	0.001	0.007	0.050	0.200	0.300				
U_{Z-Di}	0.000	0.400	0.481	0.501	0.510	0.530	0.565				
U in V	0.650	0.675	0.760	0.800	0.725	0.750	0.800				
R_A in Ω	150	150	150	150	15	15	15				
I in mA	0.520	0.590	0.860	1.000	3.000	4.000	6.200				
U_{Z-Di}	0.572	0.587	0.638	0.650	0.680	0.690	0.707				

1.5 Messung an eine Leucht-Diode (LED)

1.5.1 Meßtabelle

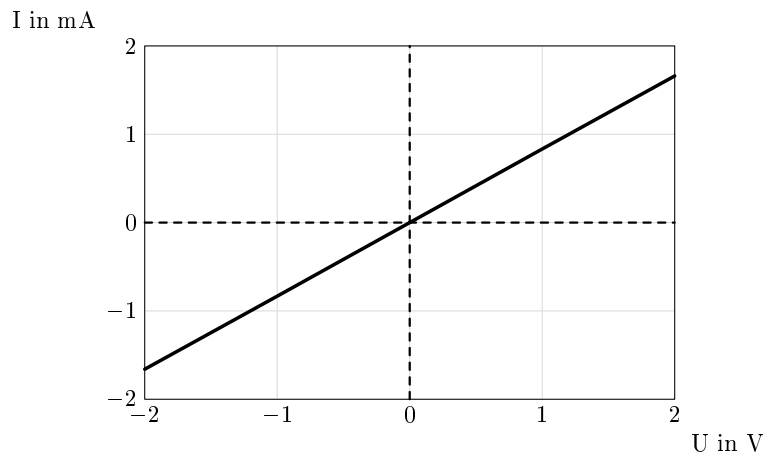
U in V	0.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.55
R_A in Ω	15000	15000	15000	15000	15000	1500	1500
I in mA	0.000	0.000	0.000	0.002	0.006	0.060	0.090
U_{LED}	0.000	1.100	1.200	1.276	1.310	1.410	1.415
U in V	1.60	1.65	1.57	1.73	1.80	1.90	2.00
R_A in Ω	150	150	15	15	15	1.5	1.5
I in mA	0.570	0.860	1.300	4.200	7.000	18.00	21.00
U_{LED}	1.515	1.521	1.550	1.667	1.695	1.873	1.969

Bei der Meßanordnung in Sperrrichtung war kein Strom meßbar.

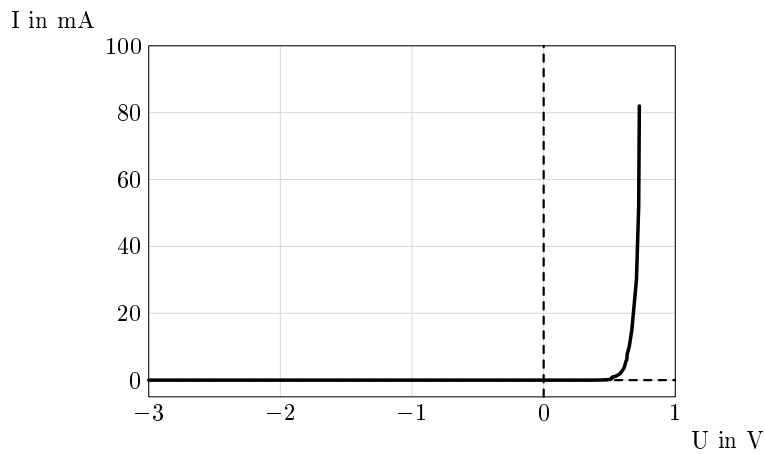
2 Aufgabe 2: Auswertung der Meßergebnisse

2.1 Darstellung der Kennlinien von 1.1 bis 1.5 im linearen Maßstab

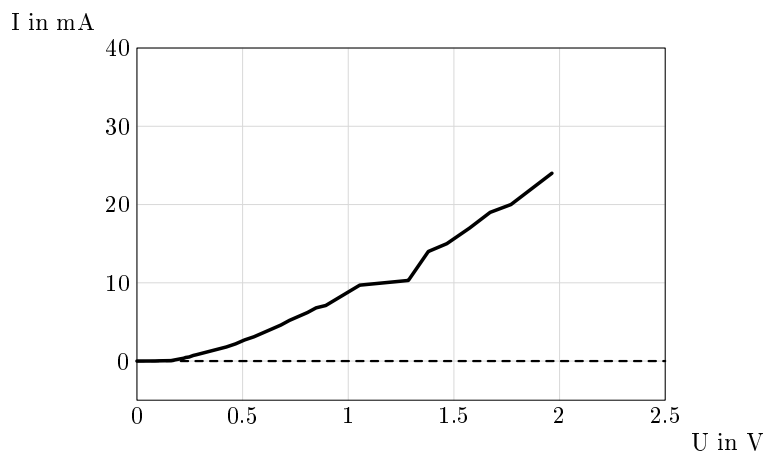
2.1.1 Ohmscher Widerstand



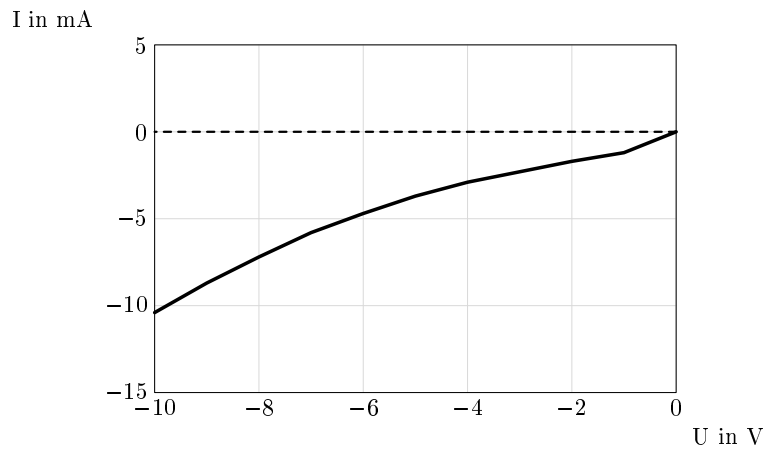
2.1.2 Silizium-Diode



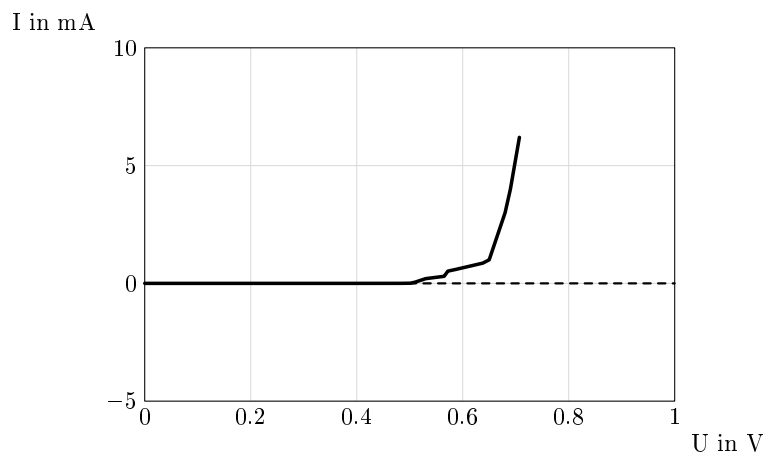
2.1.3 Germanium-Diode Durchlaßrichtung



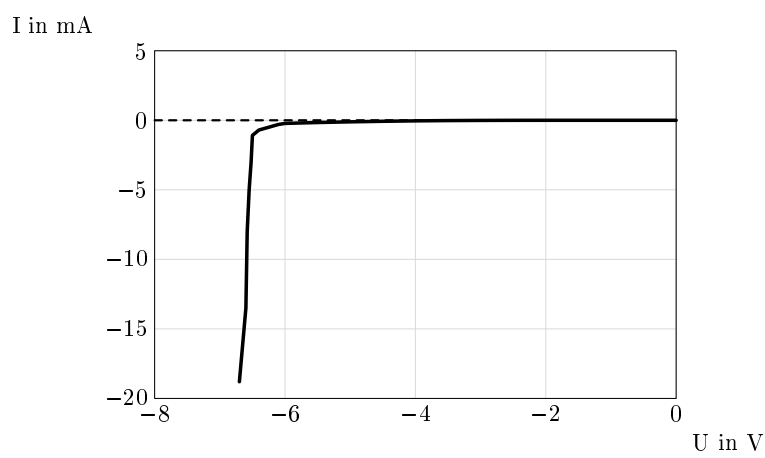
2.1.4 Germanium-Diode Sperrichtung



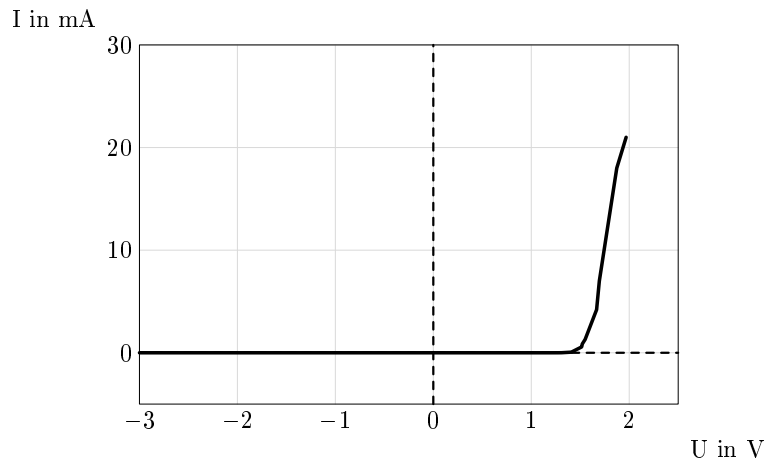
2.1.5 Zener-Diode Durchlaßrichtung



2.1.6 Zener-Diode Sperrichtung

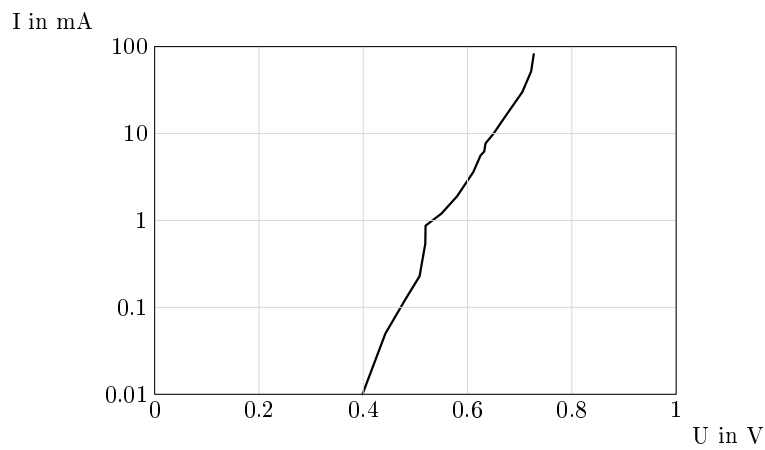


2.1.7 Leuchtdiode

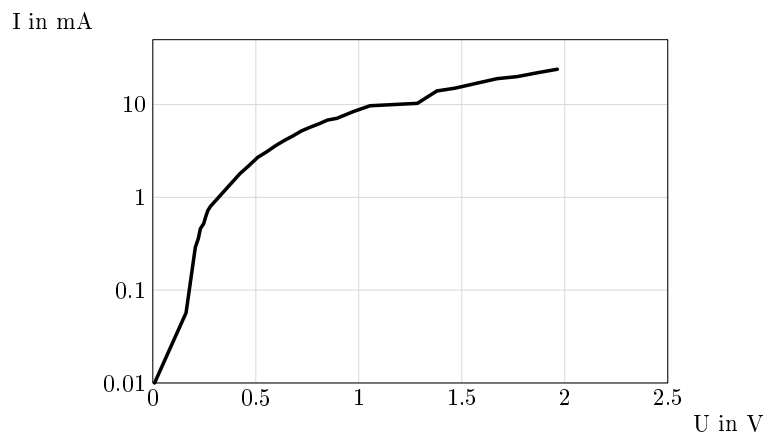


2.2 Darstellung der Kennlinien nach 1.2 und 1.3 im halblogarithmischen Maßstab

2.2.1 Silizium-Diode



2.2.2 Germanium-Diode



2.3 Berechnung der Kennlinie der Silizium-Diode

2.3.1 Herleitung der Berechnungsformel

$$I = I_S * \left(e^{\frac{U}{mU_T}} - 1 \right)$$

$$U_T = \frac{kT}{e}$$

$$I_S = \frac{I}{e^{\frac{U}{mU_T}} - 1}$$

Für Spannungen $U \geq 0.35V$ kann die -1 vernachlässigt werden, der Fehler liegt dann bei unter einem Promille.

Die Herleitung dazu:

$$T \approx 300K$$

$$U_T = \frac{kT}{e}$$

$$\approx \frac{1.38 * 10^{-23} \frac{Ws}{K} * 300K}{1.6 * 10^{-19} As}$$

$$\approx 25.875mV$$

$$e^7 > 1000$$

$$\Rightarrow \frac{U}{mU_T} \geq 7$$

$$\Leftrightarrow U \geq 7 * U_T * m$$

$$m \in [1; 2]$$

$$\Rightarrow U \geq 0.35V$$

Die Annahme, daß $U \geq 0.35V$ ist kann man treffen, da sich aus den Meßergebnissen ergibt, daß eine betragsmäßig kleinere Spannung keinen Strom zur Folge hat.

Unter dieser Annahme darf man I_S auch wie folgt schreiben: $I_S = \frac{I}{e^{\frac{U}{mU_T}}}$

$$\frac{I_1}{e^{\frac{U_1}{mU_T}}} = \frac{I_2}{e^{\frac{U_2}{mU_T}}}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{\frac{U_2}{mU_T}}}{e^{\frac{U_1}{mU_T}}}$$

$$= e^{\frac{U_2}{mU_T} - \frac{U_1}{mU_T}}$$

$$\ln \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2 - U_1}{mU_T}$$

$$m = \frac{U_2 - U_1}{U_T * \ln \frac{I_1}{I_2}}$$

Mit eingesetzten Werten $U_1 = 0.611V$, $I_1 = 3.6mA$, $U_2 = 0.67V$, $I_2 = 15mA$. ergibt sich:

$$m = \frac{0.67V - 0.611V}{25.3mV * \ln \frac{3.6mA}{15mA}}$$

$$m = 1.6341$$

Für I_S ergibt sich dann mit Einsetzen von I_1, U_1 :

$$I_S = \frac{3.6 \text{ mA}}{e^{\frac{0.611 \text{ V}}{1.6341 \cdot 25.3 \text{ mV}}} - 1}$$

$$I_S = 1.373 \text{ nA}$$

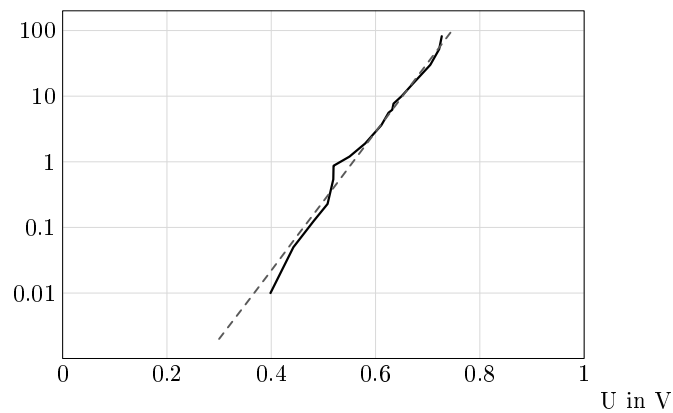
2.3.2 Tabelle der errechneten Werte

Errechnet für $m = 1.6341$ und $I_S = 1.373 \text{ nA}$

U in V	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
I in mA	0.007	0.022	0.075	0.250	0.845	2.850	9.580	32.25	108.4

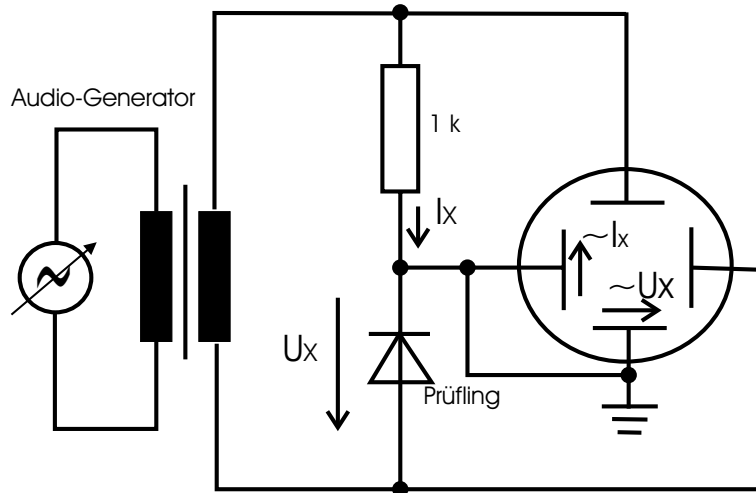
2.3.3 Graphischer Vergleich zwischen Messung und theoretisch zu erwartenden Werten

I in mA



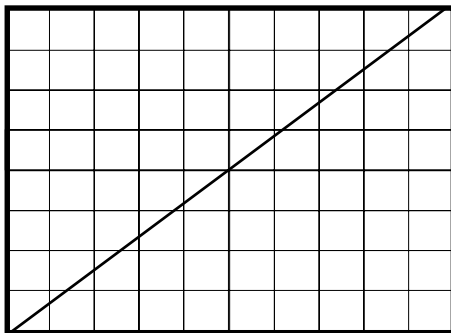
3 Aufgabe 3: Darstellung der I-U-Kennlinien auf dem Oszilloskop

3.1 Versuchsaufbau



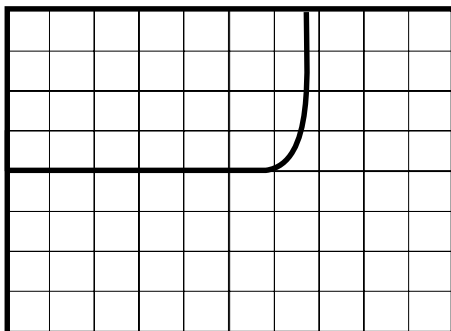
3.2 Ohmscher Widerstand

$X=1V/cm$ $Y=1V/cm$



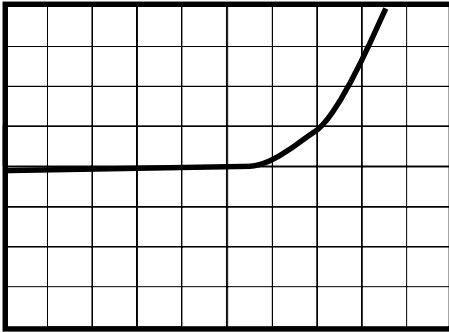
3.3 Silizium-Diode

$X=0,5V/cm$ $Y=1V/cm$



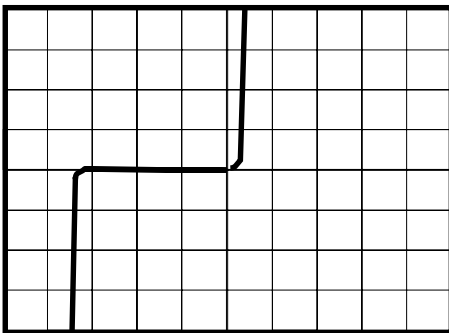
3.4 Germanium-Diode

$X=0,5V/cm$ $Y=1V/cm$



3.5 Zener-Diode

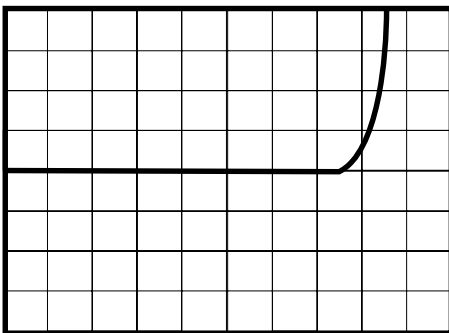
$X=2V/cm$ $Y=1V/cm$



Bei der Zener-Diode konnten wir den Durchbruch nicht mit dem Oszilloskop darstellen, laut Aufdruck sollte dieser bei 6.8 V liegen. Die obige Zeichnung wurde von uns entsprechend ergänzt.

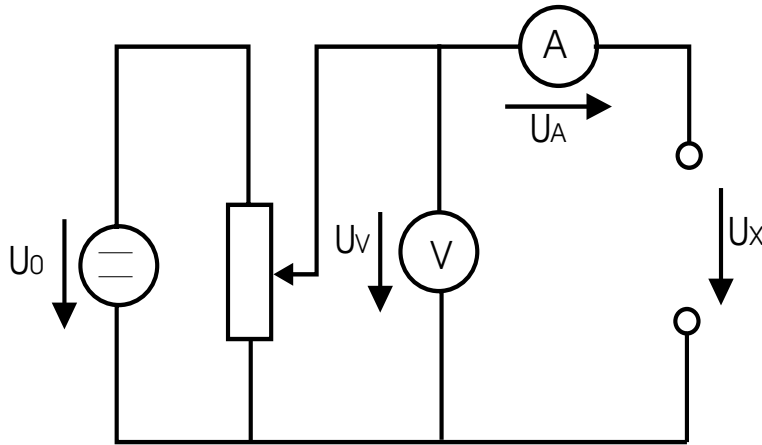
3.6 Leuchtdiode

$X=0,5V/cm$ $Y=1V/cm$



4 Aufgabe 4: Temperaturabhängiger Widerstand (NTC)

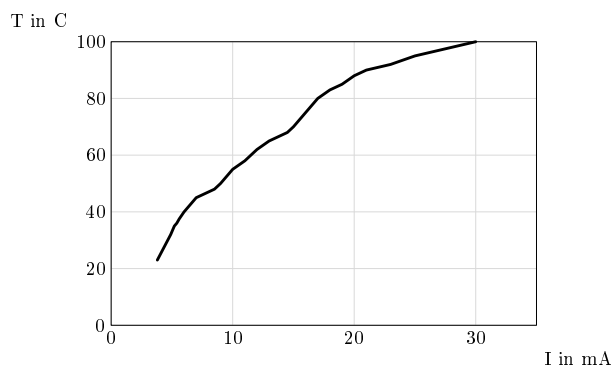
4.1 Versuchsaufbau



4.2 Temperatur-Stromkennlinie

Die Spannung betrug $U_0 = 2V$, die maximale Temperatur $T_{max} = 100^\circ C$

$Temp$ in $^\circ C$	23	32	33	35	36	37.5	40	42	45
U_0 in V	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
I in mA	3.8	4.9	5.0	5.2	5.4	5.6	6.0	6.4	7.0
R_A in Ω	15	15	15	15	15	15	15	15	15
$U_{berechnet}$	1.943	1.927	1.925	1.922	1.919	1.916	1.910	1.904	1.895
R_{NTC} in Ω	511.3	393.2	385.0	369.6	355.4	342.1	318.3	297.5	270.7
$Temp$ in $^\circ C$	48	50	55	58	60	62	65	68	70
U_0 in V	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
I in mA	8.5	9.0	10.0	11.0	12.0	12.5	13	14.5	15.0
R_A in Ω	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$U_{berechnet}$	1.987	1.987	1.985	1.984	1.982	1.981	1.981	1.978	1.978
R_{NTC} in Ω	233.8	220.7	198.5	180.3	165.2	158.5	152.3	136.4	131.8
$Temp$ in $^\circ C$	75	80	83	85	88	90	92	95	100
U_0 in V	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
I in mA	16	17	18	19	20	21	23	25	30
R_A in Ω	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$U_{berechnet}$	1.976	1.975	1.973	1.972	1.970	1.969	1.966	1.963	1.955
R_{NTC} in Ω	123.5	116.1	109.6	103.8	98.50	93.74	85.46	78.50	65.17

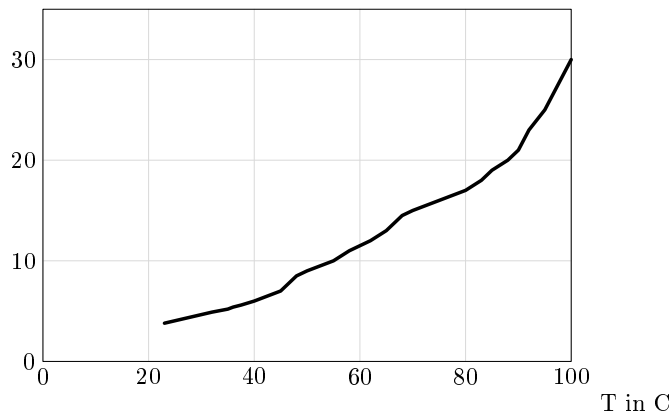


4.3 Kann eine Diode als Ersatz für einen NTC-Widerstand verwendet werden?

Grundsätzlich ja, da die Diffusionsspannung einer Diode immer Temperaturabhängig ist. Je höher die Temperatur, desto größer wird auch die Inversionsdichte (n_i) und desto größer die Leitfähigkeit. Dies ist genau das selbe Verhalten wie bei einem NTC-Widerstand. Dies durch ein Experiment nachzuweisen ist relativ schwer. Wir entschieden uns dazu die Diode vorsichtig zu erwärmen und stellten dabei ein Ansteigen des Stromes fest, was nach der theoretischen Überlegung auch zu erwarten war.

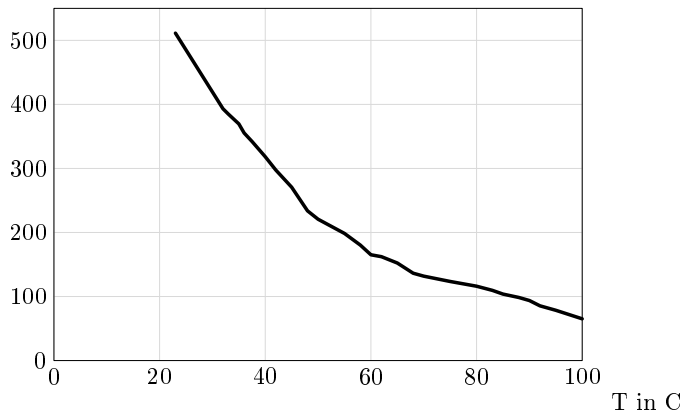
4.4 Strom-Temperaturkennlinie

I in mA



4.5 Widerstands-Temperaturkennlinie

R in Ω



4.6 Berechnung der Widerstandskennlinie

$$\begin{aligned}
 R_T &= A * e^{\frac{B}{T}} \\
 \Rightarrow R_{T_1} &= A * e^{\frac{B}{T_1}} \\
 \wedge R_{T_2} &= A * e^{\frac{B}{T_2}} \\
 \Rightarrow A &= \frac{R_{T_2}}{e^{\frac{B}{T_2}}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{T_1} &= \frac{R_{T_2} * e^{\frac{B}{T_1}}}{e^{\frac{B}{T_2}}} \\
 &= R_{T_2} * e^{\left(\frac{B}{T_1} - \frac{B}{T_2}\right)} \\
 \Rightarrow \ln \frac{R_{T_1}}{R_{T_2}} &= \frac{B}{T_1} - \frac{B}{T_2} \\
 &= B \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \\
 \Leftrightarrow B &= \frac{(\ln(R_{T_1}) - \ln(R_{T_2})) * T_1 * T_2}{T_2 - T_1}
 \end{aligned}$$

Durch einsetzen von $T_1 = 23^\circ\text{C}$, $R_{T_1} = 511.3\Omega$ und $T_2 = 100^\circ\text{C}$, $R_{T_2} = 65.17\Omega$ erhält man für

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{(\ln(511.3\Omega) - \ln(65.17\Omega)) * 23^\circ\text{C} * 100^\circ\text{C}}{100^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}} \\
 B &= 61.53
 \end{aligned}$$

daraus ergibt sich für

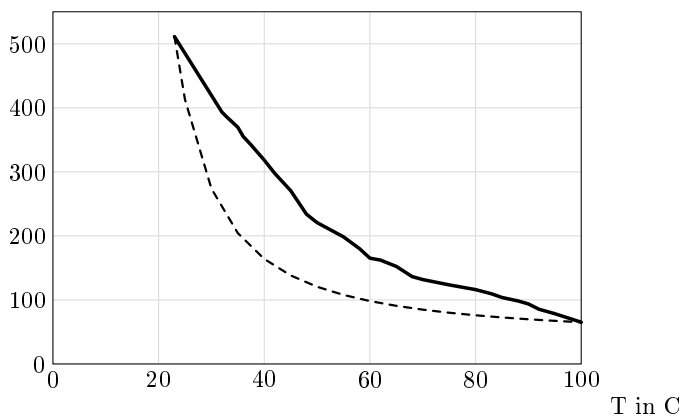
$$\begin{aligned}
 A &= \frac{65.17^\circ\text{C}}{e^{\frac{61.53}{100^\circ\text{C}}}} \\
 A &= 35.22
 \end{aligned}$$

Daraus läßt sich dann folgende Widerstandswerte errechnen:

T in $^\circ\text{C}$	23	25	30	35	40	45	50	55	60
R in Ω	511.24	412.74	273.859	204.305	164.000	138.234	120.568	107.807	98.212
T in $^\circ\text{C}$	65	70	75	80	85	90	95	100	
R in Ω	90.761	84.827	79.999	76.000	72.639	69.775	67.309	65.164	

4.7 Graphischer Vergleich zwischen Messung und theoretisch zu erwartenden Werten

R in Ω



Die von uns aufgenommene Kurve (durchgezogene Linie) unterscheidet sich recht deutlich von der theoretisch zu erwartenden (gestrichelte Linie). Dies führen wir auf folgende Meßfehler zurück:

- Den nicht gleichmäßigen Anpressdruck des Thermometers an den Metallblock, was zu einer geringeren Temperaturmessung führte (schlechterer Kontakt).
- Die ungleichmäßige Abkühlung des Metallblocks. Die Außenseite kühlte stärker ab als das Innere.

- Messungen wurde an der Oberfläche durchgeführt, ein Teil des Thermometers maß also die Umgebungstemperatur, bzw einen Mittelwert zwischen Block und Umgebungstemperatur.

Auf Grund dieser Fehler erhielten wir durchgängig zu niedrige Temperaturwerte. Überträgt man diese Erkenntniss auf unseren Graphen würde dies zu einer Stauchung der Kurve führen. Unsere gemessene Kurve würde sich immer mehr der theoretischen angleichen.