



University of Applied Sciences

**HOCHSCHULE  
EMDEN•LEER**



**Labor**

**Grundlagen der Elektrotechnik**

FB Technik, Abteilung Elektrotechnik und Informatik

## **Praktikum Grundlagen der Elektrotechnik B**

### **Versuch B-1**

### **Nichtlineare Zweipole und Transistoren**

**Name, Vorname:**

**Alsaady, Yaman**

**Schmidt, Oliver**

**Matrikel-Nr.:**

**7023554**

**7023462**

**Gruppe: A2a**

**WS / SS**

**Vorbereitung:**

**Durchführung:**

**Rücksprachen / Nachbesserungen:**

**Testat:**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>I</b>
<b>2 Vorbereitung</b>	<b>1</b>
2.1 Dioden . . . . .	1
2.2 Transistor . . . . .	3
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Dioden . . . . .	5
4.2 Temperaturabhängiger Widerstand . . . . .	12
4.3 Transistor . . . . .	15

## Abbildungsverzeichnis

1	Strom-Spannungskennlinie einer idealen Diode . . . . .	1
2	Strom-Spannungskennlinie von LED 8MM RT . . . . .	1
3	logarithmisch Skalierung . . . . .	2
4	Eingangskennlinie eines Transistors . . . . .	3
5	Ausgangskennlinie eines Transistors . . . . .	3
6	Stromverstärkung des Transistors . . . . .	3
7	Silizium Diode in Durchlassrichtung . . . . .	5
8	Silizium Diode in Sperrrichtung . . . . .	5
9	Germanium Diode in Durchlassrichtung . . . . .	6
10	Germanium Diode in Sperrrichtung . . . . .	6
11	Z-Diode in Durchlassrichtung . . . . .	7
12	Z-Diode in Sperrrichtung . . . . .	7
13	Kennlinie der Si-Diode aus dem theoretischem Verlauf und der Messungen . . . . .	9
14	Oszillogramm des ohmschen Widerstands . . . . .	9
15	Oszillogramm der Si-Diode . . . . .	10
16	Oszillogramm der Germanium-Diode . . . . .	10
17	Oszillogramm der Z-Diode . . . . .	11
18	Oszillogramm der Leuchtdiode . . . . .	11
19	Strom-Temperatur-Kennlinie und Widerstand-Temperatur-Kennlinie . . . . .	12
20	Widerstandskennlinie aus dem theoretischem Verlauf und der Messungen . . . . .	13
21	Eingangskennlinien des Transistors . . . . .	15
22	Ausgangskennlinienfeld des Transistors . . . . .	15
23	Oszillogramm der Ausgangskennlinienfelder . . . . .	16

## Tabellenverzeichnis

1	Temperaturabhängiger Widerstand: Strom- und Widerstandswerte . . . . .	12
---	--	----

## 2 Vorbereitung

Die Versuchsvorbereitung ist Bestandteil des Versuchs. Sie erhalten dafür ein gesondertes Testat. Ohne testierte Vorbereitung können Sie den Versuch nicht durchführen.

### 2.1 Dioden

- a) Skizzieren Sie die Strom-Spannungskennlinie einer idealen Diode.

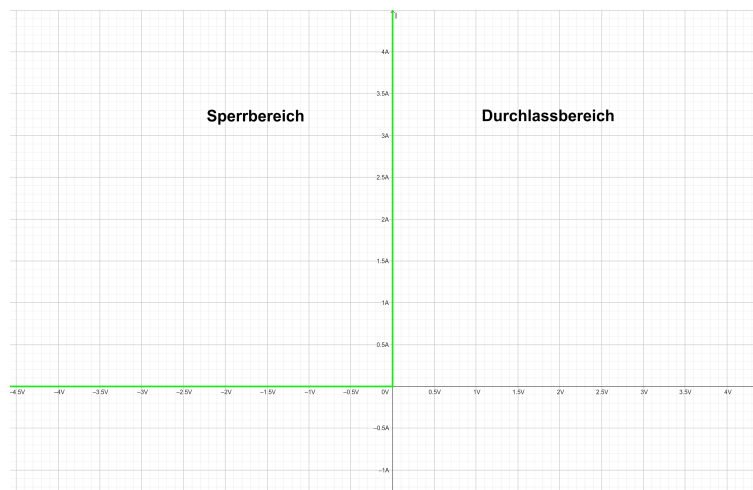


Abbildung 1: Strom-Spannungskennlinie einer idealen Diode

- b) Skizzieren Sie die Strom-Spannungskennlinie einer Leuchtdiode (LED 8MM RT von reichelt).

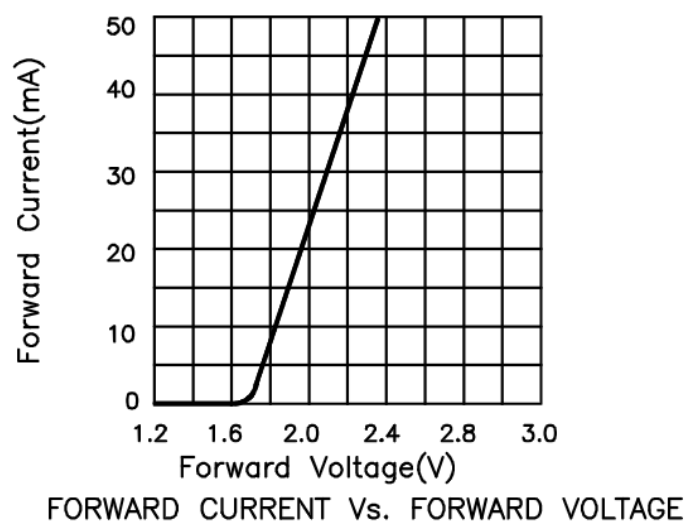


Abbildung 2: Strom-Spannungskennlinie von LED 8MM RT

- c) Diese Diode soll in Reihe mit einem Vorwiderstand an einer Spannungsquelle mit 3 V betrieben werden. Geben Sie das zugehörige Schaltbild an und bestimmen Sie grafisch den benötigten Widerstandswert.

$$R_v = \frac{U_R}{I}$$

$$R_v = \frac{U - U_D}{I}$$

$$R_v = \frac{3 \text{ V} - 2 \text{ V}}{23 \text{ mA}} = 43,48 \, \Omega$$

- d) „3 Werte je Dekade im logarithmisch konstanten Abstand“ Was heißt das? Fertigen Sie dazu eine Skizze an.

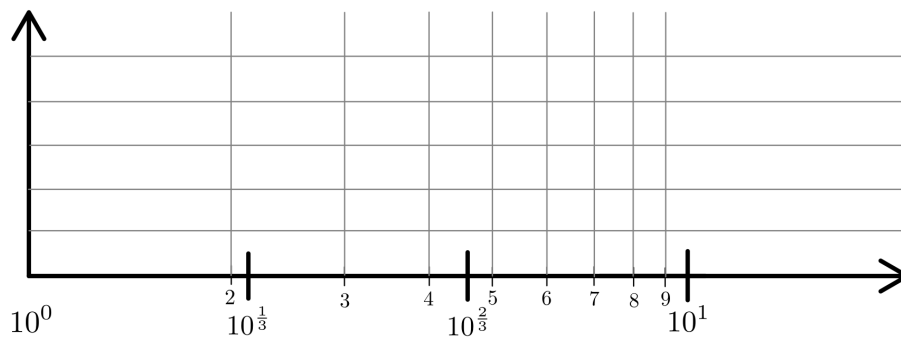


Abbildung 3: logarithmisch Skalierung

- e) Warum unterscheidet sich die Spannung an der Diode bei der Spannungsfehlerschaltung bei gleichem Strom in den unterschiedlichen Strommessbereichen?

Für die unterschiedlichen Strommessbereiche hat das Messgerät unterschiedliche Innenwiderstände, deswegen verändert sich den Spannungsabfall an dem Messgerät.

- f) Wie müssen Sie den Strom bei der Stromfehlerschaltung korrigieren? Leiten Sie her!

$$I_{mess} = I_x + I_U$$

$$I_x = I_{mess} - I_U$$

$$I_x = I_{mess} - \frac{U_m}{R_U}$$

- g) Bereiten Sie mit Excel oder einem vergleichbaren Programm Ihrer Wahl die Tabellen zur Aufnahme der Messwerte vor, so dass nach Eingabe der Messwerte die geforderten Diagramme automatisch erstellt werden. Werden nur Messwerte dargestellt, erfolgt die Darstellung als Linie mit Markierung (Kreuz, Dreieck, Quadrat) der Messwerte. Sollen in einem Diagramm der theoretische Verlauf und die Messwerte dargestellt werden, so wird der theoretische Verlauf als Linie mit mindestens 100 Stützwerten und die Messwerte mit Kreuz, Dreieck oder Quadrat markiert.

## 2.2 Transistor

- a) Skizzieren Sie die Eingangskennlinie eines Transistors (BCY 59-8).

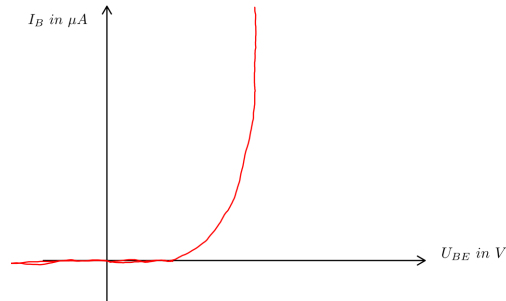


Abbildung 4: Eingangskennlinie eines Transistors

- b) Skizzieren die das Ausgangskennlinienfeld eines Transistors (BCY 59-8).

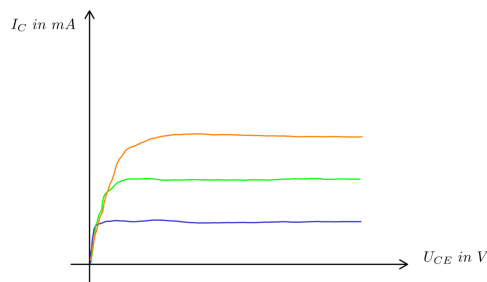


Abbildung 5: Ausgangskennlinie eines Transistors

- c) Welche Stromverstärkung hat dieser Transistor in etwa und wie kann sie aus den Messwerten ermittelt werden?

$$h_{FE} = \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

		BCY58-VIII	
		BCY59-VIII	
		MIN	MAX
$h_{FE}$	$V_{CE}=5.0V, I_C=10\mu A$	20	-
$h_{FE}$	$V_{CE}=5.0V, I_C=2.0mA$	180	310
$h_{FE}$	$V_{CE}=1.0V, I_C=10mA$	120	400
$h_{FE}$	$V_{CE}=1.0V, I_C=100mA$	45	-

Abbildung 6: Stromverstärkung des Transistors

- d) Bereiten Sie mit Excel oder einem vergleichbaren Programm Ihrer Wahl die Tabellen zur Aufnahme der Messwerte vor, so dass nach Eingabe der Messwerte die geforderten Diagramme automatisch erstellt werden. Werden nur Messwerte dargestellt, erfolgt die Darstellung als Linie mit Markierung (Kreuz, Dreieck, Quadrat) der Messwerte. Sollen in einem Diagramm der theoretische Verlauf und die Messwerte dargestellt werden, so wird der theoretische Verlauf als Linie mit mindestens 100 Stützwerten und die Messwerte mit Kreuz, Dreieck oder Quadrat markiert.

## 4 Auswertung

### 4.1 Dioden

- a) Stellen Sie die Kennlinien im linearen Maßstab dar, benutzen Sie dazu die korrigierten Messwerte (Spannungsfehlerschaltung beachten, Durchlassrichtung und Sperrrichtung unterschiedliche Maßstäbe, ggf. je zwei Diagramme).

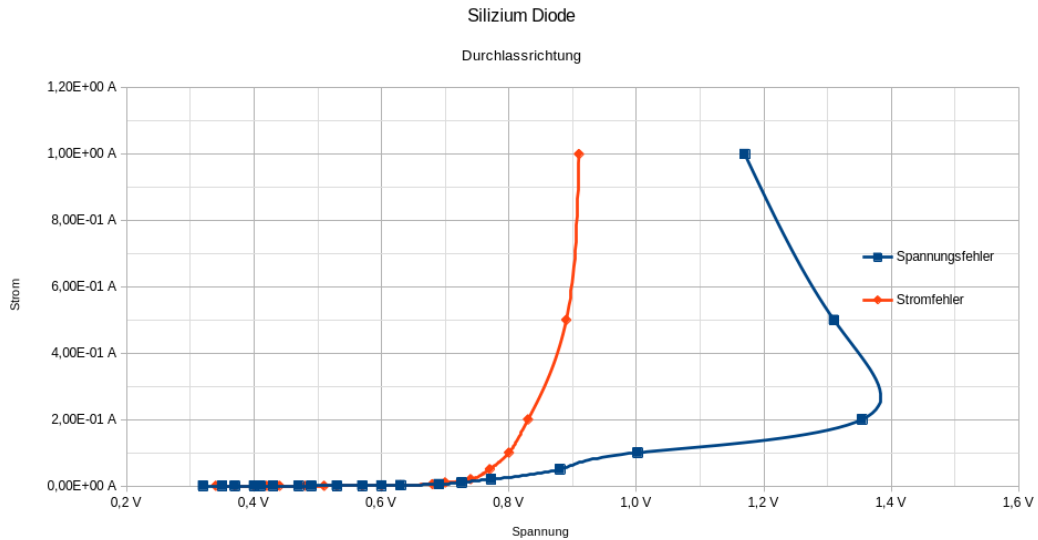


Abbildung 7: Silizium Diode in Durchlassrichtung

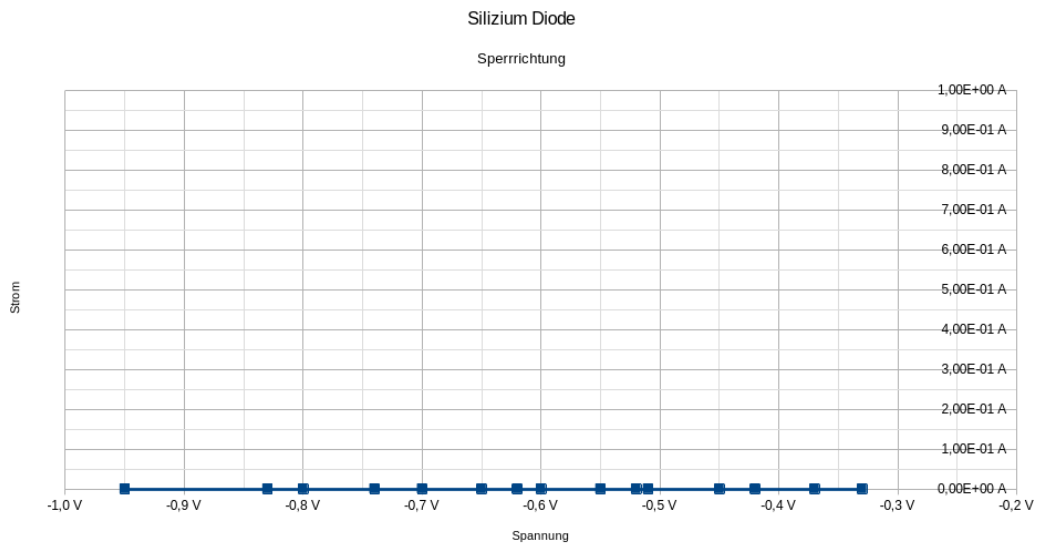


Abbildung 8: Silizium Diode in Sperrrichtung

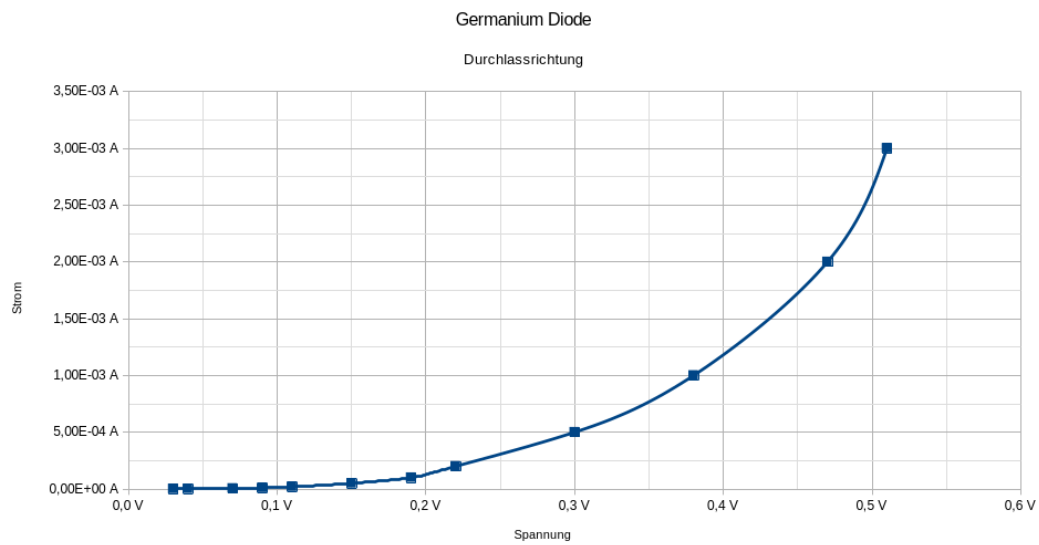


Abbildung 9: Germanium Diode in Durchlassrichtung

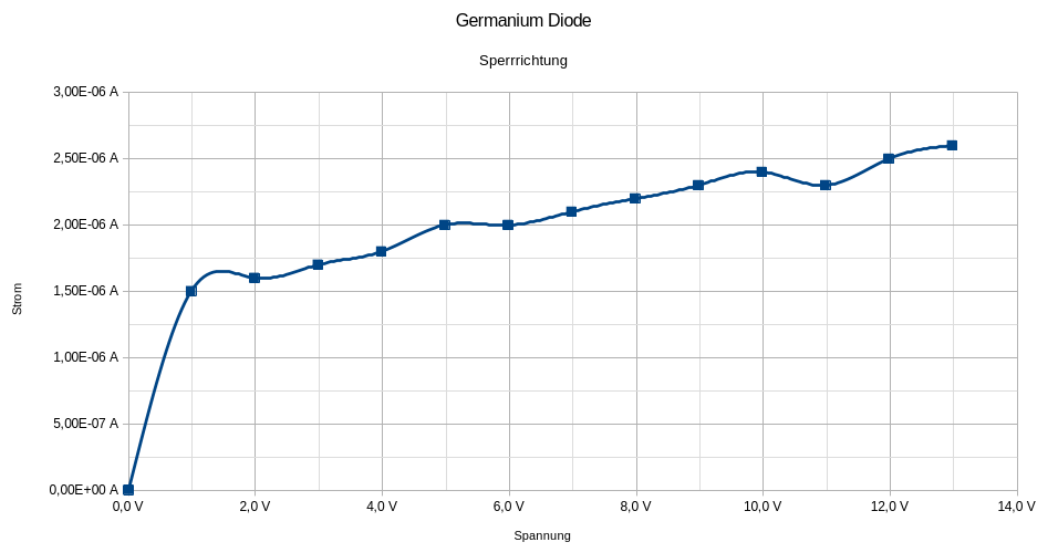


Abbildung 10: Germanium Diode in Sperrrichtung



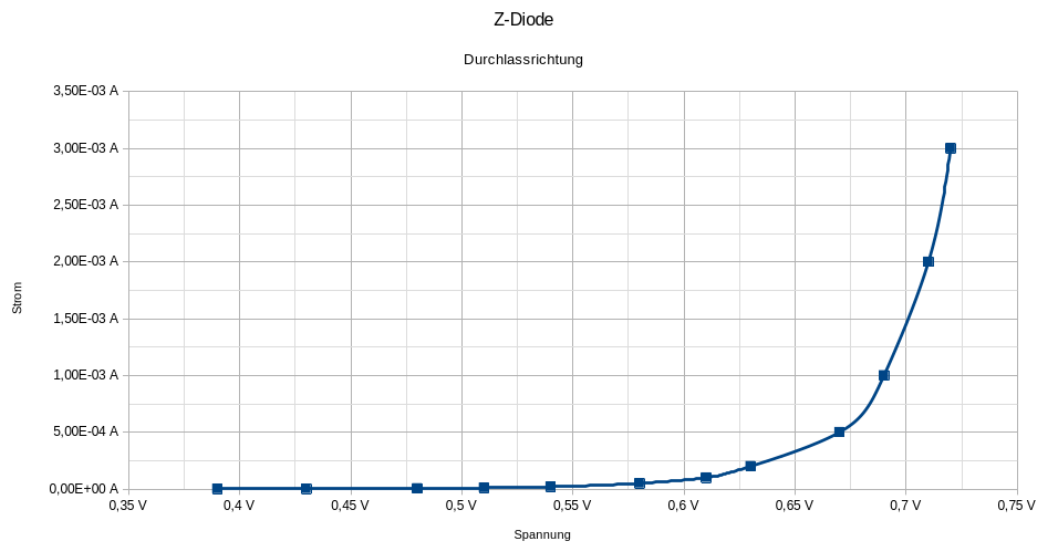


Abbildung 11: Z-Diode in Durchlassrichtung

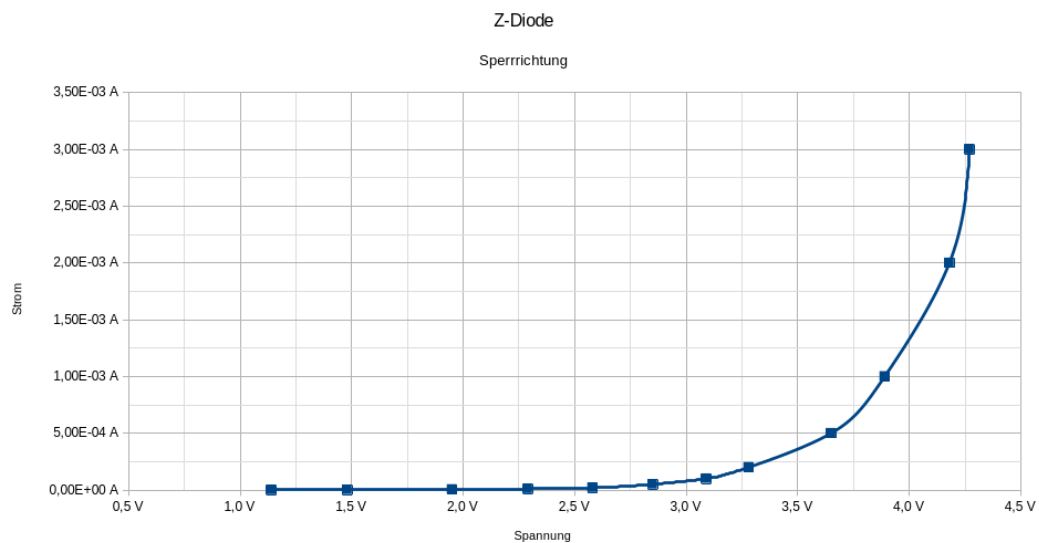


Abbildung 12: Z-Diode in Sperrrichtung

- b) Berechnen Sie die Kennlinie der Si-Diode nach Gleichung 7, ermitteln Sie den Sperrstrom  $I_s$  und den Emissionskoeffizienten  $m$  aus den Messungen. (Tipp: Den Emissionskoeffizienten bestimmen Sie, indem Sie zwei Messwerte in Gleichung 7 einsetzen und beide Gleichungen dividieren, so dass der Sperrstrom gekürzt werden kann. Diese Gleichung kann nun nach  $m$  umgestellt werden.)

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_s \cdot \left( e^{\frac{U_1}{m \cdot U_T}} - 1 \right)}{I_s \cdot \left( e^{\frac{U_2}{m \cdot U_T}} - 1 \right)}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{\frac{U_1}{m \cdot U_T}} - 1}{e^{\frac{U_2}{m \cdot U_T}} - 1}$$

Die Rechnung lässt sich viel vereinfachen, wenn  $e^{\frac{U}{m \cdot U_T}} \gg 1$  ist.  
Annahme:  $m = m_{max} = 2$  und  $10^3 \gg 1$

$$e^{\frac{U_{min}}{m_{max} \cdot U_T}} \geq 10^3$$

$$\frac{U_{min}}{m_{max} \cdot U_T} \geq 3 \cdot \ln(10)$$

$$\frac{U_{min}}{2 \cdot 25,3 \cdot 10^{-3} \text{ V}} \geq 3 \cdot \ln(10)$$

$$U_{min} \geq \frac{151,8 \cdot \ln(10)}{10^3} \text{ V}$$

$$U_{min} \geq 0,35 \text{ V}$$

$$\Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{e^{\frac{U_1}{m \cdot U_T}}}{e^{\frac{U_2}{m \cdot U_T}}}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{\frac{U_1 - U_2}{m \cdot U_T}}$$

$$\ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = \frac{U_1 - U_2}{m \cdot U_T}$$

$$m = \frac{U_1 - U_2}{\ln\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \cdot U_T}$$

$$m = \frac{0,4 \text{ V} - 0,89 \text{ V}}{\ln\left(\frac{5 \mu\text{A}}{0,5 \text{ A}}\right) \cdot 25 \cdot 10^{-3} \text{ V}} = 1,68$$

$$I_s = \frac{I_1}{e^{\frac{U_1}{m \cdot U_T}} - 1}$$

$$I_s = \frac{5 \mu\text{A}}{e^{\frac{0,4 \text{ V}}{1,68 \cdot 25,3 \cdot 10^{-3} \text{ V}}} - 1} = 4,029 \cdot 10^{-10} \text{ A}$$

$$I = 4,029 \cdot 10^{-10} \text{ A} \cdot \left( e^{\frac{U}{42,5 \cdot 10^{-3} \text{ V}}} - 1 \right)$$

- c) Stellen Sie die gemessene und berechnete Kennlinie der Si-Diode im halblogarithmischen Maßstab dar (berechnete Kennlinie als Linie, Messwerte als Punkte).

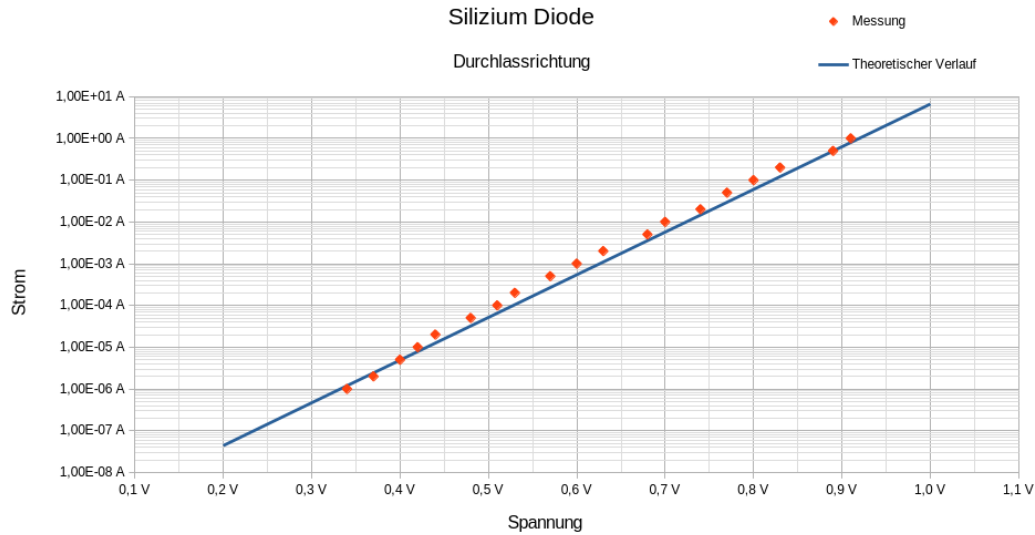


Abbildung 13: Kennlinie der Si-Diode aus dem theoretischem Verlauf und der Messungen

- d) Beschriften Sie die fünf aufgenommenen Oszillogramme eindeutig.

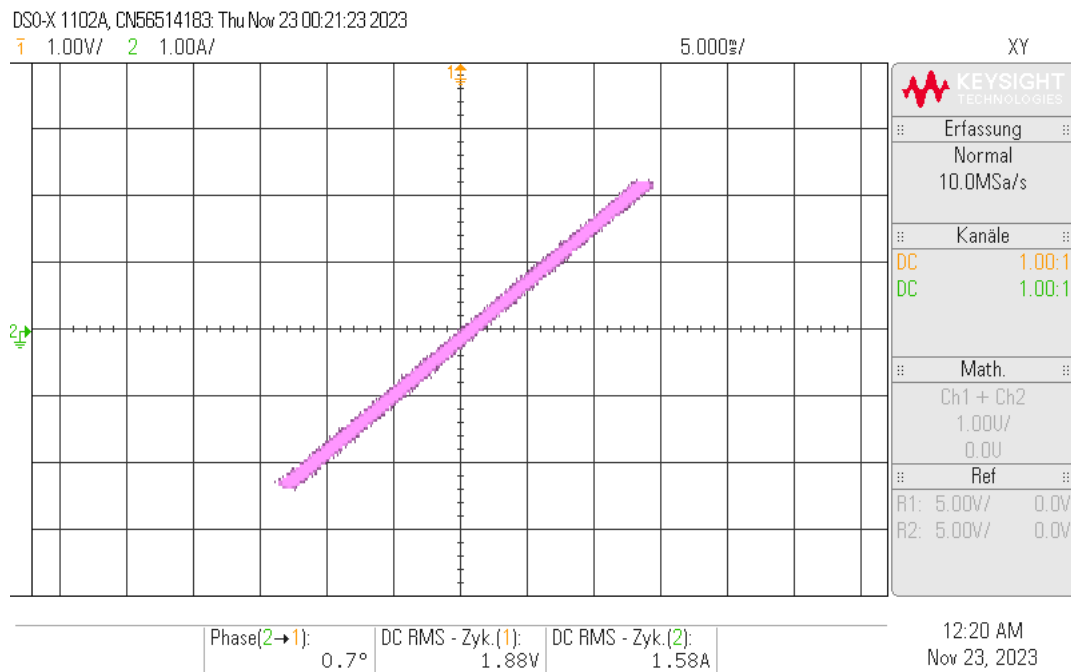


Abbildung 14: Oszillogramm des ohmschen Widerstands

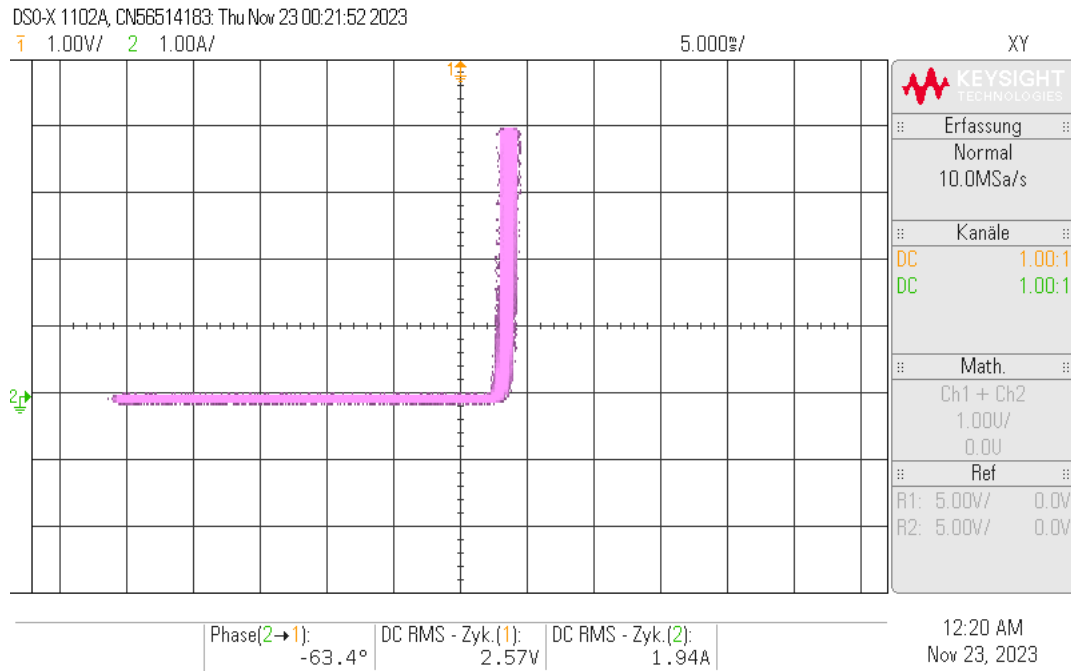


Abbildung 15: Oszillogramm der Si-Diode

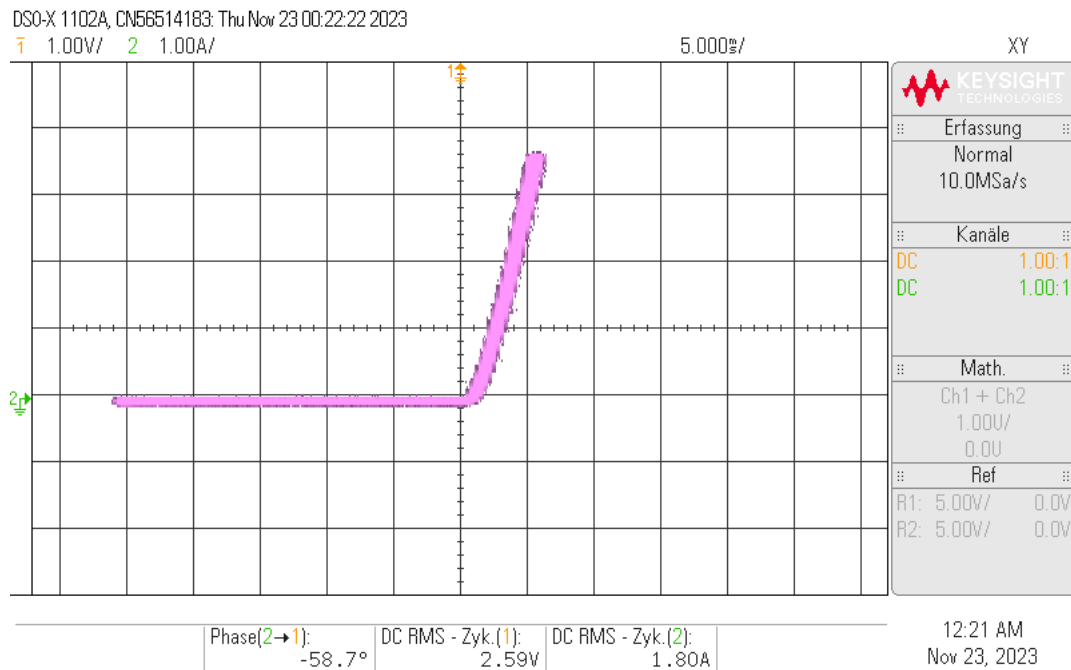


Abbildung 16: Oszillogramm der Germanium-Diode

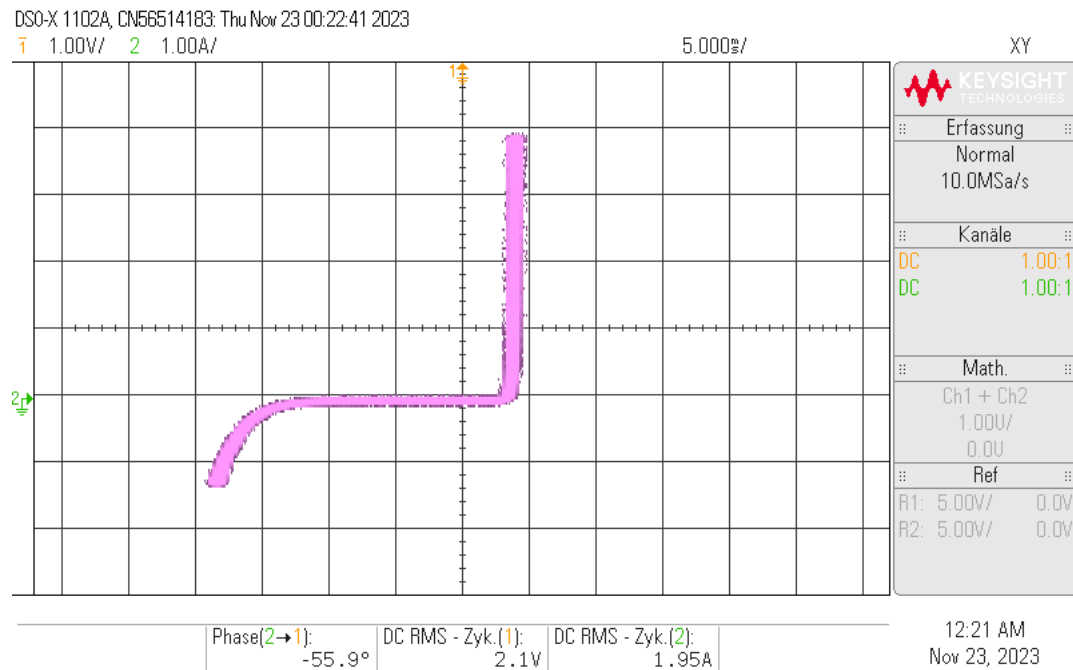


Abbildung 17: Oszillogramm der Z-Diode

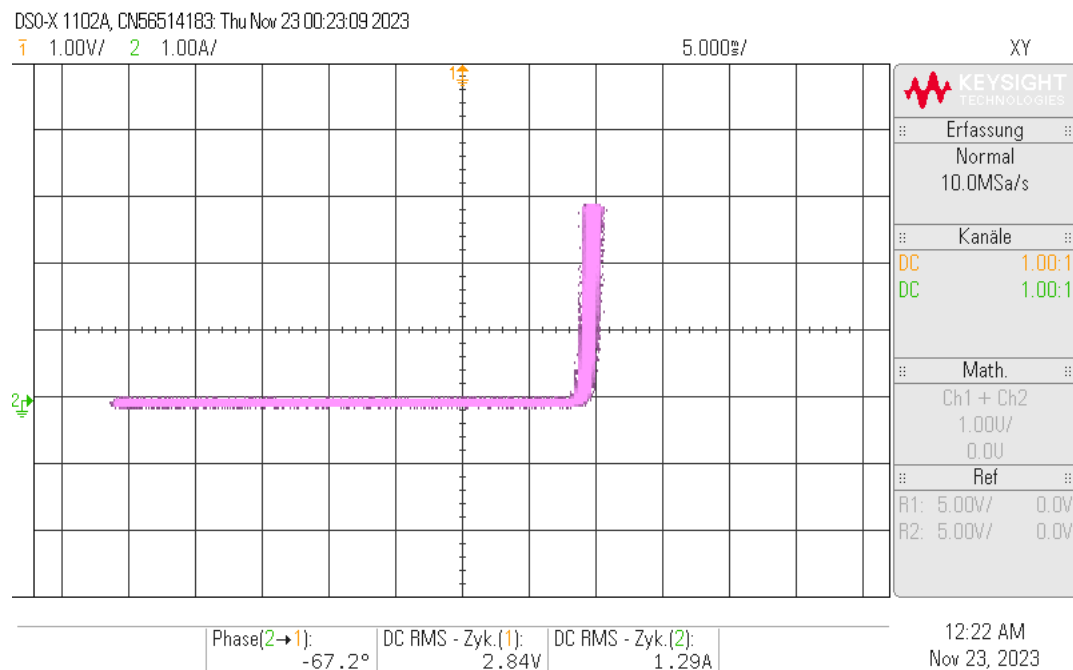


Abbildung 18: Oszillogramm der Leuchtdiode

## 4.2 Temperaturabhängiger Widerstand

a) Ermitteln Sie für jeden Messwert den Widerstand (Spannungsfehlerschaltung beachten!)

Temperatur in $^{\circ}\text{C}$	Strom in $\text{mA}$	Widerstand in $\Omega$
22,5	2	1000,00
25	2,2	909,09
30	2,4	833,33
35	2,7	740,74
40	2,9	689,66
45	3,5	571,43
50	4	500,00
55	5	400,00
60	6	333,33
65	6,7	298,51
70	8,6	232,56
75	10	200,00
80	10,5	190,48
85	13	153,85
90	15	133,33
95	20	100,00
100	35	57,14

Tabelle 1: Temperaturabhängiger Widerstand: Strom- und Widerstandswerte

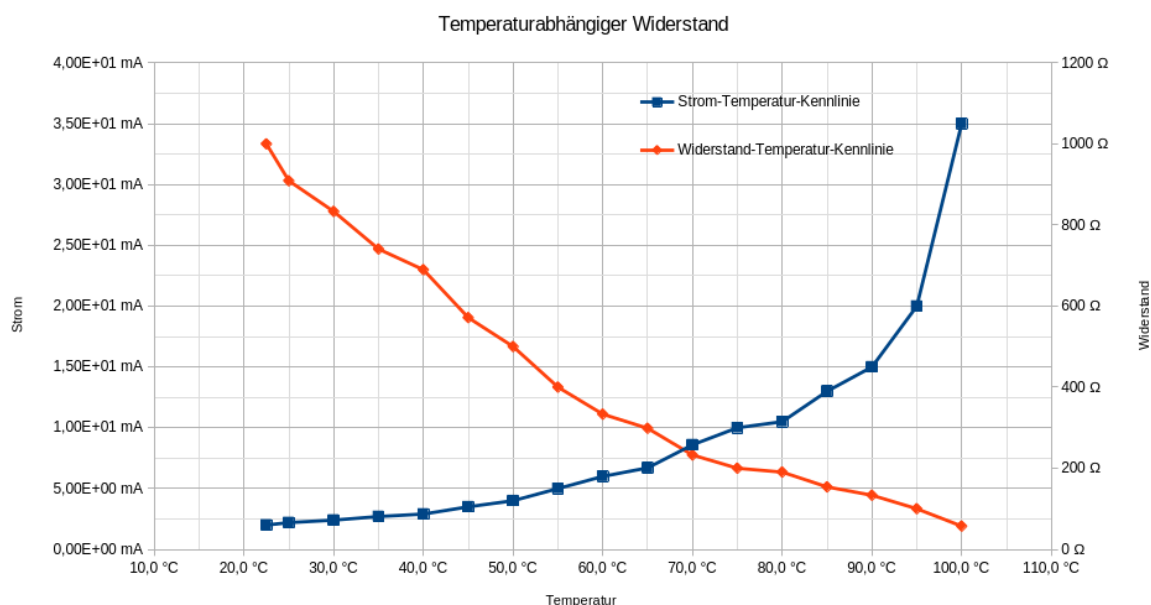


Abbildung 19: Strom-Temperatur-Kennlinie und Widerstand-Temperatur-Kennlinie

- b) Berechnen Sie die Widerstandskennlinie näherungsweise nach Gleichung 8. Die Werkstoffkonstanten A und B sind aus den Messwerten bei minimaler und maximaler Temperatur zu ermitteln.

$$R(T) = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

$$A = \frac{R(T)}{e^{\frac{B}{T}}}$$

$$\frac{R(T_1)}{R(T_2)} = \frac{A}{A} \cdot \frac{e^{\frac{B}{T_1}}}{e^{\frac{B}{T_2}}}$$

$$\frac{R(T_1)}{R(T_2)} = e^{\frac{B \cdot T_2 - B \cdot T_1}{T_1 \cdot T_2}}$$

$$\ln \left( \frac{R(T_1)}{R(T_2)} \right) = \frac{B \cdot (T_2 - T_1)}{T_1 \cdot T_2}$$

$$B = \frac{\ln \left( \frac{R(T_1)}{R(T_2)} \right) \cdot T_1 \cdot T_2}{(T_2 - T_1)}$$

$$B = \frac{\ln \left( \frac{1000 \, \Omega}{57,14 \, \Omega} \right) \cdot (295,65 \, K \cdot 374,15 \, K)}{(374,15 \, K - 295,65 \, K)}$$

$$B = 4033 \, K$$

$$A = \frac{R(T_1)}{e^{\frac{B}{T_1}}} = \frac{1000 \, \Omega}{e^{\frac{4033 \, K}{295,65 \, K}}}$$

$$A = 1,19 \, m\Omega$$

$$R(T) = 1,19 \, m\Omega \cdot e^{\frac{4033 \, K}{T}}$$

- c) Stellen Sie beide Kennlinien in einem Diagramm da (berechnete Kennlinie als Linie, Messwerte als Punkte).

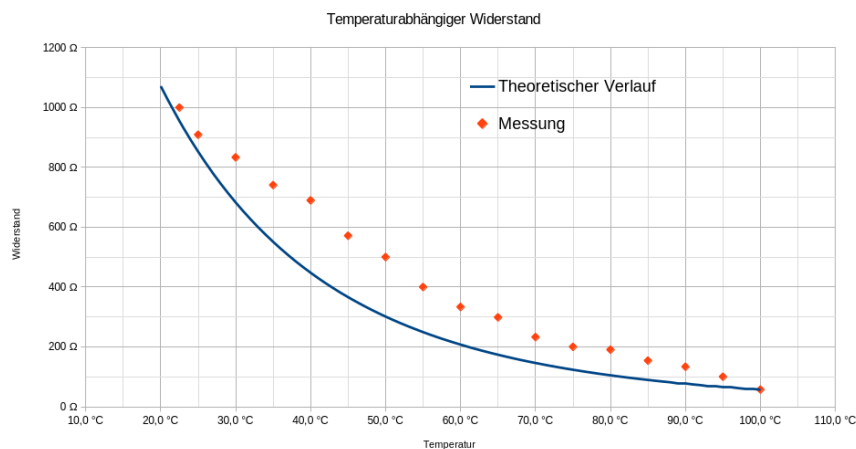


Abbildung 20: Widerstandskennlinie aus dem theoretischem Verlauf und der Messungen

d) Vergleichen Sie die Kennlinien.

In der Abbildung 20 ist der Verlauf der Messdaten in Orange über dem theoretischen Verlauf in Blau dargestellt. Beide Verläufe, sowohl der theoretische als auch der gemessene, zeigen eine exponentiell abnehmende Charakteristik.

Die Abweichung zwischen den beiden Verläufen resultiert aus der Herausforderung der präzisen Temperaturmessung. Die Temperatur kann nicht exakt erfasst werden. Zusätzlich gestaltet sich die genaue Ablesung des Stroms als problematisch, da die Temperatur schnell abnimmt, was zu schnellen Änderungen in der Stromstärke führt.



### 4.3 Transistor

- a) Stellen Sie die Eingangskennlinien nach 3.4.1 im linearen Maßstab in einem Diagramm dar.

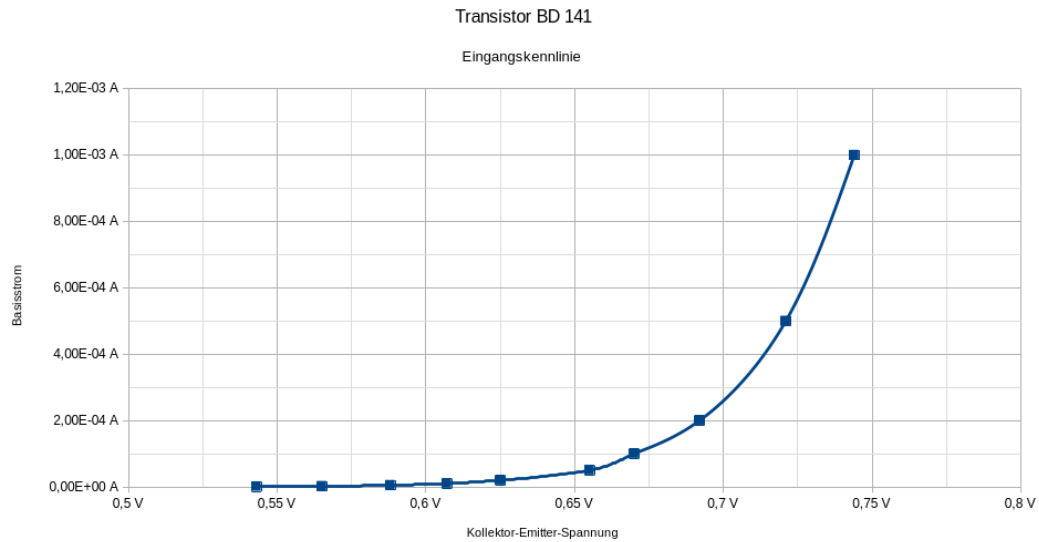


Abbildung 21: Eingangskennlinien des Transistors

- b) Stellen Sie das Ausgangskennlinienfeld nach 3.4.2 im linearen Maßstab in einem Diagramm dar.

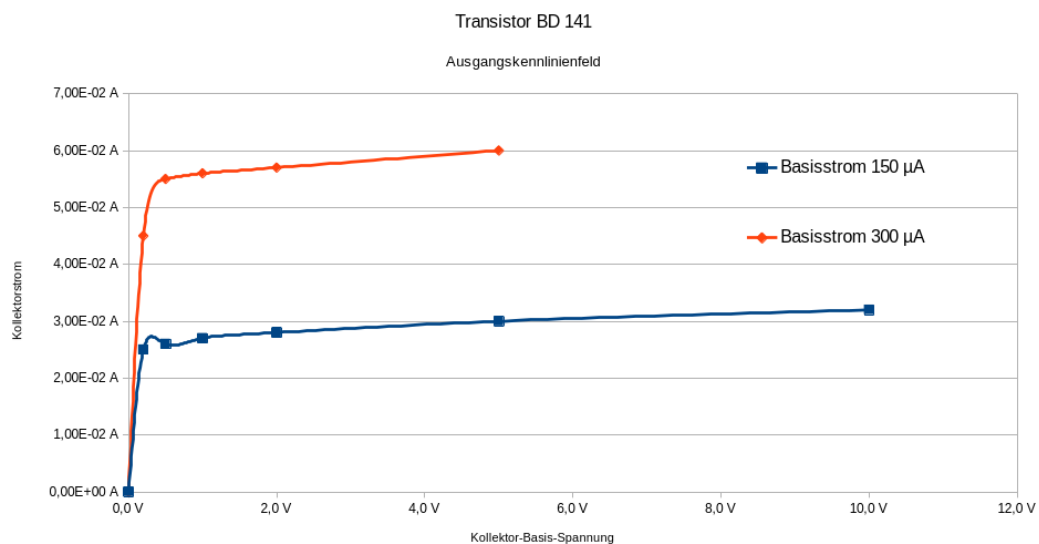


Abbildung 22: Ausgangskennlinienfeld des Transistors

c) Beschriften Sie das aufgenommene Oszillogramm eindeutig.

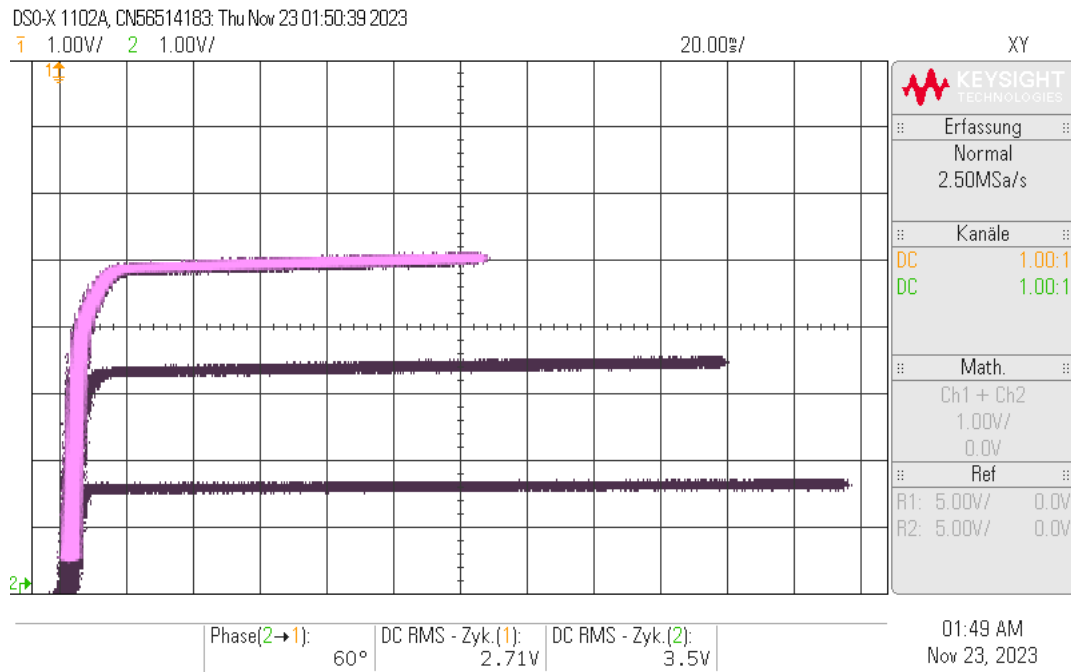


Abbildung 23: Oszillogramm der Ausgangskennlinienfelder