

JUSTUS-LIEBIG-

---



UNIVERSITÄT  
GIESSEN

Versuch 4 des  
FORTGESCHRITTENEN-PRAKTIKUMS

---

## UI-Kennlinien

---

Versuchstermin Freitag, 17.05.2024

*Praktikumsbetreuer:*

Marius Müller

marius.mueller@physik.uni-giessen.de

*Protokoll von:*

Frederik Uhlemann

frederik-vincent.uhlemann@physik.uni-  
giessen.de

Florian Adamczyk

florian.marius.adamczyk@physik.uni-  
giessen.de

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>1 Versuchsaufbau und Durchführung</b>	<b>3</b>
<b>2 Auswertung</b>	<b>4</b>
2.1 Diode . . . . .	4
2.2 Bipolartransistor . . . . .	5
2.2.1 Vierpolarparameter . . . . .	6
2.2.2 Bestimmung der Parameter . . . . .	7
2.3 Feldeffektransistor . . . . .	9
2.4 Solarzelle . . . . .	9
<b>3 Fazit</b>	<b>10</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>11</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>12</b>
<b>Anhang</b>	<b>13</b>

# Einleitung

In der Welt der Elektronik sind die Charakteristiken von Halbleiterbauteilen von entscheidender Bedeutung. Dieser Versuch zielt darauf ab, die typischen Kennlinien einer Diode, eines Bipolartransistors und eines Feldeffekttransistors zu erfassen, um ihre spezifischen Eigenschaften und Verhaltensweisen zu verstehen. Zusätzlich liegt ein Fokus auf der Untersuchung von Solarzellen, bei denen durch die Aufnahme von Dunkel- und Hellkennlinien wichtige Kenngrößen ermittelt werden sollen. Die Ergebnisse sollen nicht nur Aufschluss über den Typ der Dioden und Transistoren geben, sondern auch über die Leistungsfähigkeit der Solarzellen, wie etwa den Füllfaktor und die relative Effizienz.

# 1. Versuchsaufbau und Durchführung

In den Versuchen werden die Kennlinien der Halbleiterbauteile aufgenommen. Dazu werden die fertigen Schaltungen mit dem Messgerät farblich passend verbunden und die Kennlinien mit einem LABVIEW-Programm aufgenommen und auf einen USB-Stick abgespeichert. So können die Daten später ausgewertet werden.

- Im ersten Versuchsteil wird die Kennlinie einer Diode aufgenommen. Dazu wird die Diode in Durchlassrichtung und in Sperrrichtung betrieben.
- Im zweiten Versuchsteil wird die Kennlinie eines Bipolartransistors aufgenommen. Dazu wird der Transistor in der Emitterschaltung betrieben und die vier Kennlinienfelder aufgenommen.
- Im dritten Versuchsteil wird die Kennlinie eines Feldeffekttransistors aufgenommen. Dazu wird der Transistor in der Source-Schaltung betrieben und die vier Kennlinienfelder aufgenommen.
- Im vierten Versuchsteil werden zwei Solarzellen untersucht. Dazu wird die Kennlinie der Solarzellen im Dunkeln und im Licht aufgenommen und die jeweiligen Kennlinien abgespeichert.

## 2. Auswertung

### 2.1 Diode

Die auch Diodengleichung (oder auch Shockley-Gleichung) ist:

$$I_D = I_S(T) \left( e^{\frac{U}{nU_T}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

Dabei bezeichnet  $I_S(T)$  den Sättigungssperrstrom welcher typischerweise zwischen  $10 \times 10^{-12} \text{ A}$  und  $10 \times 10^{-6} \text{ A}$  liegt,  $U_T = \frac{kT}{q}$  die Temperaturspannung und  $n$  den Idealitätsfaktor oder Emissionskoeffizient. Dieser soll auch bestimmt werden und liegt typischerweise zwischen 1 und 2.

In unserem Fall (bei Raumtemperatur von  $25^\circ\text{C}$ ) beträgt die Temperaturspannung  $U_T = 25 \text{ mV}$ .

In Abbildung 2.1 ist die Kennlinie der Diode dargestellt.

Der rechte Teil der Kennlinie ist mit der Gleichung 2.1 gefittet worden, während der linke Teil nicht mit dieser Gleichung beschrieben werden kann und daher linear gefittet ist.

Im Schockley-Fit kann man den Sättigungssperrstrom  $I_S$  und den Idealitätsfaktor  $n$  bestimmen. Daraus ergibt sich:

- Sättigungssperrstrom  $I_S = (2.1290 \pm 2.0394) \times 10^{-2} \mu\text{A}$
- Emissionskoeffizient  $n = 2.386 \pm 0.198$

Um die Durchbruchspannung zu bestimmen betrachten wir den linearen Fit auf der rechten Seite des Diagramms. Davon müssen wir den Schnittpunkt mit der x-Achse (bzw. Spannungsachse) bestimmen. Dazu setzen wir die Gleichung

$I = B \cdot U_D + A \stackrel{!}{=} 0$ . Daraus ergibt sich dann:

$$U_D = \frac{-a}{b} = \frac{-536,703}{141,987} = 3.77 \text{ V}$$

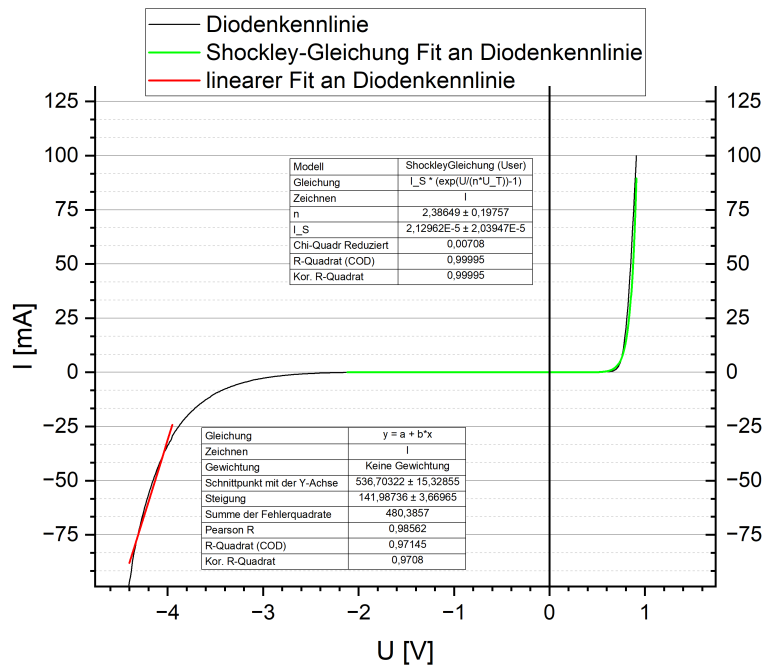


Abbildung 2.1: Kennlinie der Diode

Aus Origin werden folgende Fehler für  $b$  und  $a$  gegeben:

$\Delta b = \pm 3,670$  und  $\Delta a = \pm 15,329$ .

Durch Fehlerfortpflanzung erlangen wir:

$$\Delta U = \left| \frac{\partial U_D}{\partial b} \right| \Delta b + \left| \frac{\partial U_D}{\partial a} \right| \Delta a = \left| \frac{a \Delta b}{b^2} \right| + \left| \frac{\Delta a}{b} \right| \approx 0,21 \text{ V} \quad (2.2)$$

Die bestimmte Durchschlagsspannung ist also:

$$U_D = (3.77 \pm 0.21) \text{ V}$$

Dieser Wert lässt darauf schließen, dass es sich bei der untersuchten Diode um eine Zener-Diode handelt: Diese Dioden werden beim Betrieb in Sperrrichtung nicht zerstört und lassen sich beispielsweise als Spannungsstabilisatoren einsetzen.

## 2.2 Bipolartransistor

Im folgendem Versuchsteil werden die typischen Kennlinienfelder eines Bipolartransistors vermessen. Es handelt sich um einen pnp-Transistor des Typs BC550. Ein

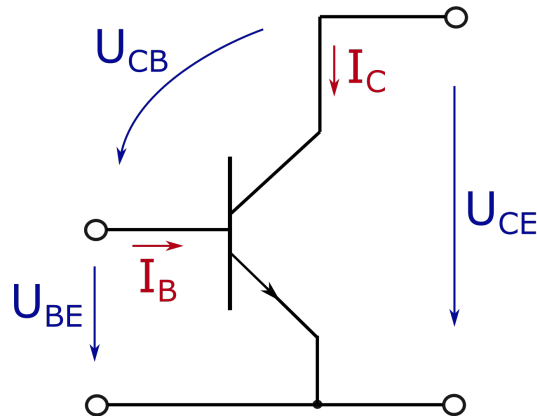


Abbildung 2.2: Schaltskizze eines pnp-Transistors

Schaltplan solch eines Transistors ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Dabei sind die wichtigsten Größen eingetragen, dazu zählen der Kollektor- und Basisstrom  $I_C$  und  $I_B$ , zudem die jeweiligen Spannungen zwischen Kollektor, Emitter und Basis.

### 2.2.1 Vierpolarparameter

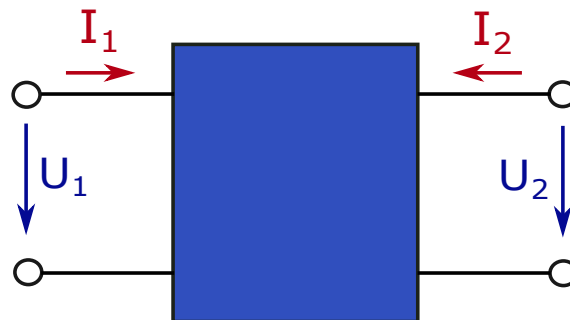


Abbildung 2.3: allgemeiner Vierpol

Jedes elektronische Bauteil kann als Vierpol dargestellt werden, in Abbildung 2.3 ist der Schaltplan eines allgemeinen Vierpols angegeben. Das Modell beschreibt ein elektrisches Netzwerk oder Bauteil durch zwei Ein- und Ausgänge, dabei wird eine lineares Gleichungssystem mit einer  $2 \times 2$  Matrix verwendet.

Transistoren sind aktive Bauelemente und nicht linear, deshalb müssen sie in einem Punkt linearisiert werden, damit die Beschreibung des Vierpols angewandt werden kann. Dieser Punkt heißt Arbeitspunkt des Transistors. Für Transistoren in der

Emittersschaltung wird häufig die folgende Hybrid-Darstellung verwendet:

$$\begin{pmatrix} u_{BE} \\ i_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_B \\ u_{CE} \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Wie bereits erwähnt wird am Arbeitspunkt des Transistors linearisiert, deshalb sind die Vierpolparameter Ableitungen in der folgenden Form:

$$\begin{aligned} h_{11} &= \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} & h_{12} &= \frac{\partial U_{BE}}{\partial U_{CE}} \\ h_{21} &= \frac{\partial I_C}{\partial I_B} & h_{22} &= \frac{\partial I_C}{\partial U_{CE}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

## 2.2.2 Bestimmung der Parameter

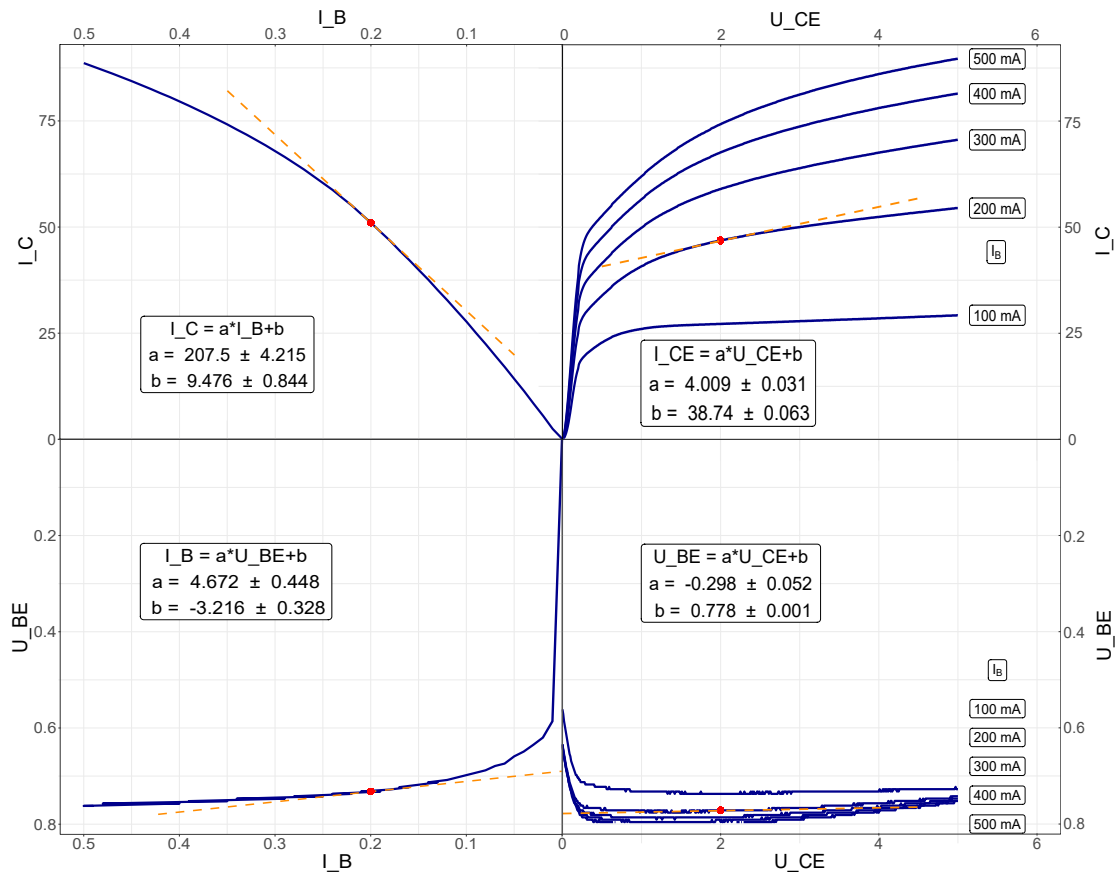


Abbildung 2.4: Vierquadrantenkennlinienfeld des Bipolartransistors

In Abbildung 2.4 sind die aufgenommen, typischen vier Kennlinien des Transistors aufgetragen. In Rot ist jeweils der gewählte Arbeitspunkt eingetragen, dieser wird



folgenden Werten gewählt:

$$I_B = 0.2 \text{ mA} \quad U_{CE} = 2 \text{ V} \quad (2.5)$$

Zudem in orange ist die jeweilige Fitgerade eingezeichnet und die Fitparameter sind gegeben.

Der erste Vierpolparameter ergibt sich aus der Eingangskennlinien, also der  $U_{BE}$ - $I_B$ -Kennlinie. Dieser Parameter ist direkt der differentielle Transistor-Eingangswiderstand:

$$r_{BE} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B} \quad (2.6)$$

Im obigen Kennlinienfeld wurde die Gerade in einem Bereich von 0.05 mA um den Arbeitspunkt für  $I_B$  zu  $U_{BE}$  gefittet. Der differentielle Eingangswiderstand ist damit der Kehrwert des Fitparameters  $a$ , zudem werden die mA in A umgerechnet, um die Einheit  $\Omega$  zu erhalten:

$$r_{BE} = \frac{1}{a} = \underline{(214.041 \pm 20.525) \Omega = h_{11}} \quad (2.7)$$

Der Vierpolparameter  $h_{22}$  kann im Ausgangskennlinienfeld über den differentiellen Transistor-Ausgangswiderstand bestimmt werden. Der Widerstand ist die Steigung des Fits, erneut werden die mA in A umgerechnet:

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} = (4009 \pm 31) \Omega \quad (2.8)$$

Der dazugehörige Vierpolparameter berechnet sich aus dem Kehrwert des Ausgangswiderstands:

$$h_{22} = \underline{(2.494 \pm 0.019) \times 10^{-4} 1/\Omega} \quad (2.9)$$

Aus dem Stromsteuerungskennlinienfeld  $I_C$ - $I_B$  kann der differentielle Stromverstärkungsfaktor  $\beta$  bestimmt werden. Dieser entspricht dem Anstieg der gefitten Geraden und gibt in gewisser Weise an, um welchen Faktor der Transistor den Kollektorstrom verstärkt. Dieser Faktor ist auch der Vierpolparameter  $h_{21}$ :

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \underline{207.5 \pm 4.2 = h_{21}} \quad (2.10)$$

Der letzte Vierpolparameter ist im Rückwirkungskennlinienfeld der differentielle Rückwirkungsfaktor  $D$ . Dieser gibt an wie stark Änderungen der Ausgangsspannung  $U_{CE}$  auf die Eingangsspannung  $U_{BE}$  zurückwirken. Solche sind unerwünscht und sollen möglichst klein sein.

$$D = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U_{CE}} = \underline{-0.298 \pm 0.052 = h_{12}} \quad (2.11)$$

## 2.3 Feldeffektransistor

## 2.4 Solarzelle

*Fehlt!...*

### **3. Fazit**

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Kennlinie der Diode . . . . .	5
2.2	Schaltskizze eines pnp-Transistors . . . . .	6
2.3	allgemeiner Vierpol . . . . .	6
2.4	Vierquadrantenkennlinienfeld des Bipolartransistors . . . . .	7

# Literaturverzeichnis

- [1] I. Physikalisches Institut, „Versuch 1.8: I-U-Kennlinien an Halbleitern und Solarzellen“, 2024.
- [2] K. Beuth, „Elektronik 2 – Bauelemente“, Vogel Buchverlag (Bauelemente)
- [3] S. Hunklinger, „Festkörperphysik“, Oldenbourg Wissenschaftsverlag (Grundlagen)

# Anhang