

Praktikumsbericht

# Versuch 3

## LV: Elektronik 1 Praktikum

Versuchsdurchführung: 11. Januar 2021

*Studierende* **Cassel, Niclas** (1110348)  
**Wechler, Tim-Jonas** (1137877)

Rüsselsheim am Main, 12. Januar 2021



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>II</b>
<b>1 Versuchsvorbereitung</b>	<b>1</b>
1.1 Ziele des Versuchs . . . . .	1
1.2 Begriffserklärung . . . . .	1
1.2.1 Eingangskennlinie . . . . .	1
1.2.2 Stromsteuerkennlinie . . . . .	1
1.2.3 Ausgangskennlinienschar . . . . .	1
1.2.4 differentieller Eingangswiderstand . . . . .	2
1.2.5 differentieller Ausgangswiderstand . . . . .	2
1.3 Versuchsaufbau . . . . .	2
<b>2 Versuchsdurchführung</b>	<b>3</b>
2.1 Aufnahme der Eingangskennlinie . . . . .	3
2.2 Bestimmung des differentiellen Eingangswiderstands . . . . .	4
2.3 Aufnahme der Stromsteuerkennlinie . . . . .	5
2.4 Bestimmung der Stromverstärkung . . . . .	5
2.5 Aufnahme der Ausgangskennlinienschar . . . . .	7
2.6 Bestimmung des differentiellen Ausgangswiderstands . . . . .	8
<b>3 Fazit</b>	<b>10</b>
<b>4 Quellen</b>	<b>11</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Schaltung zur Aufnahme der Kennlinien eines NPN-Transistor . . . . .	2
2.1	Schaltung zur Aufnahme der Eingangskennlinie . . . . .	3
2.2	Messwerte des Eingangssignals eines NPN-Transistors (Typ BC547B) . . .	3
2.3	Schaltung zur Aufnahme des Eingangswiderstandes . . . . .	4
2.4	Messwerte für $r_{BE} = f(I_B)$ . . . . .	4
2.5	Messwerte für den Kollektorstrom $I_C$ . . . . .	5
2.6	Stromverstärkung als Funktion des Kollektorstroms doppellogarithmisch dargestellt . . . . .	5
2.7	Graph aus dem Datenblatt des Transistors BC547B [ <b>B 2.7</b> ] . . . . .	6
2.8	Ausgangskennlinien der verschiedenen Basisstromstärken . . . . .	7
2.9	Graph aus dem Datenblatt von BC547B [ <b>B 2.9</b> ] . . . . .	7
2.10	Verlustleistungshyperbel . . . . .	7
2.11	Verhalten des Ausgangswiderstandes zum Basisstrom . . . . .	9

# Versuchsvorbereitung

Für eine zielorientierte Durchführung des Versuchs 3 in Elektronik 1 Praktikum haben wir das Ziel definiert.

## 1.1 Ziele des Versuchs

Das Ziel in diesem Versuch ist es, die Aufnahme der Kennlinie eines NPN-Transistor vom Typ BC547 kennen zu lernen. Darüber hinaus soll man seine charakteristischen Größen bestimmen können.

## 1.2 Begriffserklärung

### 1.2.1 Eingangskennlinie

Die **Eingangskennlinie** stellt den Zusammenhang zwischen der Basis-Emitter-Spannung  $U_{BE}$  und dem Basisstrom  $I_B$  dar. Sie entspricht auch der Kennlinie einer Diode.

### 1.2.2 Stromsteuerkennlinie

Die **Stromsteuerkennlinie** beschreibt die Abhängigkeit des Kollektorstroms  $I_C$  vom Basisstrom  $I_B$ .

### 1.2.3 Ausgangskennlinienschar

Der Basisstrom regelt den Strom  $I_C$  im Hauptstromkreis zwischen Kollektor und Emitter. Außerdem spielt die Spannung zwischen diesen zwei kaum eine Rolle. Der Transistor verhält sich an der Ausgangsseite wie eine Stromquelle. So mit der der Kollektor-Emitterwiderstand abhängig von der Spannung.

## 1.2.4 differentieller Eingangswiderstand

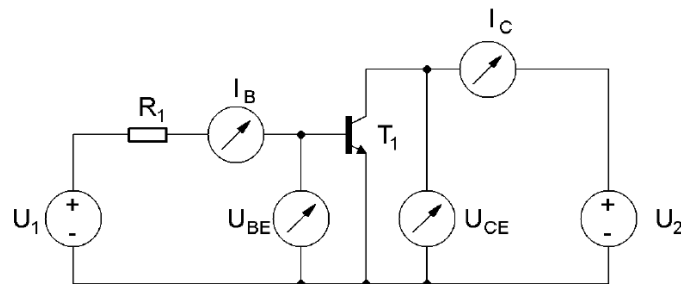
Durch den nicht linearen Kurvenverlauf ist der Eingangsleitwert immer unterschiedlich und abhängig von der Ansteuerung. Die Steigung eines auf der Kurve liegender Arbeitspunkt kann durch seine Tangente ermittelt werden. Aus seinem Kehrwert errechnet sich dann der **differentieller Eingangswiderstand**. Der Wert des Widerstands ändersich wenn die Spannung  $U_{CE}$  nicht konstant ist. Im Standard fall bei Transistoren liegt dieser Bereich zwischen  $100\ \Omega$  bis  $50\ k\Omega$ . [Quelle: <https://www.elektroniktutor.de/bauteilkunde/transkl.html> 08.01.2021]

## 1.2.5 differentieller Ausgangswiderstand

Wie bei dem differentiellen Eingangswiderstand steht der **differentieller Ausgangswiderstand** auch für den Anstieg an einem bestimmten Punkt in der Kennlinie. Dieser Widerstand ändert sich wenn der Strom  $I_B$  nicht konstant ist auf einen bestimmten Arbeitspunkt bezogen.

## 1.3 Versuchsaufbau

Um den Versuch durchführen zu können wird eine Schaltung verwendet die man auch im Skript von Herrn Dörr aus Elektronik 1 finden ist (Seite 79).

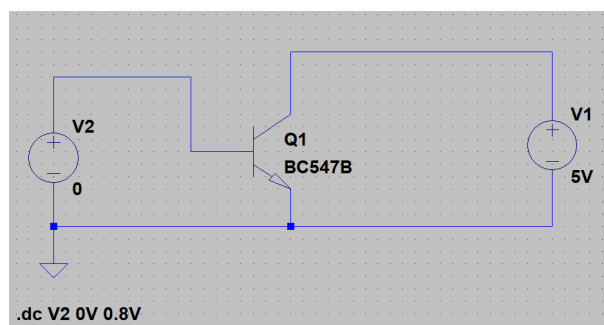


**Abbildung 1.1:** Schaltung zur Aufnahme der Kennlinien eines NPN-Transistor

# Versuchsdurchführung

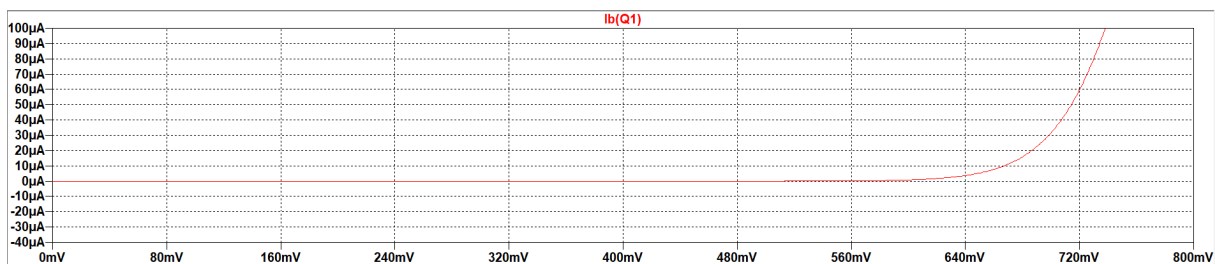
## 2.1 Aufnahme der Eingangskennlinie

Für die Aufnahme der Eingangskennlinie eines Transistors wird folgende Schaltung benötigt (siehe Abb. 2.1). Dabei wurde die Schaltung aus dem Versuchsaufbau etwas vereinfacht.



**Abbildung 2.1:** Schaltung zur Aufnahme der Eingangskennlinie

Für V1 ( $U_{CE}$ ) werden 5V verwendet und V2 ( $U_{BE}$ ) wird im Intervall zwischen 0 V und 0,8 V verwendet. Bei der Messung des Basisstrom  $I_B$  kamen folgende Werte heraus, welche im folgenden Graph dargestellt werden.



**Abbildung 2.2:** Messwerte des Eingangssignals eines NPN-Transistors (Typ BC547B)

Der Basisstrom eines NPN-Transistors liegt bei 0 A bis bis er circa bei einer Spannung von 640 mV stark ansteigt.

## 2.2 Bestimmung des differentiellen Eingangswiderstands

Zur Bestimmung des differentiellen Eingangswiderstandes ( $r_{BE}$ ) wird die Schaltung aus 2.1 leicht verändert. Die Spannungsquelle V2 wird durch eine Stromquelle I1 ersetzt. Die Spannungsquelle V1 bleibt bei 5 V und I1 ( $I_B$ ) wird im Intervall von  $10\text{ nA}$  bis  $100\text{ }\mu\text{A}$  eingesetzt.

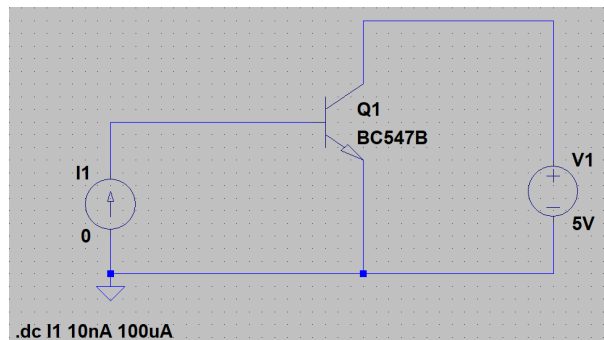


Abbildung 2.3: Schaltung zur Aufnahme des Eingangswiderstandes

Durch das Simulieren mit LT-Spice erhalten wir folgenden Graphen für den Eingangswiderstand. Die Werte sind doppellogarithmisch aufgetragen.

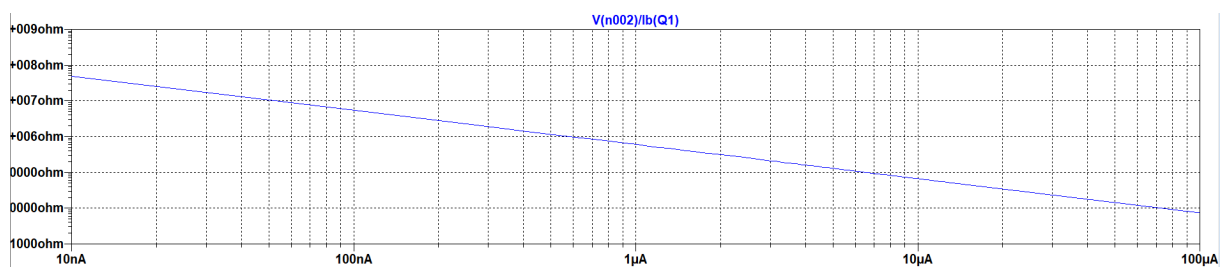


Abbildung 2.4: Messwerte für  $r_{BE} = f(I_B)$

Im Graphen ist zu erkennen, dass der Eingangswiderstand mit steigender Stromstärke sinkt.

## 2.3 Aufnahme der Stromsteuerkennlinie

Um die Stromsteuerkennlinie  $I_C = f(I_B)$  zu ermitteln wird die selbe Schaltung verwendet (siehe Abb. 2.3). Die Spannungsquelle V1 wird wieder mit 5 V versorgt.  $I_B$  wird dabei im Intervall von  $1\mu A$  bis  $1mA$  in der Simulation mit LT-Spice verändert.

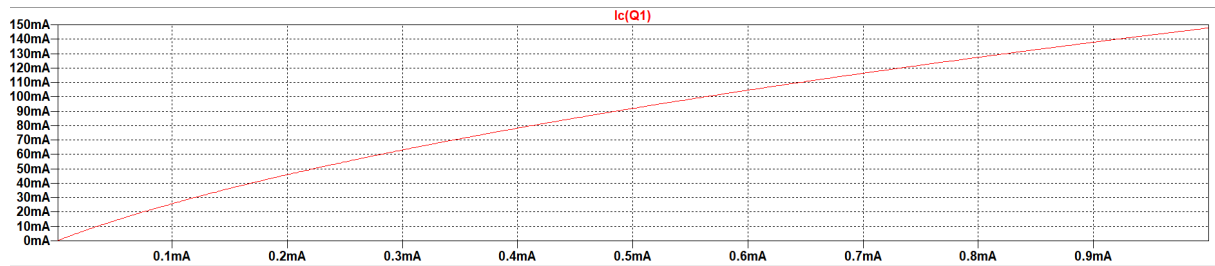


Abbildung 2.5: Messwerte für den Kollektorstrom  $I_C$

Im Graphen ist zu erkennen, dass der Kollektorstrom mit dem Basisstrom zusammen ansteigt. Dies geschieht jedoch nicht linear, sondern hat eine leichte Kurvenform.

## 2.4 Bestimmung der Stromverstärkung

Die Daten für  $I_B$  und  $I_C$  müssen mit LT-Spice aus dem Graphen entnommen werden.

[https://raw.githubusercontent.com/wechlertj/hsrcm\\_ap\\_bsc/master/WS2021/ET/Versuch\\_3/Stromstaerke.txt](https://raw.githubusercontent.com/wechlertj/hsrcm_ap_bsc/master/WS2021/ET/Versuch_3/Stromstaerke.txt)

Durch die Formel

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad (2.1)$$

kann nun die Stromverstärkung ausgerechnet werden. Durch das Logarithmieren von  $I_C$  und  $\beta$  kann die Stromverstärkung als Funktion des Kollektorstroms in einem Diagramm dargestellt werden.

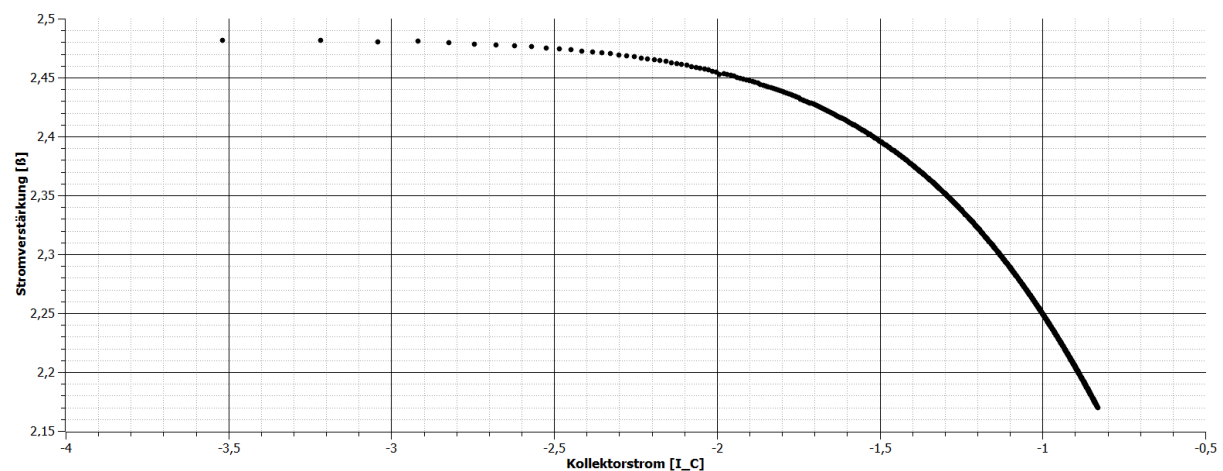


Abbildung 2.6: Stromverstärkung als Funktion des Kollektorstroms doppellogarithmisch dargestellt

Im oben stehenden Link sind die einzelnen Messwerte und Ergebnisse für die Stromverstärkung und die einzelnen logarithmischen Funktionen zu sehen.



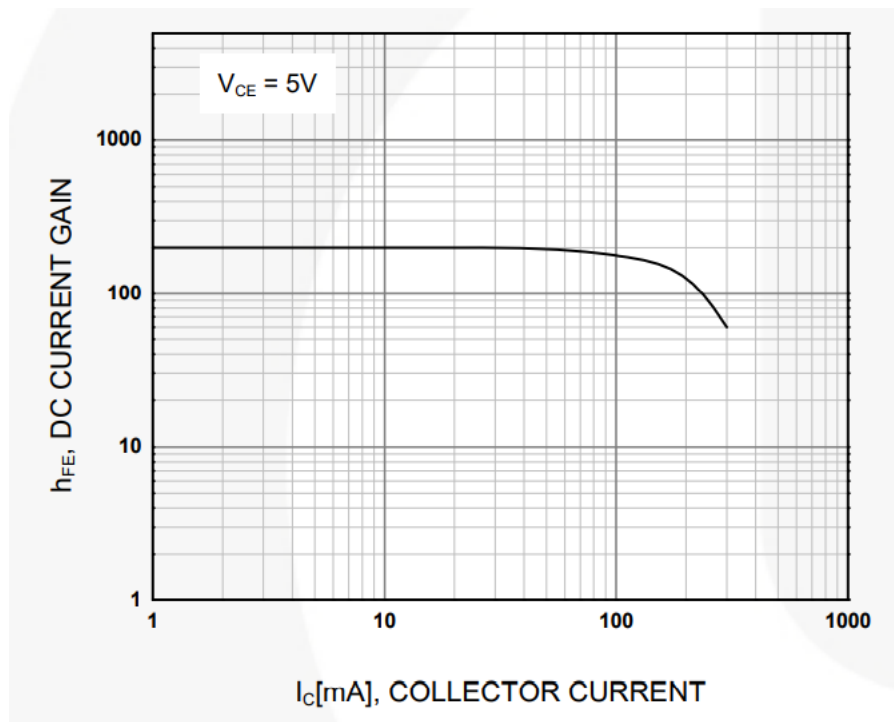


Abbildung 2.7: Graph aus dem Datenblatt des Transistors BC547B [B 2.7]

Beim vergleichen der beiden Graphen 2.6 und 2.7 ist zu erkennen das diese fast gleich verlaufen. Beide laufen anfangs recht linear und ab einem bestimmten Kollektorstrom sinkt die Stromverstärkung rapide ab. Im Graph 2.6 von beiden Achsen der Logarithmus genommen und dann aufgetragen, im Graph 2.7 wurde das ganze im Graphen logarithmisch aufgezeichnet. Das Ergebnis ist das selbe.

## 2.5 Aufnahme der Ausgangskennlinienschar

Bei der Aufnahme der Kennlinienschar wird der gleiche Aufbau wie 2.3 verwendet. Jedoch werden nun der Basisstrom  $I_B$  und die Spannungsquelle V1  $U_{CE}$  als veränderliche Größen verwendet.  $U_{CE}$  wird im Intervall von 0V bis 30V verändert und  $I_B$  im Intervall von  $20\text{ }\mu\text{A}$  bis  $100\text{ }\mu\text{A}$ . Bei  $I_B$  wird schrittweise um  $20\text{ }\mu\text{A}$  erhöht.

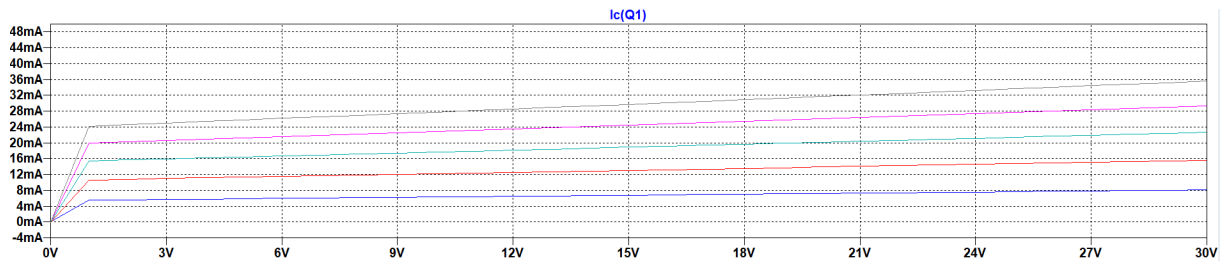


Abbildung 2.8: Ausgangskennlinien der verschiedenen Basisstromstärken

Aus dem Datenblatt des Transistors BC547B ist folgender Graph zu entnehmen.

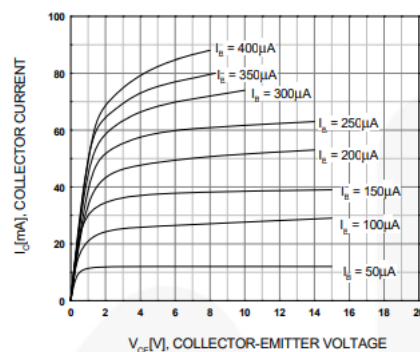


Abbildung 2.9: Graph aus dem Datenblatt von BC547B [B 2.9]

Der von LT-Spice ermittelte Graph sieht nur ansatzweise so aus wie der Graph aus dem Datenblatt. Der ermittelte Kollektorstrom (Y-Achse) entspricht nicht den Werten aus dem Datenblatt. Jedoch sind die Intervalle für den Basisstrom im Intervall von  $50 - 100\text{ }\mu\text{A}$  anders gewählt als in unserer Simulation. Deshalb kommen auch die anderen Werte für den Kollektorstrom zustande.

Im folgenden Graph ist noch die Verlustleistungshyperbel für die Schaltung aufgezeigt.

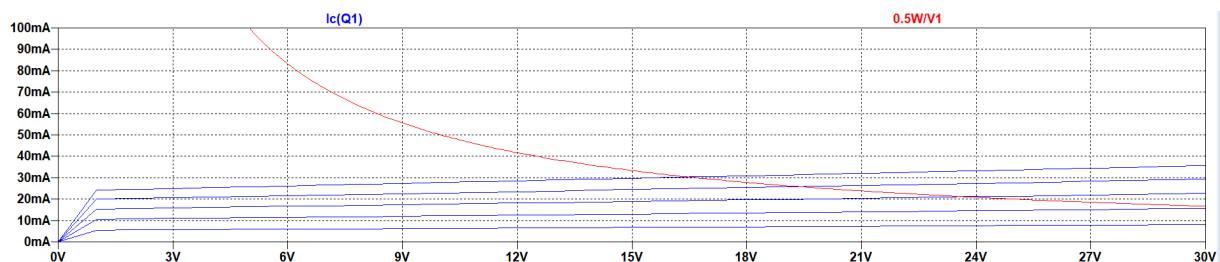


Abbildung 2.10: Verlustleistungshyperbel

## 2.6 Bestimmung des differentiellen Ausgangswiderstands

Um den differentiellen Ausgangswiderstand  $r_{CE}$  wird die Simulation mit V1 ( $U_{CE}$ ) im Intervall von 4V bis 6V und  $I_B$  im Intervall von 50  $\mu A$  bis 350  $\mu A$  in 50  $\mu A$  durchgeführt. Für  $I_C$  kommen dabei folgende Werte heraus.

[https://raw.githubusercontent.com/wechlertj/hsrcm\\_ap\\_bsc/master/WS2021/ET/Versuch\\_3/Ausgangswiderstand.txt](https://raw.githubusercontent.com/wechlertj/hsrcm_ap_bsc/master/WS2021/ET/Versuch_3/Ausgangswiderstand.txt)

Durch die Formel

$$r_{CE} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta I_C} \quad (2.2)$$

lässt sich der Ausgangswiderstand berechnen.

Da der Strom immer von 4 V auf 6 V steigt ist  $\Delta U_{CE} = 2V$

Für die den Kollektorstrom  $\Delta I_C$  ergeben sich durch das Subtrahieren des Kollektorstroms bei U=4 V und U=6 V folgende Werte.

$$\Delta I_C = I_{Cmax} - I_{Cmin} \quad (2.3)$$

**Tabelle 2.1:** Simulationsergebnisse  $\Delta I_C$

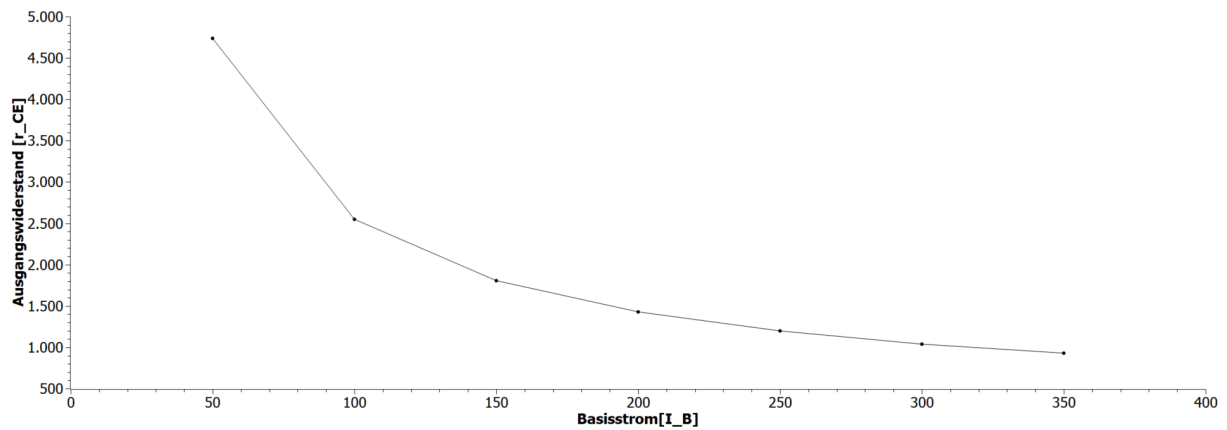
$I_B$ in $\mu A$	$\Delta I_C$ in A
50	0.0004223
100	0.00078471
150	0.00110695
200	0.00139995
250	0.00167042
300	0.00192287
350	0.00216047

Durch das Einsetzen der berechneten Werte in die Formel (1.2) ergibt sich für  $r_{CE}$ :

**Tabelle 2.2:** Simulationsergebnisse  $\Delta I_C$

$I_B$ in $\mu A$	Wert von $r_{CE}$ in $\Omega$
50	4736
100	2549
150	1807
200	1429
250	1197
300	1040
350	926

Im Folgenden ist der Ausgangswiderstand  $r_{CE}$  in Abhängigkeit von dem Basisstrom  $I_B$  aufgetragen.



**Abbildung 2.11:** Verhalten des Ausgangswiderstandes zum Basisstrom

## Fazit

In diesem Bericht wurde eine einfache Emitterschaltung eines Transistors aufgebaut und auf ihre verschiedenen Kennlinien, Widerstände und Stromverstärkung untersucht. Dabei wurde herausgefunden, dass der Basisstrom einer solchen Schaltung erst ab einem bestimmten Wert der Eingangsspannung steigt und vorher bei Null bleibt. Beim Eingangswiderstand sieht es anders aus, da dieser bei steigendem Basisstrom sinkt. Der Kollektorstrom dieser Emitterspannung steigt mit dem Basisstrom gemeinsam an, jedoch viel schneller. Zur Bestimmung der Stromverstärkung wurden Messwerte aus LT-Spice übernommen. Dabei ist aufgefallen, dass LT-Spice uns über Tausend Werte übermittelt hat. Es würde wahrscheinlich auch ausreichen, weniger Werte zu entnehmen, um die Stromverstärkung in Abhängigkeit des Kollektorstroms zu entnehmen. Eine größere Schrittweite hätte viel Arbeit gespart. Zum Zeichnen des Graphen wurde dann von den ermittelten Verstärkungswerten und dem Kollektorstrom jeweils der Logarithmus genommen. Im Datenblatt des Bauteils BC547B ist der Graph jedoch anders skaliert. Es wäre ganz gut gewesen zu wissen, wie man in Scidavis einen Graphen genauso skaliert. Beim differentiellen Ausgangswiderstand wurden die verschiedenen Messergebnisse in Abbildung 2.11 verbunden, um ein Gefühl für den Kurvenverlauf des Ausgangswiderstandes zu bekommen.

## Quellen

## Bilder

[B 2.7] und [B 2.9] <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC550-D.pdf>  
(18:03/10.01.2021)