

# HÖHERE TECHNISCHE BUNDESLEHRANSTALT HOLLABRUNN

## Höhere Abteilung für Elektronik – Technische Informatik

|                                   |                                                        |                            |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------|
| Klasse/ Jahrgang:<br>3BHEL        | Gruppe:<br>3b                                          | Übungsleiter:<br>Prof. Dum |
| Übungsnummer:<br>III / 3          | Übungstitel:<br>Kennlinienmessung (Transistor)         |                            |
| Datum der Übung:<br>09. 01. 2014  | Teilnehmer:<br>Baumhackl, Dräxler, Fleischmann, Uhl S. |                            |
| Datum der Abgabe:<br>23. 01. 2014 | Schriftführer:<br>Fleischmann                          | Unterschrift:              |

|                   | Beurteilung |
|-------------------|-------------|
| Aufgabenstellung  |             |
| Dokumentation     |             |
| Messschaltungen   |             |
| Messtabellen      |             |
| Berechnungen      |             |
| Programmlistings  |             |
| Auswertung        |             |
| Diagramme         |             |
| Berechnungen      |             |
| Simulationen      |             |
| Schlußfolgerungen |             |
| Kommentare        |             |
| Inventarliste     |             |
| Messprotokoll     |             |
| Form              |             |
| Summe             |             |

## Allgemeiner Teil

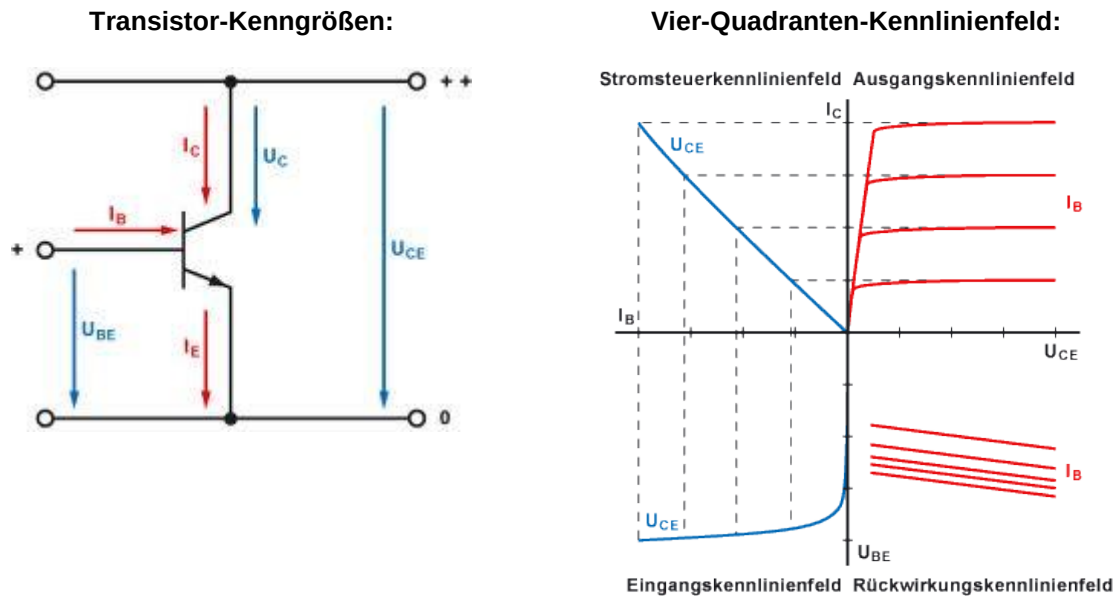
|                          |                                                                           |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>Titel der Übung:</b>  | Kennlinienmessung (Transistor)                                            |
| <b>Übungsnummer:</b>     | III / 3                                                                   |
| <b>Übungsplatz:</b>      | T8                                                                        |
| <b>Datum der Übung:</b>  | 09.01.2014                                                                |
| <b>Klasse:</b>           | 3BHEL                                                                     |
| <b>Schriftführer:</b>    | Fleischmann Raphael                                                       |
| <b>Übungsteilnehmer:</b> | Baumhackl David<br>Dräxler Stefan<br>Fleischmann Raphael<br>Uhl Sebastian |

## Inhaltsverzeichnis

|           |                                                     |           |
|-----------|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b> | <b>Theoretische Grundlagen .....</b>                | <b>3</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Bauteilidentifizierung .....</b>                 | <b>3</b>  |
| <b>3.</b> | <b>Kennlinienmessung .....</b>                      | <b>4</b>  |
| 3.1.      | Arbeitsauftrag .....                                | 4         |
| 3.2.      | Messschaltung .....                                 | 4         |
| 3.3.      | Benötigte Kennwerte .....                           | 4         |
| 3.4.      | Messung 1: Ausgangskennlinie ohne Oszilloskop ..... | 5         |
| 3.4.1.    | Durchführung .....                                  | 5         |
| 3.4.2.    | Messtabelle .....                                   | 5         |
| 3.4.3.    | Kennlinien .....                                    | 6         |
| 3.4.4.    | Erkenntnisse .....                                  | 6         |
| 3.5.      | Messung 2: Ausgangskennlinie mit Oszilloskop .....  | 6         |
| 3.5.1.    | Durchführung .....                                  | 6         |
| 3.5.2.    | Messtabelle .....                                   | 7         |
| 3.5.3.    | Kennlinie .....                                     | 7         |
| 3.6.      | Messung 3: Eingangs- und Stromsteuerkennlinie ..... | 8         |
| 3.6.1.    | Durchführung .....                                  | 8         |
| 3.6.2.    | Messtabelle .....                                   | 8         |
| 3.6.3.    | Kennlinien .....                                    | 8         |
| 3.7.      | Messung 4: Sättigungskennlinie .....                | 9         |
| 3.7.1.    | Durchführung .....                                  | 9         |
| 3.7.2.    | Messschaltung .....                                 | 9         |
| 3.7.3.    | Messtabelle .....                                   | 9         |
| 3.8.      | Vier-Quadranten-Kennlinienfeld .....                | 10        |
| <b>4.</b> | <b>Persönliche Erkenntnisse .....</b>               | <b>10</b> |
| <b>5.</b> | <b>Übungsmitschrift .....</b>                       | <b>11</b> |
| <b>6.</b> | <b>Inventarliste .....</b>                          | <b>12</b> |

## 1. Theoretische Grundlagen

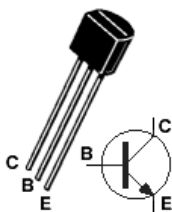
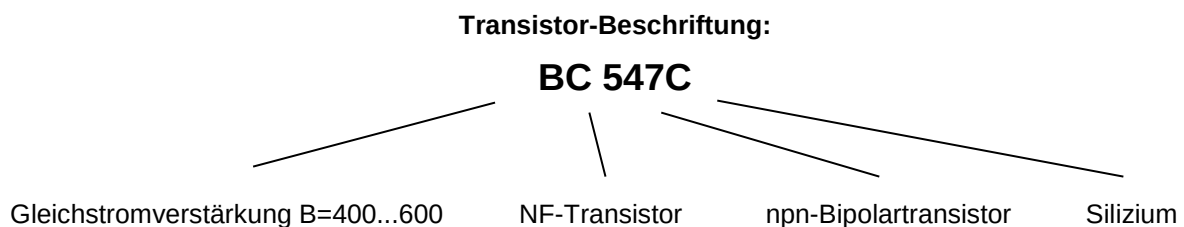
Zu Beginn der Übung wurden die theoretischen Grundlagen des Bipolartransistors wiederholt. Teil dieser Wiederholung waren verschiedene Transistorkennwerte, die allgemeine Funktion eines Transistors und das Vier-Quadranten-Kennlinienfeld.



Ebenfalls besprochen wurde, dass eine unbekannte Quelle mit kleinem Innenwiderstand eine Spannungsquelle und eine Quelle mit hohem Innenwiderstand eine Stromquelle ist.

## 2. Bauteilidentifizierung

Als erster Teil der Übung haben wir einen Transistor mit TO-92-Gehäuse erhalten und sollten herausfinden, um welchen Transistor es sich handelt, welche Eigenschaften dieses Bauteil hat und ein passendes Datenblatt suchen.



Liegt der Transistor mit der gewölbten Seite nach unten, so sind die Anschlussdrähte von links nach rechts: Kollektor – Basis – Emitter

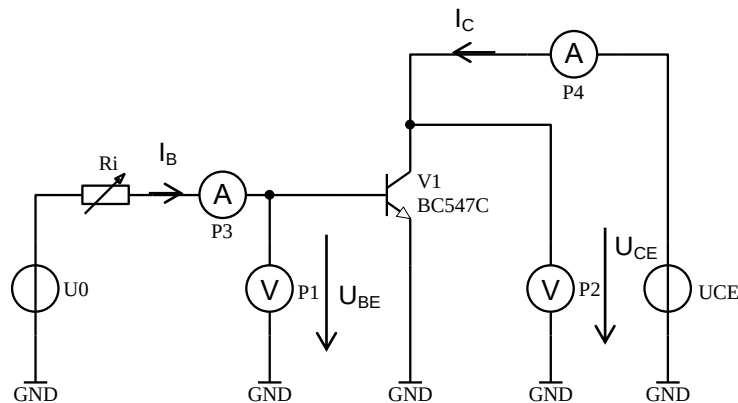
Als Datenblatt wurde ein gemeinsames Datenblatt für BC546 bis BC548 von Vishay Semiconductors verwendet. Aus diesem Dokument wurden die benötigten Kennwerte übernommen.

### 3. Kennlinienmessung

#### 3.1. Arbeitsauftrag

Es war eine Messschaltung zu entwerfen, um die erforderlichen Kennwerte für die Erstellung eines Vier-Quadranten-Kennlinienfeld des gegebenen BC547C-Transistors zu sammeln. Zu beachten war, dass sich die Temperatur des Transistors

#### 3.2. Messschaltung



#### Bemerkung:

Die Quelle  $U_0$  sollte eine Stromquelle sein. Da keine Stromquelle vorhanden war, wurde diese Quelle mit einer Spannungsquelle und einem zusätzlichen hohen Widerstand aufgebaut. Dadurch verhält sich die Quelle  $U_0$  wie eine Stromquelle.

#### 3.3. Benötigte Kennwerte

| Name                                      | Wert                                 | Quelle                  |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Max. Kollektorstrom                       | $I_{C\_max} = 100 \text{ mA}$        | aus Datenblatt          |
| Max. Kollektor-Emitter-Spannung           | $U_{CE\_max} = 45 \text{ V}$         | aus Datenblatt          |
| Gleichstromverstärkung                    | $B = 500$                            | aus Datenblatt          |
| Umgebungstemperatur                       | $\vartheta_A = 20 \text{ °C}$        | gegeben                 |
| Max. Sperrschichttemperatur               | $\vartheta_{j\_max} = 70 \text{ °C}$ | gegeben                 |
| Sperrschicht- zu Umgebungs-Temperatur     | $\vartheta_{JA} = 50 \text{ °C}$     | berechnet <sup>1</sup>  |
| Sperrschicht zu Umgebungs-Wärmewiderstand | $R_{th\_JA} = 350 \text{ °C / W}$    | angenommen <sup>2</sup> |
| Verlustleistung                           | $P_V = 142,9 \text{ mW}$             | berechnet <sup>3</sup>  |
| Innenwiderstand der simulierten Quelle    | $R_i = 1 \text{ M}\Omega$            | gegeben                 |
| Kollektor-Emitter-Spannung                | $U_{CE} = 30 \text{ V}$              | gegeben                 |
| Kollektorstrom                            | $I_C = 4,7 \text{ mA}$               | berechnet <sup>4</sup>  |
| Basisstrom                                | $I_B = 10 \text{ }\mu\text{A}$       | berechnet <sup>5</sup>  |
| Basisspannung                             | $U_B = 10 \text{ V}$                 | berechnet <sup>6</sup>  |

**Anmerkungen:**

1. Verwendete Formel:  $\vartheta_{JA} = \vartheta_{J_{max}} - \vartheta_A = 70\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$
2. Im Datenblatt ist der Wert  $250\text{ }^{\circ}\text{C/W}$  zu finden, dieser gilt aber nur wenn die Anschlussdrähte in 2mm Abstand bereits Umgebungstemperatur haben.
3. Verwendete Formel:  $P_V = \frac{\vartheta_{JA}}{R_{th_{JA}}} = \frac{50\text{ }^{\circ}\text{C}}{350\text{ }^{\circ}\text{C/W}} = 142,9\text{ mW}$
4. Verwendete Formel:  $I_C = \frac{P_V}{U_{CE}} = \frac{142,9\text{ mW}}{30\text{ V}} = 4,7\text{ mA}$
5. Verwendete Formel:  $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{4,7\text{ mA}}{500} = 9,4\text{ }\mu\text{A} \approx 10\text{ }\mu\text{A}$
6. Verwendete Formel:  $U_B = R_i * I_B = 1\text{ M}\Omega * 10\text{ }\mu\text{A} = 10\text{ V}$

**3.4. Messung 1: Ausgangskennlinie ohne Oszilloskop****3.4.1. Durchführung**

Mit der ersten Messung sollten die Werte für die Ausgangskennlinie gemessen werden. Für die Messung wurde die Spannung  $U_B$  kontinuierlich verringert, wodurch sich die Spannung  $U_{CE}$  ebenfalls verringerte. Der Basisstrom  $I_B$  wurde während der Messung konstant gehalten.

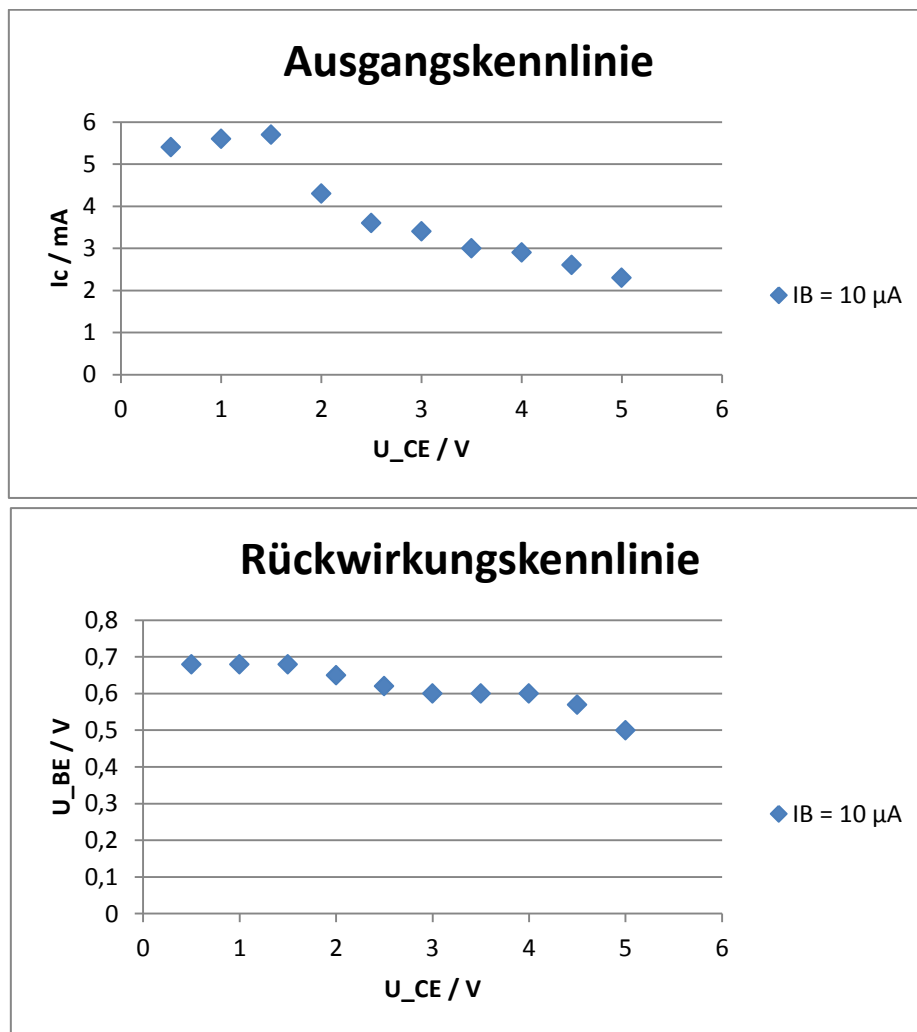
**3.4.2. Messtabelle**

| Eingestellt   |          | Gemessen |          |
|---------------|----------|----------|----------|
| $I_B$         | $U_{CE}$ | $I_C$    | $U_{BE}$ |
| $\mu\text{A}$ | V        | mA       | V        |
| 10            | 5        | 2,3      | 0,5      |
| 10            | 4,5      | 2,6      | 0,57     |
| 10            | 4        | 2,9      | 0,6      |
| 10            | 3,5      | 3        | 0,6      |
| 10            | 3        | 3,4      | 0,6      |
| 10            | 2,5      | 3,6      | 0,62     |
| 10            | 2        | 4,3      | 0,65     |
| 10            | 1,5      | 5,7      | 0,68     |
| 10            | 1        | 5,6      | 0,68     |
| 10            | 0,5      | 5,4      | 0,68     |

**Bemerkung:**

Beim Einstellen der Kollektorspannung wurde der Kollektorstrom  $I_C$  über den berechneten Wert von 4mA gebracht. Dies wurde toleriert, weil die Spannung sehr klein war.

### 3.4.3. Kennlinien



### 3.4.4. Erkenntnisse

Der Kollektorstrom erhöhte sich, ging dann aber wieder zurück. Zuerst wurde eine thermische Erwärmung in Betracht gezogen, die diese Veränderungen hervorrief.

Anschließend wurde aber festgestellt, dass die Messschaltung schwang. Aus diesem Grund war diese Messung nicht repräsentativ und musste wiederholt werden. Um die Schwingungen sichtbar zu machen, wurde ein Oszilloskop an die Schaltung gehängt. Allerdings wurden durch das Oszilloskop die Schwingungen gefiltert, wodurch der ungewöhnliche Kennlinienverlauf eliminiert wurde.

## 3.5. Messung 2: Ausgangskennlinie mit Oszilloskop

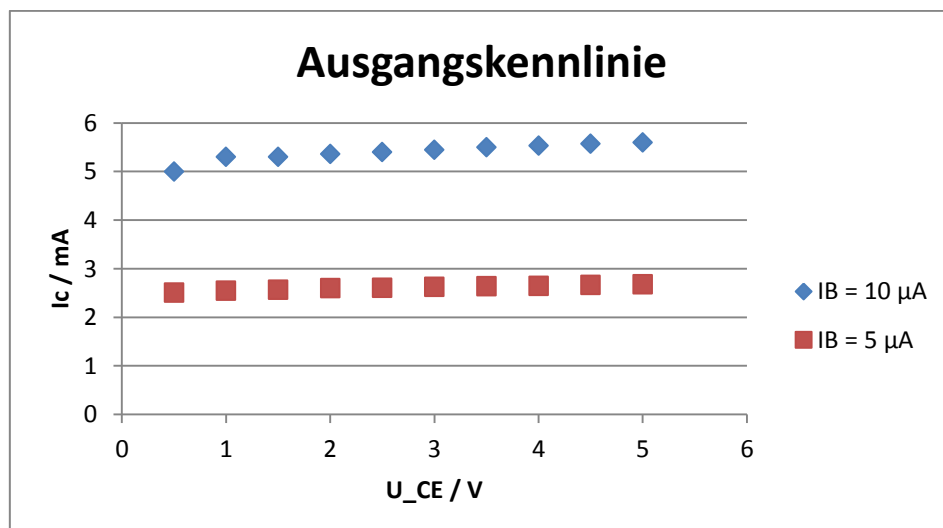
### 3.5.1. Durchführung

Da bei der ersten Messung unkontrollierbare Schwingungen auftraten, musste die Messung wiederholt werden. Diesmal wurde zusätzlich ein Oszilloskop an die Schaltung angehängt, wodurch die Schwingungen gefiltert wurden. Der Basisstrom wurde zuerst auf 10, dann auf 5  $\mu\text{A}$  eingestellt.

## 3.5.2. Messtabelle

| Eingestellt   |     | Gemessen |      |
|---------------|-----|----------|------|
| IB            | UCE | IC       | UBE  |
| $\mu\text{A}$ | V   | mA       | V    |
| 10            | 5   | 5,6      | 0,67 |
| 10            | 4,5 | 5,57     | 0,67 |
| 10            | 4   | 5,53     | 0,67 |
| 10            | 3,5 | 5,5      | 0,67 |
| 10            | 3   | 5,45     | 0,67 |
| 10            | 2,5 | 5,4      | 0,67 |
| 10            | 2   | 5,36     | 0,67 |
| 10            | 1,5 | 5,3      | 0,68 |
| 10            | 1   | 5,3      | 0,68 |
| 10            | 0,5 | 5        | 0,68 |
| 5             | 5   | 2,68     | 0,65 |
| 5             | 4,5 | 2,67     | 0,65 |
| 5             | 4   | 2,65     | 0,65 |
| 5             | 3,5 | 2,64     | 0,65 |
| 5             | 3   | 2,63     | 0,65 |
| 5             | 2,5 | 2,61     | 0,65 |
| 5             | 2   | 2,6      | 0,65 |
| 5             | 1,5 | 2,57     | 0,65 |
| 5             | 1   | 2,55     | 0,66 |
| 5             | 0,5 | 2,51     | 0,66 |

## 3.5.3. Kennlinie

**Bemerkung:**

Aus den gemessenen Werten könnte zusätzlich die Rückwirkungskennlinie gezeichnet werden. Dafür wurden allerdings bei dieser Messung nicht genügend Messwerte gesammelt, da bei jeder Teilmessung nur 2 verschiedene Spannungswerte für  $U_{BE}$  gemessen wurden.

### 3.6. Messung 3: Eingangs- und Stromsteuerkennlinie

#### 3.6.1. Durchführung

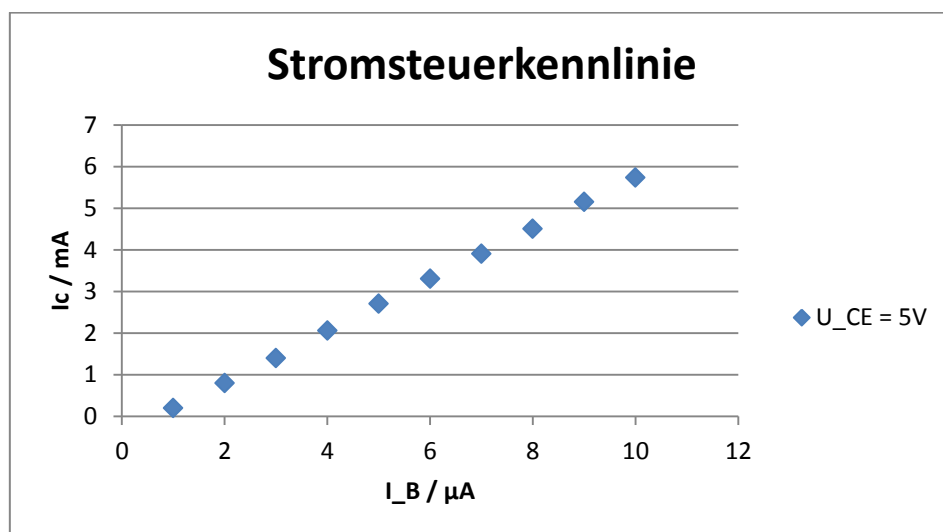
Bei der 3. Messung wurde die Spannung der Quelle  $U_0$  erhöht, wodurch sich der Basisstrom  $I_B$  ebenfalls erhöht hat. Die Kollektor-Emitter-Spannung wurde während der Messung konstant gehalten.

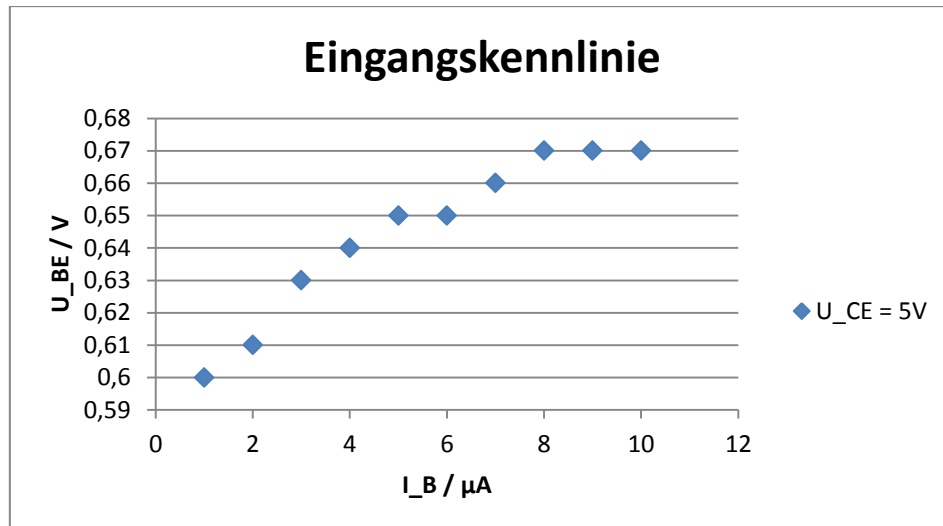
#### 3.6.2. Messtabelle

| Eingestellt |               | Gemessen |      |
|-------------|---------------|----------|------|
| UCE         | IB            | IC       | UBE  |
| V           | $\mu\text{A}$ | mA       | V    |
| 5           | 1             | 0,2      | 0,6  |
| 5           | 2             | 0,8      | 0,61 |
| 5           | 3             | 1,4      | 0,63 |
| 5           | 4             | 2,06     | 0,64 |
| 5           | 5             | 2,7      | 0,65 |
| 5           | 6             | 3,3      | 0,65 |
| 5           | 7             | 3,9      | 0,66 |
| 5           | 8             | 4,5      | 0,67 |
| 5           | 9             | 5,15     | 0,67 |
| 5           | 10            | 5,73     | 0,67 |

#### 3.6.3. Kennlinien

Aus den Messwerten wurde die Stromsteuerkennlinie und die Eingangskennlinie erstellt:



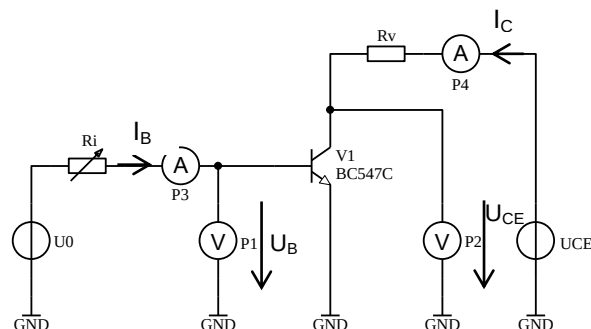


### 3.7. Messung 4: Sättigungskennlinie

#### 3.7.1. Durchführung

Als letzte Messung wurden Messwerte für die Sättigungskennlinie gesammelt. Hierfür wurde der Basisstrom in wenigen Schritten stark erhöht, um den Sättigungsbereich des Transistors zu erreichen. Als Kollektor-Emitter-Spannung  $U_{CE}$  wurde in diesem Fall mit 5V dimensioniert und ein Kollektorwiderstand  $R_V$  von 470  $\Omega$  vorgeschaltet.

#### 3.7.2. Messschaltung



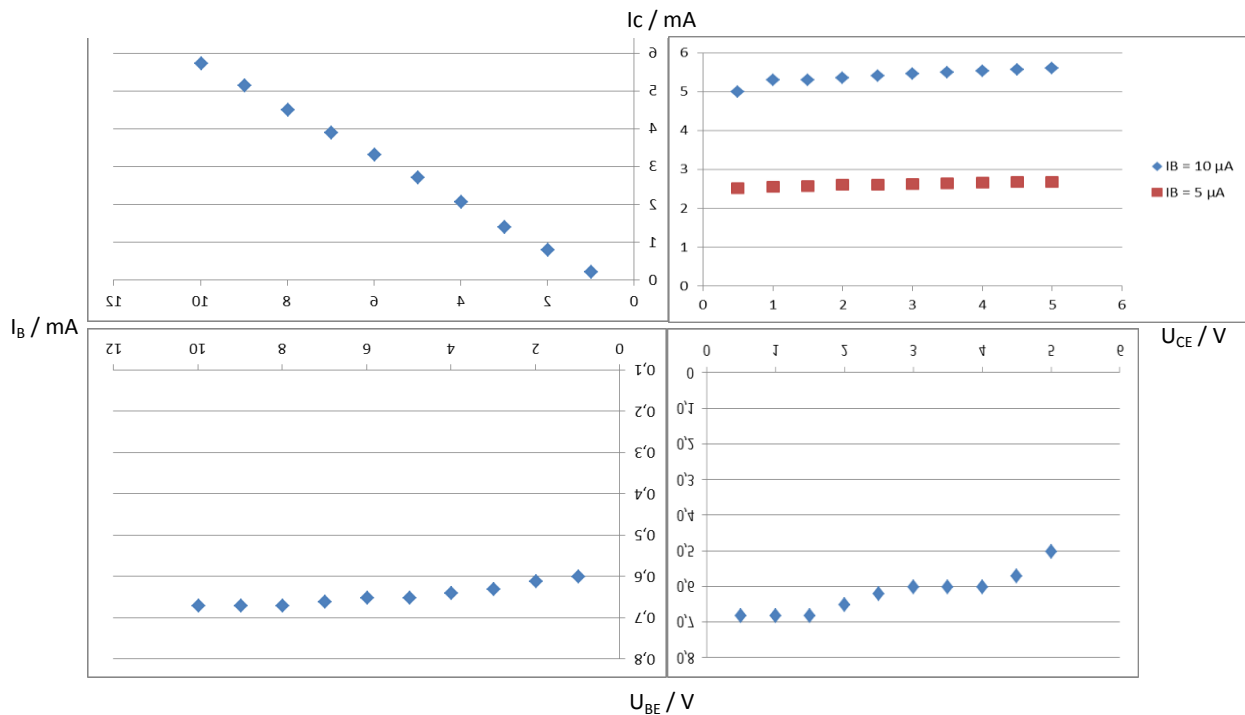
#### 3.7.3. Messtabelle

| Eingestellt | Gemessen |       |          |
|-------------|----------|-------|----------|
| $I_B$       | $U_{CE}$ | $I_C$ | $U_{BE}$ |
| $\mu A$     | V        | mA    | V        |
| 1           | 4,8      | 0,23  | 0,59     |
| 5           | 3,7      | 2,65  | 0,66     |
| 10          | 2,3      | 5,55  | 0,68     |
| 15          | 1,03     | 8,1   | 0,69     |
| 20          | 0,59     | 9     | 0,7      |

#### Anmerkung:

Im Sättigungsbereich steuert der Transistor voll durch. In den Messwerten ist dies daran zu erkennen, dass sich trotz Erhöhung des Basisstroms die Kollektor-Emitter-Spannung nicht mehr stark verändert. Für eine vollständige Kennlinie wurden hierfür aus Zeitmangel nicht genügend Werte gemessen.

### 3.8. Vier-Quadranten-Kennlinienfeld



## 4. Persönliche Erkenntnisse

Bei der ersten wurde ein sehr ungewöhnlicher Verlauf der Kennlinie festgestellt. Zuerst wurde angenommen, dass diese Veränderung auf eine Erwärmung des Transistors zurückzuführen war.

Danach wurde aber festgestellt, dass in der Messschaltung unerwünschte Schwingungen vorhanden waren. Die Schwingungen sind vermutlich auf den großen Messaufbau zurückzuführen.

Um die Schwingungen genau zu analysieren, wurde ein Oszilloskop an die Schaltung gehängt. Dadurch wurden aber die Schwingungen gefiltert. Sie konnten daher nicht grafisch sichtbar gemacht werden und die Messung wurde anschließend mit Oszilloskop wiederholt.