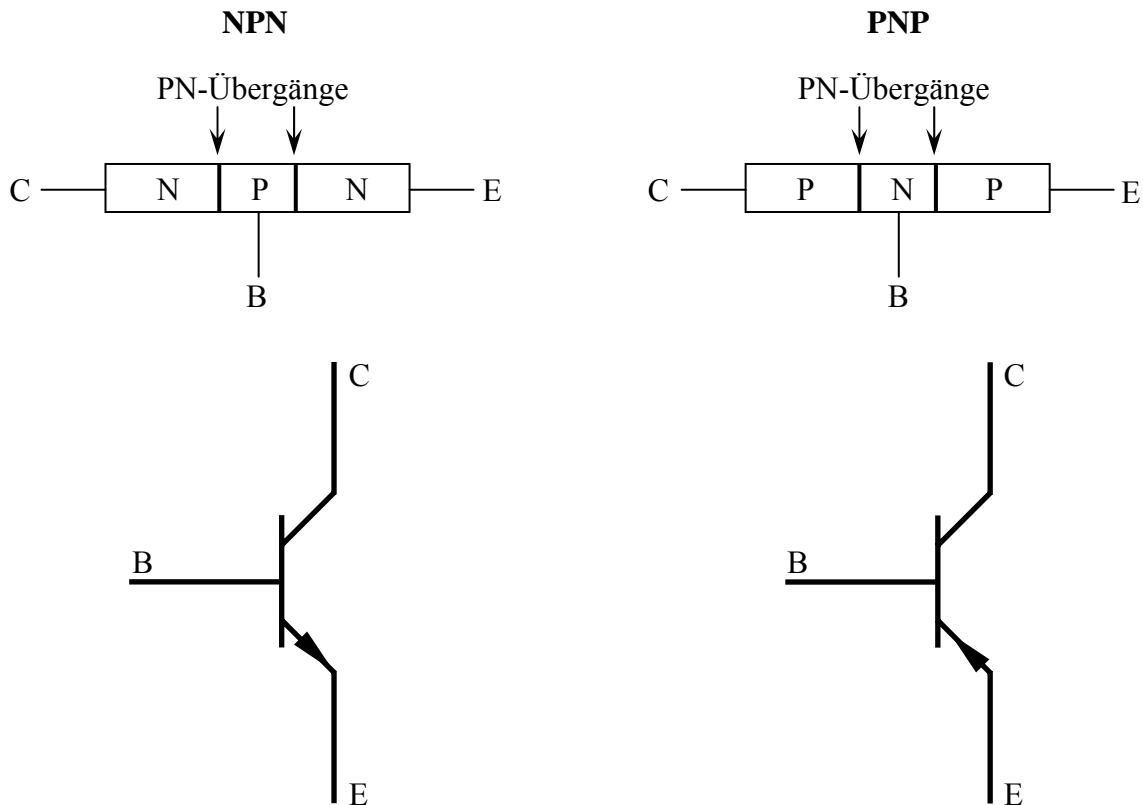


University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Transistor</h1> <h2>Arbeitspunkteinstellung</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>T-01</h2> Stand: 19.03.2006; R0
--	---	---

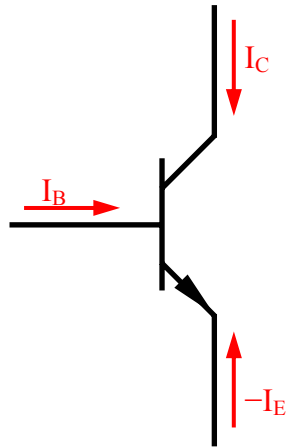
Der Transistor ist ein aktives Bauteil in der Halbleitertechnik. Er wird hauptsächlich in der Verstärkung von elektrischen (Klein)Signalen benutzt. Es gibt zwei Haupttypen: unipolare und bipolare Transistoren. Während bei unipolaren Transistoren die anliegende Spannung verstärkt wird, verstärken bipolare Transistoren Ströme. In diesem Tutorium beschäftigt man sich lediglich mit dem bipolaren Transistor, von dem es zwei Arten gibt: den NPN- und PNP-Transistor.



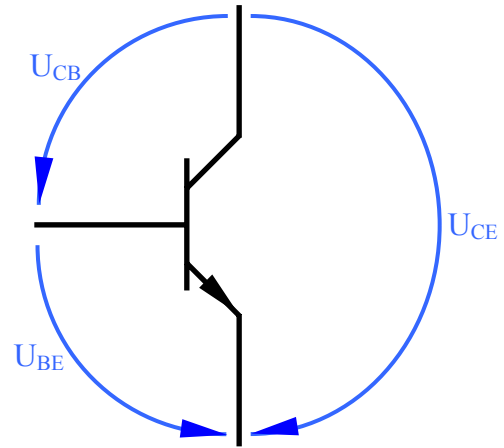
Durch den Aufbau von drei aufeinander folgenden Halbleiterschichten entstehen zwei PN-Übergänge – deswegen auch die Bezeichnung **bipolarer** Transistor. Die beiden N-leitenden Schichten beim NPN-Transistor bezeichnet man als Kollektor (C) und Emmitter (E), die P-leitende Schicht ist die Basis (B). Beim PNP-Transistor verhält es sich umgekehrt. Die Richtung des Pfeils beim Emmitter zeigt in Richtung der N-leitenden Schicht, also beim NPN heraus und beim PNP hinein. Das ist gleichzeitig die Richtung, in welche der Emmitterstrom I_E fließt. Die Abbildungen auf der darauf folgenden Seite zeigen die allgemeinen Zusammenhänge der Spannungen und Ströme ohne eine äußere Beschaltung.

Sämtliche Spannungsangaben werden auf den Emmitter bezogen. Das bedeutet, die Spannung beginnt beim Kollektor – oder der Basis – und endet beim Emmitter. Für die späteren Berechnungen am Transistor ist die Spannung U_{CB} nicht beachtenswert. Für die Ströme kann man den Transistor als Knotenpunkt betrachten. Alle Strompfeile zeigen in den Transistor hinein. Beim NPN-Transistor fließt der Strom I_E in Wirklichkeit heraus – erhält demzufolge ein negatives Vorzeichen.

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Transistor</h1> <h2>Arbeitspunkteinstellung</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>T-02</h2> Stand: 19.03.2006; R0
--	---	---



$$\begin{aligned} \text{Es gilt: } I_C + I_B - I_E &= 0 \\ \Leftrightarrow I_C + I_B &= I_E \end{aligned}$$



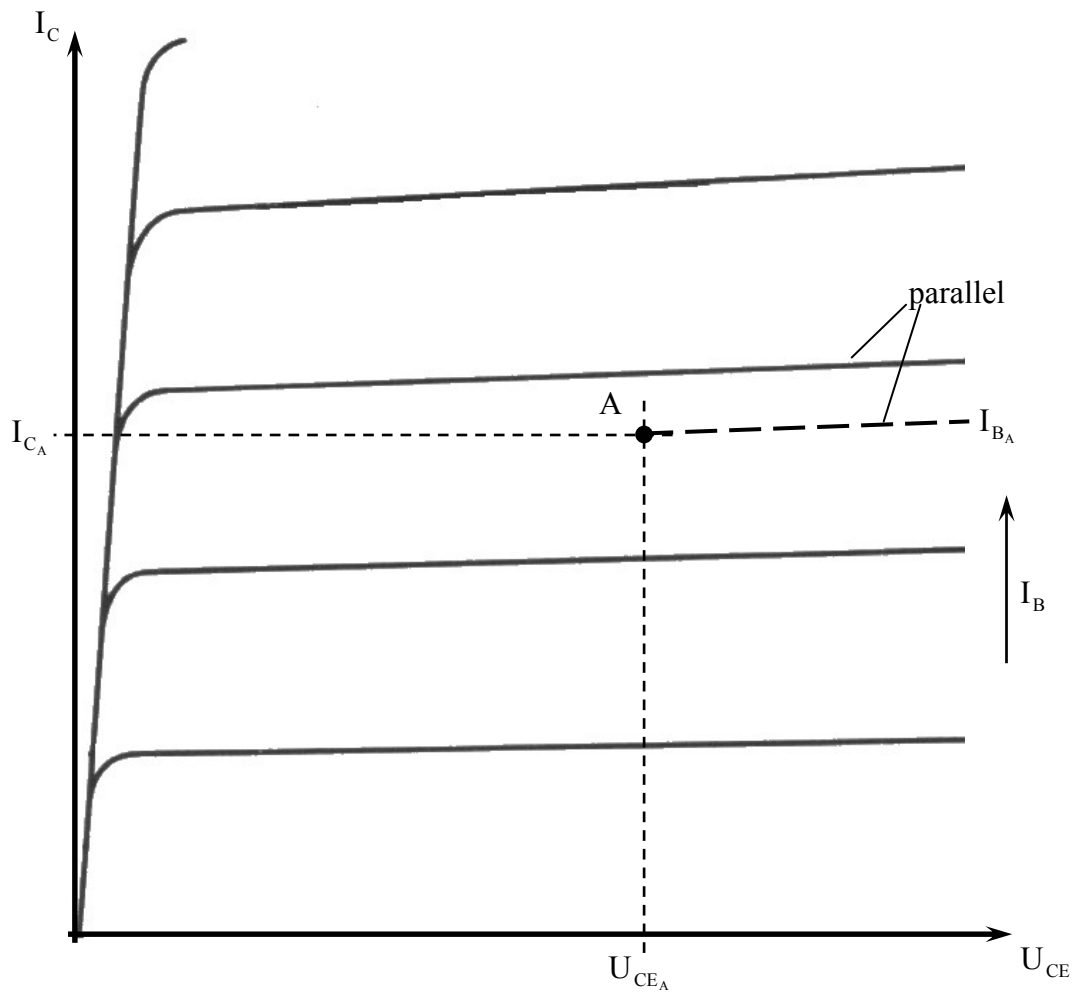
$$\begin{aligned} \text{und } U_{CB} + U_{BE} - U_{CE} &= 0 \\ \Leftrightarrow U_{CB} + U_{BE} &= U_{CE} \end{aligned}$$

Die Funktionsweise beider Transistor-Typen ist identisch, lediglich die Vorzeichen der Spannungen und Ströme werden vertauscht. Für die weitere Betrachtung wird hier nur der NPN-Typ herangezogen.

Damit ein Transistor arbeitet, müssen von außen Gleichspannungen so angelegt sein, dass sich im Eingang und Ausgang ein Arbeitspunkt einstellt. Um diesen Arbeitspunkt herum wird die anliegende Wechselspannung in die positive, als auch in die negative Richtung ausgelenkt, beziehungsweise verstärkt. Dafür ist es notwendig, dass beide PN-Übergänge in Durchlassrichtung beschaltet werden. Das heißt, es muss ein Basisstrom in die Basis hinein fließen (beim PNP heraus). Existiert kein Basisstrom, so fließt auch kein Kollektorstrom. Den Zusammenhang zwischen diesen beiden Gleichströmen beschreibt folgende Gleichung: $B = \frac{I_C}{I_B}$. Dabei liegt die Größenangabe von I_B im μA -Bereich, wohingegen I_C

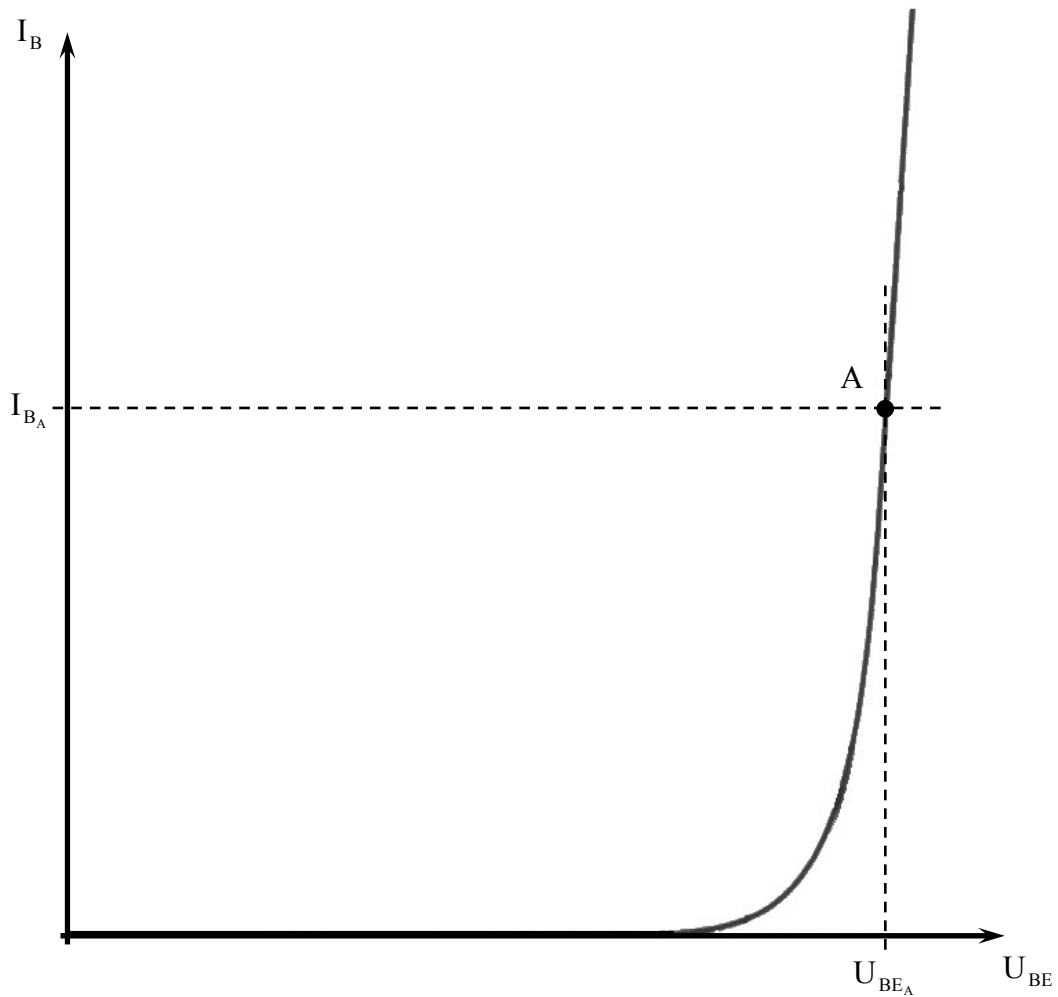
einige mA groß ist – also ein Verhältnis von mehreren hundert. Man sieht, dass wenn man I_B vergrößert, I_C auch größer wird und umgekehrt. Die Verstärkung kommt also dadurch zustande, dass ein kleiner Strom im Steuerkreis (I_B) einen großen Strom im Lastkreis (I_C) steuert.

Die Arbeitspunkte werden durch eine äußere Beschaltung des Transistors durch Widerstände eingestellt. Dabei sind die Widerstände so zu dimensionieren, dass sich die Ströme und Spannungen in dem jeweiligen Arbeitspunkt – also I_{B_A} und U_{BE_A} sowie I_{C_A} und U_{CE_A} – einstellen. Es reicht aus einen Arbeitspunkt zu definieren, der andere ergibt sich zwangsweise durch die Wechselbeziehung der beiden Diagramme. Meistens wird ein Transistor vom Ausgang zum Eingang dimensioniert, also vom Lastkreis zum Steuerkreis. Daher gibt man den Arbeitspunkt im Ausgang mit den Werten I_{C_A} und U_{CE_A} vor und trägt diesen in das Ausgangskennlinienfeld ein.



Der Schnittpunkt dieser beiden Punkte bestimmt die Größe des Stroms I_{B_A} . Wichtig ist, dass die Kennlinien für den Strom I_B nicht parallel zur Abszisse verlaufen, sondern mit größer werdendem I_B eine positive Steigung erfahren. Das bedeutet, man bestimmt den Arbeitspunkt A und trägt eine Verbindungslinie vom Arbeitspunkt parallel zu den Linien von I_B – nicht parallel zur Abszisse! – nach rechts ab um I_{B_A} zu bestimmen.

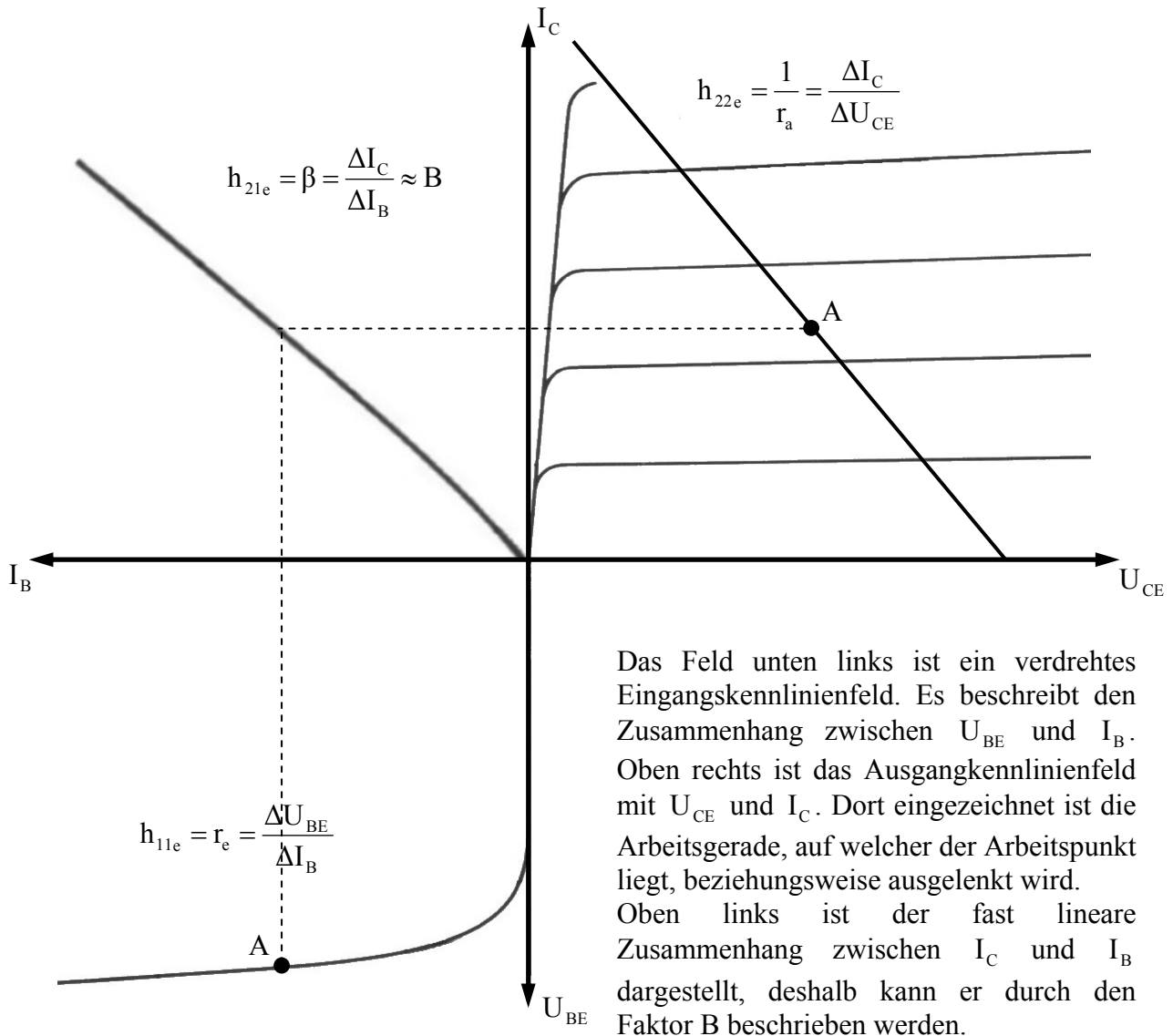
Dieser Strom wird im Eingangskennlinienfeld auf der nächsten Seite eingetragen. Der Schnittpunkt mit der Kennlinie ergibt den Arbeitspunkt im Eingang. Damit ist auch die Spannung U_{BE_A} bekannt.



Mit allen bekannten Größen des Transistors I_{B_A} und U_{BE_A} sowie I_{C_A} und U_{CE_A} können sämtliche äußere Beschaltungen mit Widerständen berechnet werden.

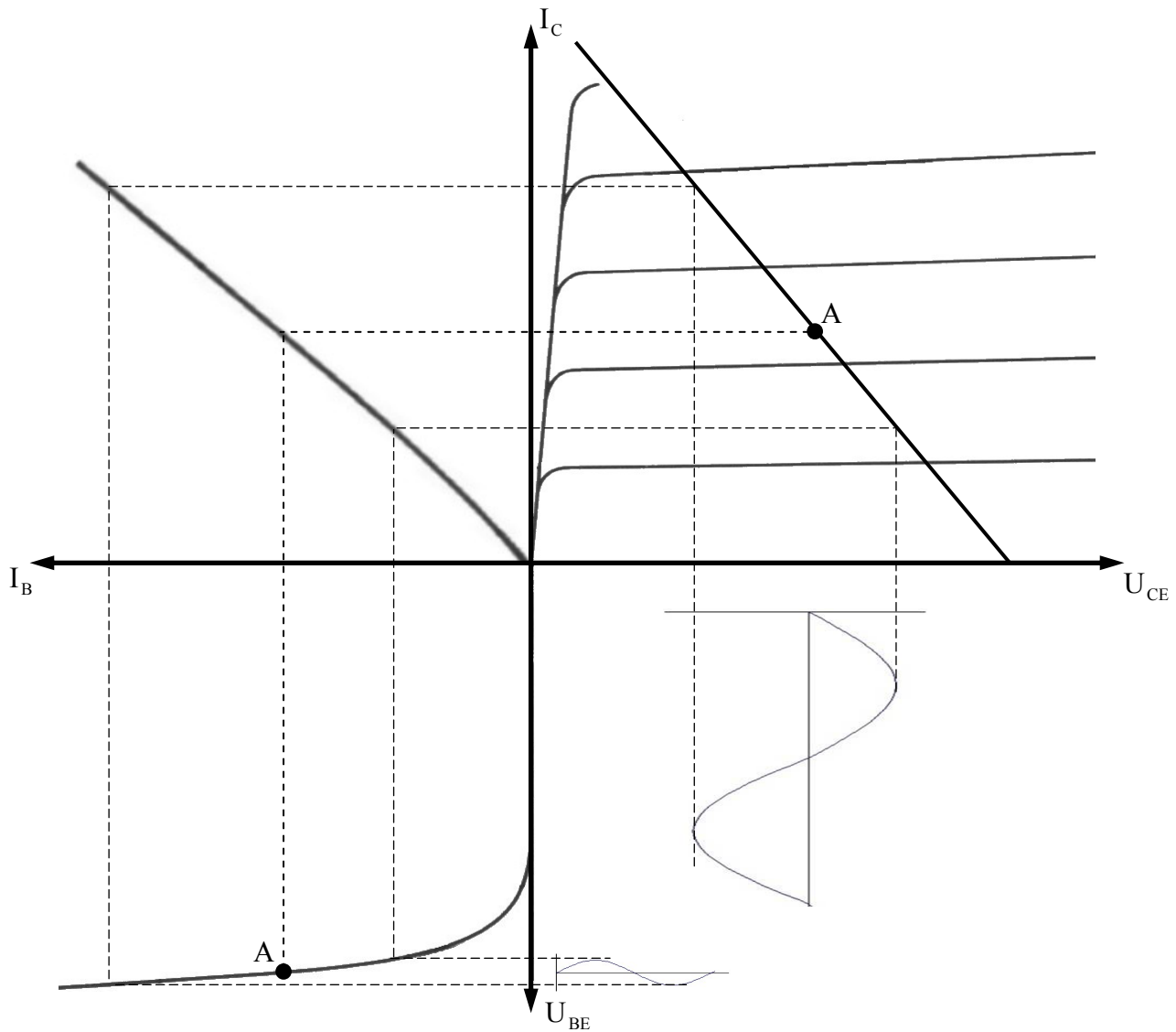
University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Transistor</h1> <h2>Arbeitspunkteinstellung</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>T-05</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	--

Um zu verstehen, weshalb ein Transistor verstärkt und wozu man die Arbeitspunkte benötigt, ist es erforderlich, die Kennlinienfelder in ihrer Gesamtheit zu betrachten. Dazu legt man alle Kennliniendiagramme aneinander:



Die Arbeitspunkte im Eingang als auch im Ausgang sind über dieses Vierquadrantenkennlinienfeld miteinander verbunden. Alle Änderungen im Eingang wirken sich (verstärkt durch den Faktor B) ebenso auf den Ausgang aus. Das Kennlinienfeld unten rechts ist nicht von Bedeutung; dieser Faktor liegt im Bereich 10^{-4} und ist daher zu vernachlässigen.

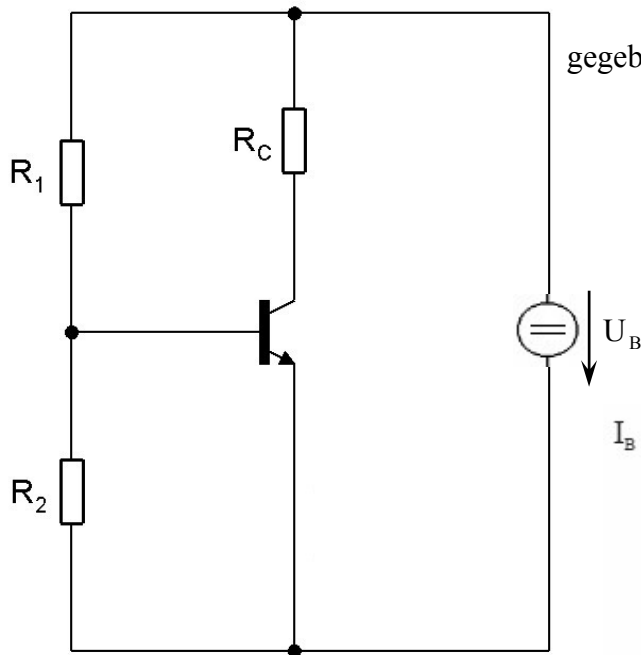
Legt man am Eingang eine niedrige Sinusspannung an, so wird der Arbeitspunkt um die Spitzenwerte dieser Eingangsspannung ausgelenkt. Bei der positiven Halbwelle fließt ein größerer Strom I_B als im Arbeitspunkt – also als I_{BA} . Bei negativer Halbwelle ein kleinerer Strom. Genau das wird über die Kennlinie h_{21e} verstärkt auf den Ausgang übertragen. Der Arbeitspunkt im Ausgang wird ebenfalls ausgelenkt und demnach auch eine größere – beziehungsweise kleinere – Ausgangsspannung gemessen.



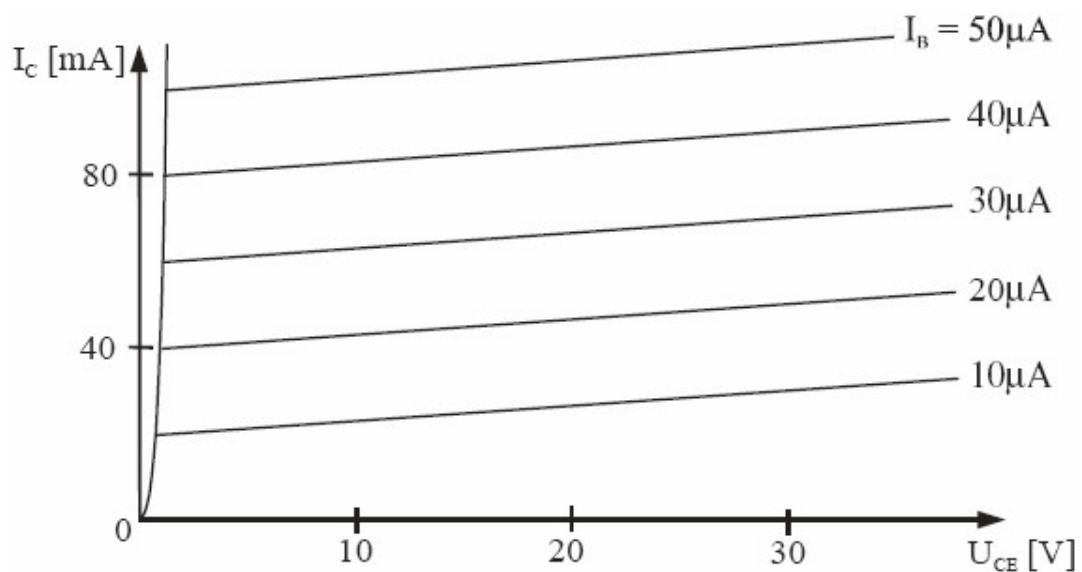
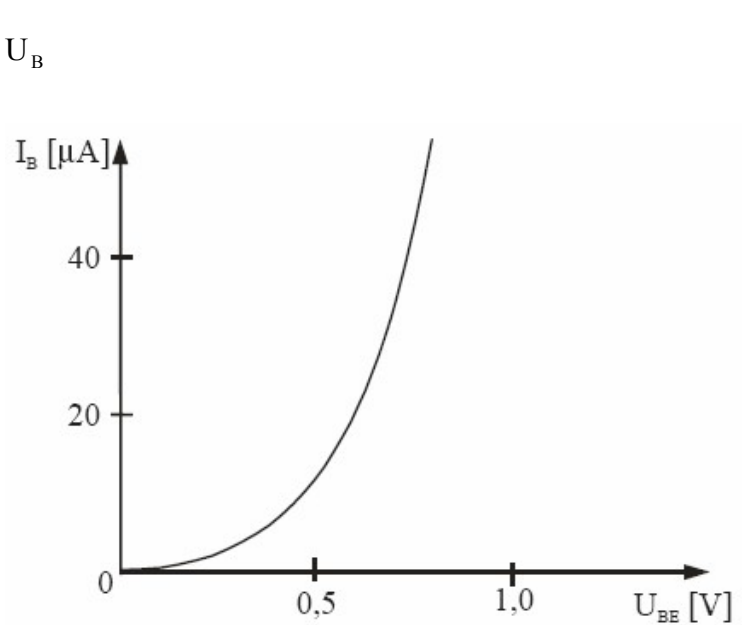
Man erkennt ganz deutlich, dass die Arbeitspunkte nötig sind, denn ohne sie könnte keine Spannung verstärkt werden. Es ist auch wichtig, wo sich der Arbeitspunkt befindet. Liegt – zum Beispiel – der Arbeitspunkt im Ausgang nahe einer der beiden Achsen, so könnte, je nach Aussteuerung, eine Halbwelle abgeschnitten werden (Übersteuerungseffekt oder Clipping).

Eine Beispielrechnung soll den Vorgang einmal verdeutlichen:

Gesucht sind die Größen der Widerstände R_1 , R_2 und R_C bei folgender Schaltung:

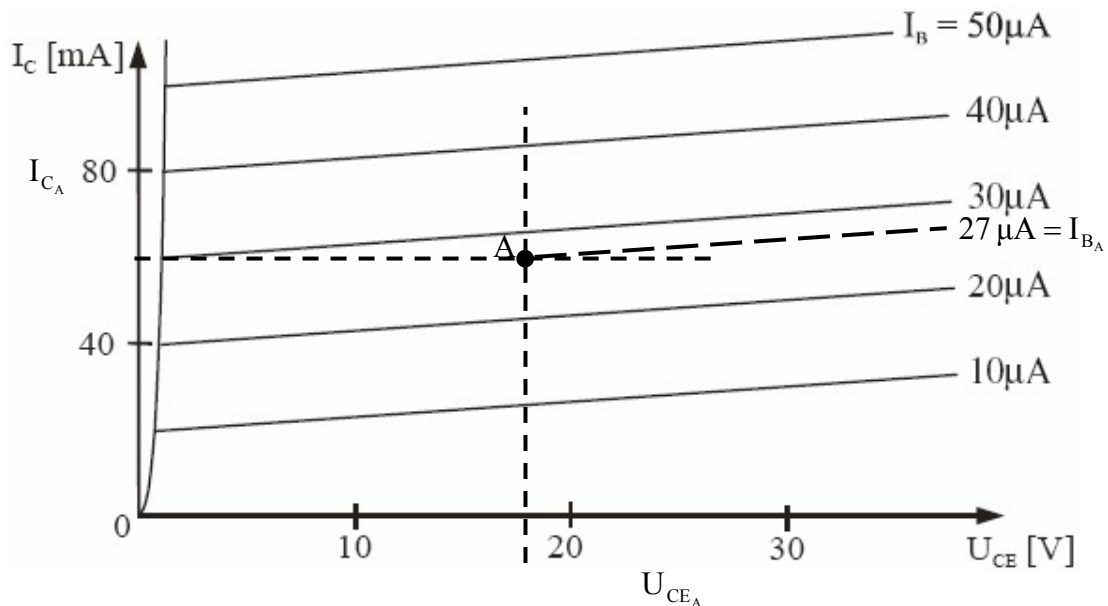


gegeben: $U_{CE_A} = 18V$
 $I_{C_A} = 60mA$
 $U_B = 30V$
 $|I_{R2}| = 10 \cdot I_{B_A}$

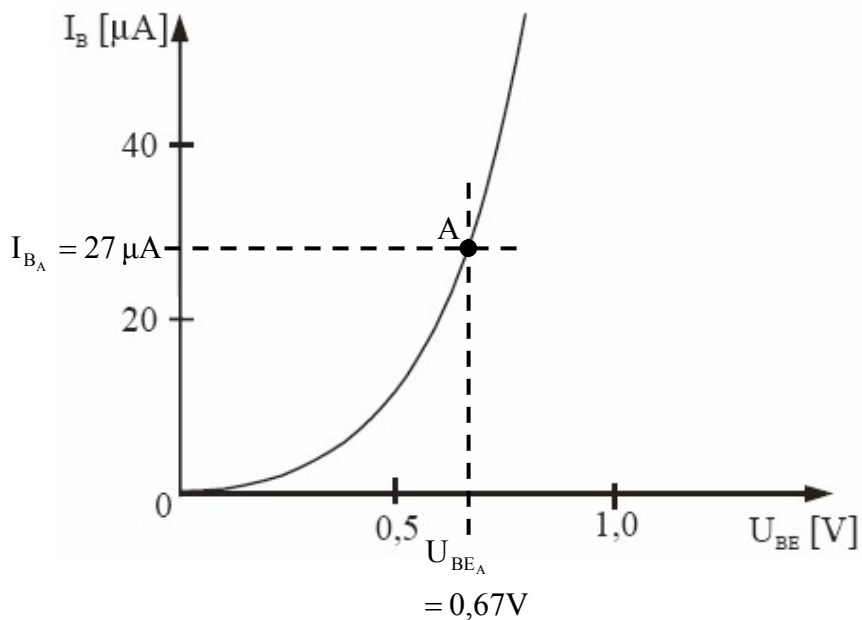


University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Transistor</h1> <h2>Arbeitspunkteinstellung</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>T-08</h2> <p>Stand: 19.03.2006; R0</p>
--	--	--

Als erstes werden sämtliche Größen des Transistors bestimmt, das bedeutet beide Arbeitspunkte müssen bekannt sein. Man fängt mit dem gegebenen Arbeitspunkt im Ausgang an und ermittelt den Basis-Arbeitsstrom I_{B_A} .



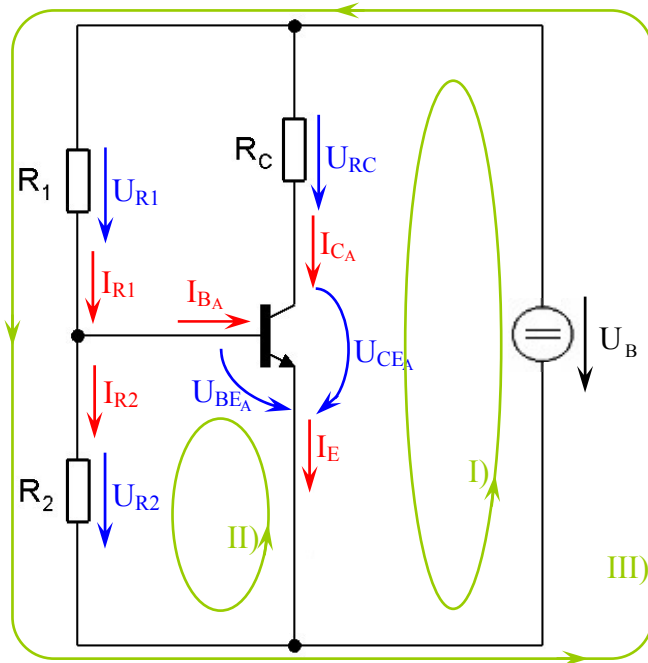
Diesen Arbeitsstrom trägt man in das Eingangskennlinienfeld ein und ermittelt die dazugehörige Arbeitsspannung von Basis zu Emitter U_{BE_A} .



Sobald alle Größen am Transistor bekannt sind, können alle Widerstände bestimmt werden. Denn jetzt sind alle Spannungen und Ströme bekannt, beziehungsweise können mit Hilfe des 1. und 2. Kirchhoffschen Satzes berechnet werden.

University of Applied Sciences Cologne Campus Gummersbach Dipl.-Ing. (FH) Dipl.-Wirt. Ing. (FH) G. Danielak	<h1>Transistor</h1> <h2>Arbeitspunkteinstellung</h2>	<h1>Tutorium</h1> <h2>T-09</h2> Stand: 19.03.2006; R0
--	---	---

Für die weiteren Zusammenhänge **müssen** alle Spannungen und Ströme in die Schaltung eingezeichnet werden, weil ansonsten kein Bezug zu den Rechnungen besteht.



$$\text{I) } U_{RC} + U_{CE_A} - U_B = 0$$

$$\Leftrightarrow U_{RC} = U_B - U_{CE_A}$$

$$\text{II) } U_{R2} - U_{BE_A} = 0$$

$$\Leftrightarrow U_{R2} = U_{BE_A}$$

$$\text{III) } U_{R1} + U_{R2} - U_B = 0$$

$$\Leftrightarrow U_{R1} = U_B - U_{R2}$$

$$\text{Knotenpunkt: } I_{B_A} + I_{C_A} - I_E = 0$$

$$\Leftrightarrow I_E = I_{B_A} + I_{C_A}$$

Mit Hilfe der drei Maschen, der Knotengleichung sowie den Arbeitspunkten am Transistor können alle Spannungen und Ströme – und damit auch alle Widerstände – bestimmt werden.

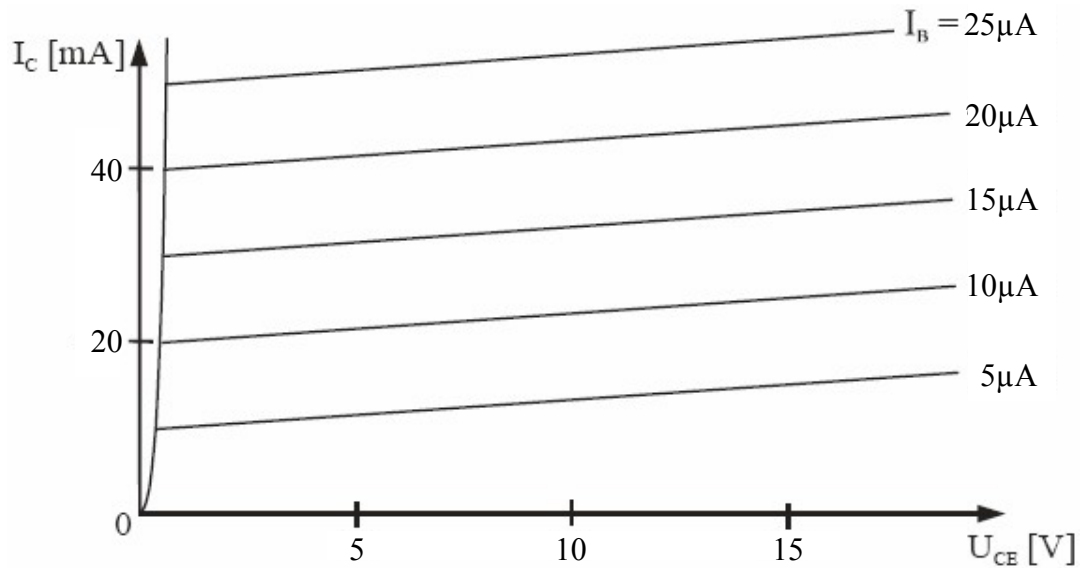
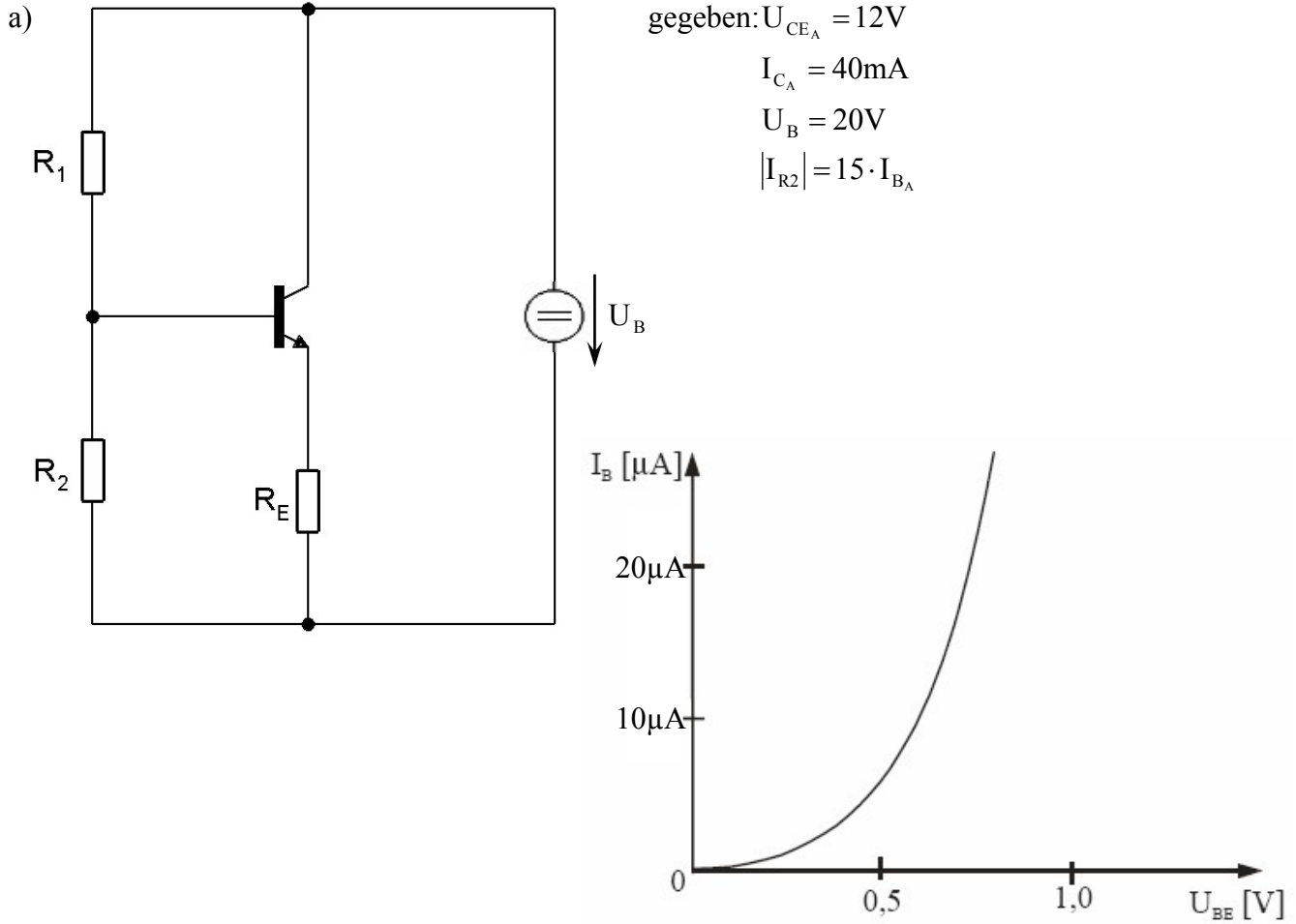
$$\underline{\underline{R_C}} = \frac{U_{RC}}{I_{C_A}} = \frac{U_B - U_{CE_A}}{I_{C_A}} = \frac{30\text{V} - 18\text{V}}{60\text{mA}} = \underline{\underline{200\Omega}}$$

$$\underline{\underline{R_2}} = \frac{U_{R2}}{I_{R2}} = \frac{U_{BE_A}}{10 \cdot I_{B_A}} = \frac{0,67\text{V}}{10 \cdot 27\mu\text{A}} = \underline{\underline{2,48\text{k}\Omega}}$$

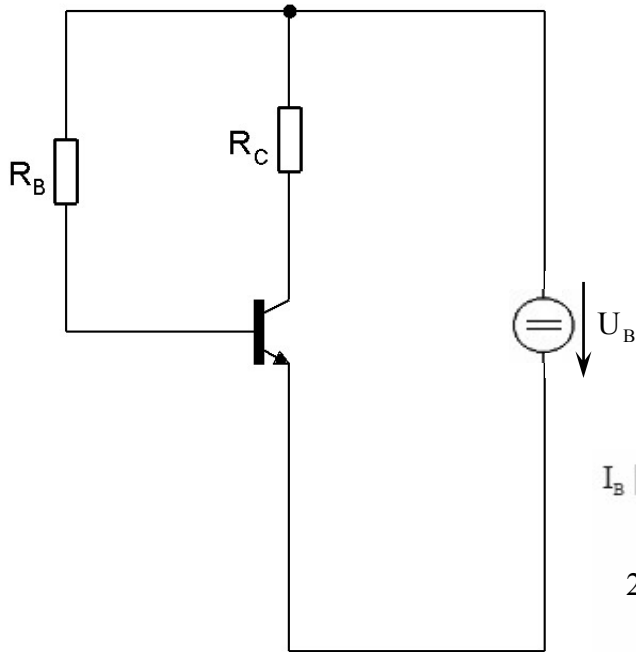
$$\underline{\underline{R_1}} = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{U_B - U_{R2}}{I_{B_A} + I_{R2}} = \frac{30\text{V} - 0,67\text{V}}{270\mu\text{A} + 27\mu\text{A}} = \underline{\underline{98,75\text{k}\Omega}}$$

Aufgabe 1:

Bestimme alle Widerstände in den folgenden Teilaufgaben:



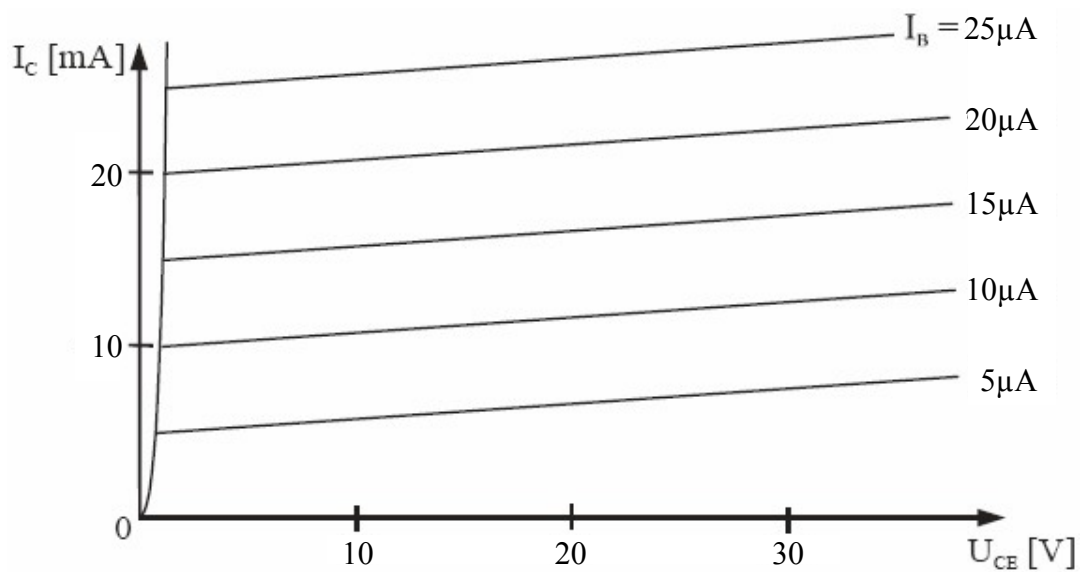
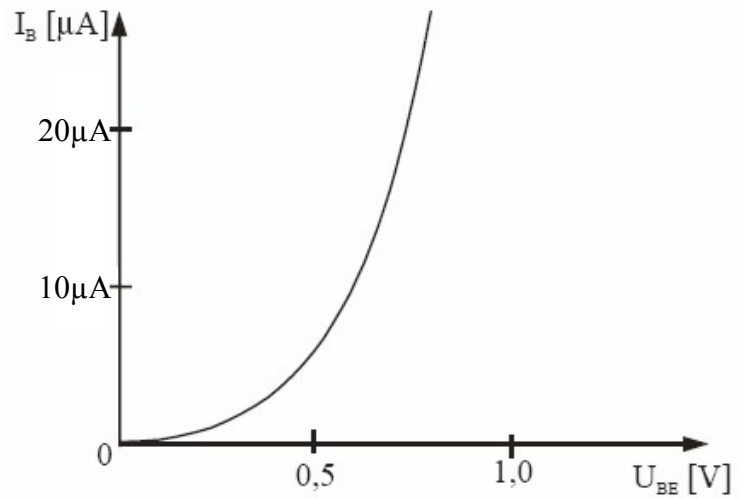
b)



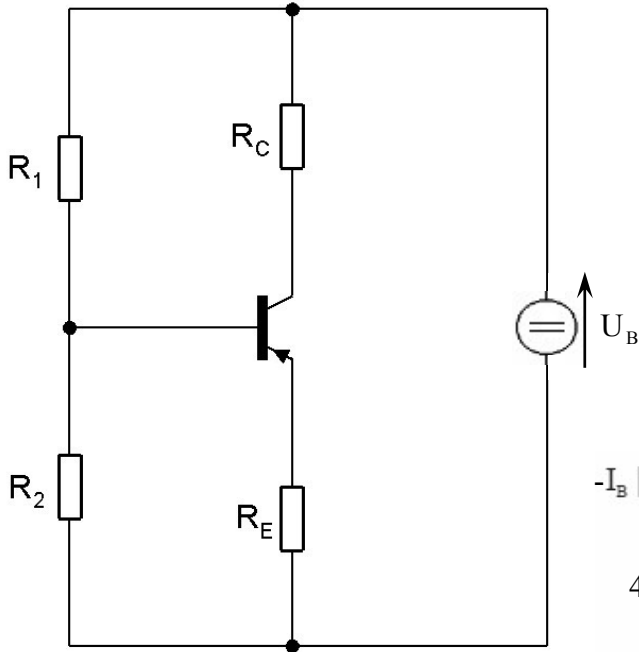
gegeben: $I_{C_A} = 16,5\text{mA}$

$B = 1100$

$U_B = 40\text{V}$



c)



gegeben: $U_{CE_A} = -25V$

$I_{C_A} = -20mA$

$U_B = 50V$

$|U_{RE}| = 0,1 \cdot U_B$

$|I_{R2}| = 12 \cdot I_{B_A}$

