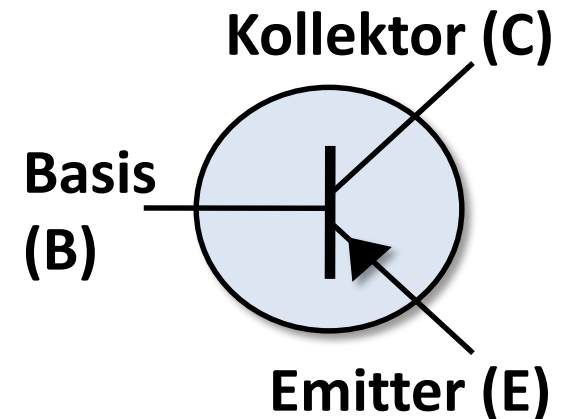
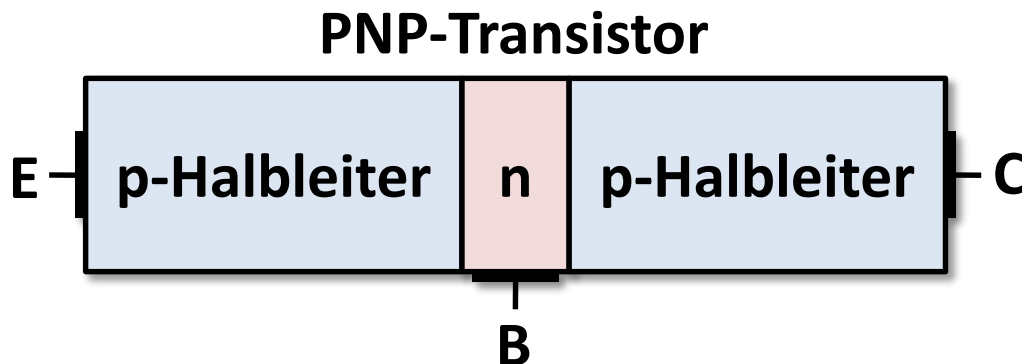
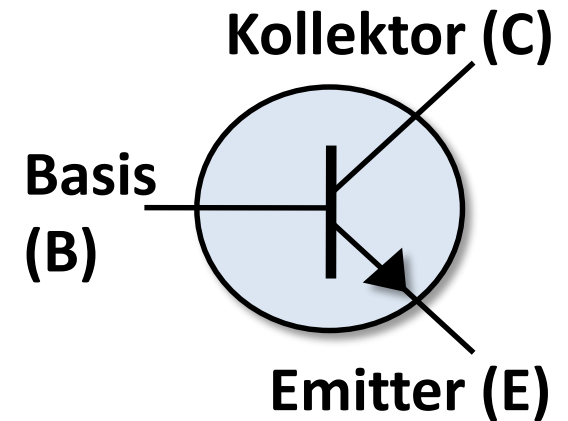
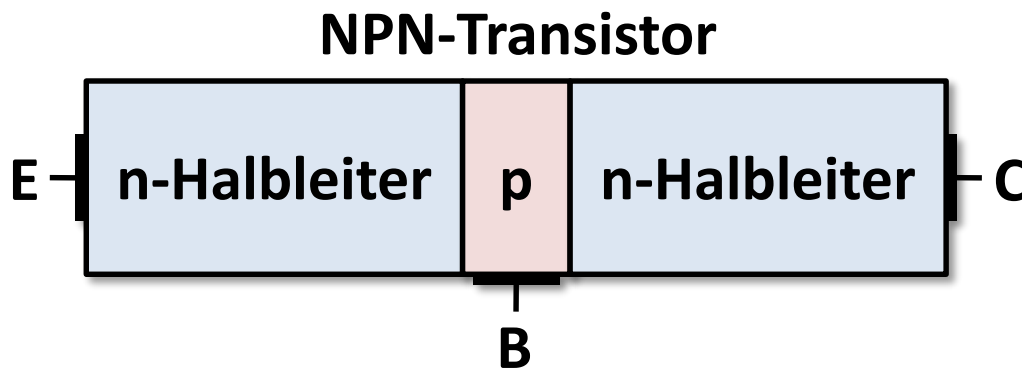
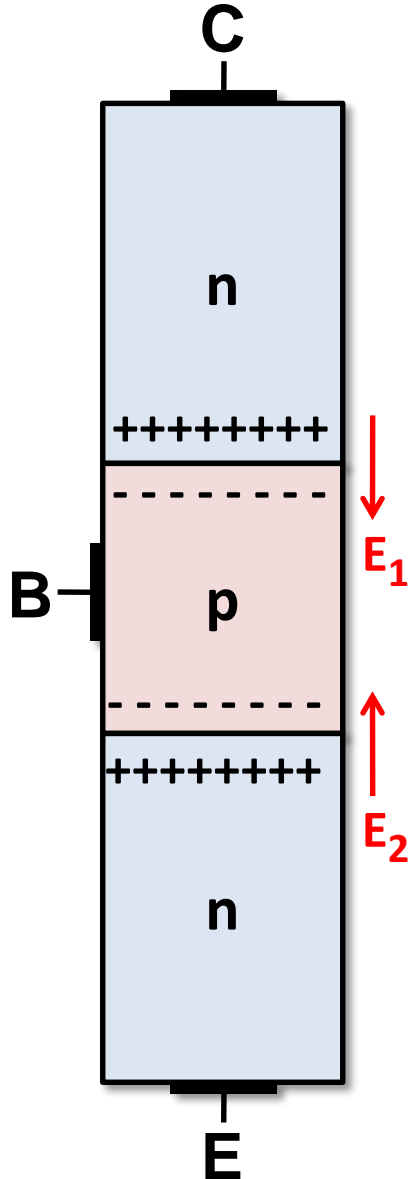


6. Bipolare Transistoren

6.1. Funktionsweise

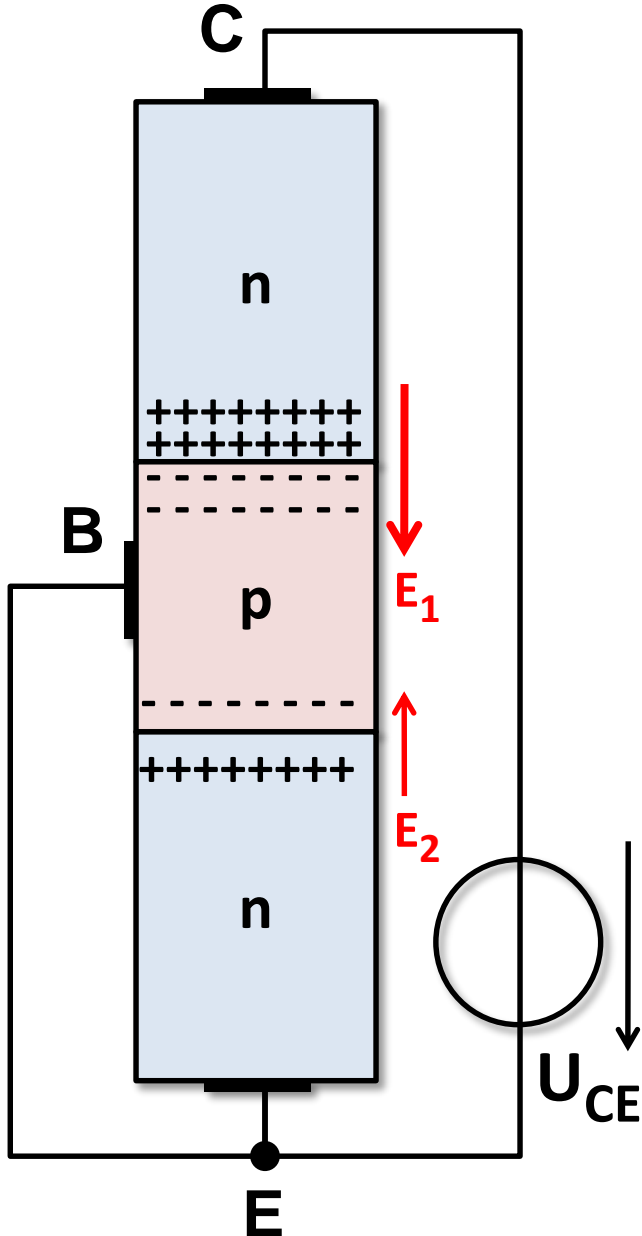




Auf dieser und den folgenden Folien ist die Funktionsweise eines NPN-Transistors in der sog. Emitterschaltung dargestellt. Die in Wirklichkeit sehr dünne Basis ist dabei übertrieben breit gezeichnet.

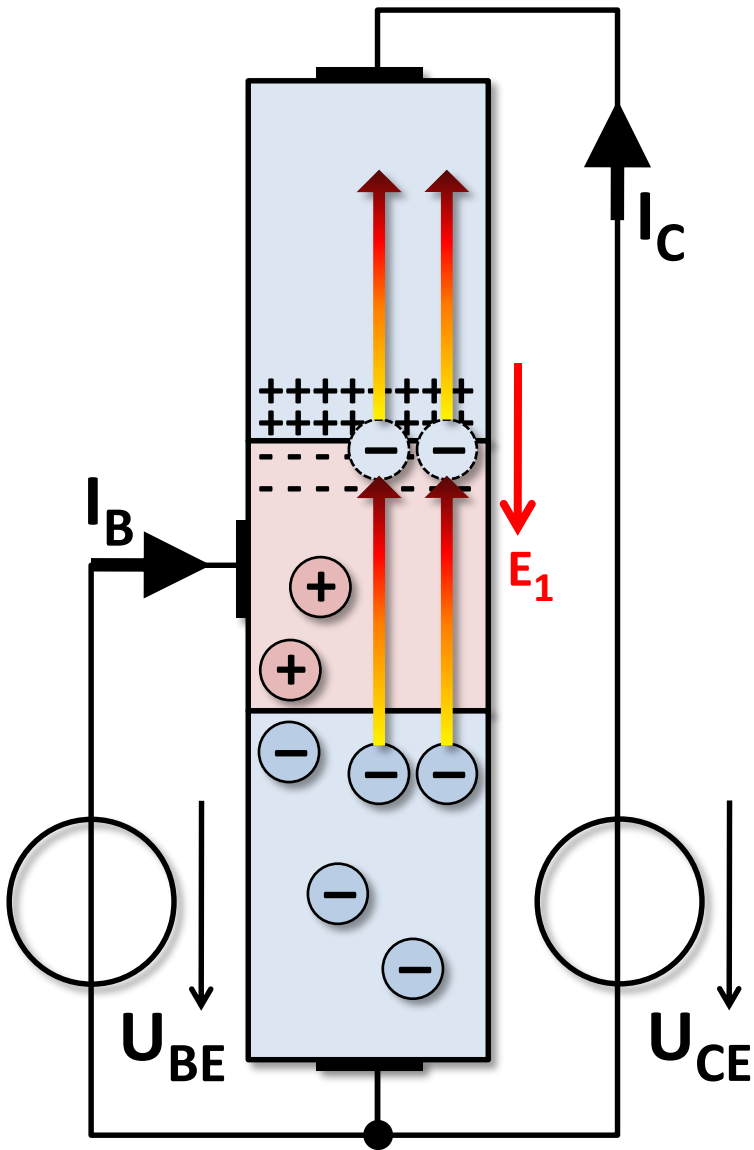
Die erste Abbildung zeigt, wie sich an den beiden Grenzschichten Raumladungszonen bilden – vergleichbar der Raumladungszone in einer Diode. In diesen beiden Zonen herrschen die elektrischen Feldstärken E_1 und E_2 .

Funktionsweise des NPN-Transistors (b)



Legt man zwischen Kollektor und Emitter eine Spannung U_{CE} an und verbindet zugleich die Basis mit dem Emitter, so befindet sich die „Kollektor-Basis-Diode“ in Sperrrichtung. Die Feldstärke E_1 steigt, die Raumladungszone verbreitert sich.

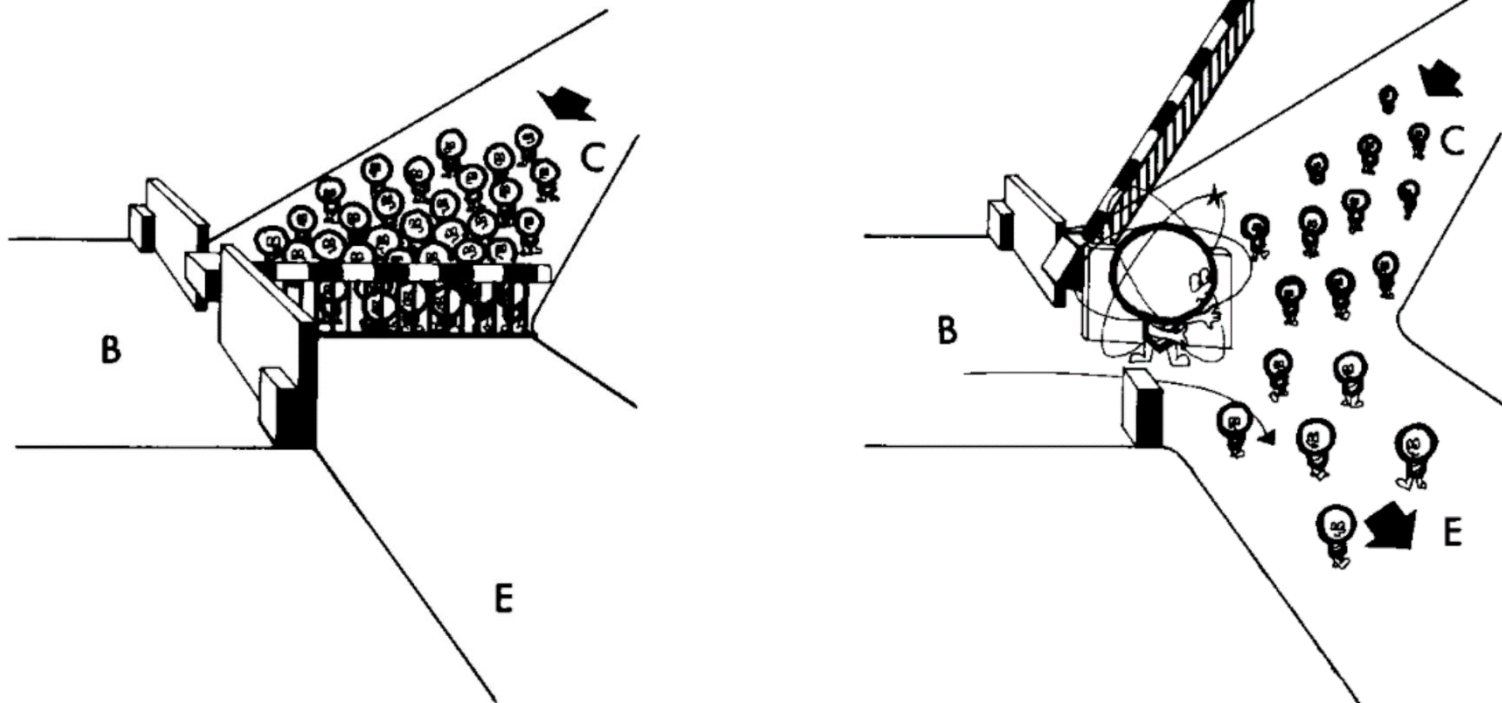
Die Raumladungszone zwischen Basis und Emitter bleibt unverändert. Insgesamt fließt nur ein kleiner Sperrstrom.



Eine zusätzliche Spannung zwischen Basis und Emitter, so dass die „Basis-Emitter-Diode“ in Durchlassrichtung betrieben wird, verkleinert die Raumladungszone zwischen Basis und Emitter.

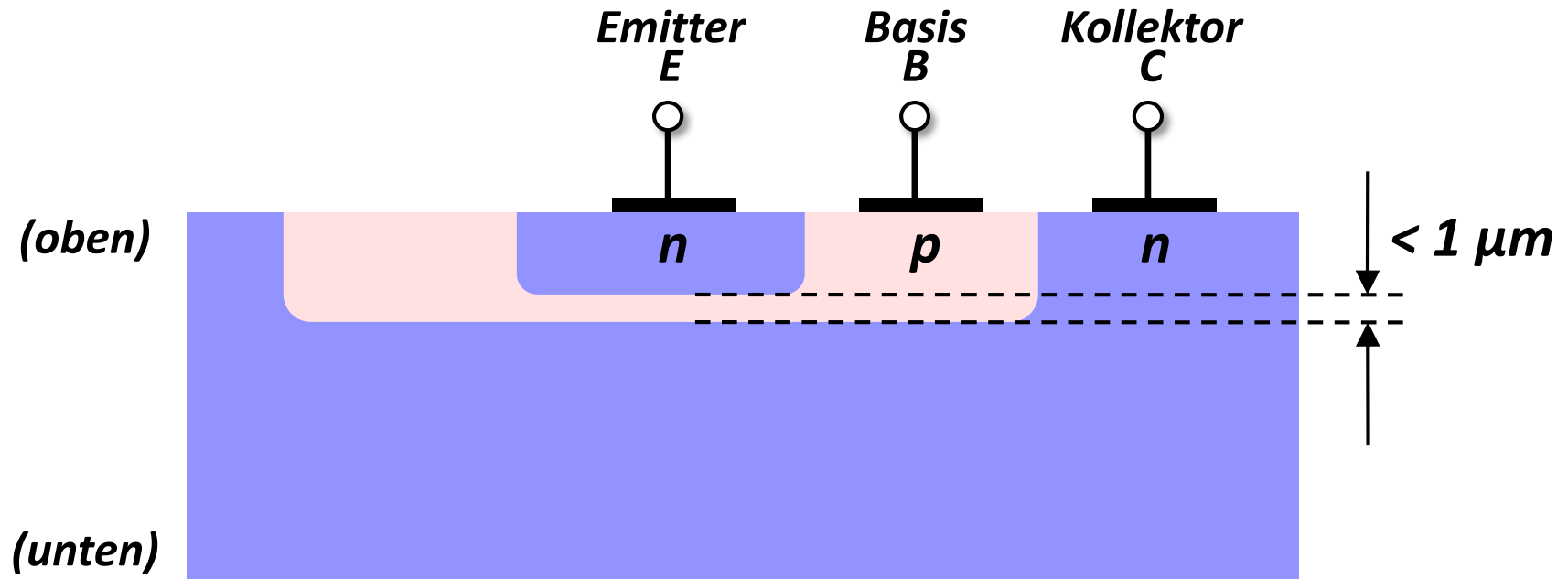
Nun können die vielen freien Elektronen (Majoritätsträger!) im Emitter in die Basis fließen. Nur ca. 1% der Elektronen rekombinieren dort mit Löchern in der Basis. Der überwiegende Anteil der Elektronen diffundiert durch die sehr dünne Basis hindurch, gerät in das elektrische Feld E_1 und wird zum Kollektor hin geradezu „abgesaugt“.

Der Basis-Emitter-Strom I_{BE} steuert also die Durchlässigkeit der Basis-Emitter-Raumladungszone für die freien Elektronen aus dem Emitter: Eine kleine Änderung von I_{BE} bewirkt eine große Änderung des Kollektor-Emitter-Stroms I_{CE} . Auf diese Weise wird mit dem Transistor eine Stromverstärkung erzielt.



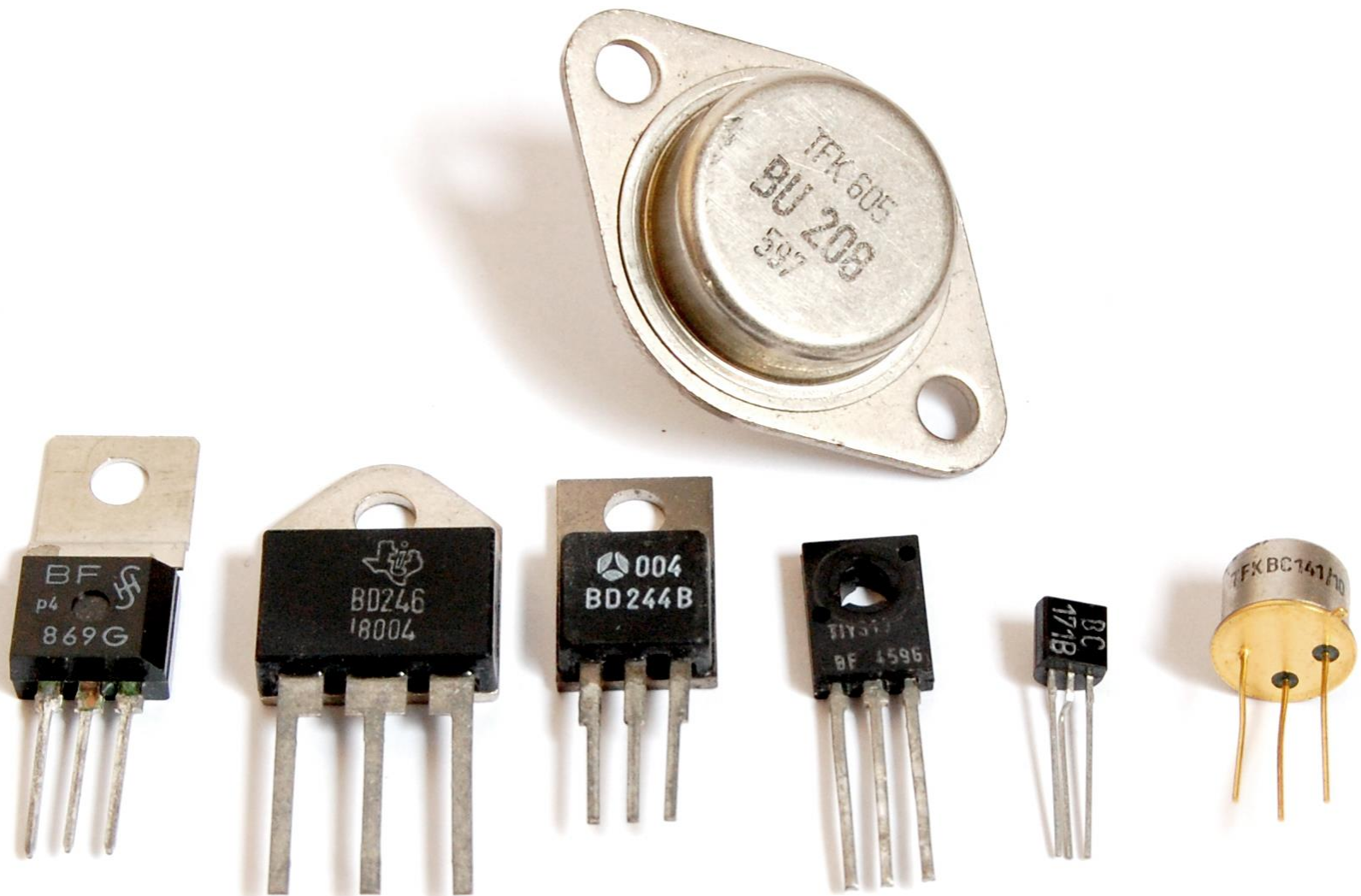
Quelle: Philips, Experimentierkasten EE2040 (1976), siehe auch: <http://ee.old.no>

Schematischer Aufbau eines npn-Bipolartransistors in Epitaxie-Planartechnik:

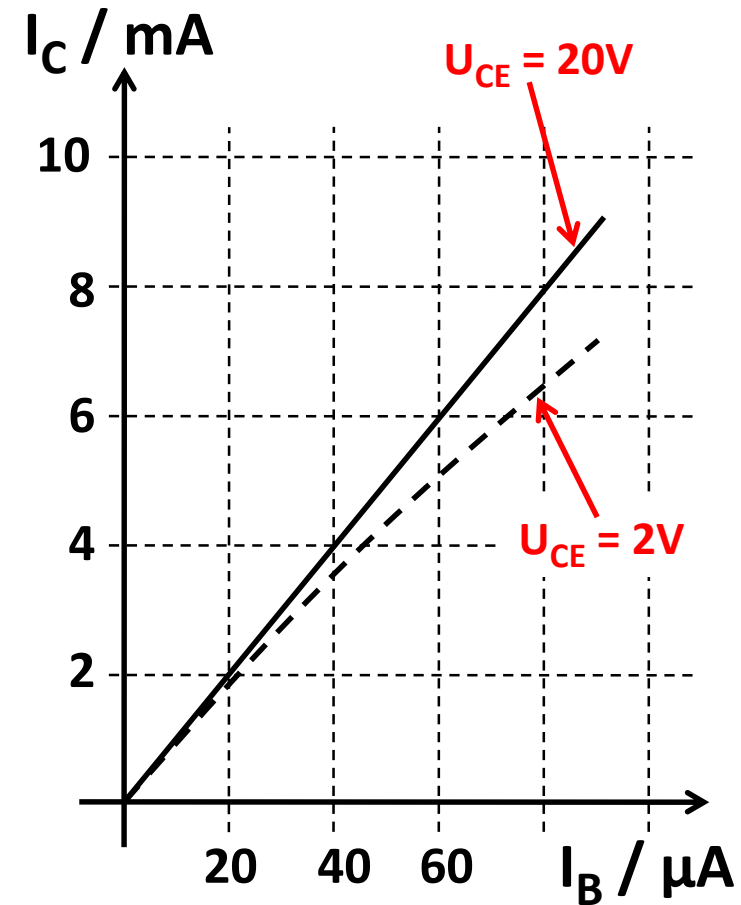
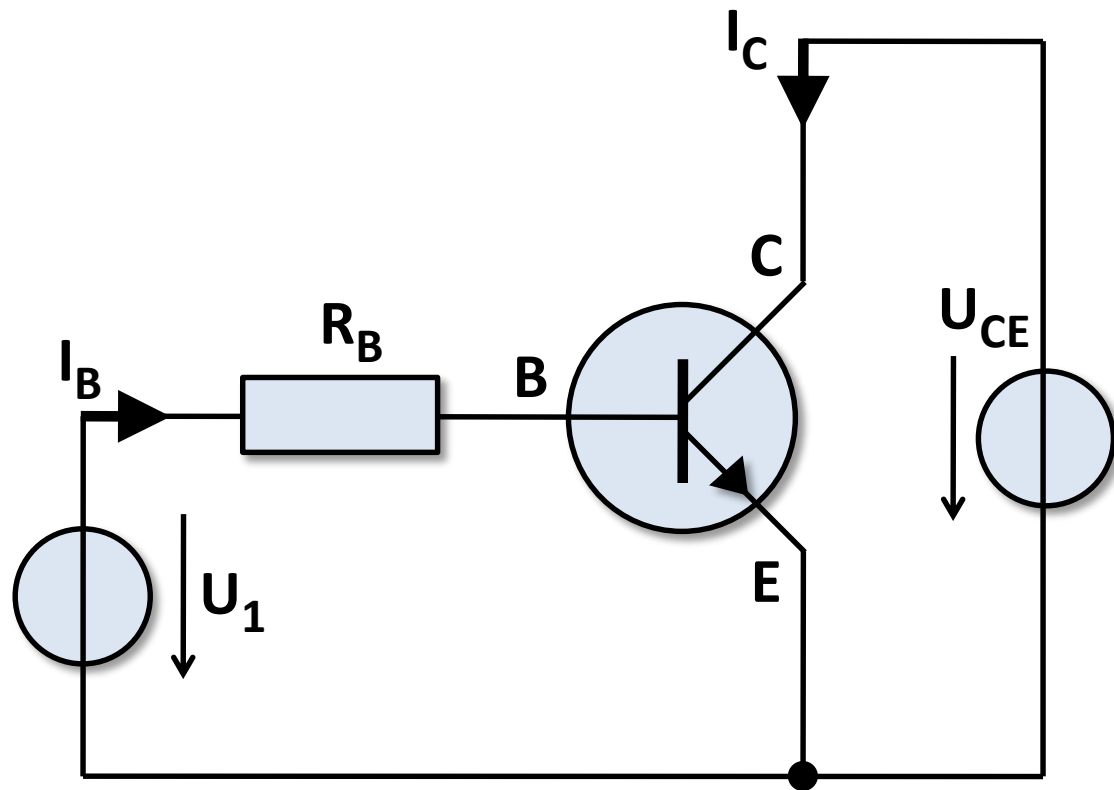


Epitaxie (griech.), Bildung eines Kristalls durch Anlagerung von Atomen oder Molekülen an ein Ausgangskristall, dessen Struktur von dem sich bildenden Kristall kopiert wird.

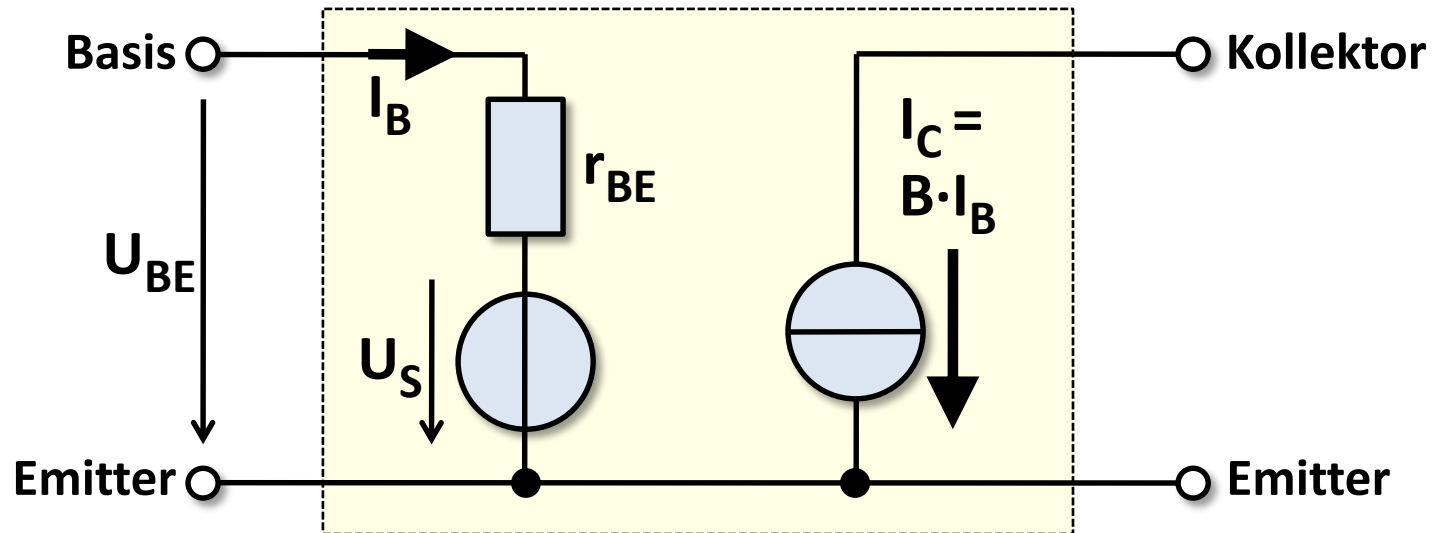
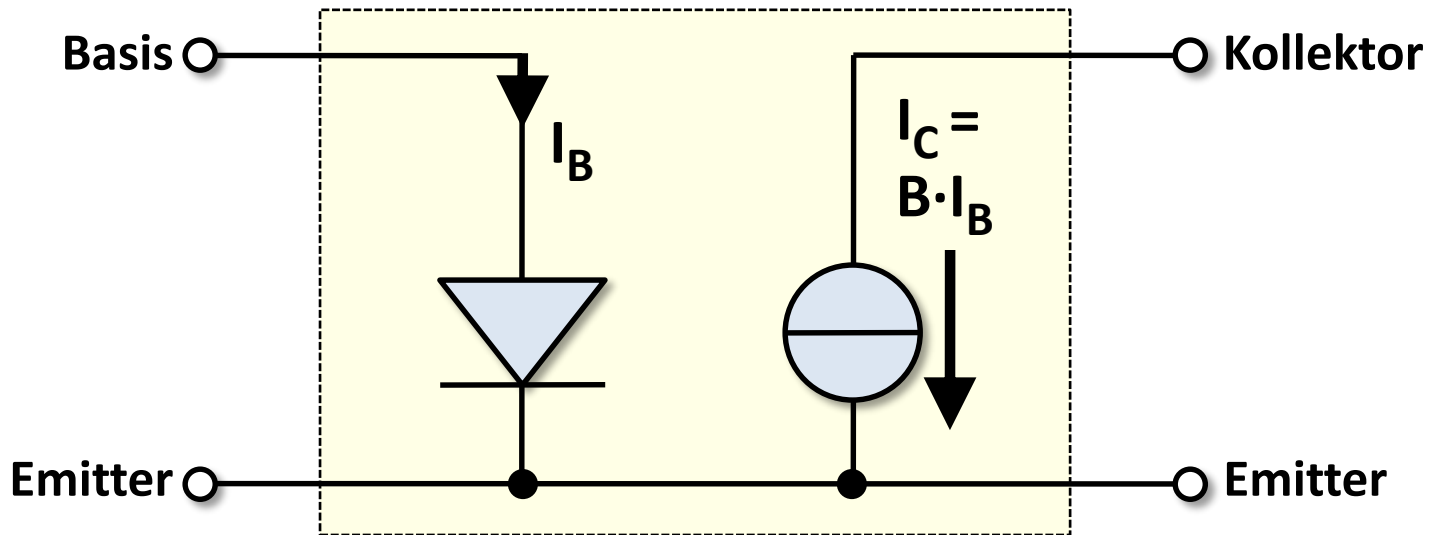
Bauformen von Transistoren



6.2. Ersatzschaltbild



Ersatzschaltbild des NPN-Transistors

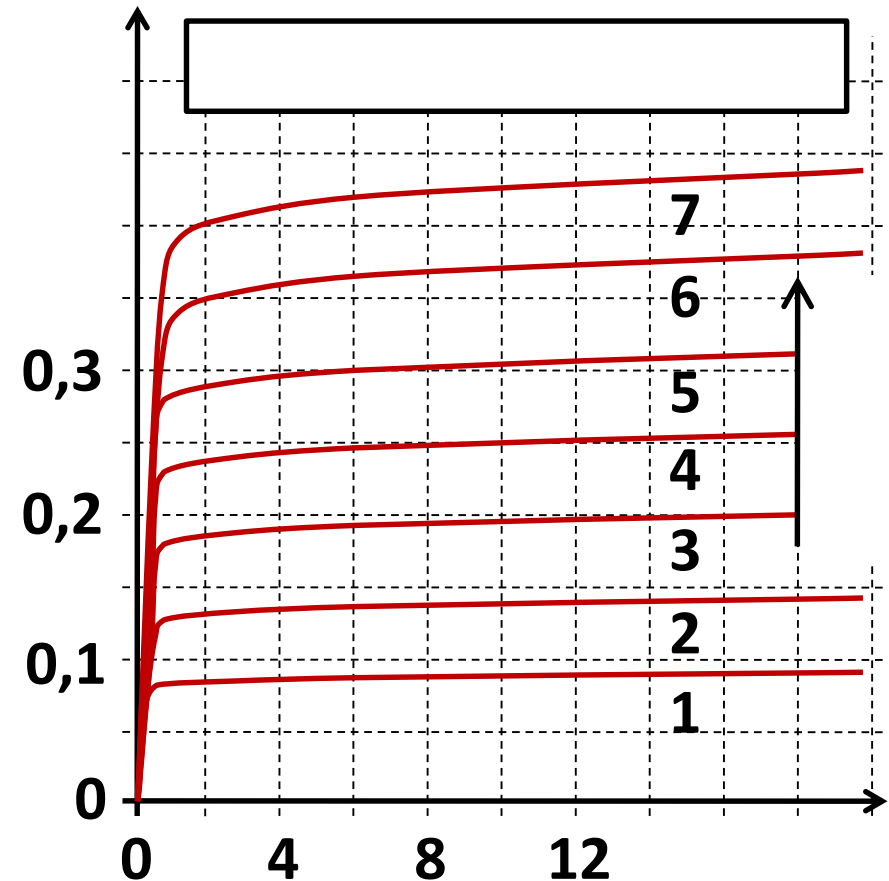
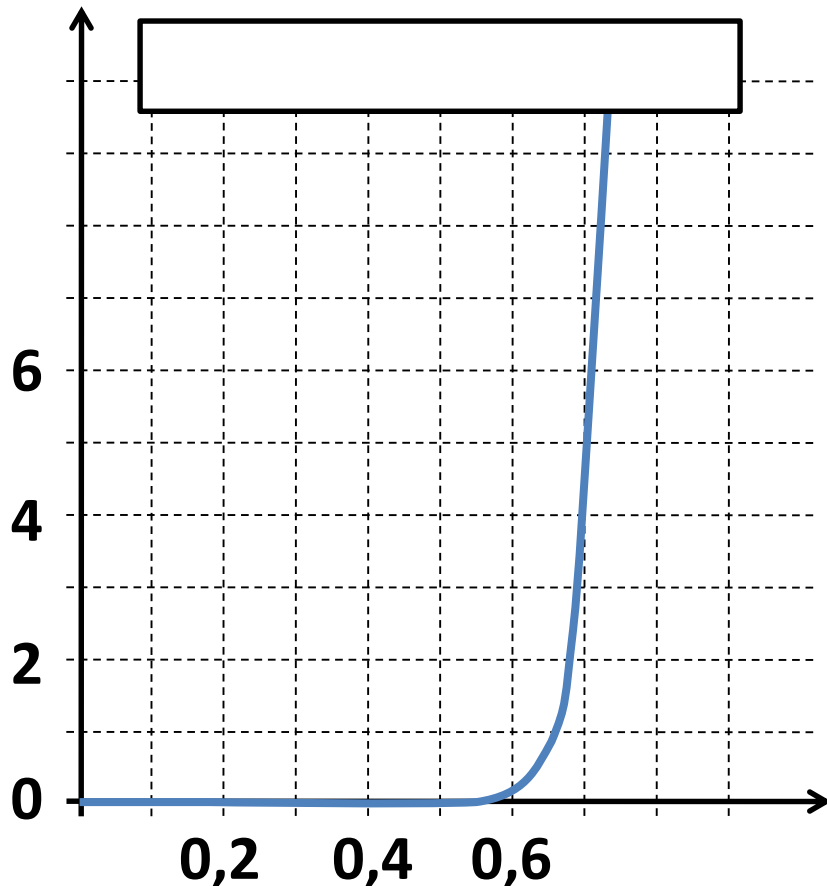


**Großsignal-Verstärkungsfaktor,
Gleichstrom-Verstärkungsfaktor**

**Kleinsignal-Verstärkungsfaktor,
Wechselstrom-Verstärkungsfaktor,
Signal-Verstärkungsfaktor**

Steilheit

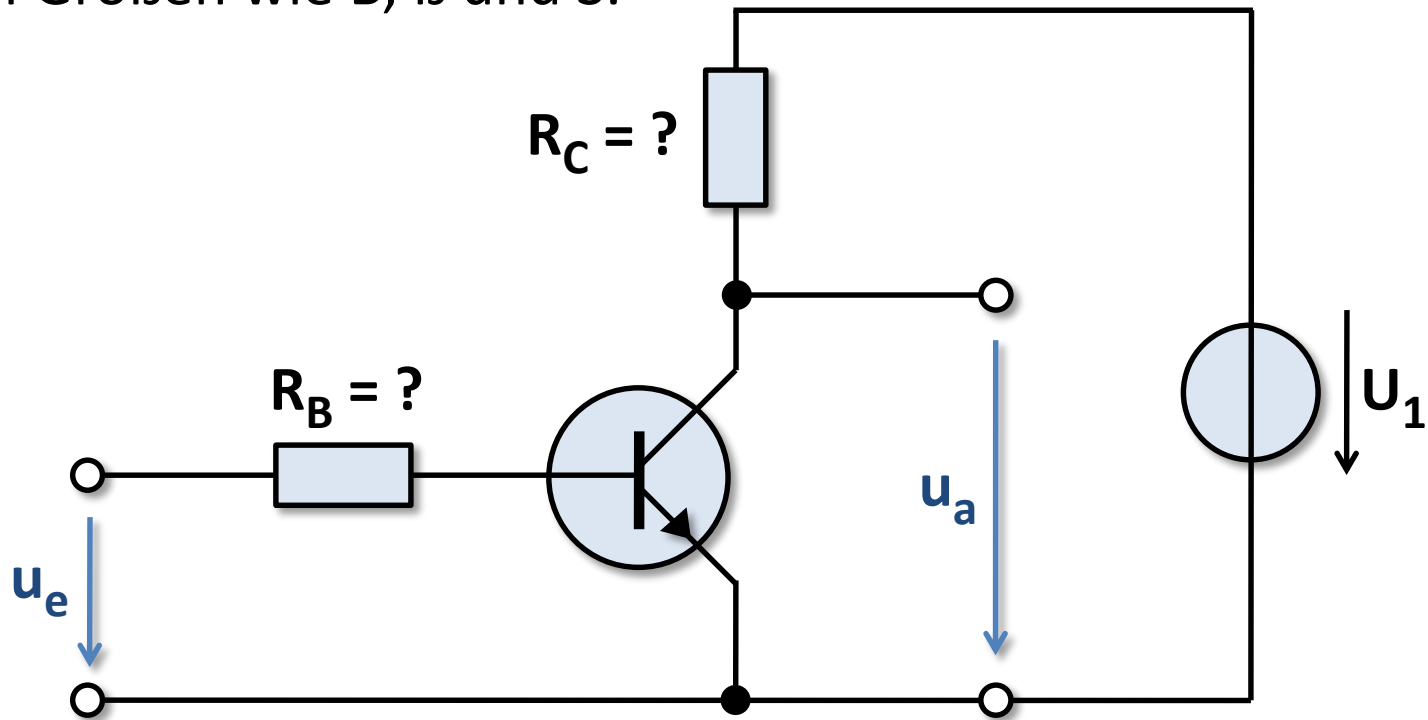
6.3. Kennlinien des NPN-Transistors



Die Kennlinien sind temperaturabhängig. Insbesondere verschieben sich die Ausgangskennlinien mit zunehmender Temperatur nach oben.

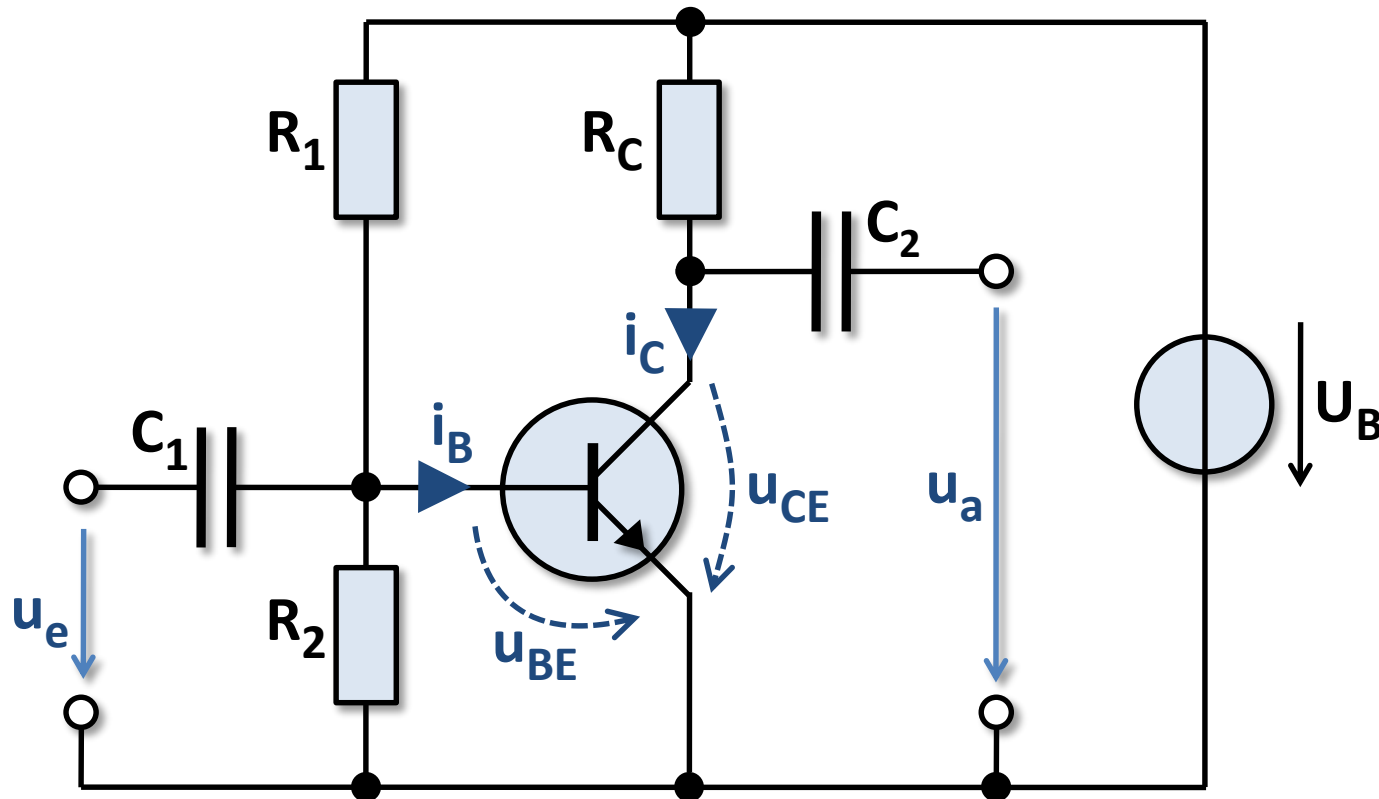
6.4. Verstärkerschaltungen

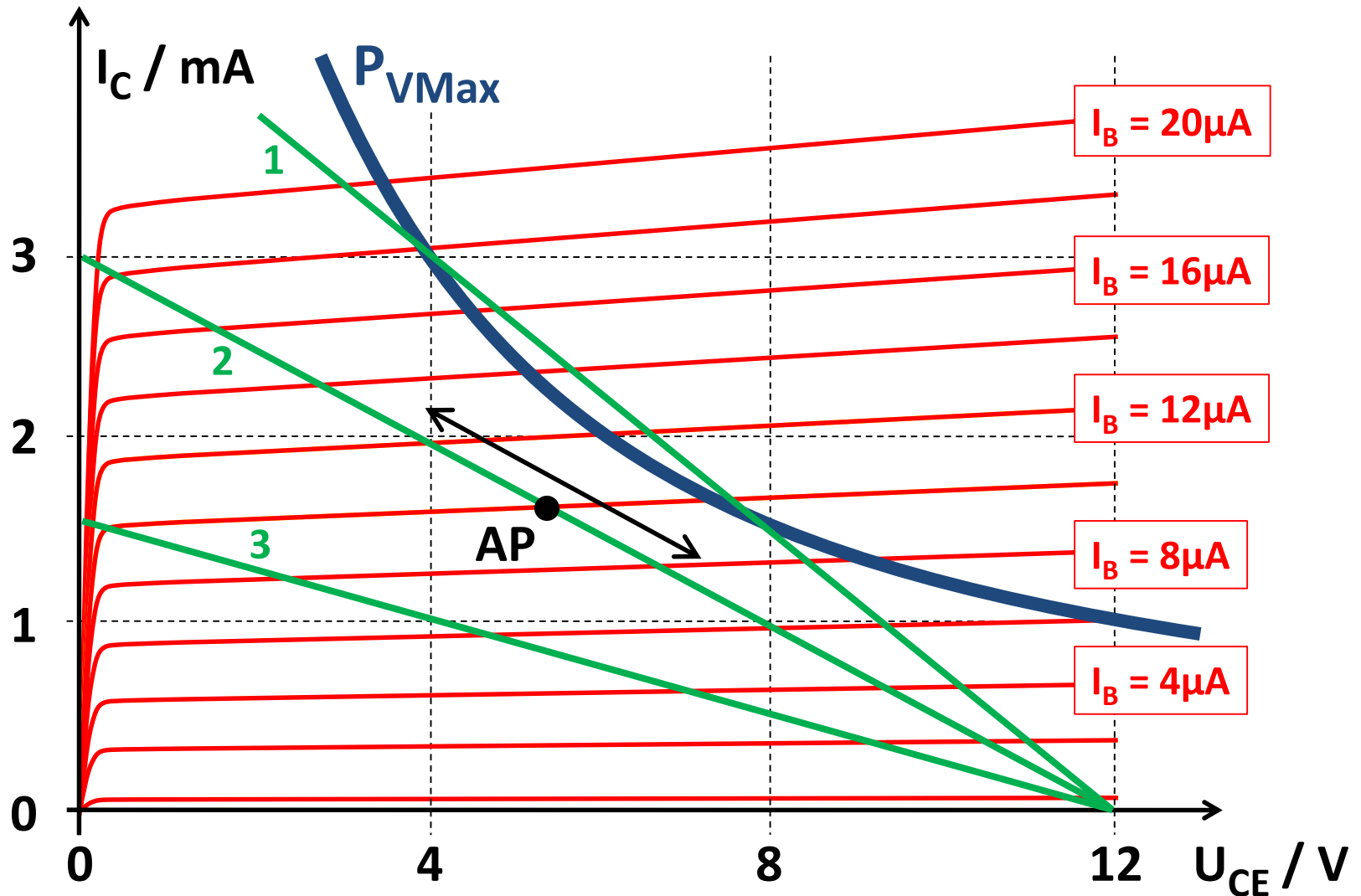
Die Berechnung einer Verstärkerschaltung basiert auf den Eingangs- und Ausgangskennlinien des Transistors und den damit zusammenhängenden Größen wie B , β und S .



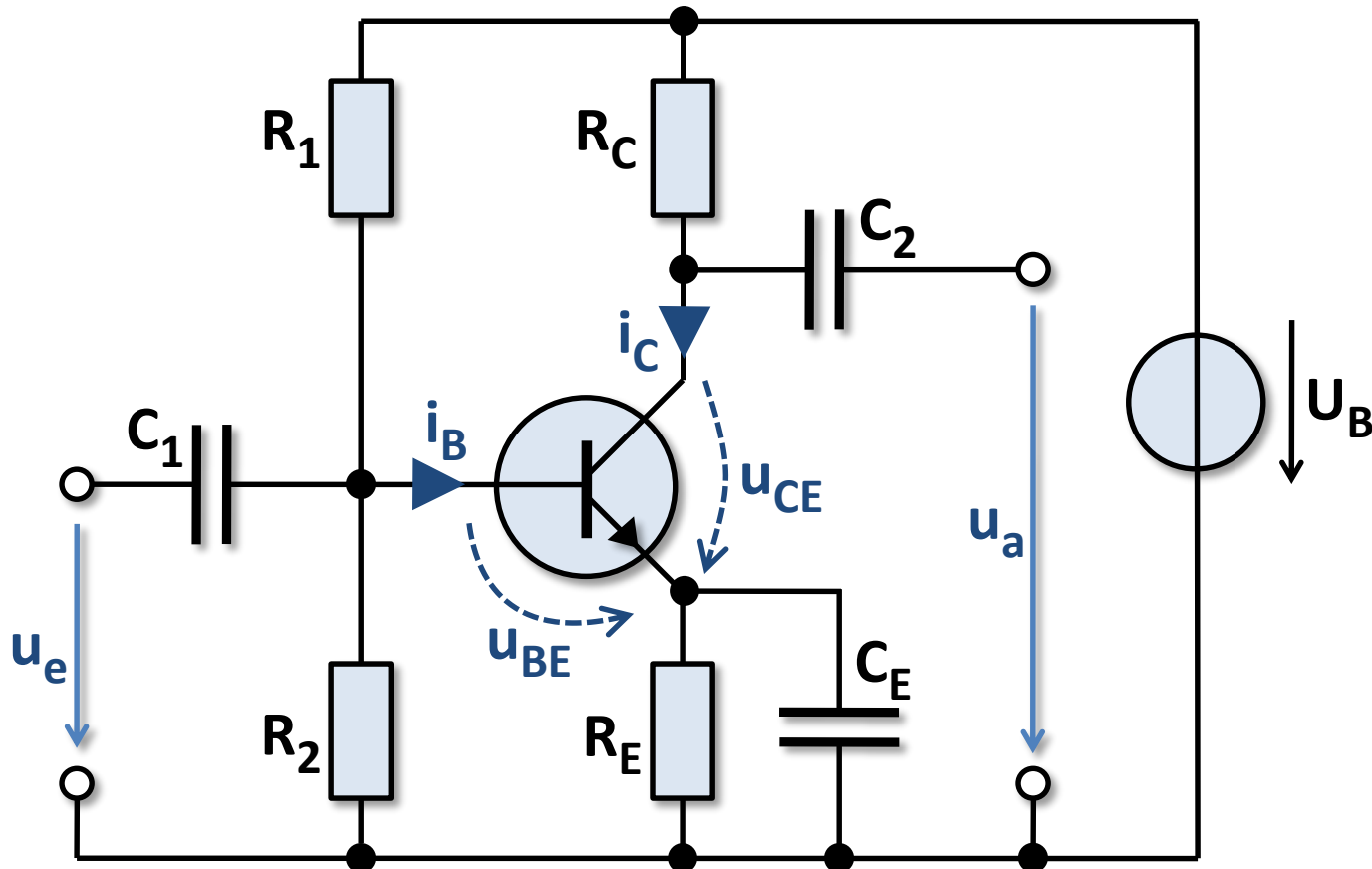
Aber wie berechnet man die Widerstände R_B und R_C ?

Die Abbildung zeigt eine Verstärkerschaltung für Wechselspannung (z. B. aus einem MP3-Player) mit einem NPN-Transistor. C_1 dient dazu, alle Gleichspannungsanteile aus der vorhergehenden Stufe abzukoppeln, ebenso sorgt C_2 für eine reine Wechselspannung am Ausgang.



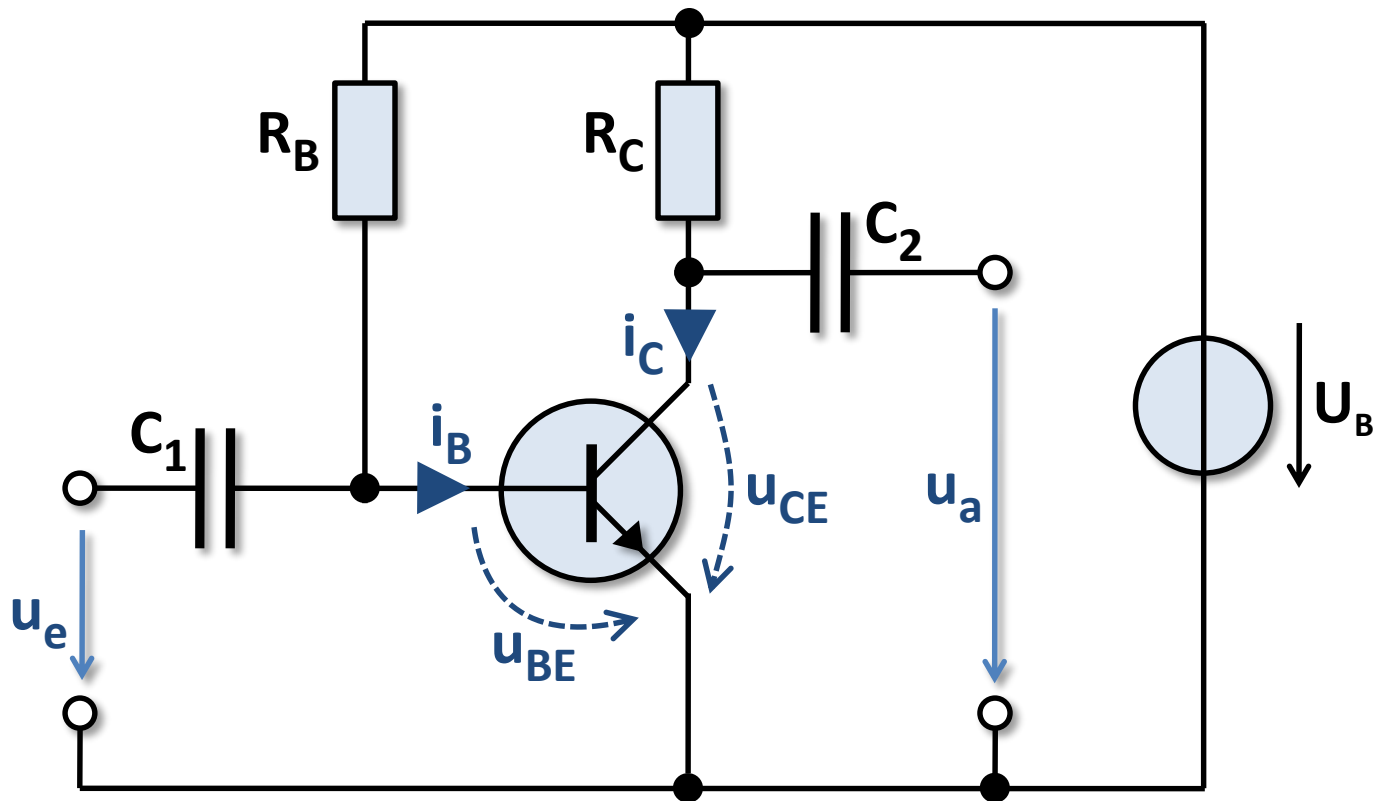


Damit der eingestellte Arbeitspunkt auch bei Temperaturänderungen stabil bleibt, fügt man oft einen Emitterwiderstand („Stromgegenkopplung“) ein. Um dadurch die Verstärkung nicht zu verringern, wird dieser Widerstand für Wechselspannungen durch einen zusätzlichen Kondensator überbrückt.



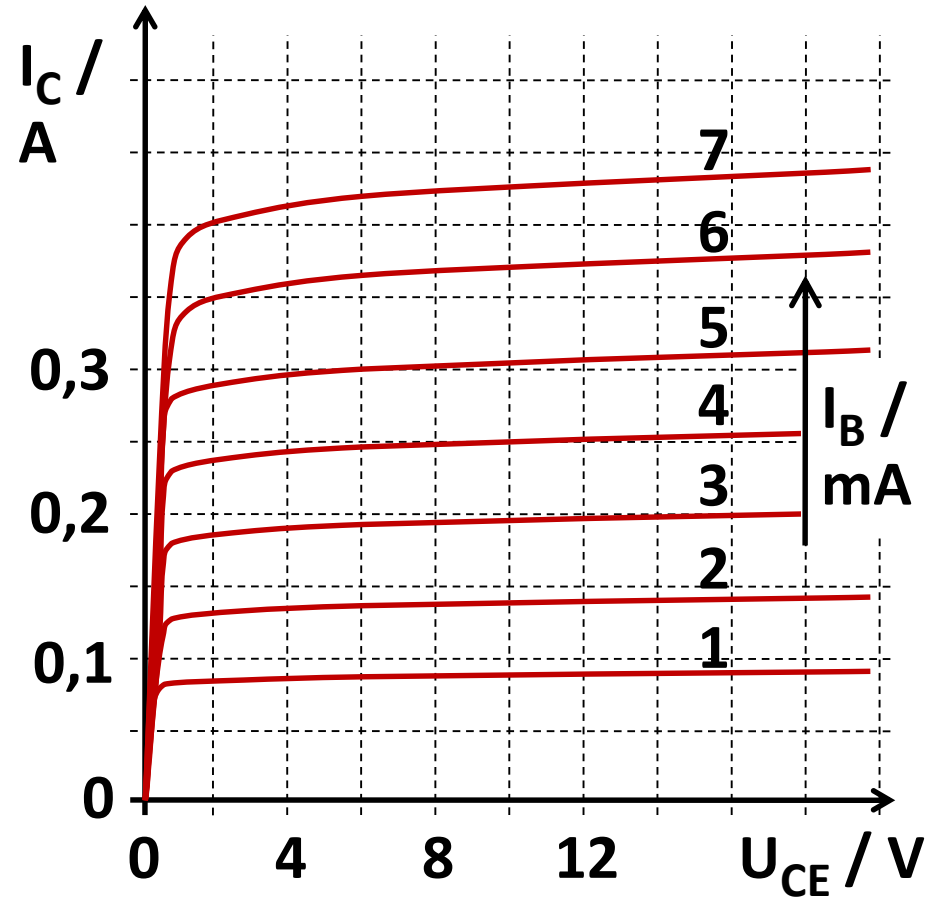
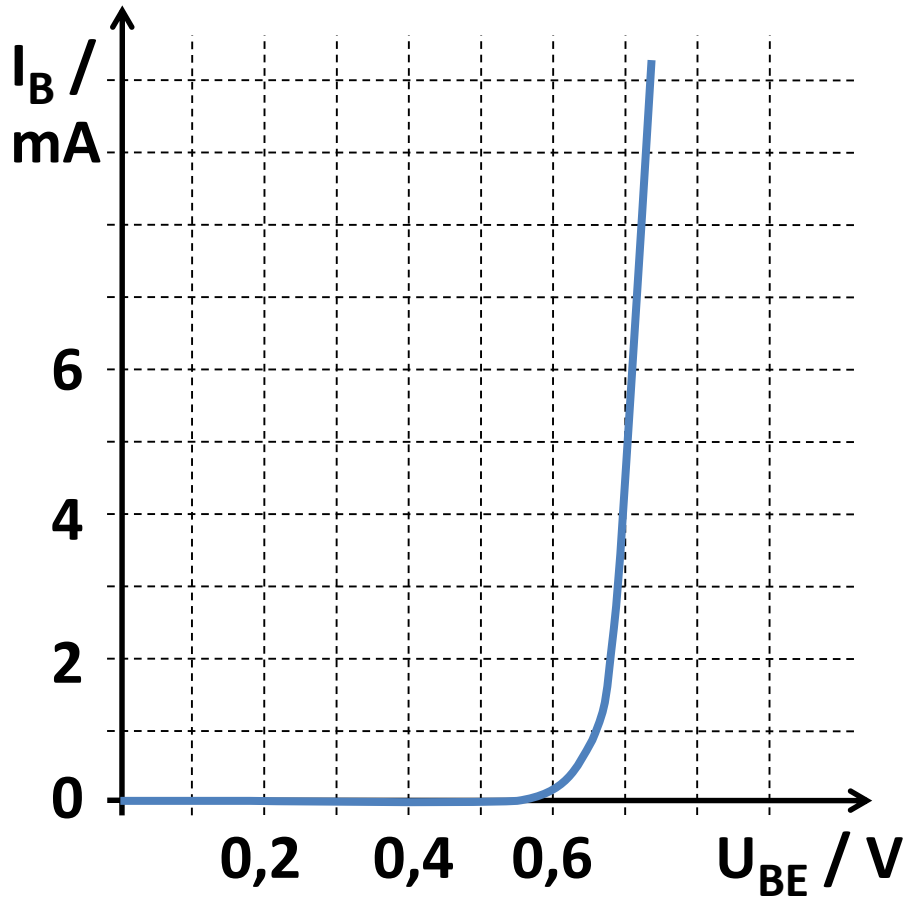
Übungsaufgabe 6.1 (a)

Die abgebildete Verstärkerschaltung soll an einer Betriebsspannung $U_B = 16\text{ V}$ mit einem Kollektorwiderstand $R_C = 40\ \Omega$ betrieben werden.



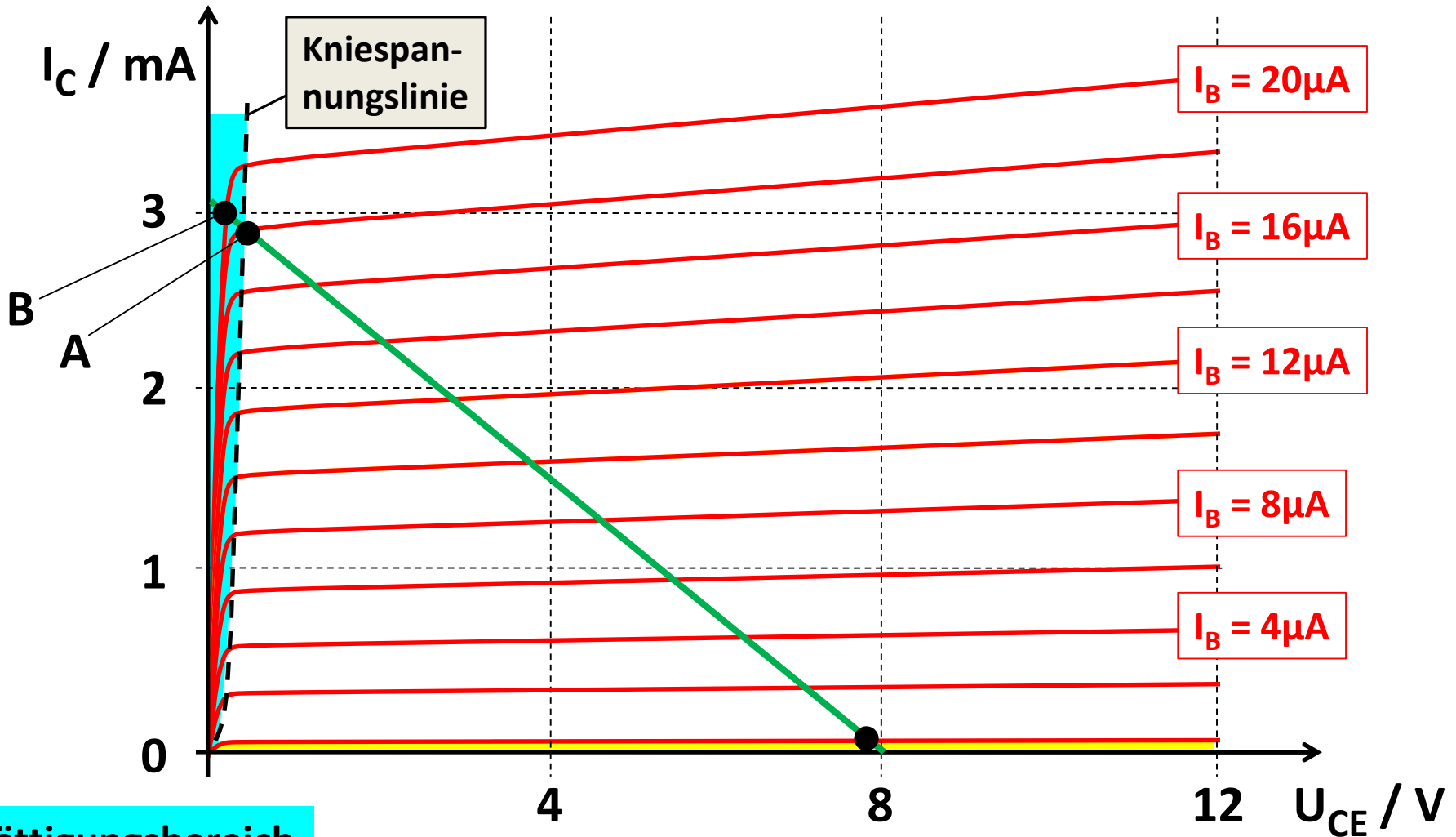
Übungsaufgabe 6.1 (b)

- i) Zeichnen Sie die Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld ein.
- ii) Wählen Sie im Ausgangskennlinienfeld einen sinnvollen Arbeitspunkt.
- iii) Zeichnen Sie den Arbeitspunkt in die Eingangskennlinie ein.



- iv) Ermitteln Sie den Basis-Emitter-Ersatzwiderstand r_{BE} grafisch und rechnerisch und dimensionieren Sie den Vorwiderstand R_B zur Einstellung des Arbeitspunkts.
- v) Bestimmen Sie den Stromverstärkungsfaktor B , die Signal-Stromverstärkung β und die Steilheit S des Transistors im Arbeitspunkt.
- vi) Berechnen Sie den Verstärkungsfaktor v der Verstärkerstufe.

6.5. Der Transistor als Schalter

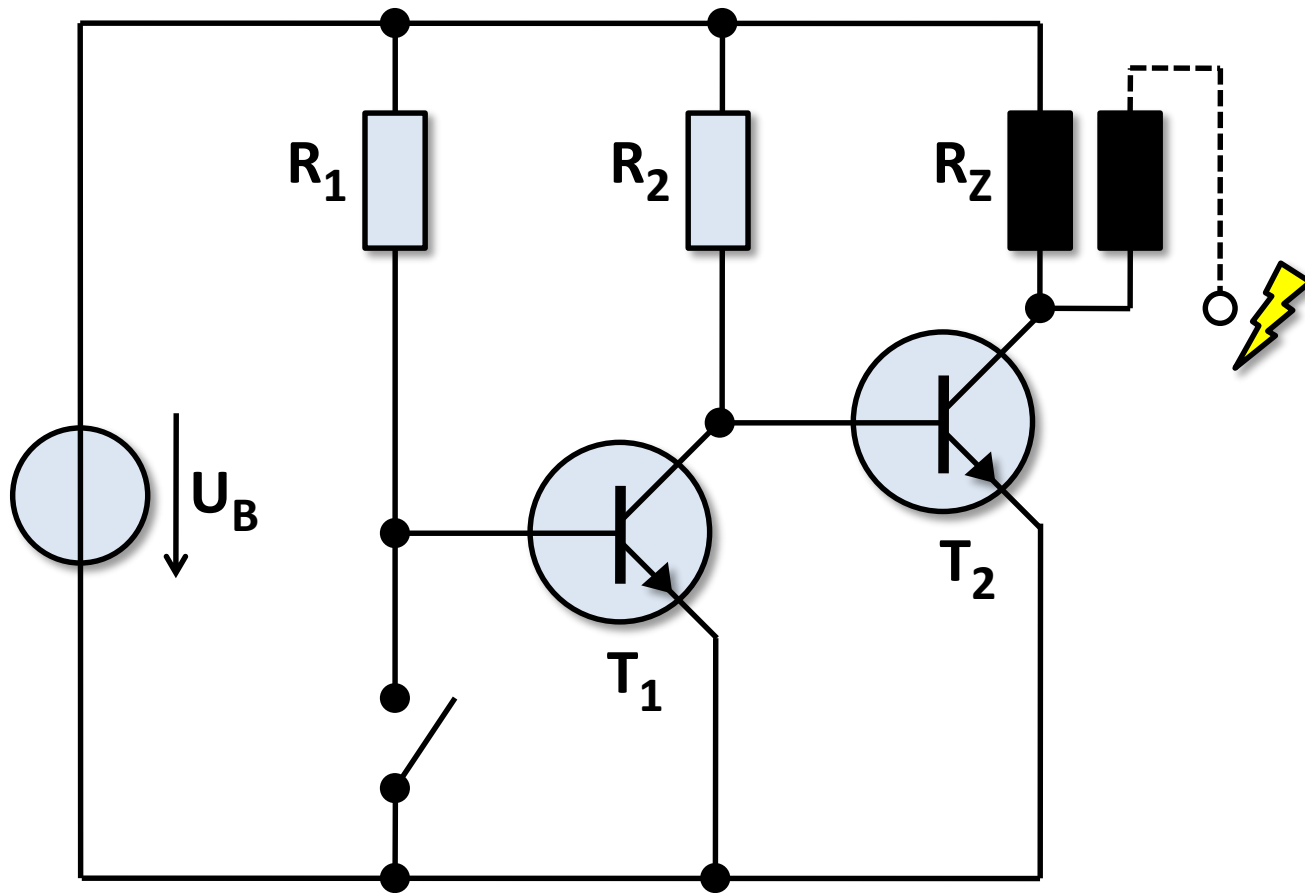


Sättigungsbereich

Sperrbereich

Übungsaufgabe 6.2 (a)

Der Schaltplan zeigt eine kontaktgesteuerte Transistorzündung für Ottomotoren. Dimensionieren Sie die Widerstände R_1 und R_2 so, dass jeder Transistor beim Einschalten 10-fach übersteuert ist!



Es gelten folgende Daten:

- Betriebsspannung $U_B = 14 \text{ V}$
- Widerstand der Primärwicklung der Zündspule $R_Z = 3,5 \Omega$
- Transistor T_1 :
 - $B_1 = 50$
 - $r_{BE1} = 3 \Omega$
 - $U_{CESat1} = 0,4 \text{ V}$
 - $U_{S1} = 0,7 \text{ V}$
- Transistor T_2 :
 - $B_2 = 30$
 - $r_{BE2} = 1 \Omega$
 - $U_{CESat2} = 0,5 \text{ V}$
 - $U_{S2} = 0,6 \text{ V}$

Übungsaufgabe 6.2 (c)

- i) Welcher Kollektorstrom I_{C2} fließt bei eingeschaltetem Transistor T_2 durch die Primärwicklung der Zündspule?
- ii) Welchen Basisstrom I_{B2} benötigen Sie, um den Transistor T_2 beim Einschalten 10-fach zu übersteuern? Wie groß ist in diesem Fall die Spannung U_{BE2} an der Basis von T_2 ?
- iii) Berechnen Sie einen geeigneten Widerstand R_2 .
- iv) Wie groß ist der Strom I_{B2} bei eingeschaltetem Transistor T_1 ? Welcher Kollektorstrom I_{C1} fließt in diesem Fall?
- v) Welchen Basisstrom I_{B1} benötigen Sie, um den Transistor T_1 beim Einschalten 10-fach zu übersteuern? Wie groß ist in diesem Fall die Spannung U_{BE1} an der Basis von T_1 ?
- vi) Berechnen Sie einen geeigneten Widerstand R_1 .