

Aufgabe 5.1

Berechnen Sie für die in Bild 5.1 dargestellte Logikschaltung die Ausgangspegel (U_A) für alle möglichen Schalterstellungen von S_1 und S_2 . Tragen Sie die logischen Zustände von E_1 , E_2 und U_A in eine Zustandstabelle ein und bestimmen Sie so die logische Funktion des durch die Schaltung realisierten Gatters. Vergleichen Sie die für die einzelnen Logikzustände errechneten Spannungspiegel und bestimmen Sie daraus die Spannungsniveaus für den H-Pegel, den L-Pegel sowie das verbotene Band.

Zur Berechnung der Schaltzustände wird angenommen, dass die Flussspannung der Basis-Emitter-Diode des Transistors T_1 sowie der Dioden D_1 , D_2 und D_3 (d.h. die Spannung bei der die Diode vom Sperrzustand in den Durchgangszustand übergeht) bei U_{BE} , $U_F = 0,7\text{ V}$ liegt. Der Übergang vom Sperr- in den Durchlasszustand wird dabei als ideal abrupt angenommen. Im Durchlassfall fällt über der Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors T_1 eine Sättigungsspannung von $U_{CES} = 0,1\text{ V}$ ab. Für die Stromverstärkung des Transistors T_1 wird ein Wert von $B = 100$ angenommen.

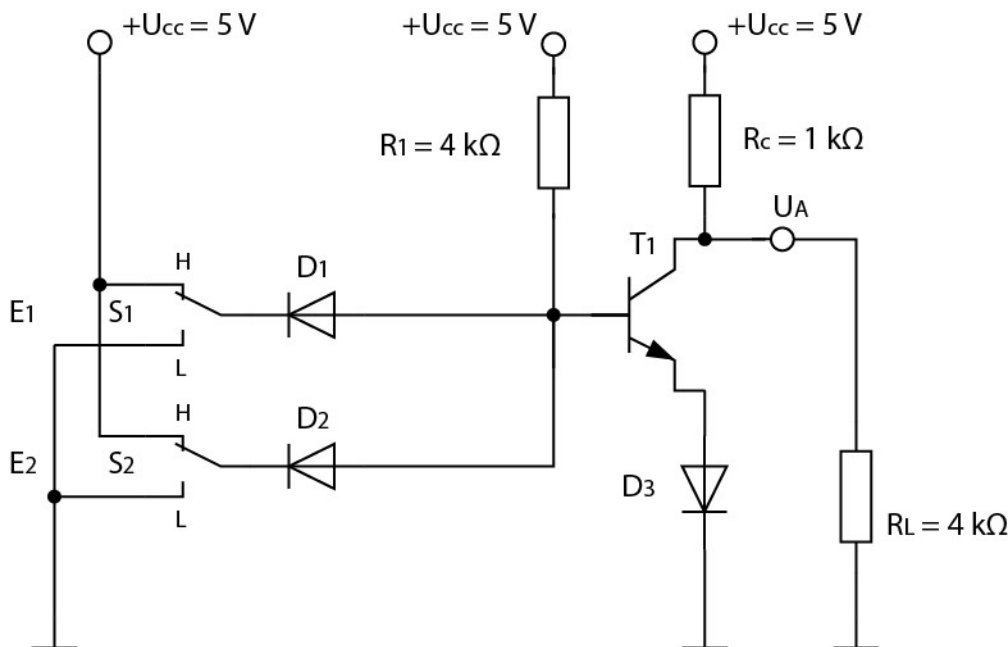


Bild 5.1: Schaltung für ein mit Dioden und Transistoren realisiertes Logikgatter

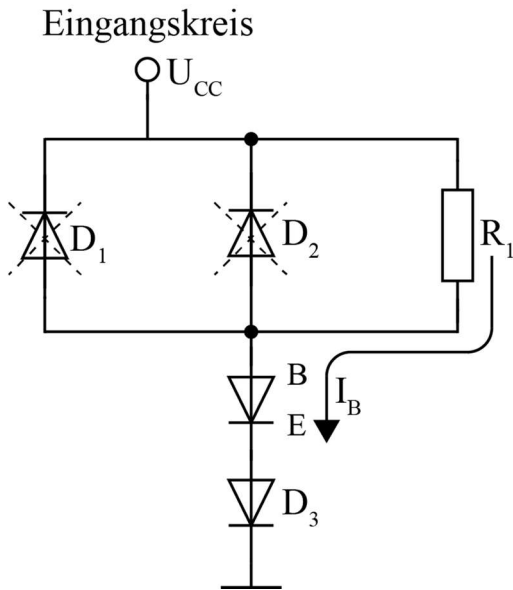
Lösung:

Zustandstabelle:

Fall	E_1	E_2
1	H	H
2, 3	L	H
	H	L
4	L	L

Fall 1 → HH: Beide Dioden in Sperrrichtung

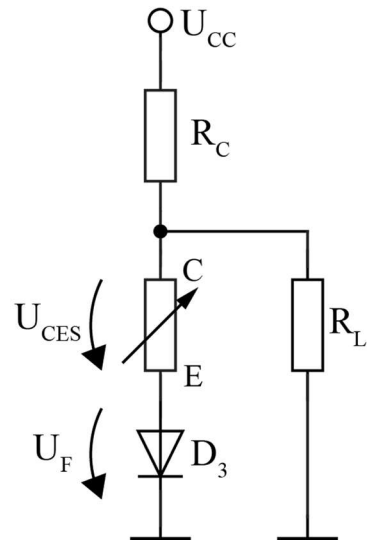
→ Betrachtung des Eingangskreises und des Ausgangskreises:



$$I_B = \frac{U_{CC} - 2U_F}{R_1}$$

$$I_B = 0,9 \text{ mA}$$

Ausgangskreis

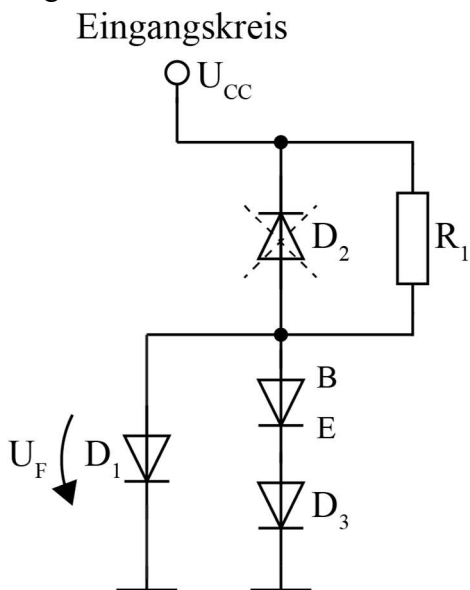


$$I_C = \frac{U_{CC} - (U_{CES} + U_F)}{R_C} - \frac{U_{CES} + U_F}{R_L}$$

$$\left. \begin{aligned} I_C &= 4,2 \text{ mA} - 0,2 \text{ mA} \\ I_C &= 4 \text{ mA} \ll I_B \cdot B \end{aligned} \right\} U_A = U_{CES} + U_F = 0,8 \text{ V}$$

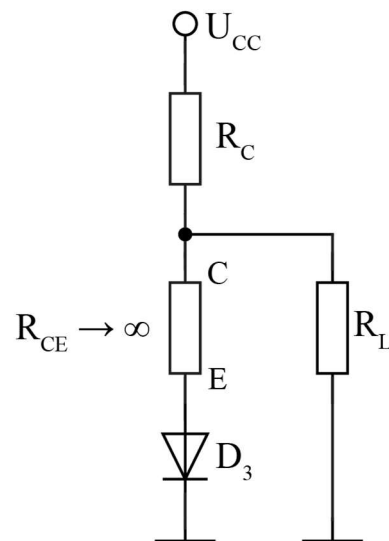
Spannung im Ausgangskreis: $U_A = U_{CES} + U_F = 0,8 \text{ V}$

Fall 2 + 3 → LH + HL: Eine Diode sperrt, die andere nicht. Diese Schaltung lässt sich wie folgt darstellen:



Da $U_{F1} < \underbrace{U_{BF} + U_{F3}}_{2 \cdot U_F}$ → B-E-Pfad gesperrt (Widerstand gegen ∞)

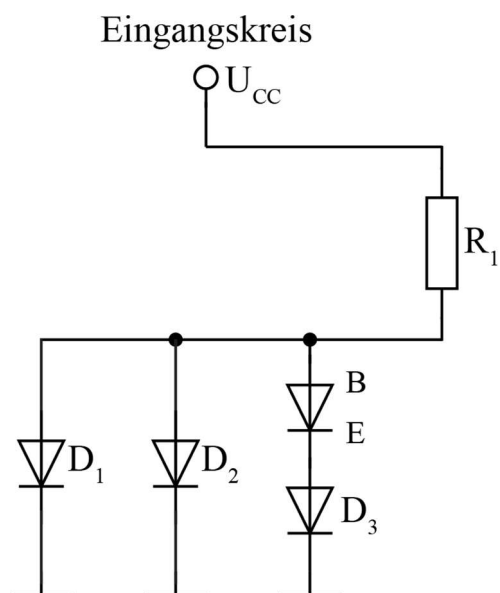
Ausgangskreis



$$U_A = U_{CC} \cdot \frac{R_L}{R_C + R_L} = 4 \text{ V}$$

Ausgangskreis: $R_{CE} \rightarrow \infty$, $U_A = U_{CC} \cdot \frac{R_L}{R_C + R_L} = 4 V$

Fall 4 → LL: Beide Dioden in Fließrichtung. Diese Schaltung lässt sich wie folgt darstellen:



Parallelschaltung $D_1, D_2 \hat{=} D_1 \text{ o. } D_2$ aus Fall 2/3.

Zusammenfassung:

Fall	E ₁	E ₂	U _A	A
1	H	H	$U_{CES} + U_F = 0,8 V$	L
2, 3	L	H	4 V	H
	H	L	4 V	H
4	L	L	4 V	H

Logische Funktion: NAND-Schaltung

Aufgabe 5.2

In einer weiteren Stabilisierungsschaltung wird die Z-Diode mit einem Transistor kombiniert, siehe **Bild 5.2**. Die **Eingangsspannung** ist $U_E = 15\text{ V}$. Die Z-Diode hat eine **Z-Spannung** von $U_Z = 12\text{ V}$. Im Betriebszustand fällt über den Transistor eine **Basis-Emitter-Spannung** von $U_{BE} = 0,7\text{ V}$ ab, und die **Stromverstärkung** beträgt $B = 100$. Die Last am Ausgang der Stabilisierungsschaltung beträgt $R_L = 100\ \Omega$.

- a) Wie groß muss R_C sein, damit an der Z-Diode eine **maximale Verlustleistung** von $P_{V,max} = 0,5\text{ W}$ nicht überschritten wird?
- b) Welche **Stromverstärkung** ist erforderlich, wenn mit dem eingestellten R_C ein **Lastwiderstand** von $R_L = 10\ \Omega$ betrieben werden soll?

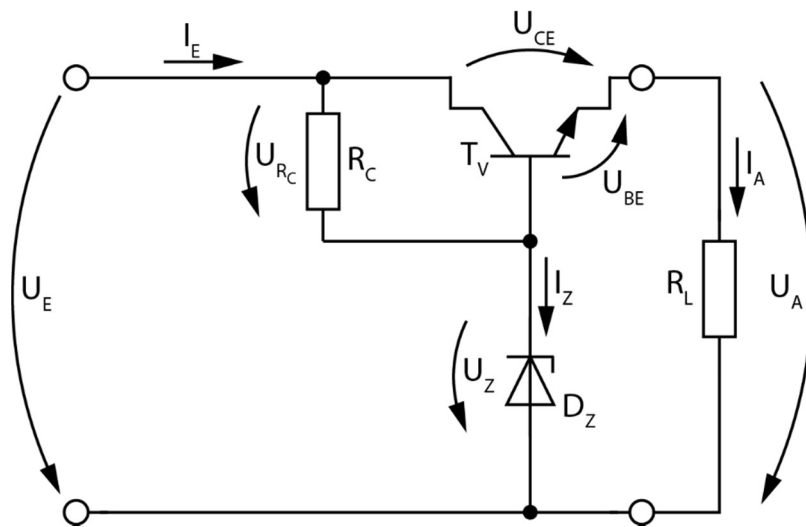
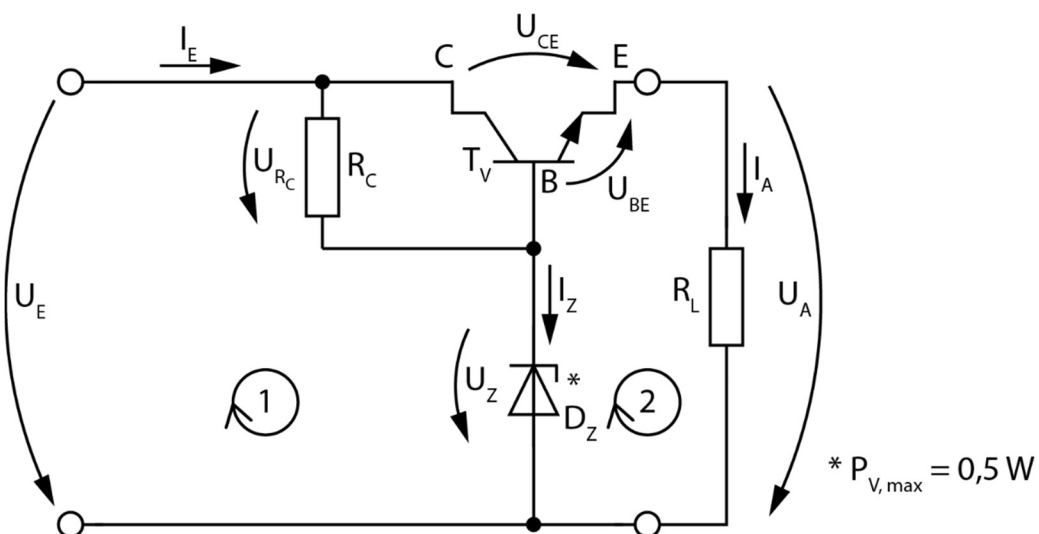


Bild 5.2: Stabilisierungsschaltung mit Z-Diode und Transistor

Lösung: Schritt 1: Lösungsansatz: Die Schaltung lässt sich in 2 Maschen aufteilen (s. Abbildung unten).



a) Gesucht: R_C

Gegeben: $P_{V,max} = 0,5 \text{ W} = U_Z \cdot I_Z$; $U_Z = 12 \text{ V}$

$$\Rightarrow I_Z = \frac{P_{V,max}}{U_Z} = \frac{0,5 \text{ W}}{12 \text{ V}} \approx 0,04167 \text{ A}$$

Schritt 2: Für Masche 1 gilt, dass die Eingangsspannung U_E gleich groß ist, wie die Summe aus der Spannung, die am Widerstand R_C abfällt und der Spannung an der Diode D_Z . Aus dieser Beziehung lässt sich die Spannung U_{R_C} berechnen:

$$U_E = U_{R_C} + U_Z \Rightarrow U_{R_C} = U_E - U_Z = 3 \text{ V}$$

Schritt 3: Für Masche 2 gilt, dass die Spannung, die am Widerstand R_L abfällt, der Summe aus der Z-Spannung U_Z und der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} entspricht:

$$U_{R_L} = U_Z + U_{BE} = 12 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = 11,3 \text{ V}$$

Der Ausgangsstrom entspricht dem Verhältnis von der Ausgangsspannung zum Lastwiderstand R_L :

$$I_A = \frac{U_A}{R_L} = \frac{11,3 \text{ V}}{100 \Omega} = 0,113 \text{ A}$$

Der Stromverstärkungsfaktor B entspricht dem Verhältnis von Kollektorstrom I_C zum Basisstrom I_B . Die Summe von Kollektorstrom I_C und Basisstrom I_B wiederum ist gleich dem Emitterstrom I_E .

$$\left. \begin{array}{l} B = \frac{I_C}{I_B} \\ I_E = I_B + I_C \end{array} \right\} B + 1 = \frac{I_E}{I_B}$$

Nach Umstellung dieser Formel kann der Basisstrom I_B berechnet werden:

$$I_B = \frac{I_A}{B + 1} = \frac{0,113 \text{ A}}{101} \approx 0,00112 \text{ A} = 1,12 \text{ mA}$$

I_{R_C} ist genauso groß wie die Summe aus Diodenstrom I_Z und Basisstrom I_B :

$$I_{R_C} = I_Z + I_B = 0,04167 \text{ A} + 0,00112 \text{ A} = 0,04279 \text{ A}$$

R_C ergibt sich aus dem Quotienten von U_{R_C} und I_{R_C} (gemäß $U = R \cdot I$). Werden die aufgrund oben genannter Überlegungen ermittelten Werte eingesetzt erhält man für den minimalen Widerstandswert:

$$R_{C_{min}} = \frac{U_{RC}}{I_{RC}} = \frac{3 \text{ V}}{0,04279 \text{ A}} \approx 70,11 \Omega$$

Der maximale Widerstandswert $R_{C_{max}}$ ergibt sich aus dem Verhältnis von U_{RC} zum Basisstrom I_B .

$$R_{C_{max}} = \frac{U_{RC}}{I_B} = \frac{3 \text{ V}}{0,00112 \text{ A}} \approx 2,68 \text{ k}\Omega$$

b) Gesucht: B

Gegeben: $R_L = 10 \Omega$; $U_{RL} = 11,3 \text{ V}$

Schritt 1: Der Ausgangsstrom I_A entspricht dem Verhältnis von der Ausgangsspannung U_{RL} (auch U_A , mit $U_{RL} = U_Z - U_{BE}$) zum Lastwiderstand R_L (siehe Teilaufgabe a):

$$I_A = \frac{U_Z - U_{BE}}{R_L} = \frac{11,3 \text{ V}}{10 \Omega} = 1,13 \text{ A}$$

Schritt 2: Aus dem Zusammenhang zwischen dem Emitterstrom I_E , dem Basisstrom I_B und der Stromverstärkung B ergibt sich:

$$B = \frac{I_E}{I_{B_{max}}} - 1$$

Schritt 3: Für den Diodenstrom I_Z gilt: $I_Z = 0$, wenn der Ausgangsstrom maximal ist.

Unter dieser Bedingung ist $I_B = I_{RC}$. Mit der Beziehung $U_{RC} = U_E - U_Z$ erhält man den maximalen Basisstrom, wenn für R_C der Minimalwert von $70,11 \Omega$ eingesetzt wird:

$$I_{B_{max}} (I_Z = 0) = \frac{U_E - U_Z}{R_{C_{min}}} = \frac{15 \text{ V} - 12 \text{ V}}{70,11 \Omega} \approx 42,8 \text{ mA}$$

Schritt 4: Die Stromverstärkung, die hierfür mindestens erforderlich ist, ist wie folgt zu berechnen:

$$B_{min} = \frac{I_{RL}}{I_{B_{max}}} - 1 = \frac{1,13 \text{ A}}{0,0428 \text{ A}} - 1 \approx 25,4$$

Aufgabe 5.3

Zeichnen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinien für einen Bipolartransistor in Emitterschaltung.

Die Kollektor-Emitter-Sättigungsspannung beträgt $U_{CES} = 0,2 V$.

In Durchlassrichtung ergibt sich der Basisstrom $I_B = I_S * e^{\left(\frac{U_{BE}}{U_T} - 1\right)}$ mit $I_S = 1 \mu A$ und $U_T = 125 mV$.

Die Stromverstärkung beträgt $B = 200$.

Lösung:

Schritt 1: Festlegen, in welche Quadranten, die Kennlinien einzuzeichnen sind:

Eingangskennlinie: unten links

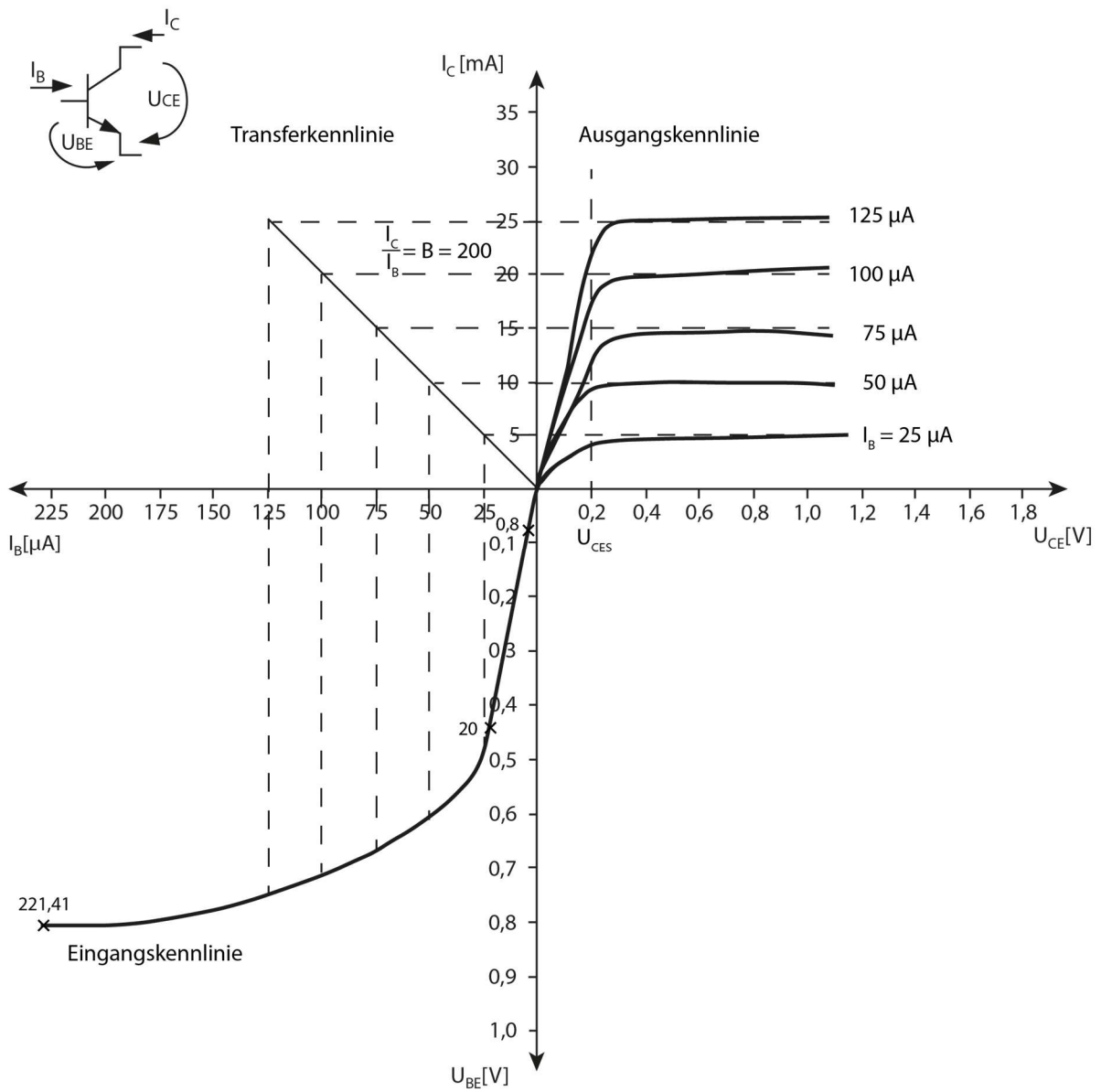
Transferkennlinie: oben links

Ausgangskennlinie: oben rechts

Schritt 2: Einzeichnen der Transferkennlinie: Die Transferkennlinie beschreibt den Zusammenhang zwischen Kollektorstrom I_C und dem Basisstrom I_B . Demzufolge entspricht die Stromverstärkung B der Steigung dieser Kennlinie und es handelt sich stets um eine Gerade die durch den Ursprung (0|0) geht. Zur Zeichnung dieser Geraden wird außer B also keine weitere Information benötigt. Die entsprechende Funktion lautet: $I_C = B \cdot I_B$. Zu berücksichtigen wäre lediglich, dass es im vorliegenden Fall zweckmäßig ist, den Kollektorstrom in der Einheit mA und den Basisstrom in μA darzustellen (\rightarrow Einrechnung des Faktors 1000).

Schritt 3: Zeichnen der Ausgangskennlinie: Die Ausgangskennlinien für die einzelnen Basisströme gehen ebenfalls alle durch den Ursprung (0|0) und steigen zunächst bis kurz vor der Sättigungsspannung linear an und flachen anschließend bis zum Erreichen des Sättigungswertes $I_{C_{max}}$ ab. Für die jeweiligen Basisströme I_B zeichnet man die zugehörigen Plateaus (entsprechend der maximalen Werte für den Kollektorstrom I_C) ein. Links davon skizziert man bis etwa zum Wert $U_{CES} = 0,2 V$ einen abflachenden Kurvenverlauf ein und von dort Geraden bis zum Ursprung.

Schritt 4: Zeichnen der Eingangskennlinie: Aufgrund des exponentiellen Verlaufs müssen hier mehrere Punkte berechnet werden. Für die Durchlassrichtung sind in o.g. Formel die Werte für I_S und U_T einzusetzen. Anschließend errechnet man für einige U_{BE} -Werte entsprechend dieser Funktion die zugehörigen I_B -Werte (Einheiten beachten und ggf. Umrechnen!) und trägt die errechneten Punkte in das Koordinatensystem ein. Abschließend werden die Punkte verbunden.



$I_B(U_{BE} = 0,1 V) = 0,82 \mu A$
 $I_B(U_{BE} = 0,5 V) = 20,1 \mu A$
 $I_B(U_{BE} = 0,8 V) = 221,41 \mu A$

Aufgabe 5.4

Welche Anschlüsse eines Transistors befinden sich am Eingangskreis einer Schaltung mit einem Bipolartransistor (Emitterschaltung)?

- Basis, Emitter
- Basis, Kollektor
- Emitter, Kollektor
- Basis, Gate
- Drain, Emitter
- Gate, Source
- Source, Drain
- Drain, Gate

Aufgabe 5.5

Welche Anschlüsse eines Transistors befinden sich am Eingangskreis einer Schaltung mit einem Unipolartransistor?

- Basis, Emitter
- Basis, Kollektor
- Emitter, Kollektor
- Basis, Gate
- Drain, Emitter
- Gate, Source
- Source, Drain
- Drain, Gate

Aufgabe 5.6

Welche Anschlüsse eines Transistors befinden sich am Ausgangskreis einer Schaltung mit einem Bipolartransistor (Emitterschaltung)?

- Basis, Emitter
- Basis, Kollektor
- Emitter, Kollektor
- Basis, Gate
- Drain, Emitter
- Gate, Source
- Source, Drain
- Drain, Gate

Aufgabe 5.7

Welche Anschlüsse eines Transistors befinden sich am Ausgangskreis einer Schaltung mit einem Unipolartransistor?

- Basis, Emitter
- Basis, Kollektor
- Emitter, Kollektor
- Basis, Gate
- Drain, Emitter
- Gate, Source
- Source, Drain
- Drain, Gate

Aufgabe 5.8

Wie verändert sich die Fließspannung (bzw. Sättigungsspannung) der Basis-Emitter-Diode eines Bipolartransistors in Emitterschaltung?

- sie bleibt konstant, da nur materialabhängig
- sie steigt mit steigender Temperatur
- sie sinkt mit steigender Temperatur
- sie steigt mit steigendem Basisstrom
- sie sinkt mit steigender Basisstrom
- sie steigt mit steigendem Kollektor-Strom
- sie sinkt mit steigendem Kollektor-Strom

Aufgabe 5.9

Welche **Arten** von **Feldeffekttransistoren** existieren?

- p-Kanal Anreicherungstyp
- n-Kanal Anreicherungstyp
- f-Kanal Verarmungstyp
- p-Kanal Flachbandtyp
- n-Kanal Verarmungstyp
- p-Kanal Verarmungstyp
- p-Kanal Inversionstyp
- f-Kanal Flachbandtyp

Aufgabe 5.10

Welche Möglichkeiten der Erzeugung von **Widerständen** in **integrierten Schaltkreisen** gibt es?

- Emitter - Bahnwiderstand
- Basis - Bahnwiderstand
- Kollektor - Bahnwiderstand
- Emitter - pinch - Widerstand
- Basis - pinch - Widerstand
- Kollektor - pinch - Widerstand

Aufgabe 5.11

Welche **Widerstandswerte** lassen sich auf **Al-Leitbahnen** in **IC** erzeugen?

0,2 Ω

2 Ω

20 Ω

Aufgabe 5.12

Welche Möglichkeiten der **Bauelemente-Isolation** werden in **Bipolar-Schaltkreisen** genutzt?

Sperrschichtisolation

Wall - Isolation

Graben - Isolation

Passivierungs - Isolation

Leitbahn - Isolation

Flachband - Isolation

Inversions - Isolation

Anreicherungs - Isolation