



**Aufgabe 1)** Boltzmann Randbedingung.

Zeigen Sie, wie man von den Minoritätsträger-Randkonzentrationen im thermodynamischen Gleichgewicht auf die Boltzmann Randbedingung kommt.

**Aufgabe 2)** Quasi-Ferminiveau.

Bei einer integrierten Si-Diode mit vernachlässigbarer Generation in der RLZ wird bei Sperrpolung ein Strom von 10 fA gemessen. Wie groß ist der Strom durch die Diode, wenn sich gegenüber dem thermodynamischen Gleichgewicht durch Anlegen einer äußeren Spannung die Energiedifferenz zwischen den waagerechten Verläufen von  $W_C$  im p- und n-Gebiet um 0,7 eV verringert.

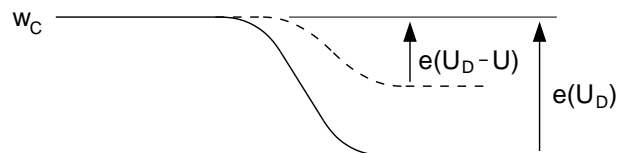


Abbildung 1: Verlauf der Energiedifferenzen.

**Aufgabe 3)** Bahngebiete, Betriebsbereich, Ladungsträgerdichten.

Gegeben ist ein npn-Si-Bipolar-Transistor bei 300 K mit den folgenden Werten:

- Effektiver homogen vom Strom durchflossener Querschnitt:  
 $A = 20 \mu\text{m}^2$
- $L_n = L_p = 50 \mu\text{m}$
- Rechteckprofil-Dotierung mit

$$\begin{array}{ll}
 N_E = 10^{20} \text{ cm}^{-3} & 0 \leq x < x_{je} \\
 N_B = 10^{17} \text{ cm}^{-3} & x_{je} \leq x \leq x_{jc} \\
 N_C = 10^{15} \text{ cm}^{-3} & x_{jc} < x < x_k
 \end{array}$$

mit

$$\begin{array}{l}
 x_{je} = 2 \mu\text{m} \\
 x_{jc} = 4 \mu\text{m} \\
 x_k = 8 \mu\text{m}
 \end{array}$$

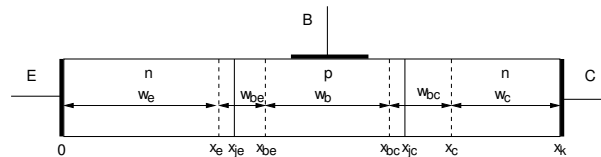


Abbildung 2: npn-Bipolar-Transistor.

Fehlende Werte können aus der Literatur oder aus dem Skript entnommen werden. z.B.  $\mu_n, \mu_p$  aus Tab. 2.5.

- Wie groß sind die Bahngebiete  $w_e, w_b, w_c$ , sowie die RLZ-Weiten  $w_{be}, w_{bc}$  des Transistors im thermodynamischen Gleichgewicht?
- Der Transistor befindet sich im Arbeitspunkt  $U_{BE} = 800 \text{ mV}$  und  $U_{BC} = -1 \text{ V}$ . In welchem Betriebsbereich befindet sich der Transistor?  
Als freiwillige Zusatzaufgabe berechnen und zeichnen Sie (z.B. mit Matlab, Octave) die Ladungsträgerdichten in den Bahngebieten und RLZ'en im thermodynamischen Gleichgewicht sowie für den Arbeitspunkt.
- Welche Form besitzen die Minoritätsträgerverläufe in den Bahngebieten bei logarithmischer Darstellung ( $\log n_p(x), \log p_n(x)$ ) und bei linearer Darstellung?  
Ist in allen Bahngebieten die Berechnung mit Hilfe der Näherungen für die kurze Diode möglich?
- Berechnen Sie die Sättigungsströme  $I_{es}, I_{bs}, I_{cs}$  des Transistors sowie seine Stromverstärkungen  $B_F$  und  $B_R$ .
- Welchen Wert besitzen die Ströme  $I_{CE}, I_{EC}$  des Transferstrom-Modells im Arbeitspunkt unter b)? Wie groß sind  $I_B, I_E$  und  $I_C$  an den Klemmen des Transistors? Wie groß ist demnach die Stromverstärkung  $B = \frac{I_C}{I_B}$ ?
- Bestimmen und zeichnen Sie die Kennlinien  $I_C(U_{CE}), I_C(I_B), I_B(U_{BE})$  mit  $U_{BE} = 0 \dots 850 \text{ mV}$ .  
Wählen Sie in der Darstellung für  $U_{BE}$  eine geeignete Schrittweite. Nehmen Sie zur Vereinfachung der Berechnung  $\alpha_T = 1$  an und vernachlässigen Sie die Nettorekombination in den Raumladungszonen. Für die Early-Spannung soll näherungsweise  $U_A \rightarrow \infty$  gelten. Machen Sie geeignete Annahmen, falls Ihnen Angaben fehlen.