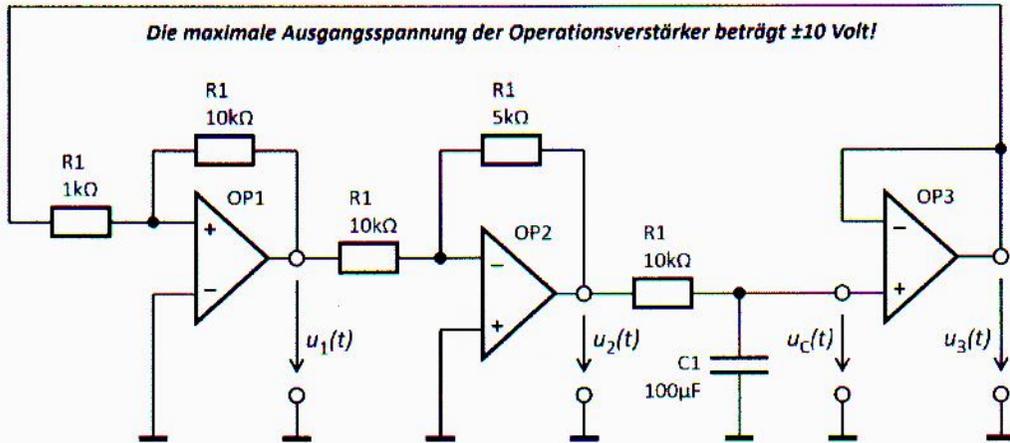


Hochschule München Fakultät 03	Sommersemester 2017 Aufgabenteil Elektronik		Prof. Dr.-Ing. Tilman Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: eigene Formelsammlung, Taschenrechner	Matr.-Nr.:	Name, Vorname:	
	Hörsaal:	Unterschrift:	

Viel Erfolg!!

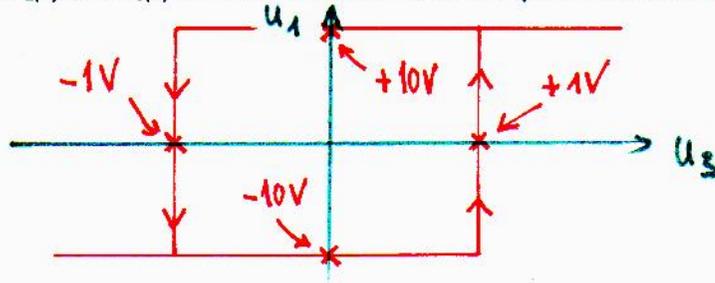
A	1	2	3	4	Σ	N
P						

Aufgabe 1: Operationsverstärker (ca. 15 Punkte)



1.1. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der Operationsverstärkerstufe OP1? Geben Sie den Zusammenhang zwischen $u_1(t)$ und $u_3(t)$ durch eine Formel oder eine passende Skizze an!

Komparator
mit Hysterese;
Schwellenspg. =
 $\pm 10V \cdot \frac{1}{10} = \pm 1V$



1.2. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der Operationsverstärkerstufe OP2? Geben Sie den Zusammenhang zwischen $u_2(t)$ und $u_1(t)$ durch eine Formel oder eine passende Skizze an!

Invertierender Verstärker

$$u_2 = -\frac{5}{10} \cdot u_1 = -\frac{1}{2} \cdot u_1$$

1.3. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der Operationsverstärkerstufe OP3? Geben Sie den Zusammenhang zwischen $u_3(t)$ und $u_c(t)$ durch eine Formel oder eine passende Skizze an!

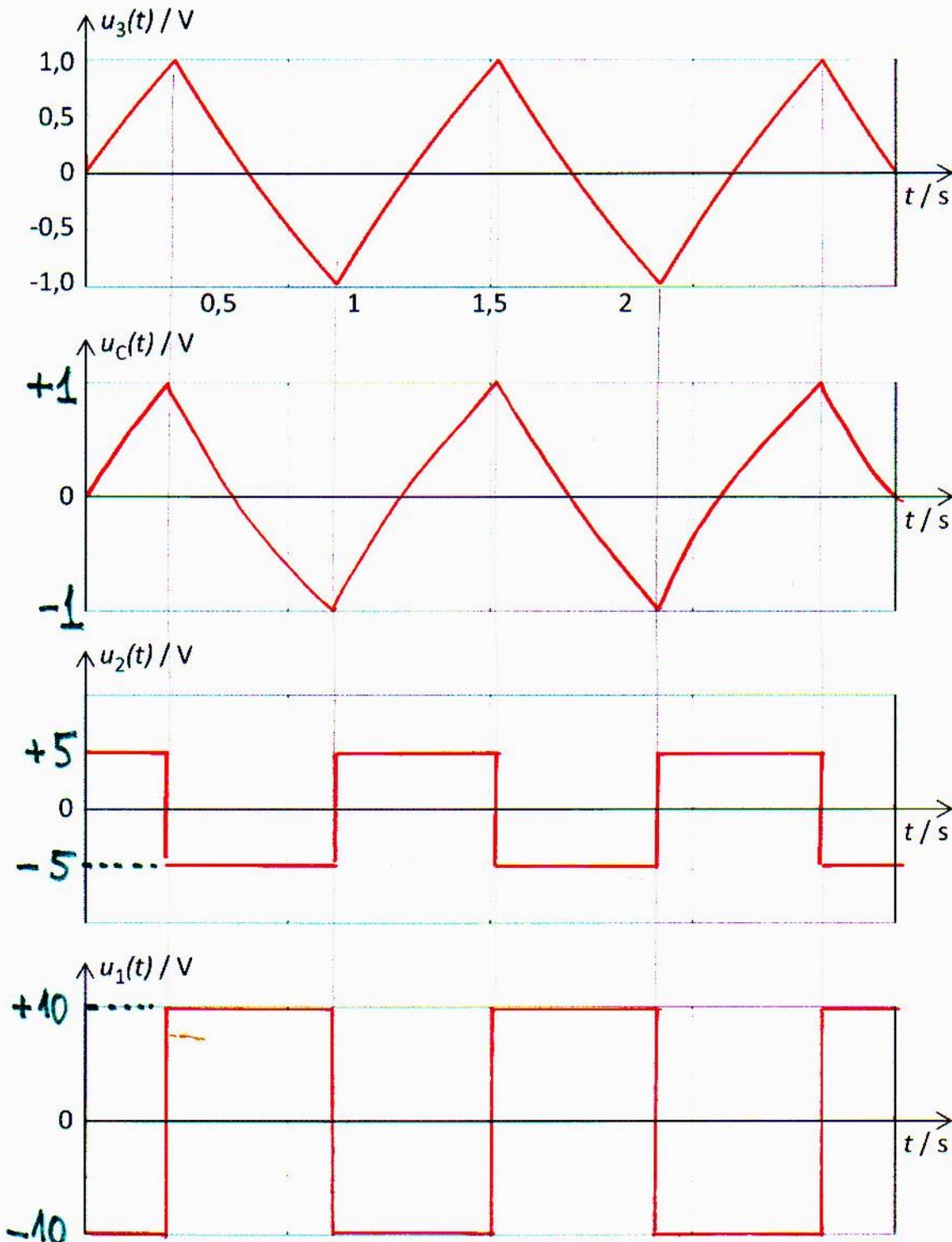
Impedanzwandler

$$u_3 = u_c$$

- 1.4. Auf den ersten Blick könnte es sich bei $u_3(t)$ um eine „reine“ Dreiecksschwingung handeln. Erläutern Sie in einigen Stichworten, welche Form $u_3(t)$ tatsächlich hat!

C_1 wird über den Widerstand R_1 abwechselnd ge- und entladen \rightarrow Exponentialfunktion(en)

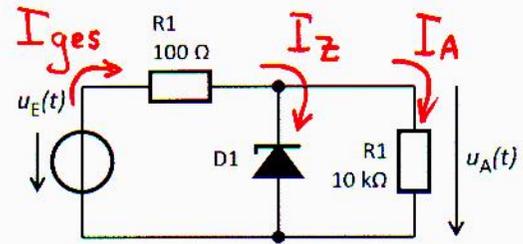
- 1.5. Zeichnen Sie die Spannungsverläufe $u_C(t)$, $u_2(t)$ und $u_1(t)$ in die vorbereiteten Diagramme. **Beschriften Sie die y-Achsen der Diagramme mit geeigneten Spannungswerten!**



Aufgabe 2: Z-Diode (ca. 7 Punkte)

Ein empfindlicher Verbraucher – dargestellt durch den Widerstand R1 – soll durch eine Z-Diodenschaltung vor Überspannung am Eingang $u_E(t)$ geschützt werden.

Daten von D1: $U_{z0} = 5\text{ V}$, $r_z = 5\ \Omega$, $U_s = 0,6\text{ V}$, $r_f = 10\ \Omega$



2.1. Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_A(t)$ am Verbraucher. Bestimmen Sie den Verlauf der Spannung $u_E(t)$ und zeichnen Sie diesen ebenfalls ins vorbereitete Diagramm.

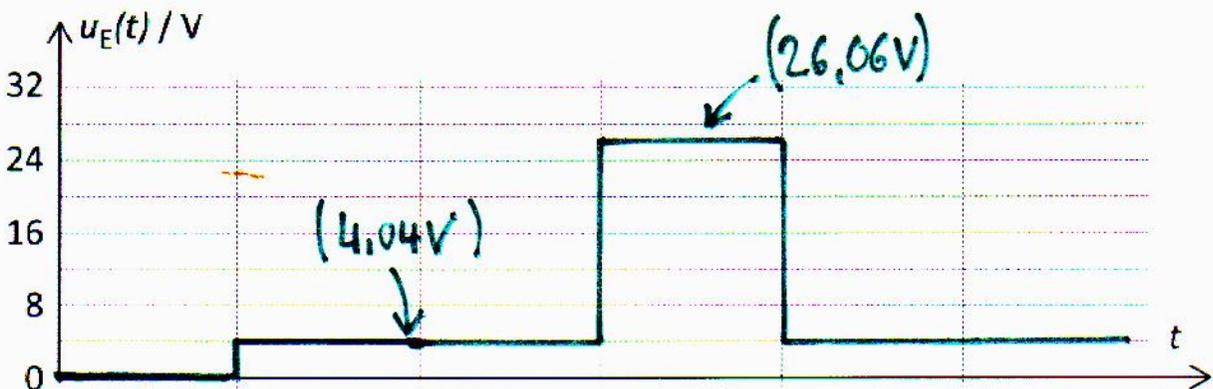
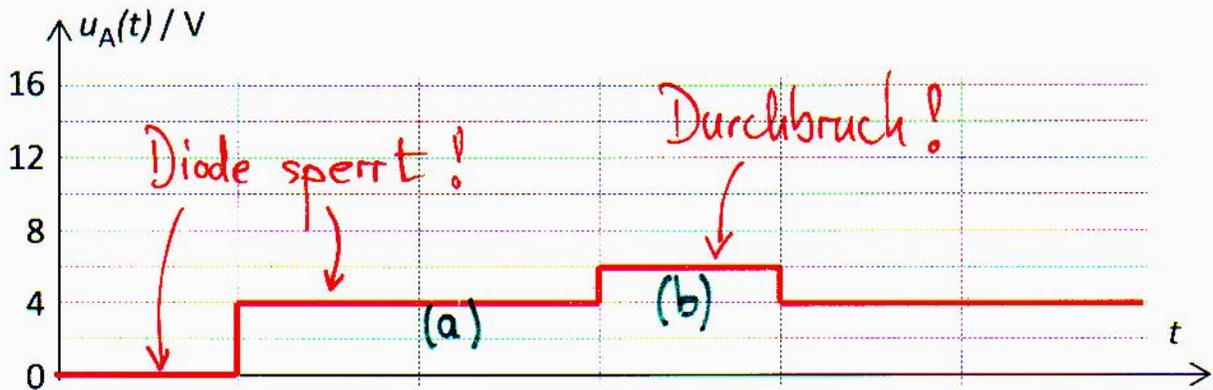
(Platz für Berechnungen:)

(a)
$$u_E = \frac{10\text{ k}\Omega + 100\ \Omega}{10\text{ k}\Omega} \cdot 4\text{ V} = \underline{\underline{4,04\text{ V}}}$$

(b)
$$I_A = \frac{6\text{ V}}{10\text{ k}\Omega} = 0,6\text{ mA} \quad I_z = \frac{(6-5)\text{ V}}{5\ \Omega} = 200\text{ mA}$$

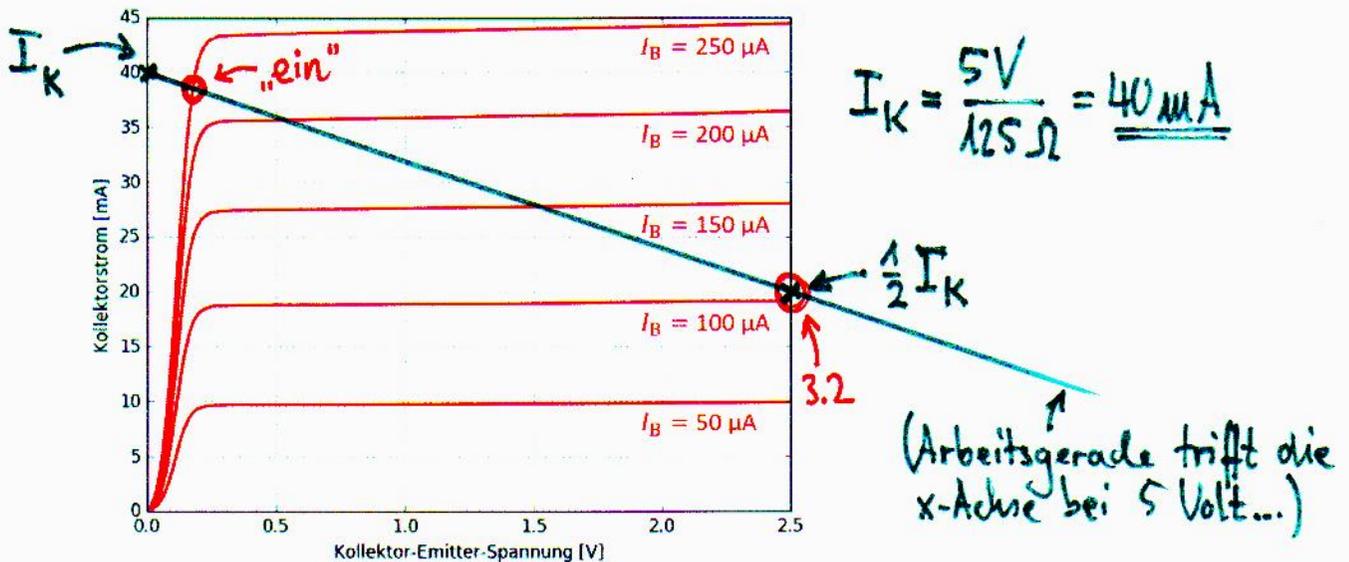
$$\rightarrow I_{\text{ges}} = \underline{\underline{200,6\text{ mA}}}$$

$$\rightarrow u_E = 6\text{ V} + 200,6\text{ mA} \cdot 100\ \Omega = \underline{\underline{26,06\text{ V}}}$$



Aufgabe 3: Transistor (ca. 8 Punkte)

3.1. Ein einstufiger Wechselspannungs-Transistorverstärker wird an einer Versorgungsspannung $U_{BAT} = 5\text{ V}$ betrieben. Der Kollektorwiderstand hat den Wert $R_C = 125\ \Omega$. Zeichnen Sie die Kennlinie der „realen Spannungsquelle“ aus U_{BAT} und R_C in das Diagramm mit den Ausgangskennlinien des Transistors.



3.2. Begründen Sie, warum es sinnvoll ist, den Arbeitspunkt des Wechselspannungsverstärkers bei $U_{CE,AP} \approx \frac{1}{2} U_{BAT}$ zu wählen. Zeichnen Sie einen geeigneten Arbeitspunkt ins Diagramm und beschriften Sie diesen mit „3.2“.

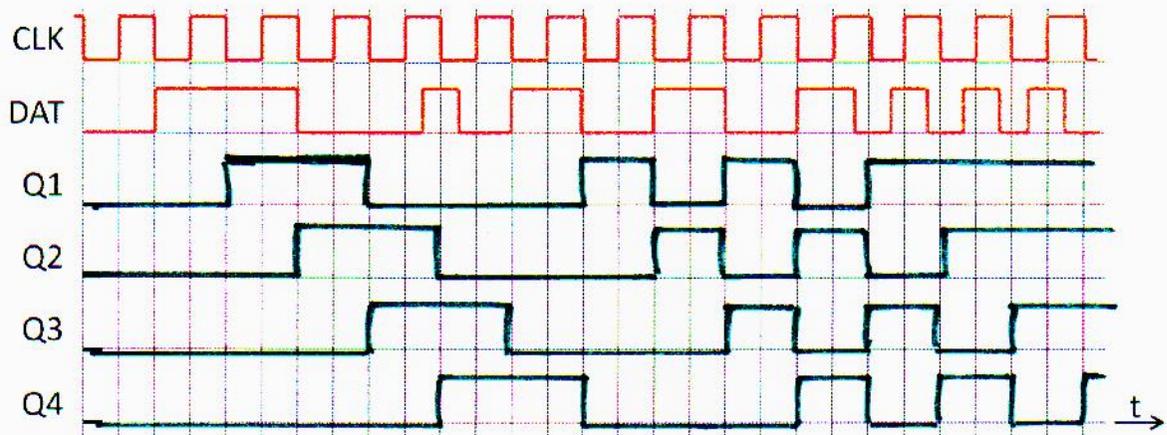
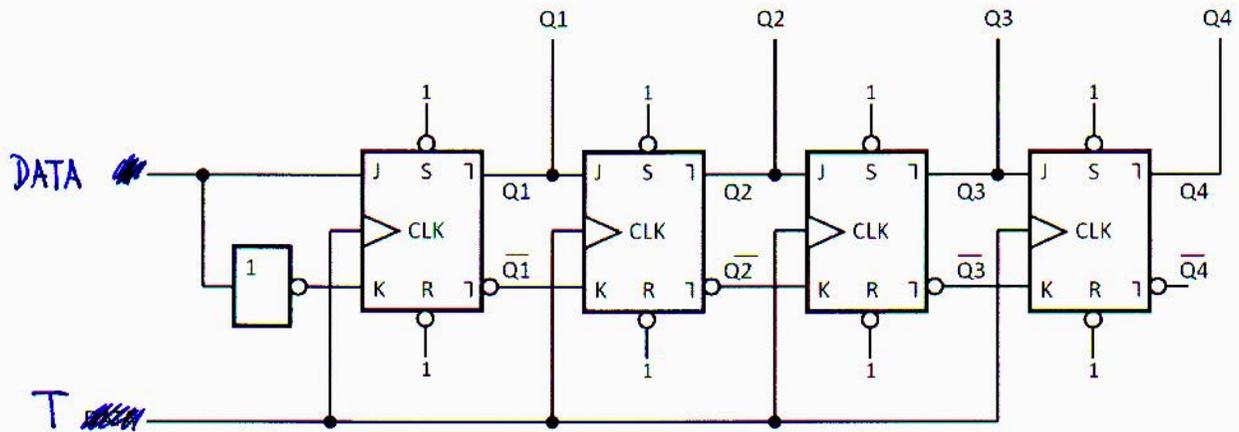
In diesem Fall kann sich U_{CE} sowohl nach oben als auch nach unten (ca.) gleich weit ändern – und damit auch die Ausgangsspg. des Verstärkers – bevor die Übersteuerungsgrenzen erreicht sind.

3.3. Nun wird derselbe Transistor als Schalter verwendet. Betriebsspannung und Kollektorwiderstand haben die gleichen Werte wie in Aufgabe 3.1. Zeichnen Sie den Arbeitspunkt des eingeschalteten Schalttransistors ins Diagramm und beschriften Sie diesen mit „ein“.

3.4. Welchen Basisstrom wählen Sie, um den Schalttransistor schnell und zuverlässig einzuschalten?

$I_B = 250\ \mu\text{A}$ wäre minimal erforderlich. Für schnelles und zuverlässiges Schalten wählen wir eine Übersteuerung von z.B. $\beta = 4 \rightarrow \underline{\underline{I_{B,tatsächlich} = 1\ \text{mA}}}$

- 4.2. Die abgebildete Schaltung aus positiv flankengetriggerten JK-Master/Slave-Flipflops besitzt zwei Eingänge DATA und T sowie vier Ausgänge Q1...Q4. Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Signale Q1, Q2, Q3 und Q4 in das vorbereitete Diagramm!



Aufgabe 5: Halbleiter (ca. 15 Punkte)

Ein Halbleiterprobe aus Silizium ist mit einer Phosphordichte von $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ und einer Galliumdichte von $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ dotiert. Phosphor ist ein Element aus der 5. Hauptgruppe des Periodensystems, Gallium aus der 3. Hauptgruppe. Bei $T = 300 \text{ K}$ gilt für Silizium $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

5.1. Berechnen Sie die Elektronen- und die Löcherdichte des Halbleiters bei Raumtemperatur.

$$N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3} \quad N_A = 0,5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_0 \approx N_D - N_A = 0,5 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = \left[(1,5 \cdot 10^{10})^2 / 0,5 \cdot 10^{15} \right] \text{ cm}^{-3} = \underline{\underline{4,5 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-3}}}$$

5.2. Der Halbleiter aus 5.1 wird erwärmt, die Eigenleitungsichte beträgt nun $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Berechnen Sie die Elektronen- und die Löcherdichte des erwärmten Halbleiters.

$$n_0 = \frac{N_D - N_A}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_D - N_A}{2}\right)^2 + n_i^2}$$

$$= \left[\frac{10^{15} - 0,5 \cdot 10^{15}}{2} + \sqrt{\left(\frac{10^{15} - 0,5 \cdot 10^{15}}{2}\right)^2 + (5 \cdot 10^{14})^2} \right] \text{ cm}^{-3}$$

$$= \underline{\underline{8,09 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}}}$$

$$p_0 = n_i^2 / n_0 = \left[(5 \cdot 10^{14})^2 / 8,09 \cdot 10^{14} \right] \text{ cm}^{-3} = \underline{\underline{3,09 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}}}$$

5.3. Warum steigt die Eigenleitungsichte eines Halbleiters bei Erwärmung? Welchen Einfluss hat dies auf den spezifischen Widerstand des Halbleiters? (Stichworte genügen.)

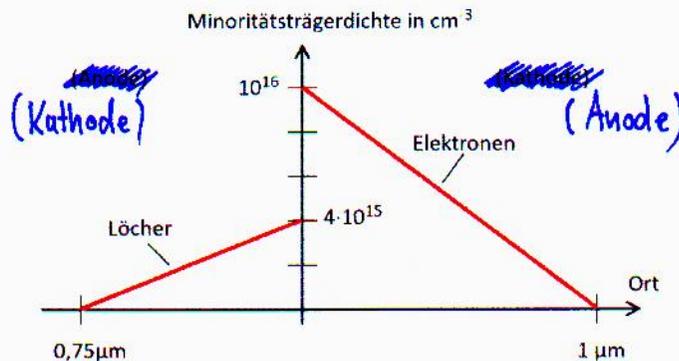
- thermische Generation von Ladungsträger-Paaren
- mehr bewegliche Ladungsträger n_0, p_0
→ spez. Widerstand sinkt!

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

5.4. Nennen Sie eine weitere Möglichkeit (außer Erwärmung), wie die Eigenleitungsichte eines Halbleiters erhöht werden kann.

Es muss Energie in den HL eingebracht werden,
z.B. durch Bestrahlung mit Licht.

5.5. Die folgende Abbildung zeigt die Minoritätsträgerdichten einer in Flussrichtung gepolten Siliziumdiode. Die aktive Fläche der Diode beträgt $A = 25 \mu\text{m}^2$.



Wie groß sind die Diffusionsströme $I_{p,diff}$ und $I_{n,diff}$ bei Raumtemperatur ($T = 300 \text{ K}$) aufgrund der Änderung der Minoritätsträgerdichte in den jeweiligen Gebieten?

Wie groß ist der Gesamtdiffusionsstrom I_{diff} der Minoritätsträger?

Hinweise: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K}$; $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$; $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$

$$I_{n,diff} = A \cdot k \cdot T \cdot \mu_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

$$= 25 \cdot (10^{-6} \text{ m})^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ws}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K} \cdot 0,135 \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}} \cdot \frac{-10^{16}}{(0,25 \text{ m})^3 \cdot 10^{-6} \text{ m}}$$

$$\rightarrow I_{n,diff} = \underline{\underline{-140 \mu\text{A}}}$$

$$\rightarrow I_{p,diff} = -140 \mu\text{A} \cdot \frac{4 \cdot 10^{15}}{10^{16}} \cdot \frac{1}{0,75} = \underline{\underline{-74,5 \mu\text{A}}}$$

$$\rightarrow I_{ges} = (-140 - 74,5) \mu\text{A} = \underline{\underline{-214 \mu\text{A}}}$$