

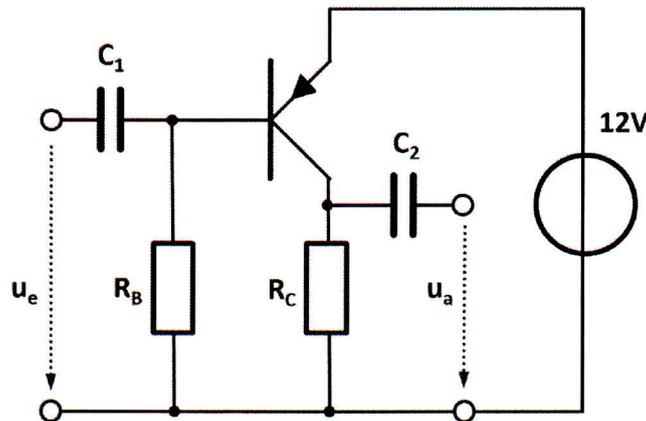
Hochschule München Fakultät 03	Wintersemester 2014/15 Elektronik	Prüfer: Prof. Dr.-Ing. T. Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: alle eigenen, Taschenrechner	Matr.-Nr.: Hörsaal:	Name, Vorname: Unterschrift:

Viel Erfolg!!

A	1	2	3	4	Σ	N
P						

Aufgabe 1, Transistor (ca. 15 Punkte)

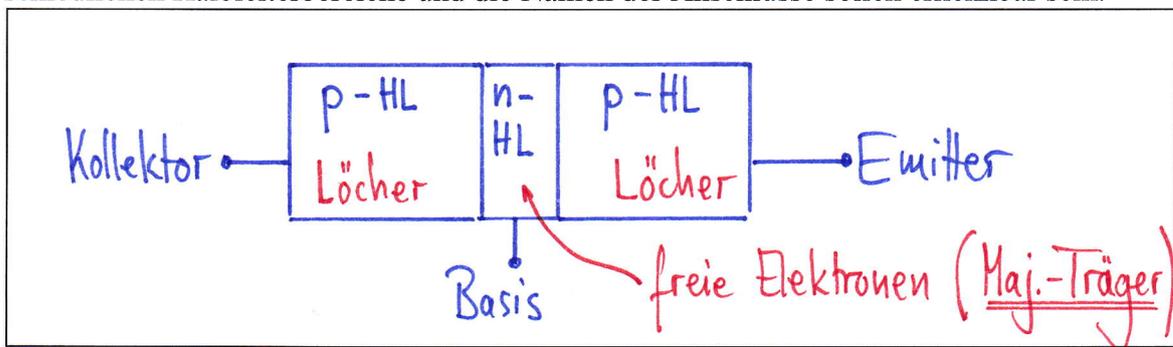
Die folgende Abbildung zeigt die Schaltung eines Wechselspannungsverstärkers:



- 1.1. Welche Art von Transistor wird in dieser Schaltung eingesetzt?
(Bipolartransistor oder MOSFET? NPN, PNP, N-Kanal oder P-Kanal?)

PNP - Bipolartransistor

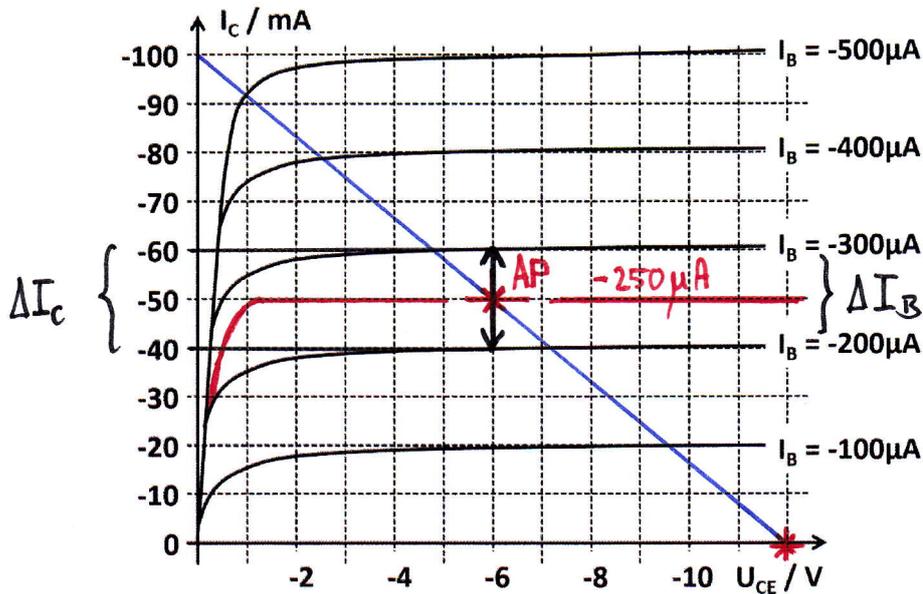
- 1.2. Skizzieren Sie den inneren Aufbau des verwendeten Transistors. Hinweis: Die unterschiedlichen Halbleiterbereiche und die Namen der Anschlüsse sollen erkennbar sein.



- 1.3. Schreiben Sie an alle Halbleiterbereiche aus Unterpunkt 1.2., welche Ladungsträger (freie Elektronen oder Löcher?) in dem jeweiligen Bereich die Majoritätsträger sind.

- 1.4. Zeichnen Sie den Arbeitspunkt des Verstärkers und die Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld des Transistors auf der folgenden Seite. Es gilt:

- Im Arbeitspunkt liegt am Kollektorwiderstand R_C die halbe Betriebsspannung,
- im Arbeitspunkt wird am Transistor eine Verlustleistung von 0,3W umgesetzt,
- die Temperatur des Transistors beträgt $T = 300 \text{ K}$.



Im AP:
 $P_{\text{Verl}} = 0,3 \text{ W}$
 $U_{\text{CE}} = -6 \text{ V}$
 $\rightarrow I_c = -\frac{0,3}{6} \text{ A}$
 $= \underline{\underline{-50 \text{ mA}}}$

1.5. Berechnen Sie den Wert des Widerstands R_c .

Im AP gilt: $U_{Rc} = 6 \text{ V}$, $I_{Rc} = 50 \text{ mA} \rightarrow R_c = \frac{6}{0,05} \Omega = \underline{\underline{120 \Omega}}$

1.6. Berechnen Sie den Wert des Vorwiderstands R_B . (Hinweis: $U_{BE} = -0,6 \text{ V}$ annehmen!)

Im AP gilt: $I_B = -250 \mu\text{A} \rightarrow I_{RB} = 250 \mu\text{A}$, $U_{RB} = (12 - 0,6) \text{ V}$
 $\rightarrow R_B = 11,4 \text{ V} / 250 \mu\text{A} = \underline{\underline{45,6 \text{ k}\Omega}}$

1.7. Ermitteln Sie den Großsignal-Verstärkungsfaktor des Transistors im Arbeitspunkt.

$\beta = \frac{50 \text{ mA}}{250 \mu\text{A}} = \underline{\underline{200}}$

1.8. Ermitteln Sie den Kleinsignal-Verstärkungsfaktor im Arbeitspunkt. (Falls Sie diesen Unterpunkt nicht bearbeiten, rechnen Sie **mit einem typischen Ersatzwert** weiter!)

$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_B} \Big|_{U_{\text{CE}} = \text{konst.}} = \frac{(60 - 40) \text{ mA}}{(300 - 200) \mu\text{A}} = \underline{\underline{200}}$

1.9. Wie groß ist der differentielle Basis-Emitter-Widerstand r_{BE} im Arbeitspunkt? (Falls Sie diesen Unterpunkt nicht bearbeiten, rechnen Sie **mit einem typischen Ersatzwert** weiter!)

$r_{BE} = \frac{U_T}{I_B} = \frac{26 \text{ mV}}{250 \mu\text{A}} = \underline{\underline{104 \Omega}}$

1.10. Ermitteln Sie die Steilheit des Transistors im Arbeitspunkt.

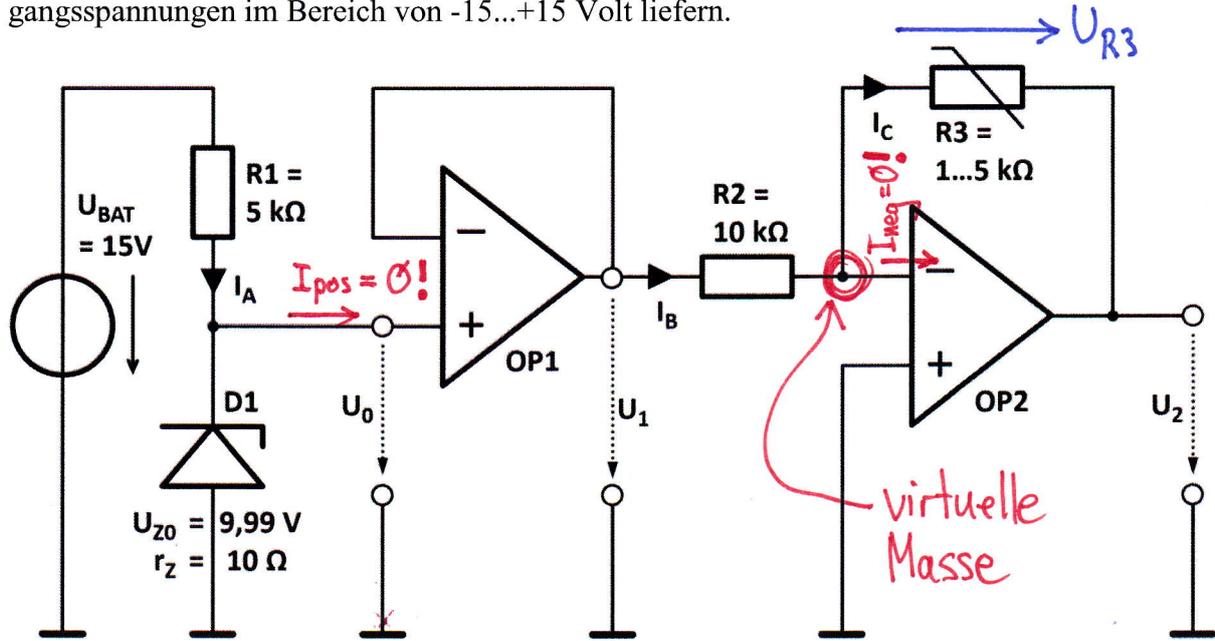
$S = \frac{\beta}{r_{BE}} = \frac{200}{104} \frac{1}{\Omega} = \underline{\underline{1,923 \frac{1}{\Omega}}}$

1.11. Wie groß ist der Verstärkungsfaktor $v = \Delta u_a / \Delta u_e$?

$v = -S \cdot R_c = -\frac{200}{104} \cdot 120 = \underline{\underline{-231}}$

Aufgabe 2, Z-Diode, Operationsverstärker (ca. 15 Punkte)

Der temperaturabhängige Widerstand R3 hat je nach Temperatur einen Widerstandswert im Bereich von 1...5 kΩ. Die beiden idealen Operationsverstärker OP1 und OP2 können Ausgangsspannungen im Bereich von -15...+15 Volt liefern.



2.1. Wird die Diode D1 im Durchlass-, Sperr- oder Durchbruchbereich betrieben?

$U_{BAT} > U_{z0} \rightarrow$ Durchbruchbereich

2.2. Berechnen Sie die Spannung U_0 .

$$U_0 = U_{z0} + r_z \cdot I_A$$

$$= 9,99V + 10\Omega \cdot 1mA$$

$$= \underline{10V}$$

Handwritten calculation for I_A :

$$I_A = \frac{(15 - 9,99)V}{50 + 10\Omega} = \underline{1mA}$$

2.3. Markieren Sie den "virtuellen Massepunkt" im abgebildeten Schaltbild.

2.4. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der ersten Verstärkerstufe (OP1)?

Impedanzwandler

2.5. Wie groß ist der Glättungsfaktor der Spannungsstabilisierungsstufe aus R1 und D1?

$$G = 1 + R_1 \cdot \left(\frac{1}{10\Omega} + \frac{1}{R_L} \right)$$

Handwritten note: Eingangswiderstand von OP1 $\rightarrow \infty$

$$= 1 + \frac{5000}{10} = \underline{501}$$

2.6. Ermitteln Sie die Spannung U_1 . (Ersatzwert: $U_1 = 10$ Volt)

$$U_1 = U_0 = \underline{10V}$$

Handwritten note: Impedanzwandler!

2.7. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der zweiten Verstärkerstufe (OP2)?

Inv. Verstärker

2.8. Berechnen Sie den Strom I_B .

Die „virtuelle Masse“ erleichtert die Berechnung!
 $\rightarrow I_B = \frac{U_1}{R_2} = \frac{10V}{10k\Omega} = \underline{1mA}$

2.9. Wie groß ist der Strom I_C für $R_3 = 1 k\Omega$ und für $R_3 = 5 k\Omega$.

$I_{neg} = 0 \rightarrow I_C \stackrel{!}{=} I_B = \underline{1mA}$
 unabhängig von R_3 !

2.10. Berechnen Sie die Spannung U_2 für $R_3 = 1 k\Omega$ und für $R_3 = 5 k\Omega$.

Die „virtuelle Masse“ erleichtert den Maschenumlauf!
 $\rightarrow +U_{R_3} + U_2 = 0 \rightarrow U_2 = -U_{R_3} = -1mA \cdot R_3$
 $\rightarrow U_2(R_3=1k\Omega) = \underline{-1V}$ $U_2(R_3=5k\Omega) = \underline{-5V}$

2.11. Nehmen Sie an, dass der Widerstandswert von R_3 über $5 k\Omega$ hinaus weiter ansteigt. Ab welchem Wert von R_3 beginnt der Verstärker OP2 zu übersteuern?

U_2 kann nicht kleiner als $-15V$ werden!
 $\rightarrow U_{2,min} = -15V = -1mA \cdot R_{3,max}$
 $\rightarrow R_{3,max} = \underline{15k\Omega}$

2.12. Welchen Einfluss hat eine geringe Schwankung der Spannung U_{BAT} auf die Ausgangsspannung U_2 ? Was passiert, wenn U_{BAT} „deutlich zu groß“ oder „deutlich zu klein“ wird? (Hinweis: kurze Erläuterung genügt, keine Berechnung erforderlich!)

Geringe Schwankungen von U_{BAT} haben aufgrund des hohen Glättungsfaktors von $G=501$ nur einen minimalen Einfluss auf U_0 (und damit auf den Rest der Schaltung)!

Wenn U_{BAT} „deutlich zu groß“ wird, können aber R_1 und/oder die Diode überlastet werden!

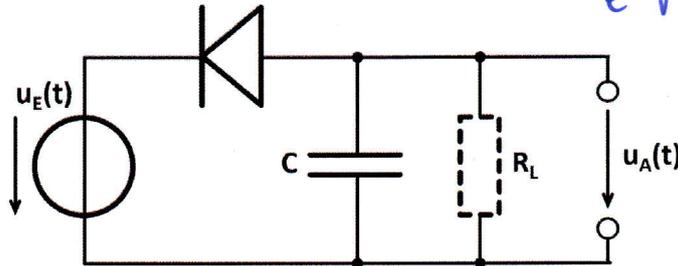
Wenn U_{BAT} „deutlich zu klein“ wird, verlässt die Diode den Durchbruchbereich $\rightarrow U_0$ sackt ab $\rightarrow I_B$ und U_2 sacken ebenfalls ab!

Aufgabe 3, Gleichrichter, Halbleiterphysik (ca. 15 Punkte)

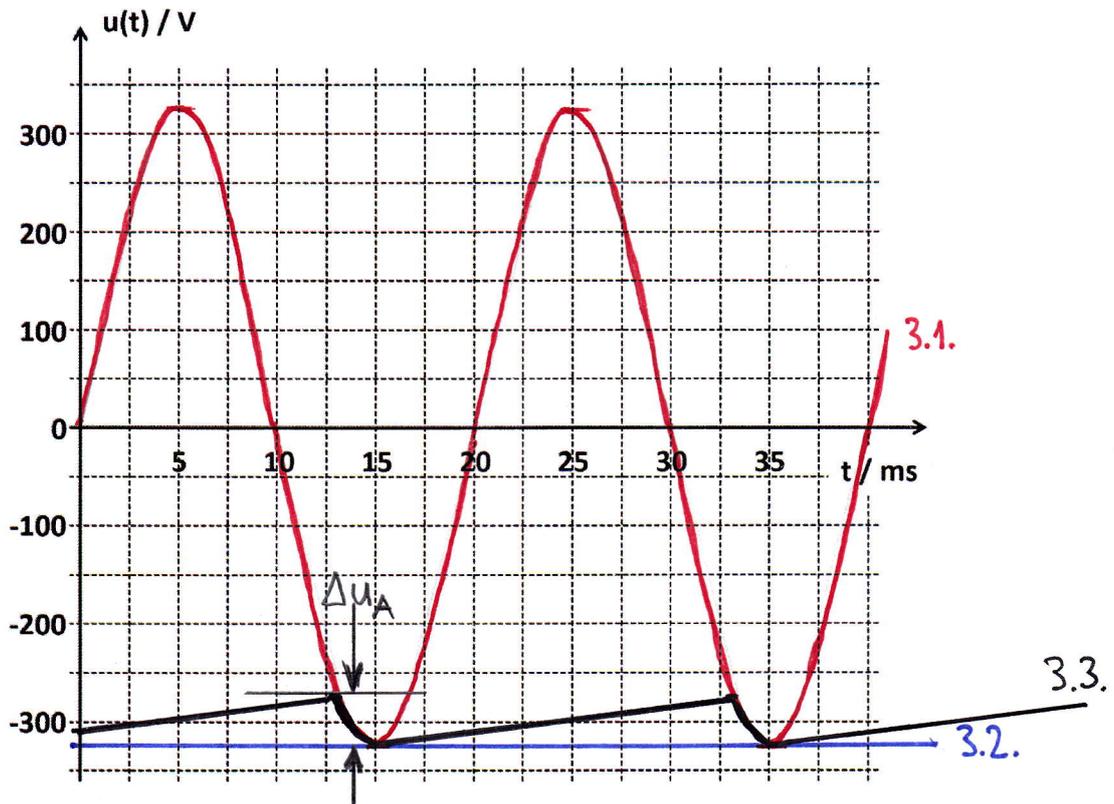
Für die abgebildete Schaltung mit einer idealen Diode ($U_S = 0 \text{ V}$, $r_f = 0 \Omega$) gilt:

- Effektivwert der sinusförmigen Eingangsspannung $U_{e,eff} = 230 \text{ V}$, Frequenz $f = 50 \text{ Hz}$
- Kapazität des Glättungskondensators $C = 10 \mu\text{F}$
- Hinweis: Einbaurichtung der Diode beachten!

$\hat{U}_e = \sqrt{2} \cdot 230\text{V} = \underline{\underline{325\text{V}}}$



3.1. Tragen Sie den Verlauf der Eingangsspannung $u_E(t)$ in das folgende Diagramm ein.



3.2. Tragen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung $u_{AO}(t)$ in das Diagramm ein, wenn noch kein Lastwiderstand R_L angeschlossen ist. Gehen Sie davon aus, dass sich die Schaltung im eingeschwungenen Zustand befindet.

3.3. Nun wird der Lastwiderstand R_L angeschlossen. Es tritt eine Spannungsschwankung von $\Delta u_A = 50 \text{ V}$ am Ausgang der Schaltung auf. Tragen Sie auch den Verlauf der Ausgangsspannung $u_{AM}(t)$ in das Diagramm ein.

3.4. Berechnen Sie die Größe des Lastwiderstands R_L .

$$U_A = \bar{u}_A(t) \approx -(325 - 25)\text{V} = \underline{\underline{-300\text{V}}}$$

$$50\text{V} = \frac{300\text{V}}{R_L \cdot 10\mu\text{F}} \cdot 20\text{ms} \rightarrow R_L = \underline{\underline{12\text{k}\Omega}}$$

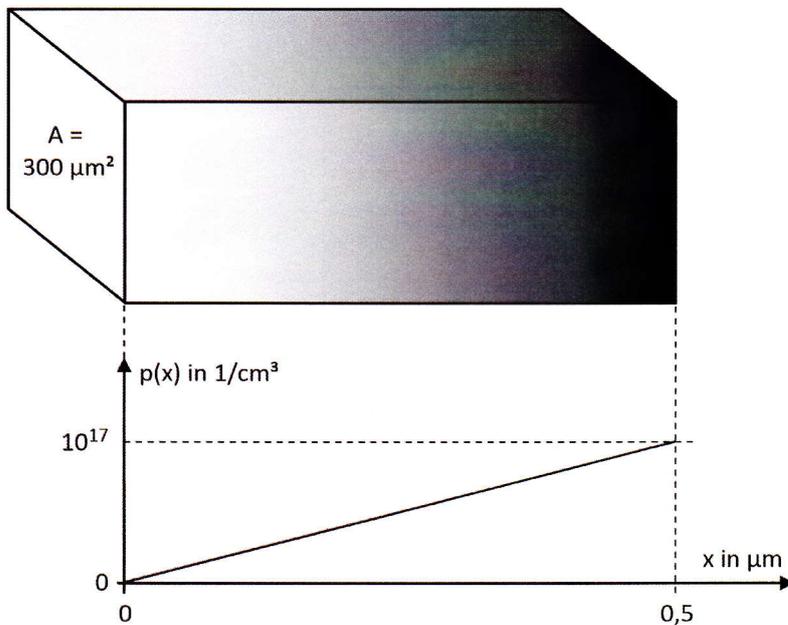
3.5. Welche mittlere Wirkleistung P_{RL} wird am Lastwiderstand in Wärme umgesetzt?

$$P_{RL} = \frac{U_A^2}{R_L} = \frac{(300V)^2}{12k\Omega} = \underline{\underline{7,5W}}$$

3.6. Welche mittlere Wirkleistung P_E wird von der Spannungsquelle am Eingang geliefert?

Sowohl an der (idealen) Diode als auch am Kondensator geht keine Wirkleistung verloren!
 $\rightarrow P_E = P_{RL} = \underline{\underline{7,5W}}$

3.7. In der Umgebung eines pn-Übergangs sind die Ladungsträgerkonzentrationen nicht konstant. Dies hat Diffusionsströme zur Folge. Nehmen Sie an, dass in einem Teilbereich der oben eingesetzten Diode die Löcherdichte wie abgebildet in x-Richtung ansteigt. Wie groß ist der daraus folgende Diffusionsstrom bei $T = 300K$?



$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$\mu_n = 0,14 \text{ m}^2/\text{Vs}$$

$$\mu_p = 0,05 \text{ m}^2/\text{Vs}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K}$$

$$\begin{aligned} I_{p,diff} &= -A \cdot k \cdot T \cdot \mu_p \cdot \frac{dp}{dx} \\ &= -300 \cdot (10^{-6} \text{ m})^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{VA s}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K} \cdot 0,05 \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}} \cdot \frac{10^{17}}{(0,01 \text{ m})^3 \cdot 0,5 \cdot (10^{-6} \text{ m})} \\ &= \underline{\underline{-12,42 \text{ mA}}} \end{aligned}$$

Aufgabe 4, Mikrocontroller, Digitaltechnik (ca. 15 Punkte)

Das folgende C-Programm wird in Maschinensprache übersetzt und auf einem Mikrocontroller des Typs ATmega8515 ausgeführt.

An den Anschlüssen PB4...PB7 befinden sich Tastschalter, die (wie im Praktikum) „active low“ angeschlossen sind: Jeder Schalter sendet im gedrückten Zustand ein Low-Signal (= 0) an den Mikrocontroller bzw. ein High-Signal (= 1) im nicht gedrückten Zustand.

```

/* Ansteuerung eines Lüfters mittels PWM-Signal */
#define F_CPU 1843200UL
#include <stdio.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <avr/sfr_defs.h>
#include <compat/deprecated.h>

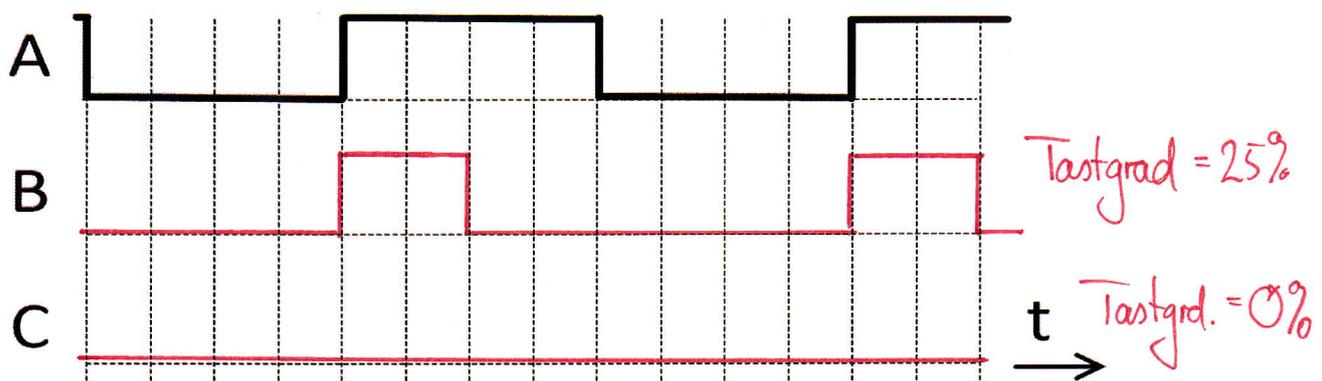
/* PWM-Signal an PB0 aktivieren, vergl. Datenblatt des ATmega8515. */
/* Der Tastgrad des PWM-Signals wird über das OCR0-Register in 256 */
/* Stufen eingestellt (minimal 0, maximal 255). */
void init_pwm(void)
{
    /* Register TCCR0 ist das "Timer/Counter Control Register 0" */
    TCCR0 = (1 << WGM00) | (1 << COM01) | (1 << CS01);
    OCR0 = 128; /* ANDERER WERT ALS IM PRAKTIKUM! */
}

int main(void)
{
    DDRB = 15; /* PB0...PB3 Ausgänge, PB4...PB7 Eingänge */
    init_pwm(); /* PWM-Signal an PB0 aktivieren */
    while(1 == 1) /* Drehzahl je nach Tastendruck einstellen */
    {
        if(!bit_is_set(PINB, 4))
            OCR0 = 0;
        else if(!bit_is_set(PINB, 5))
            OCR0 = 64; /* ANDERER WERT ALS IM PRAKTIKUM! */
        else if(!bit_is_set(PINB, 6))
            OCR0 = 128; /* ANDERER WERT ALS IM PRAKTIKUM! */
        else if(!bit_is_set(PINB, 7))
            OCR0 = 196; /* ANDERER WERT ALS IM PRAKTIKUM! */
    }
    return 0;
}

```

Handwritten notes in red:
 - Arrow from `OCR0 = 0;` to `Tastgrad = 0%`
 - Arrow from `OCR0 = 64;` to `Tastgrad = 25%`

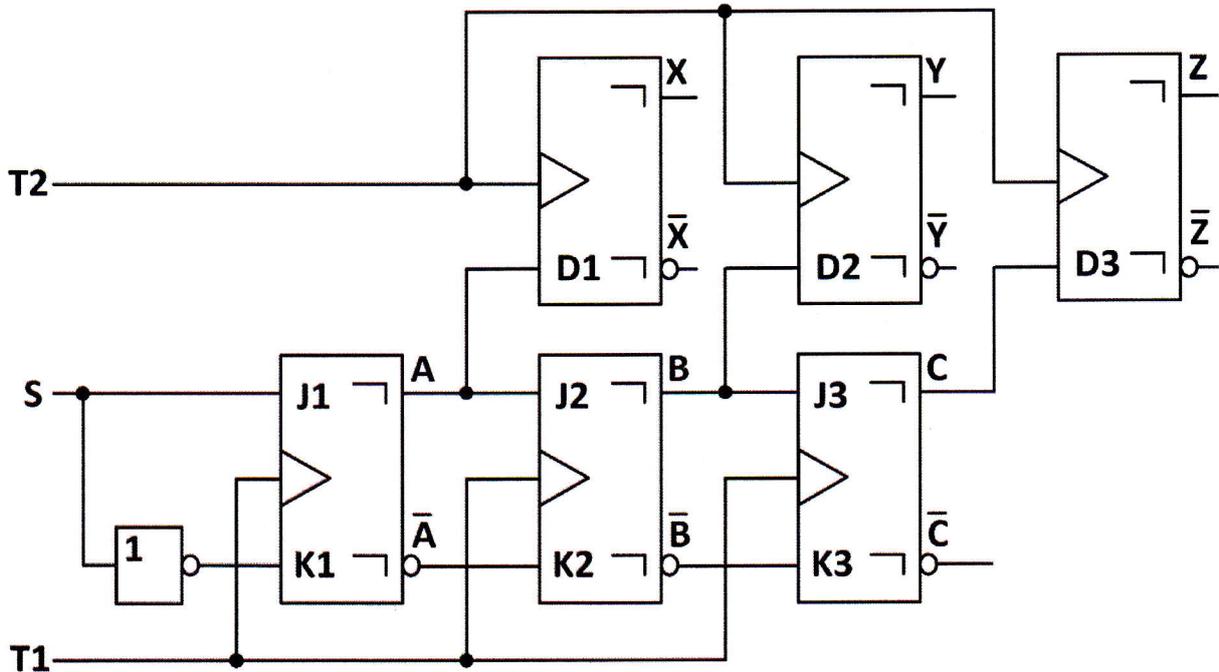
4.1.1. Direkt nach dem Programmstart wird das Signal „A“ am Anschluss PB0 ausgegeben. Dann betätigt der Anwender den Schalter am Eingang PB5. Welches Signal „B“ wird nun am Anschluss PB0 ausgegeben? Anschließend betätigt der Anwender den Schalter am Eingang PB4. Welches Signal „C“ wird jetzt am Anschluss PB0 ausgegeben?



4.1.2. Nennen Sie eine Möglichkeit, wie der Entwickler der Mikrocontroller-Schaltung die Frequenz (nicht den Tastgrad!) des Ausgangssignals am Anschluss PB0 verändern kann.

- Controller mit anderer Frequenz betreiben (anderer Quarz...)
- Im TCCR0-Register eine andere PWM-Frequenz einstellen.

4.2. Gegeben ist die folgende Schaltung aus positiv flankengesteuerten JK-Master-Slave-Flipflops und aus positiv flankengesteuerten D-Master-Slave-Flipflops.



Zeichnen Sie die Signale A...C und X...Z in das vorbereitete Diagramm.

