

# **Protokoll zum Praktikum Programmierbare Schaltkreise**

**Fakultät Informatik  
TU Dresden**

**Christian Kroh**

Matrikelnummer: 3755154

Studiengang: Informatik (Diplom)

Jahrgang: 2010/2011

**Patrick Russell**

Matrikelnummer: 3703710

Studiengang: Informatik (Diplom)

Jahrgang: 2010/2011

28. November 2013, Dresden

## Aufgabe 1 - Binär-Dekoder

### 1.1 Entwurf

**Input** 4-Bit Binärzahl durch Schieberegister SW3 ... SW0

**Output** 7-Segmente Darstellung einer Hexadezimalziffer (8 Einzelsignale = 7 Segmente + 1 Punkt)

Input				Output								
SW3	SW2	SW1	SW0	HEX	A	B	C	D	E	F	G	DOT
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	0	2	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	1	1	3	0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	4	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	5	0	1	0	0	1	0	0	1
0	1	1	0	6	0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	7	0	0	0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	9	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	1	0	A	0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	1	1	b	1	1	0	0	0	0	0	1
1	1	0	0	C	0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	1	d	1	0	0	0	0	1	0	1
1	1	1	0	E	0	1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	1	F	0	1	1	1	0	0	0	1

7.1 Decoder.vhdl Code

### 1.2 Auswertung

**Ressourcenbedarf**

- 7 Logik-Elemente
- 12 Pins

## Aufgabe 2 - Hamming-Distanz

### 2.1 Entwurf

**Input** 2 4-Bit Werte

- 1.Wert: 4-Bit Binärzahl durch Schieberegister SW3 ... SW0
- 2.Wert: 4-Bit Binärzahl durch Schieberegister SW7 ... SW4

**Output** 7-Segmente Darstellung einer Hexadezimalziffer (8 Einzelsignale = 7 Segmente + 1 Punkt)

**Ansatz** SW3 ... SW0 und SW7 ... SW4 logisch xor verknüpfen und Ergebnis direkt auf 7-Segmente Anzeige mappen

(7.2 Hamming.vhdl Code)

### 2.2 Auswertung

**Ressourcenbedarf**

- 9 Logik-Elemente
- 16 Pins

## Aufgabe 3 - Modulo-n-Zähler

### 3.1 Entwurf

- a) Der Zähler ist nach 50 Millionen Schritten zurückzusetzen (50 MHz Takt entspricht 50 Millionen Taktperioden pro Sekunde)
- b) Für das Schieberegister ist der Zählerzustand ein Enable-Signal
- c)

#### Input

- 50MHz Takt
- Reset (Schiebeschalter SW0)

#### Output LED-Zeile

**Ansatz** 2 Komponenten: Schieber und Zähler

**Zähler** gibt alle 50-Millionen Taktperioden (50MHz Takt ergibt  $50 \cdot 10^6$  Taktschritte pro Sekunde) einen Takt lang ein enable-Signal aus. (7.3 Zaehler.vhdl-Code)

**Schieber** beinhaltet den Zähler als Komponente und verschiebt bei dessen enable-Signal die LED-Anzeige um eine Stelle pro Takt. (7.3 Schieber.vhdl-Code)

### 3.2 Auswertung

#### Ressourcenbedarf

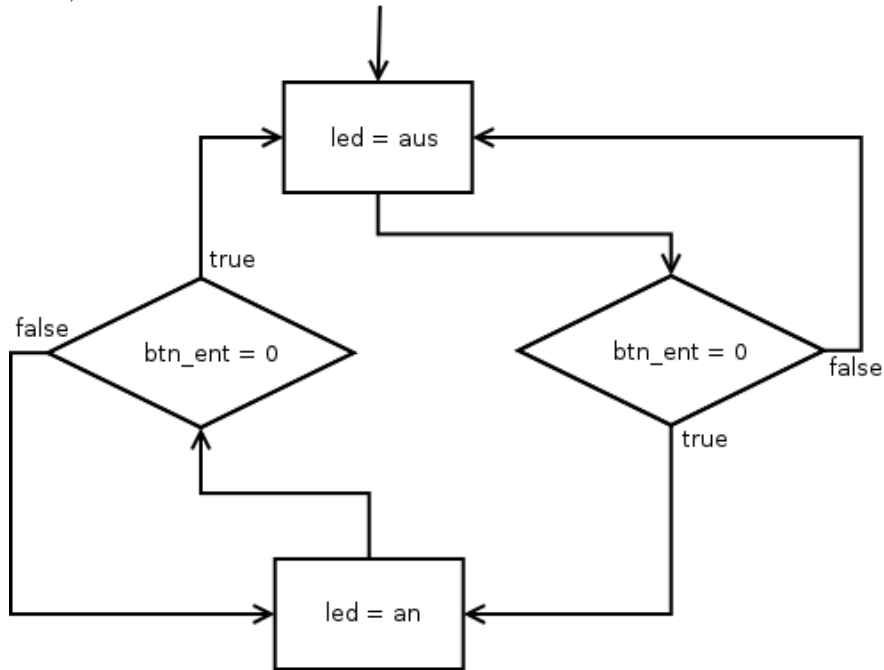
- 60 Logik-Elemente
- davon 38 dedizierte Logik-Elemente
- 12 Pins
- maximale Taktfrequenz von 250 MHz

## Aufgabe 4 - Entprell-Automat

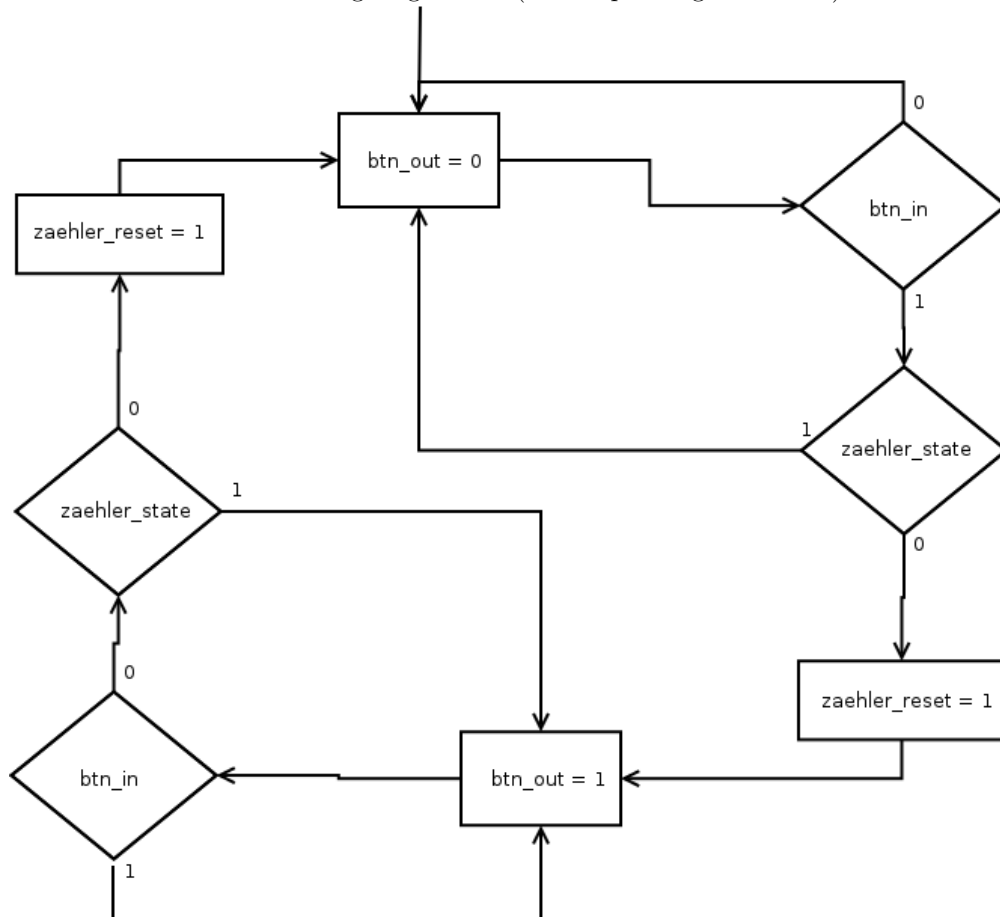
### 4.1 Entwurf

#### State-Machine-Charts

**LED** enthält die Komponente Entprellung und verbindet die Ein- und Ausgangssignale. (7.4 LED.vhdl-Code)



**Entprellung** enthält die Komponente Zaehler, der bei der Veränderung des Eingangssignals gestartet wird und für 3ms weitere Änderungen ignoriert. (7.4 Entprellung.vhdl-Code)



**Zaehler** implementiert einen Zähler, der durch ein Signal definierte Schritte zählt. Ausgegeben wird der aktuelle Zustand des Zählers. Eingegeben ein Reset-Signal. (7.4 Zaehler.vhdl-Code)

### **Kopplung**

Es wird eine synchrone Automatenkopplung über die Ausgangssignale mit einem Taktsignal verwendet.

## **4.2 Auswertung**

### **Ressourcenbedarf**

- 86 Logik-Elemente
- davon 79 dedizierte Logik-Elemente
- 44 Register
- 3 Pins
- maximale Taktfrequenz von 178 MHz

## Aufgabe 5 - HALLO-Anzeige

### 5.1 Entwurf

zu a) Es müssen 5 Zeichen kodiert werden (H, A, L, O, Leerzeichen).

$$\lceil \log_2 5 \rceil = 3$$

Daher werden für eine Binärikodierung mindestens 3 Bits benötigt.

Input			Output								
BIT2	BIT1	BIT0	CHAR	A	B	C	D	E	F	G	DOT
0	0	0		1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	H	1	0	0	1	0	0	0	1
0	1	0	A	0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	1	L	1	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	O	0	0	0	0	0	0	1	1

b) Für das Schieberegister ist der Zählerzustand ein Enable-Signal

c) (7.5 Hallo.vhdl-Code)

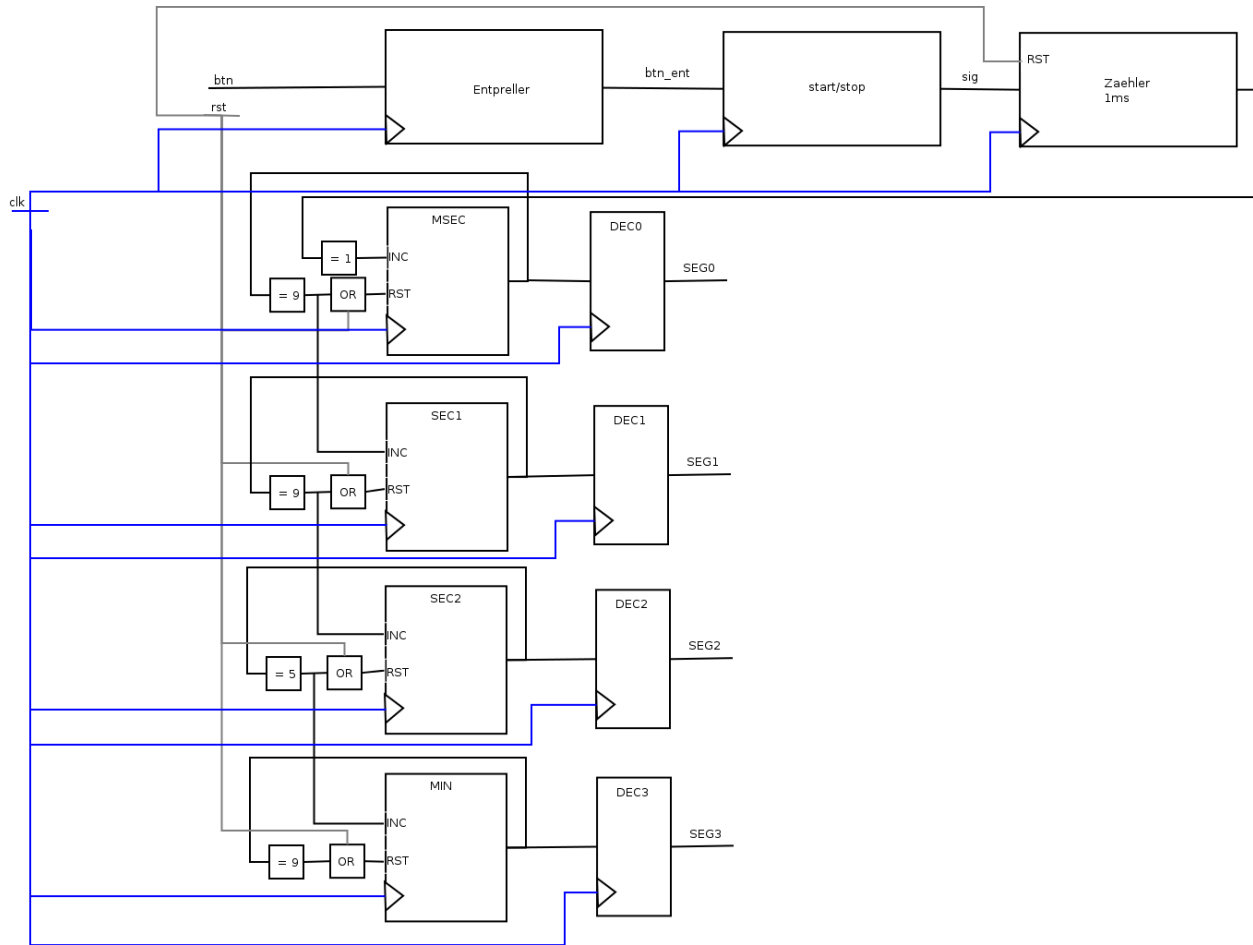
### 5.2 Auswertung

#### Ressourcenbedarf

- 73 Logik-Elemente
- 61 Register
- 34 Pins
- maximale Taktfrequenz von 262 MHz

## Aufgabe 6 - Stoppuhr

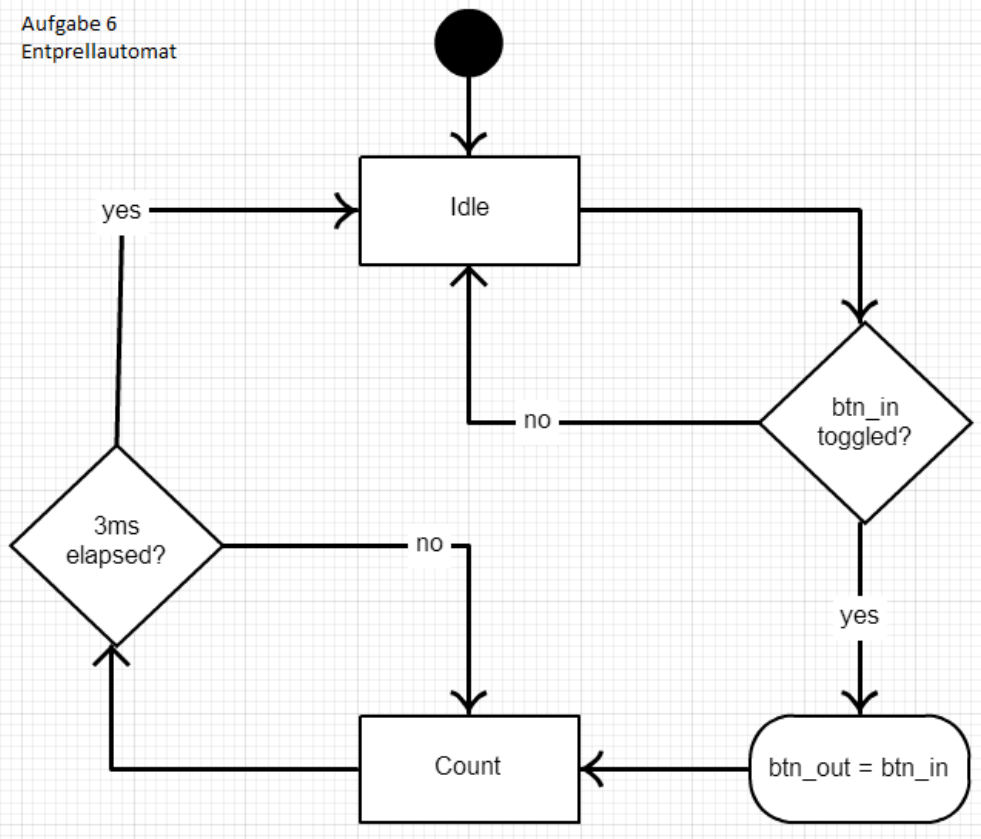
### 6.1 Entwurf



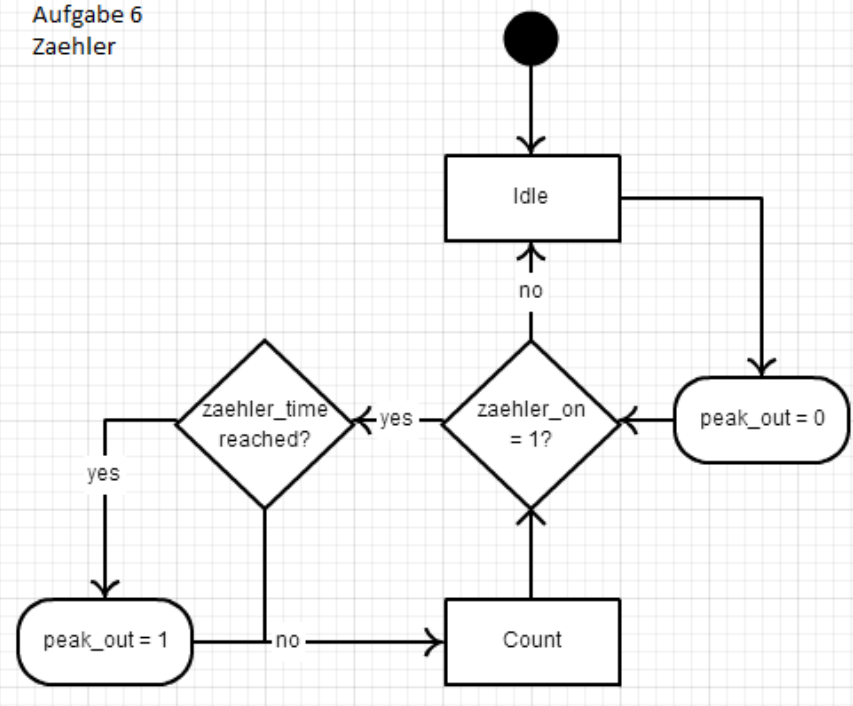


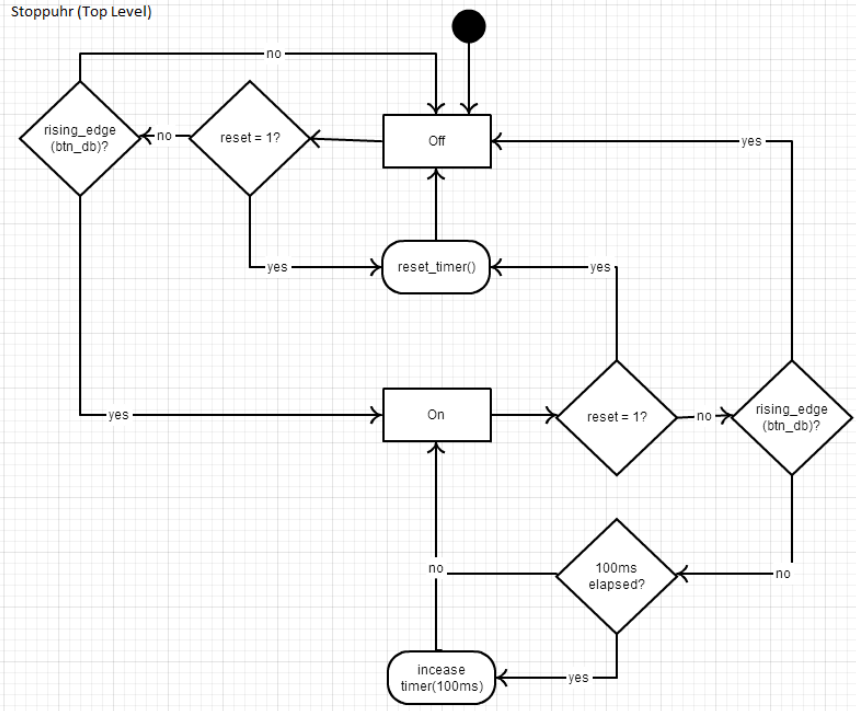
## State-Machine-Charts

Aufgabe 6  
Entprellautomat



Aufgabe 6  
Zaehler



Aufgabe 6  
 Stoppuhr (Top Level)


### Kopplung

Es wird eine synchrone Automatenkopplung über die Ausgangssignale mit einem Taktsignal verwendet.

## 6.2 Auswertung

### Ressourcenbedarf

- 163 Logik-Elemente
- davon 121 dedizierte Logik-Elemente
- 35 Pins
- maximale Taktfrequenz von 225 MHz

# Anhang

## 7.1 01-Aufgabe Code

Listing 1: VHDL-Code Decoder.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5  entity Decoder is
6
7      port (
8          sw : in std_logic_vector(3 downto 0);
9          cc : out std_logic_vector(7 downto 0));
10
11 end Decoder;
12
13 architecture Dec1 of Decoder is
14 begin
15
16     -----
17     -- Outputs: 4 bit breites Wort in Hexadezimale 7-Segment Anzeige
18     -----
19     with sw select
20         cc <= "00000011" when "0000",
21             "10011111" when "0001",
22             "00100101" when "0010",
23             "00001101" when "0011",
24             "10011001" when "0100",
25             "01001001" when "0101",
26             "01000001" when "0110",
27             "00011111" when "0111",
28             "00000001" when "1000",
29             "00001001" when "1001",
30             "00010001" when "1010",
31             "11000001" when "1011",
32             "01100011" when "1100",
33             "10000101" when "1101",
34             "01100001" when "1110",
35             "01110001" when "1111";
36 end dec1;
    
```

## 7.2 02-Aufgabe Code

Listing 2: VHDL-Code Hamming.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5  entity Hamming is
6
7      port (
8          sw1 : in std_logic_vector(3 downto 0); -- Erstes 4bit Wort
9          sw2 : in std_logic_vector(3 downto 0); -- Zweites 4bit Wort
10         cc : out std_logic_vector(7 downto 0)); -- 7 Segment Ausgabe
11
12 end Hamming;
13
14 architecture ham1 of Hamming is
15     signal xo : std_logic_vector(3 downto 0);
16 begin
17
18     xo <= sw1 xor sw2; -- Jede Stelle nur 1, wenn sich die Woerter an der Stelle unterscheiden
19
20     -- Je nach Anzahl der Einsen im Signal "xo" wird die Ausgabe 0-4 ausgegeben.
21     with xo select
22         cc <= "00000011" when "0000",
23             "10011111" when "0001",
24             "10011111" when "0010",
25             "00100101" when "0011",
26             "10011111" when "0100",
27             "00100101" when "0101",
28             "00100101" when "0110",
29             "00001101" when "0111",
30             "10011111" when "1000",
31             "00100101" when "1001",
32             "00100101" when "1010",
33             "00001101" when "1011",
34             "00100101" when "1100",
35             "00001101" when "1101",
36             "00001101" when "1110",
37             "10011001" when "1111";
38 end ham1;

```

## 7.3 03-Aufgabe Code

Listing 3: VHDL-Code Schieber.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4  use Ieee.std_logic_unsigned.all;
5
6  entity Schieber is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         rst : in std_logic;
11         ld : out std_logic_vector(9 downto 0)
12     );
13
14
15 end Schieber;
16
17
18 architecture schieb1 of Schieber is
19     component zaehler          -- komponente zaehler in architektur einbinden
20     port (
21         clk : in std_logic;
22         clk_out : out std_logic
23     );
24     end component;
25     signal state : std_logic_vector(9 downto 0) := "0000000001"; -- initialanzeige der
        led-zeile
26     signal shift : std_logic;
27
28 begin
29     custom_clk : zaehler PORT MAP (clk => clk, clk_out => shift);
30
31     process(clk)
32     begin
33
34         if rising_edge(clk) then
35             if rst = '1' then          -- bei reset zustand der led-zeile zuruecksetzen
36                 state <= "0000000001";
37             elsif shift = '1' then      -- kein reset und signal vom zaehler
38                 state <= state(8 downto 0)&state(9);    -- zustand der linken led, rechts wieder
                    einfuegen
39             end if;
40         end if;
41     end process;
42
43     ld <= state;
44
45 end schieb1;
    
```

Listing 4: VHDL-Code Zaehler.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5  entity Zaehler is
6
7      port (
8          clk : in std_logic;
9          clk_out : out std_logic
10     );
11
12
13 end Zaehler;
14
    
```

```

15 architecture zae1 of Zaehler is
16
17
18     signal counter : unsigned(26 downto 0) := (others => '0'); -- Zaehler mod 50.000.000
19     signal state : std_logic := '1';      -- zaehler-zustand (1 => fertig, 0 => zaehlt)
20 begin
21
22     process(clk, state, counter)
23     begin
24
25         if rising_edge(clk) then
26
27             state <= '0';
28             if counter = to_unsigned(50000000, counter'length) then -- prueft ob counter == 50 mio
29                 counter <= (others => '0');      -- falls true, ist 1 sekunde verstrichen ->
30                     counter reset
31                 state <= '1';      -- zaehler-zustand auf fertig setzen
32
33             else
34                 counter <= counter + 1;      -- sonst weiterzaehlen
35             end if;
36
37         end if;
38     end process;
39
40     clk_out <= state;
41 end zae1;

```

## 7.4 04-Aufgabe Code

Listing 5: VHDL-Code LED.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6  entity LED is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         btn : in std_logic;
11         ld : out std_logic
12     );
13 end LED;
14
15 architecture led1 of LED is
16     -- Komponente Entprellung fuer das btn-Signal wird eingebunden
17     component Entprellung
18     port (
19         clk : in std_logic;
20         btn_in : in std_logic;
21         btn_out : out std_logic
22     );
23 end component;
24
25 signal led_sig : std_logic := '0';
26 signal btn_led : std_logic;
27 signal btn_out : std_logic;
28 signal btn_out_d : std_logic;
29 signal btn_in_d : std_logic := '0';
30 signal btn_in : std_logic := '0';
31
32 begin
33     custom_entpreller : Entprellung PORT MAP (
34         clk => clk,
35         btn_in => btn_in,
36         btn_out => btn_out);
37     process (btn_led )
38     begin
39         if btn_led = '0' then -- aenderung der led bei uebergang des entprellten btn-signals
40             in den aktiven zustand
41             led_sig <= not led_sig;
42         end if;
43     end process;
44
45     -- synchronisierung der signale
46     process (clk)
47     begin
48         if rising_edge(clk) then
49             btn_in <= btn_in_d;
50             btn_in_d <= btn;
51             btn_out_d <= btn_out;
52             btn_led <= btn_out_d;
53         end if;
54     end process;
55
56     ld <= not led_sig;
57 end led1;
    
```

Listing 6: VHDL-Code Entprellung.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
    
```

```

4 use ieee.numeric_std.all;
5
6
7 entity Entprellung is
8
9     port (
10         clk : in std_logic;
11         btn_in : in std_logic;
12         btn_out : out std_logic
13     );
14
15 end Entprellung;
16
17 architecture entprell of Entprellung is
18
19     signal btn_old : std_logic := '0';
20     signal state : std_logic := '0';
21
22     signal zaehler_state : std_logic := '0';
23     signal zaehler_state_d : std_logic := '0';
24     signal zaehler_reset : std_logic := '0';
25
26
27
28     -- Zaehler-Komponente wird eingebunden
29     component Zaehler
30     port (
31         clk : in std_logic;
32         count_steps : in unsigned(31 downto 0);
33         counter_reset : in std_logic;
34         counter_state : out std_logic
35     );
36     end component;
37
38 begin
39     custom_zahler : Zaehler PORT MAP (
40         clk => clk,
41         count_steps => to_unsigned(150000, 32),
42         -- zu zaehlende Schritte, bis deaktivierung des counter_state signals
43         counter_state => zaehler_state,
44         counter_reset => zaehler_reset);
45
46     -- entprellung des eingangsignals btn_in
47     process(clk)
48     begin
49         if rising_edge(clk) then
50             if state = '0' then -- falls ausserhalb der prelldauer
51                 if btn_in /= btn_old then -- falls das eingangssignal sich aendert, wird der
52                     entpreller gestartet
53                     zaehler_reset <= '1';
54                     btn_old <= btn_in;
55                 end if;
56             else
57                 -- zaehler_reset soll nur einen takt aktiv sein
58                 if zaehler_reset = '1' then
59                     zaehler_reset <= '0';
60                 end if;
61             end if;
62         end process;
63
64     -- synchronisierung des zaehler-zustands
65     process (clk)
66     begin
67         if rising_edge(clk) then
68             state <= zaehler_state_d;
69             zaehler_state_d <= zaehler_state;

```



```

70     end if;
71 end process;
72
73 -- ausgabe des entprellten signals
74 btn_out <= btn_old;
75 end entprell;
    
```

Listing 7: VHDL-Code Zaehler.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6  entity Zaehler is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         count_steps : in unsigned(31 downto 0); -- zu zaehlende taktschritte, bis zur
            deaktivierung des counter_state signals
11         counter_reset : in std_logic;
12         counter_state : out std_logic);
13
14
15 end Zaehler;
16
17 architecture zael of Zaehler is
18
19     signal reset : std_logic := '0';
20     signal reset_d : std_logic := '0';
21     signal state : std_logic := '0';
22     signal counter : unsigned(31 downto 0) := (others => '0');
23 begin
24
25     process(clk)
26     begin
27
28         if rising_edge(clk) then
29             if reset = '1' then -- zuruecksetzen des zaehlers
30                 counter <= (others => '0');
31             end if;
32
33             if counter < count_steps then -- zaehler aktiv
34                 state <= '1';
35                 counter <= counter + 1;
36             else
37                 state <= '0';
38             end if;
39         end if;
40     end process;
41
42     -- synchronisierung des reset-signals
43     process(clk)
44     begin
45         if rising_edge(clk) then
46             reset_d <= counter_reset;
47             reset <= reset_d;
48         end if;
49     end process;
50
51
52     counter_state <= state;
53 end zael;
    
```

## 7.5 05-Aufgabe Code

Listing 8: VHDL-Code hallo.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6  -----
7  -- Top Level:
8  -- Verbindet den Multiplexer mit 4 Decodern und legt den Ausgang
9  -- je eines Decoders an eine 7 Segment Anzeige
10 -----
11 entity Hallo is
12
13     port (
14         clk : in std_logic;
15         rst : in std_logic;
16         seg1 : out std_logic_vector(7 downto 0); -----
17         seg2 : out std_logic_vector(7 downto 0); -- 7 Segment
18         seg3 : out std_logic_vector(7 downto 0); -- Ausgaenge
19         seg4 : out std_logic_vector(7 downto 0); -----
20
21     end Hallo;
22
23     architecture hello of hallo is
24
25         component Multiplex
26             port (
27                 clk : in std_logic;
28                 rst : in std_logic;
29                 led_out : out std_logic_vector(11 downto 0)
30             );
31         end component;
32
33         component Decoder
34             port (
35                 clk : in std_logic;
36                 code : in std_logic_vector(2 downto 0);
37                 decoded : out std_logic_vector(7 downto 0));
38
39         end component;
40
41         signal dig : std_logic_vector(11 downto 0); -- nimmt 12bit Wort aus dem Multiplexer
42             entgegen
43         signal dig0 : std_logic_vector(2 downto 0); -----
44         signal dig1 : std_logic_vector(2 downto 0); -- 4*3bit die je ein Zeichen aus dem 12bit
45         signal dig2 : std_logic_vector(2 downto 0); -- Wort des Multiplexers abzweigen
46         signal dig3 : std_logic_vector(2 downto 0); -----
47
48     begin
49
50         -----
51         -- Multiplexer Ausgang wird an das Signal "dig" angelegt
52         -- Je ein Signal mit je einem Zeichen wird als Eingang eines Decoders angelegt
53         -----
54         mult : Multiplex PORT MAP( clk => clk, rst => rst, led_out => dig);
55         dec0 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => dig0, decoded => seg4);
56         dec1 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => dig1, decoded => seg3);
57         dec2 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => dig2, decoded => seg2);
58         dec3 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => dig3, decoded => seg1);
59
60         -- abzweigen von je 3bit (ein Zeichen) aus dem Multiplexer Ausgang
61         dig0 <= dig(11 downto 9);
62         dig1 <= dig(8 downto 6);
63         dig2 <= dig(5 downto 3);
64         dig3 <= dig(2 downto 0);

```

```

64
65 end hello;
    
```

Listing 9: VHDL-Code Decoder.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6  entity Decoder is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         code : in std_logic_vector(2 downto 0);
11         decoded : out std_logic_vector(7 downto 0));
12 end Decoder;
13
14 architecture decoder1 of Decoder is
15
16     signal decoded_out : std_logic_vector(7 downto 0) := (others => '0'); -- Signal, dass an
17                                     -- den Ausgang "decoded" angelegt wird
18
19 begin
20
21     -----
22     -- Dekodieren eines 3bit breiten Wortes in ein 8bit
23     -- breites Wort fuer die 7 Segment Anzeige
24     -----
25
26     process (clk)
27     begin
28         if rising_edge(clk) then
29             case code is
30                 when "000" => decoded_out <= "11111111"; -- _
31                 when "001" => decoded_out <= "10010001"; -- H
32                 when "010" => decoded_out <= "00010001"; -- A
33                 when "011" => decoded_out <= "11100011"; -- L
34                 when "100" => decoded_out <= "00000011"; -- 0
35                 when others => decoded_out <= "11111111";
36             end case;
37         end if;
38     end process;
39
40     decoded <= decoded_out;
41
42 end decoder1;
    
```

Listing 10: VHDL-Code Multiplex.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5
6  entity Multiplex is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         rst : in std_logic;
11         led_out : out std_logic_vector(11 downto 0) -- 12bit breiter Ausgang (3bit je Zeichen)
12     );
13
14 end Multiplex;
15
16 -- 000: _
17 -- 001: H
18 -- 010: A
    
```

```

19 -- 011: L
20 -- 100: 0
21
22 architecture multi of Multiplex is
23 -- _ _ _ _ H A L L O _ _ _
24 signal tex : std_logic_vector(35 downto 0) := "000000000000001010011011100000000000"; --
    kompletter Schriftzug der einmal durchlaufen wird
25 signal counter : unsigned(24 downto 0) := (others => '0'); -- Zaehlersignal (mod
    25.000.000)
26 signal mul : unsigned(3 downto 0); -- Steuersignal Multiplexer (mod 10) : 9 moegliche
    12bit breite Teilworte des kompletten Schriftzugs
27
28 begin
29
30 -----
31 -- Inkrementieren des Steuersignals "mul" alle 25.000.000 Takte
32 -----
33 process(clk)
34 begin
35     if rising_edge(clk) then
36         if(rst = '1') then
37             counter <= (others => '0');
38             mul <= (others => '0');
39         elsif(counter = "101111101011110000011111") then
40             counter <= (others => '0');
41             mul <= mul + 1;
42             if(mul = "1000") then
43                 mul <= "0000";
44             end if;
45         else
46             counter <= counter + 1;
47         end if;
48     end if;
49 end process;
50
51 -----
52 -- Je nach Steuersignal "mul" wird ein anderes 12bit breites Teilwort des kompletten
    Schriftzugs ausgegeben
53 -----
54 with mul select
55     led_out <= tex(35 downto 24) when "0000",
56             tex(32 downto 21) when "0001",
57             tex(29 downto 18) when "0010",
58             tex(26 downto 15) when "0011",
59             tex(23 downto 12) when "0100",
60             tex(20 downto 9) when "0101",
61             tex(17 downto 6) when "0110",
62             tex(14 downto 3) when "0111",
63             tex(11 downto 0) when "1000",
64             (others => '0') when others;
65
66 end multi;

```

## 7.6 06-Aufgabe Code

Listing 11: VHDL-Code Stoppuhr.vhd

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6  entity Stoppuhr is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         rst : in std_logic;
11         onoff : in std_logic;
12         seg1 : out std_logic_vector(7 downto 0);
13         seg2 : out std_logic_vector(7 downto 0);
14         seg3 : out std_logic_vector(7 downto 0);
15         seg4 : out std_logic_vector(7 downto 0));
16
17 end Stoppuhr;
18
19 architecture uhr of Stoppuhr is
20
21     -- Zaehler: gibt jede Zehntelsekunde einen Peak aus
22     component Zaehler
23     port (
24         clk : in std_logic;
25         zaehler_time : in unsigned(31 downto 0);
26         zaehler_on : in std_logic;
27         peak_out : out std_logic
28     );
29 end component;
30
31     -- entprellt das Eingangssignal des (on/off) Buttons
32     component EntprellAutomat
33     port (
34         clk : in std_logic;
35         btn : in std_logic;
36         btnout : out std_logic
37     );
38 end component;
39
40     -- 4 Decoder: Je ein Decoder dekodiert eine Stelle der aktuellen Zeit fuer die 7-Segment
41     -- Anzeige
42     component Decoder
43     port (
44         clk : in std_logic;
45         code : in std_logic_vector(3 downto 0);
46         decoded : out std_logic_vector(7 downto 0)
47     );
48 end component;
49
50     -- Steuersignal und Ausgabesignal des Zaehlers
51     signal timer_on, peak : std_logic := '0';
52
53     -- Je ein Signal fuer je eine Stelle der aktuellen Zeit
54     signal min, sec1, sec2, ms : unsigned(3 downto 0) := (others => '0');
55
56     -- Steuersignal fuer die Stoppuhr und Signale fuer den entprellten Button, sowie des alten
57     -- Signalpegels des Buttons
58     signal running, onoff_db, onoff_old : std_logic := '0';
59
60     -- Signale fuer die 7-Segment Anzeige
61     signal segMin, segSec1, segSec2, segMs : std_logic_vector(7 downto 0) := (others => '0');
62
63 begin

```

```

63
64 zaehl : Zaehler PORT MAP (clk => clk,
65     zaehler_time => to_unsigned(5000000, 32),
66     zaehler_on => timer_on,
67     peak_out => peak);
68
69 prell : EntprellAutomat PORT MAP (
70     clk => clk,
71     btn => onoff,
72     btnout => onoff_db);
73
74 -- Jeder Decoder dekodiert eine Stelle der aktuellen Zeit
75 dec0 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => std_logic_vector(min), decoded => segMin);
76 dec1 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => std_logic_vector(sec1), decoded => segSec1);
77 dec2 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => std_logic_vector(sec2), decoded => segSec2);
78 dec3 : Decoder PORT MAP(clk => clk, code => std_logic_vector(ms), decoded => segMs);
79
80
81 process(clk)
82 begin
83     if rising_edge(clk) then
84         if(rst = '1') then          -- aktiver Reset setzt alles zurueck und stoppt die Uhr
85             running <= '0';
86             timer_on <= '0';
87             min <= (others => '0');
88             sec1 <= (others => '0');
89             sec2 <= (others => '0');
90             ms <= (others => '0');
91         else
92             onoff_old <= onoff_db;
93             if(onoff_db = '1' and onoff_db /= onoff_old) then
94                 -----
95                 running <= not running;      -- on/off umschalten wenn btn gedrueckt
96                 timer_on <= not timer_on;    -----
97             end if;
98
99             if(running = '1') then          -- Wenn die Uhr laeuft...
100                if(peak = '1') then         -- ...und der Zaehler einen Peak ausgibt...
101                    if(ms = to_unsigned(9, 4)) then -----
102                        if(sec2 = to_unsigned(9, 4)) then --
103                            if(sec1 = to_unsigned(5, 4)) then --
104                                if(min = to_unsigned(9, 4)) then --
105                                    min <= (others => '0'); --
106                                    sec1 <= (others => '0'); --
107                                    sec2 <= (others => '0'); --
108                                    ms <= (others => '0'); --
109                                else --
110                                    min <= min + 1;      -- ...erhoehe die aktuelle Zeit
111                                    sec1 <= (others => '0'); -- um eine Zehntelsekunde (mod 10 Minuten)
112                                    sec2 <= (others => '0'); --
113                                    ms <= (others => '0'); --
114                                end if; --
115                            else --
116                                sec1 <= sec1 + 1; --
117                                sec2 <= (others => '0'); --
118                                ms <= (others => '0'); --
119                            end if; --
120                        else --
121                            sec2 <= sec2 + 1; --
122                            ms <= (others => '0'); --
123                        end if; --
124                    else --
125                        ms <= ms + 1; --
126                    end if; --
127                end if; --
128            end if; -----

```

```

129     end if;
130     end if;
131 end process;
132
133 seg4 <= segMin and "11111110"; -- Punkt der 7-Segment Anzeige aktivieren
134 seg3 <= segSec1;
135 seg2 <= segSec2 and "11111110"; -- Punkt der 7-Segment Anzeige aktivieren
136 seg1 <= segMS;
137
138 end uhr;
    
```

Listing 12: VHDL-Code Decoder.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.std_logic_unsigned.all;
4  use ieee.numeric_std.all;
5
6  entity Decoder is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         code : in std_logic_vector(3 downto 0);
11         decoded : out std_logic_vector(7 downto 0));
12 end Decoder;
13
14 architecture decoder1 of Decoder is
15
16     signal decoded_out : std_logic_vector(7 downto 0) := (others => '0'); -- Signal, dass an
17                                     den Ausgang "decoded" angelegt wird
18
19     begin
20
21         -----
22         -- Dekodieren eines 4bit breiten Wortes in ein 8bit
23         -- breites Wort fuer die 7 Segment Anzeige
24         -----
25
26     process (clk)
27     begin
28         if rising_edge(clk) then
29             case code is
30                 when "0000" => decoded_out <= "00000011"; -- 0
31                 when "0001" => decoded_out <= "10011111"; -- 1
32                 when "0010" => decoded_out <= "00100101"; -- 2
33                 when "0011" => decoded_out <= "00001101"; -- 3
34                 when "0100" => decoded_out <= "10011001"; -- 4
35                 when "0101" => decoded_out <= "01001001"; -- 5
36                 when "0110" => decoded_out <= "01000001"; -- 6
37                 when "0111" => decoded_out <= "00011111"; -- 7
38                 when "1000" => decoded_out <= "00000001"; -- 8
39                 when "1001" => decoded_out <= "00001001"; -- 9
40                 when others => decoded_out <= "11111111"; -- error
41             end case;
42         end if;
43     end process;
44
45     decoded <= decoded_out;
46
47 end decoder1;
    
```

Listing 13: VHDL-Code EntprellAutomat.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5
    
```

```

6  entity EntprellAutomat is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         btn : in std_logic;
11         btnout : out std_logic
12     );
13
14 end EntprellAutomat;
15
16 architecture prell of EntprellAutomat is
17
18     component Zaehler
19     port (
20         clk : in std_logic;
21         zaehler_time : in unsigned(31 downto 0);
22         zaehler_on : in std_logic;
23         peak_out : out std_logic
24     );
25 end component;
26
27 type zustaende is (idle, count); -- 2 Zustaende, idle = button betaetigen moeglich, count
    = 3ms warten (bis 150.000 hochzaehlen bei 50Mhz)
28 attribute enum_encoding : string;
29 attribute enum_encoding of zustaende : type is "1 0";
30 signal z_alt, z_neu : zustaende := idle; -- alter und neuer Zustand des Automaten
31 signal btn_s, btn_output : std_logic := '0'; -- Synchronisiertes (Eingangs)Buttonsignal
    und Ausgangssignal des Automaten
32 signal btn_old : std_logic := '0'; -- Speichern des vorherigen "btn_s" Pegels
33 signal btn2 : std_logic := '1'; -- Synchronisierungssignal fuer den Button
34 signal timer_on : std_logic := '0'; -- Steuerung des externen Zaehler Moduls
35 signal peak : std_logic := '0'; -- Ausgabe des externen Zaehler Moduls
36
37 begin
38
39     -- enthaltener Zaehler, der (falls aktiviert) alle 3ms fuer einen Takt eine eins an das
    Signal "peak" ausgibt
40     timer : Zaehler PORT MAP (clk => clk, zaehler_time => to_unsigned(150000,32), zaehler_on
    => timer_on, peak_out => peak);
41
42     -- Synchronisieren des Eingabesignals (Button) und Speichern des alten "btn_s" Pegels
43     process(clk)
44     begin
45         if rising_edge(clk) then
46             btn2 <= btn;
47             btn_old <= btn_s;
48             btn_s <= not btn2;
49         end if;
50     end process;
51
52     -- Uebernehmen und berechnen des neuen Zustandes
53     process(clk)
54     begin
55         if rising_edge(clk) then
56             z_alt <= z_neu;
57             case z_alt is
58             when idle => if(btn_s /= btn_old) then -- Wechseln in "count" und starten des
    Zaehlers, sobald sich btn_s aendert
59                 btn_output <= btn_s;
60                 z_neu <= count;
61                 timer_on <= '1';
62             end if;
63             when count => if(peak = '1') then -- Wechseln zurueck in "idle", sobald der
    Zaehler eine eins an "peak" anlegt (3ms vergangen)
64                 z_neu <= idle;
65                 timer_on <= '0';
66             end if;

```



```

67     end case;
68     end if;
69     end process;
70
71     btnout <= btn_output;
72 end prell;
    
```

Listing 14: VHDL-Code Zaehler.vhdl

```

1  library ieee;
2  use ieee.std_logic_1164.all;
3  use ieee.numeric_std.all;
4
5
6  entity Zaehler is
7
8      port (
9          clk : in std_logic;
10         zaehler_time : in unsigned(31 downto 0); -- steuert wieviele Takte der Zaehler zaehlen
            -- soll, bis er einen peak ausgeben soll. (Zaehler zaehlt mod zaehler_time)
11         zaehler_on : in std_logic; -- Steuersignal, bei 1 laeuft der Zaehler, bei 0 wird der
            -- Zaehler gestoppt und zurueckgesetzt
12         peak_out : out std_logic -- gibt fuer einen Takt eine eins aus, sobald der durch
            -- "zaehler_time" angelegte Wert erreicht ist
13     );
14
15 end Zaehler;
16
17 architecture timer of Zaehler is
18
19     signal counter : unsigned(31 downto 0) := (others => '0'); -- Zaehlsignal
20     signal peak : std_logic := '0'; -- Signal, dass an den Ausgang "peak_out" gegeben wird
21
22 begin
23
24     -----
25     -- Liegt "zaehler_on" auf eins, wird das Signal "counter" inkrementiert.
26     -- Wird der durch "zaehler_time" angegebene Maximalwert erreicht wird fuer einen Takt
27     -- eine 1 an das Signal "peak" ausgegeben und "counter" auf 0 zurueckgesetzt
28     -- Liegt "zaehler_on" auf null, wird "counter" auf 0 gesetzt und nicht hochgezahlt.
29     -----
30     process(clk)
31     begin
32         if rising_edge(clk) then
33             peak <= '0';
34             if(zaehler_on = '1') then
35                 if(counter = zaehler_time - 1) then
36                     counter <= (others => '0');
37                     peak <= '1';
38                 else
39                     counter <= counter + 1;
40                 end if;
41             else
42                 counter <= (others => '0');
43             end if;
44         end if;
45     end process;
46
47     peak_out <= peak;
48
49 end timer;
    
```