

# Microcontroller Teil 6 Timer/Counter

DI (FH) Andreas Pötscher

HTL Litec

*Timer/Counter werden als Timer verwendet, um exakt zeitgesteuerte Aufgaben zu erledigen. Sie werden als Counter verwendet, um das Auftreten von Hardware-Ereignissen zu zählen.*

# Die Timer/Counter des ATmega 2560

- ▶ Der ATmega2560 hat zwei 8-Bit-Timer/Counter und vier 16-Bit-Timer/Counter namens Timer/Counter1, 3, 4 und 5. Herzstück jedes Timer/Counters ist ein 8 bzw. 16 Bit breites Zählerstands-Register, das durch bestimmte Zähl-Impulse ständig inkrementiert wird.

# Die Timer/Counter des ATmega 2560

- ▶ Der ATmega2560 hat zwei 8-Bit-Timer/Counter und vier 16-Bit-Timer/Counter namens Timer/Counter1, 3, 4 und 5. Herzstück jedes Timer/Counters ist ein 8 bzw. 16 Bit breites Zählerstands-Register, das durch bestimmte Zähl-Impulse ständig inkrementiert wird.
- ▶ Timer/Counter0 und Timer/Counter2 verwenden 8 Bit breite Register. Das bedeutet, dass das Zählerstandsregister Werte von 0 bis 255 annehmen kann. Solche Timer/Counter werden als 8-Bit-Timer/Counter bezeichnet.

- ▶ Der ATmega2560 hat zwei 8-Bit-Timer/Counter und vier 16-Bit-Timer/Counter namens Timer/Counter1, 3, 4 und 5. Herzstück jedes Timer/Counters ist ein 8 bzw. 16 Bit breites Zählerstands-Register, das durch bestimmte Zähl-Impulse ständig inkrementiert wird.
- ▶ Timer/Counter0 und Timer/Counter2 verwenden 8 Bit breite Register. Das bedeutet, dass das Zählerstandsregister Werte von 0 bis 255 annehmen kann. Solche Timer/Counter werden als 8-Bit-Timer/Counter bezeichnet.
- ▶ Timer/Counter1, Timer/Counter3, Timer/Counter4 und Timer/Counter5 besitzen 16 Bit breite Register. Die möglichen Werte des Zählerstandsregisters liegen daher zwischen 0 und 65535.

Der aktuelle Zählerstand ist im Register TCNT $n$  gespeichert, wobei  $n$  die Nummer des verwendeten Timer/Counters ist. Für den Timer/Counter 1 also.

```
uint16_t cnt;  
cnt = TCNT1;
```

# Clock-Select-Logic - Auswahl der Zähl-Impulse

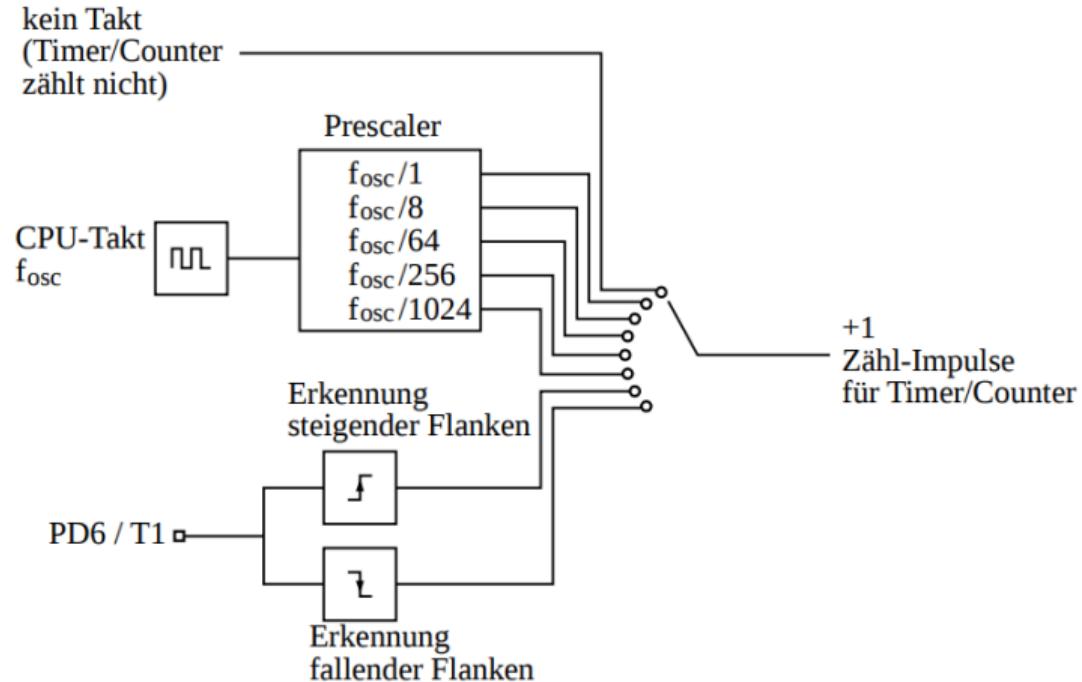


Figure 1: Clock-Select-Logic von Timer/Counter 1

# Der Prescaler

Prescaler-Wert	Timerfrequenz $f_T$	Periodendauer $T_T$
1	16 MHz	$0,0625 \mu s$
8	2 MHz	$0,5 \mu s$
64	250 kHz	$4 \mu s$
256	62,5 kHz	$16 \mu s$
1024	15,625 kHz	$64 \mu s$

# Beispiel

Nach einem Reset beträgt der Zählerstand aller Timer/Counter gleich 0. Angenommen, in der Initialisierungsphase des Hauptprogramms wird beim Timer/Counter1 ein Prescaler-Wert von 256 ausgewählt. Dadurch startet der Timer/Counter1 und sein Zählerstand beginnt sich von null weg zu erhöhen. Wie lange dauert es, bis ein Zählerstand von 32000 erreicht ist?

- ▶ Die Frequenz des Taktsignals, das den Zählerstand erhöht, hat eine Frequenz von
$$f_T = \frac{f_{osc}}{256} = \frac{16MHz}{256} = 62,5kHz$$

## Beispiel

- ▶ Die Frequenz des Taktsignals, das den Zählerstand erhöht, hat eine Frequenz von
$$f_T = \frac{f_{osc}}{256} = \frac{16MHz}{256} = 62,5kHz$$
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{62,5kHz} = 16\mu s$

# Beispiel

- ▶ Die Frequenz des Taktsignals, das den Zählerstand erhöht, hat eine Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{256} = \frac{16MHz}{256} = 62,5kHz$
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{62,5kHz} = 16\mu s$
- ▶ Direkt nach dem Starten des Timer/Counter1 durch Auswahl des Prescaler-Werts von 256 beträgt der Zählerstand noch 0. Eine Zeitspanne von  $16\mu s$  später ( $T_T$ ) wird der Zählerstand von 0 auf 1

# Beispiel

- ▶ Die Frequenz des Taktsignals, das den Zählerstand erhöht, hat eine Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{256} = \frac{16MHz}{256} = 62,5kHz$
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{62,5kHz} = 16\mu s$
- ▶ Direkt nach dem Starten des Timer/Counter1 durch Auswahl des Prescaler-Werts von 256 beträgt der Zählerstand noch 0. Eine Zeitspanne von  $16\mu s$  später ( $T_T$ ) wird der Zählerstand von 0 auf 1
- ▶ Der Zählerstand erhöht sich genau alle  $16\mu s$  um 1. Er ist somit eine Stufenfunktion der Zeit.

# Beispiel

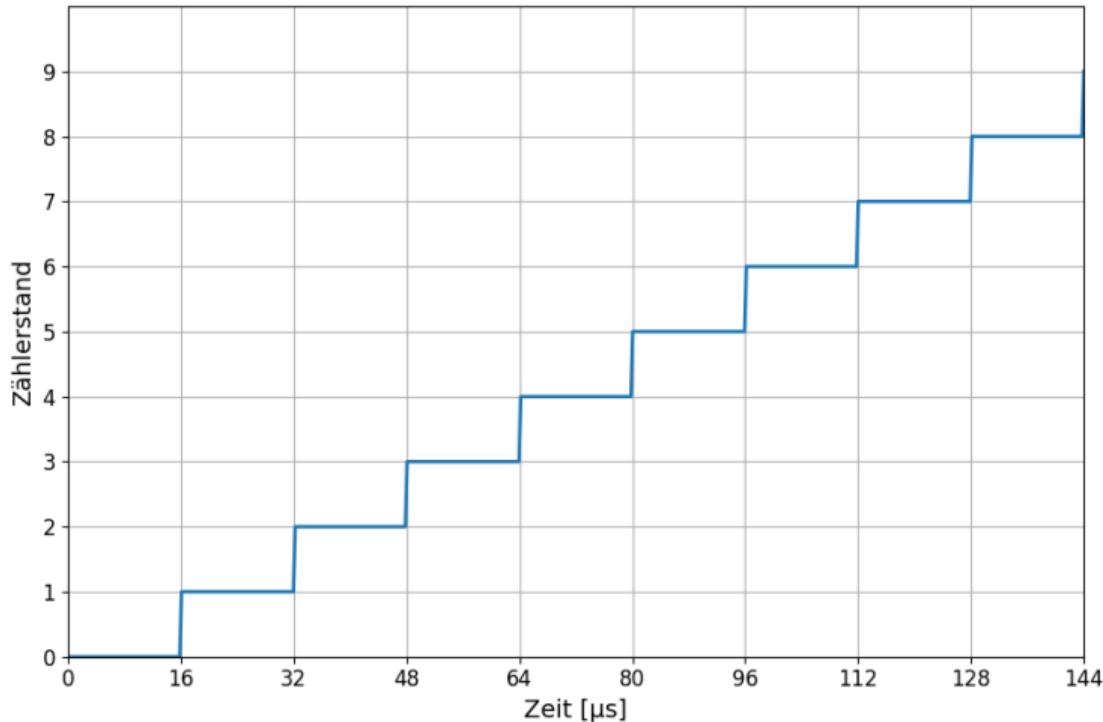


Figure 2: Zählerstand am Anfang

# Beispiel

- ▶ Insgesamt dauert es bis ein Zählerstand von 32000 erreicht wird dann  
 $32000 * T_T = 32000 * 16\mu s = 512ms$

# Beispiel

- ▶ Insgesamt dauert es bis ein Zählerstand von 32000 erreicht wird dann  $32000 * T_T = 32000 * 16\mu s = 512ms$
- ▶ Bei einem Zählerstand von 32000 ist die Stufenfunktion Aufgrund der vielen Punkte nicht mehr zu sehen.

# Beispiel

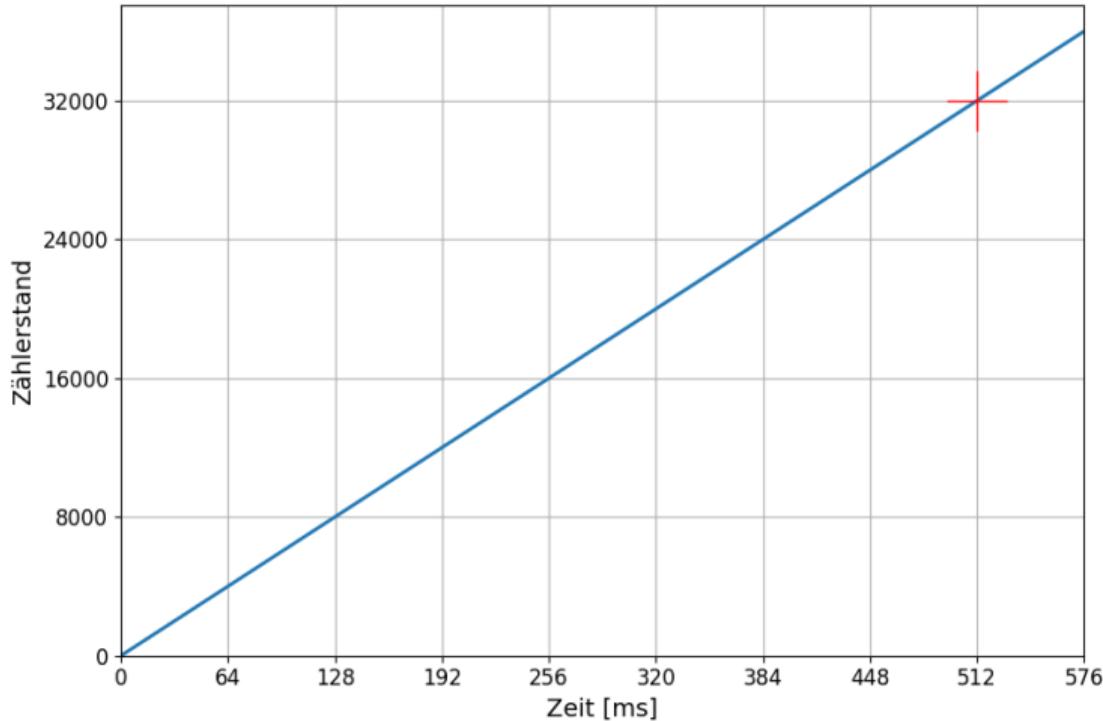


Figure 3: Nach 512 ms wird ein Wert von 32000 erreicht

Die Auswahl der Taktquelle geschieht durch das Setzen der Bits CSn2, CSn1 und CSn0 (CS steht für Clock Select) im Timer/Counter Control Register B (TCCRnB). Dabei steht das „n“ für die Nummer des jeweiligen Timer/Counters und ist entsprechend zu ersetzen.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>TCCR1B:</b>	—	—	—	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10

# Progammieren der Clock-Select-Logic

<b>CSn2</b>	<b>CSn1</b>	<b>CSn0</b>	Taktquelle für Timer/Counter
0	0	0	keine Taktquelle der Timer ist gestoppt.
0	0	1	Prescaler 1 $f_T = 16MHz$
0	1	0	Prescaler 8 $f_T = 2MHz$
0	1	1	Prescaler 64 $f_T = 250kHz$
1	0	0	Prescaler 256 $f_T = 62,5kHz$
1	0	1	Prescaler 1024 $f_T = 15,625kHz$
1	1	0	Fallende Flanke am GPIO Pin mit der Funktion "Tn"
1	1	1	Steigende Flanke am GPIO Pin mit der Funktion "Tn"

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter3 soll als Timer mit einem Prescaler-Wert von 256 betrieben werden.

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter3 soll als Timer mit einem Prescaler-Wert von 256 betrieben werden.
- ▶ Im Register TCCR3B müssen die Bits CS32, CS31, CS30 gesetzt werden.

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter3 soll als Timer mit einem Prescaler-Wert von 256 betrieben werden.
- ▶ Im Register TCCR3B müssen die Bits CS32, CS31, CS30 gesetzt werden.

<b>CSn2</b>	<b>CSn1</b>	<b>CSn0</b>	Taktquelle für Timer/Counter
1	0	0	Prescaler 256 $f_T = 62,5\text{kHz}$

```
TCCR3B |= (0x01<<CS32);  
TCCR3B &= ~( (0x01<<CS31) | (0x01<<CS30) );
```

# Timer Overflow

Eine Variable vom Datentyp `uint16_t` (also ein 16-Bit breiter, vorzeichenloser Integer) kann Werte im Bereich von 0 bis  $2^{16} - 1$  annehmen, also von 0 bis 65.535.

Was passiert, wenn eine solche Variable ihren maximalen Wert hat und anschließend inkrementiert wird? Welchen Wert enthält die Variable `a` nach Ausführung des folgenden Programmcodes?

```
uint16_t a;  
a = 65535;  
a++;
```

## Timer Overflow

Der Wert  $65535 + 1 = 65536$  (also  $2^{16}$ ) liegt außerhalb des darstellbaren Wertebereichs einer `uint16_t`-Variablen. Man spricht in diesem Fall von einem sogenannten Überlauf (Overflow). Die Variable erhält dann wieder den Wert 0.



Figure 4: Tacho kurz vor dem Überlauf

- ▶ Gleichzeitig wird bei einem Overflow ein Interrupt-Flag gesetzt.

- ▶ Gleichzeitig wird bei einem Overflow ein Interrupt-Flag gesetzt.
- ▶ Beim Timer/Counter1 heißt dieses Flag TOV1 (Timer Overflow 1).

# Timer Overflow

- ▶ Gleichzeitig wird bei einem Overflow ein Interrupt-Flag gesetzt.
- ▶ Beim Timer/Counter1 heißt dieses Flag TOV1 (Timer Overflow 1).
- ▶ Ist zusätzlich das zugehörige Interrupt-Enable-Flag gesetzt, wird das Hauptprogramm unterbrochen und die zugehörige Interrupt Service Routine (ISR) ausgeführt – in diesem Fall die Routine mit dem Vektor TIMER1\_OVF\_vect.

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter1 verwendet als Clock-Source die mit einem Prescaler-Wert von 8 geteilte CPU-Taktfrequenz (16MHz). In welchen Zeitabständen erfolgen die Overflows des Zählerstand-Registers?

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter1 verwendet als Clock-Source die mit einem Prescaler-Wert von 8 geteilte CPU-Taktfrequenz (16MHz). In welchen Zeitabständen erfolgen die Overflows des Zählerstand-Registers?
- ▶ Der Zählerstand wird wegen des Prescaler-Werts von 8 mit einer Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{8} = 2MHz$  inkrementiert.

## Beispiel

- ▶ Timer/Counter1 verwendet als Clock-Source die mit einem Prescaler-Wert von 8 geteilte CPU-Taktfrequenz (16MHz). In welchen Zeitabständen erfolgen die Overflows des Zählerstand-Registers?
- ▶ Der Zählerstand wird wegen des Prescaler-Werts von 8 mit einer Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{8} = 2MHz$  inkrementiert.
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{2MHz} = 0,5\mu s$

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter1 verwendet als Clock-Source die mit einem Prescaler-Wert von 8 geteilte CPU-Taktfrequenz (16MHz). In welchen Zeitabständen erfolgen die Overflows des Zählerstand-Registers?
- ▶ Der Zählerstand wird wegen des Prescaler-Werts von 8 mit einer Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{8} = 2\text{MHz}$  inkrementiert.
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{2\text{MHz}} = 0,5\mu\text{s}$
- ▶ Die Zeitdauer zwischen zwei Overflows beträgt **65536** bzw.  $2^{16}$  mal dieser Zeitspanne (Zählerstände 0 bis **65535** bzw. 0 bis  $2^{16} - 1$ ).

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter1 verwendet als Clock-Source die mit einem Prescaler-Wert von 8 geteilte CPU-Taktfrequenz (16MHz). In welchen Zeitabständen erfolgen die Overflows des Zählerstand-Registers?
- ▶ Der Zählerstand wird wegen des Prescaler-Werts von 8 mit einer Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{8} = 2\text{MHz}$  inkrementiert.
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{2\text{MHz}} = 0,5\mu\text{s}$
- ▶ Die Zeitdauer zwischen zwei Overflows beträgt 65536 bzw.  $2^{16}$  mal dieser Zeitspanne (Zählerstände 0 bis 65535 bzw. 0 bis  $2^{16} - 1$ ).
- ▶ Die Zeitdauer zwischen den Overflows  $T_{OVF}$  berechnet sich dann aus  $T_{OVF} = T_T * 2^{16} = 32,768\text{ms}$

# Beispiel

- ▶ Timer/Counter1 verwendet als Clock-Source die mit einem Prescaler-Wert von 8 geteilte CPU-Taktfrequenz (16MHz). In welchen Zeitabständen erfolgen die Overflows des Zählerstand-Registers?
- ▶ Der Zählerstand wird wegen des Prescaler-Werts von 8 mit einer Frequenz von  $f_T = \frac{f_{osc}}{8} = 2\text{MHz}$  inkrementiert.
- ▶ Die Periodendauer ist der Kehrwert daraus:  $T_T = \frac{1}{f_T} = \frac{1}{2\text{MHz}} = 0,5\mu\text{s}$
- ▶ Die Zeitdauer zwischen zwei Overflows beträgt **65536** bzw.  $2^{16}$  mal dieser Zeitspanne (Zählerstände 0 bis **65535** bzw. 0 bis  $2^{16} - 1$ ).
- ▶ Die Zeitdauer zwischen den Overflows  $T_{OVF}$  berechnet sich dann aus  $T_{OVF} = T_T * 2^{16} = 32,768\text{ms}$
- ▶ Die Frequenz der Overflows  $f_{OVF} = \frac{1}{T_{OVF}} = \frac{1}{32,768\text{ms}} = 30,52\text{Hz}$

# Beispiel

Blinklicht mit Timer Overflow Interrupt.

WokWi Link

# Beispiel

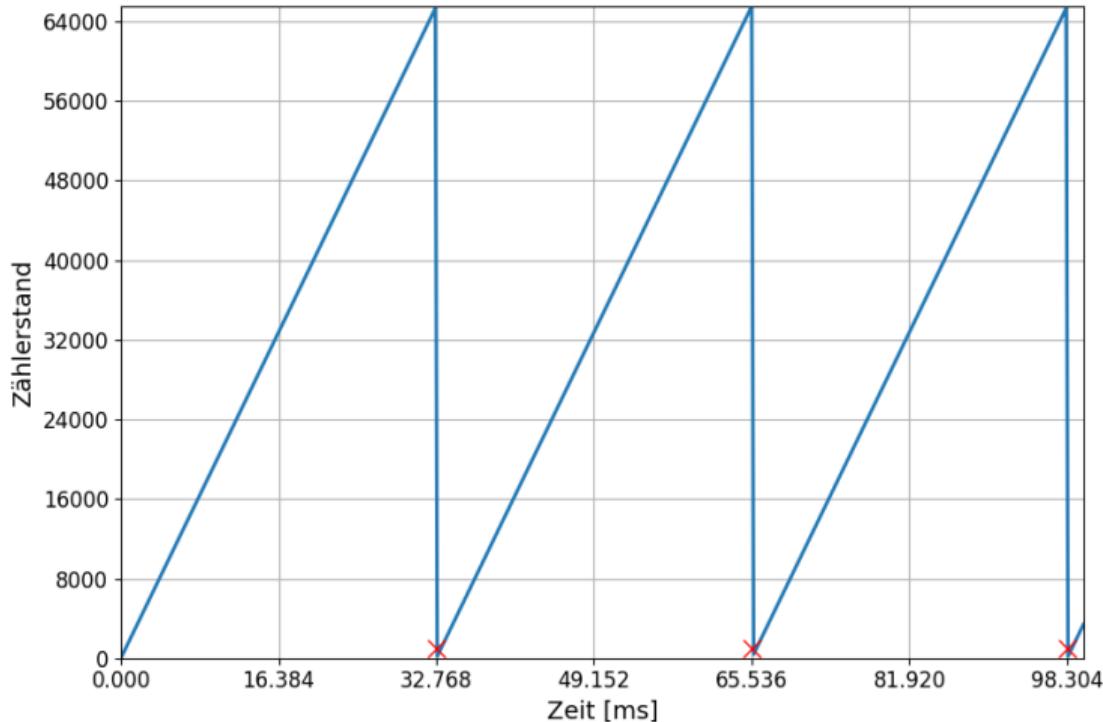


Figure 5: Alle 32,768 ms gibt es einen Timer overflow. Das Overflow Interrupt Flag wird gesetzt.

# Die Compare Match Units

- ▶ Pro Timer/Counter gibt es mehrere sogenannte Output-Compare-Register.

# Die Compare Match Units

- ▶ Pro Timer/Counter gibt es mehrere sogenannte Output-Compare-Register.
- ▶ Diese werden vom Programm beschrieben und vom der Timer Hardware verwendet.

# Die Compare Match Units

- ▶ Pro Timer/Counter gibt es mehrere sogenannte Output-Compare-Register.
- ▶ Diese werden vom Programm beschrieben und vom der Timer Hardware verwendet.
- ▶ Beim ATmega2560 existieren pro Timer/Counter drei Output-Compare-Register mit den Bezeichnungen OCRnA, OCRnB und OCRnC, wobei „n“ wiederum die Nummer des jeweiligen Timer/Counters ersetzt.

# Die Compare Match Units

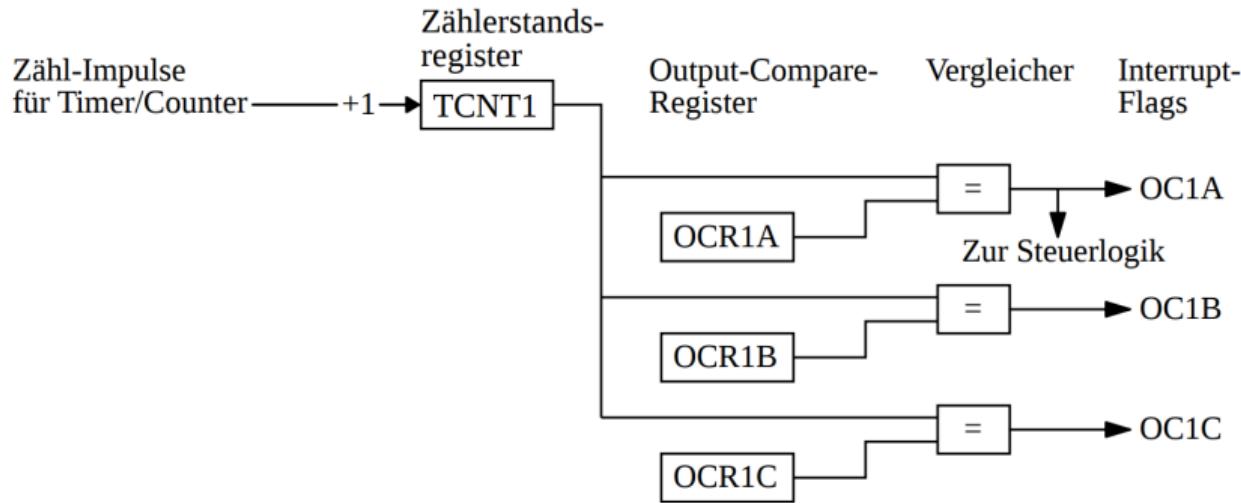


Figure 6: Die Compare Match Units beim ATMega 2560

# Die Compare Match Units

- ▶ Der aktuelle Wert des Zählerstandsregisters wird kontinuierlich mit den drei Werten der Output-Compare-Register verglichen.

# Die Compare Match Units

- ▶ Der aktuelle Wert des Zählerstandsregisters wird kontinuierlich mit den drei Werten der Output-Compare-Register verglichen.
- ▶ Immer dann, wenn der Wert des Zählerstandsregisters mit dem eines Output-Compare-Registers übereinstimmt, wird **beim darauffolgenden Zählimpuls** ein entsprechendes Interrupt-Flag gesetzt.

# Beispiel

- ▶ Jedes Mal, wenn der Zählerstand des Timer/Counter4 den Wert von 9999 erreicht, soll ein Interrupt ausgelöst werden.

# Beispiel

- ▶ Jedes Mal, wenn der Zählerstand des Timer/Counter4 den Wert von 9999 erreicht, soll ein Interrupt ausgelöst werden.
- ▶ Der Wert von OCR1B muss auf 9999 - 1 gesetzt werden.

# Beispiel

- ▶ Jedes Mal, wenn der Zählerstand des Timer/Counter4 den Wert von 9999 erreicht, soll ein Interrupt ausgelöst werden.
- ▶ Der Wert von OCR1B muss auf 9999 - 1 gesetzt werden.
- ▶  $\text{OCR1B} = 9998;$

# Programmieren der Interrupts

Die Interrupt Enable Flags befinden sich bei den Timern für jeden Timer in einem eigenen Register. Für Timer 1 im TIMSK1 Register.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>TIMSK1:</b>	—	—	—	—	OCIE1C	OCIE1B	OCIE1A	TOIE1

Die Flags OCIE1x sind für die Output Compare Interrupts. Das Flag TOIE1 für den Overflow Interrupt.

<b>Interrupt-Ereignis:</b>	<b>TCNT1-Overflow</b>	<b>Compare-Match x (TCNT1 == OCR1x+1)</b>
Interrupt Flag	TOV1	OCF1x
Interrupt Enable Flag	TOIE1	OCIE1x
Interrupt Vektor	TIMER1_OVF_vect	TIMER1_COMPx_vect

# Beispiel

Beispiel Timer Overflow Interrupt und OCR Interrupt

WokWi Link



# Timer Modi

- ▶ Bei den 16-Bit Timer/Counter Modulen gibt es insgesamt 15 Betriebsarten (Modi)

# Timer Modi

- ▶ Bei den 16-Bit Timer/Counter Modulen gibt es insgesamt 15 Betriebsarten (Modi)
- ▶ Beim Programmstart ist der Normal Mode aktiv.

- ▶ Bei den 16-Bit Timer/Counter Modulen gibt es insgesamt 15 Betriebsarten (Modi)
- ▶ Beim Programmstart ist der Normal Mode aktiv.
- ▶ Dabei verhält sich der Timer wie bereits beschrieben.

# Timer Modi

- ▶ Bei den 16-Bit Timer/Counter Modulen gibt es insgesamt 15 Betriebsarten (Modi)
- ▶ Beim Programmstart ist der Normal Mode aktiv.
- ▶ Dabei verhält sich der Timer wie bereits beschrieben.
- ▶ Alternativ dazu wird hier der CTC-Mode behandelt.

# CTC Mode

- ▶ Clear Timer on Compare Match.

- ▶ Clear Timer on Compare Match.
- ▶ Im CTC Modus wird der Zählerstand nur lange inkrementiert, bis er dem Wert des OCR1A Registers entspricht.

# CTC Mode

- ▶ Clear Timer on Compare Match.
- ▶ Im CTC Modus wird der Zählerstand nur lange inkrementiert, bis er dem Wert des OCR1A Registers entspricht.
- ▶ Wenn dieser Wert erreicht wird, wird mit dem nächsten Zählimpuls das Zählregister auf 0 zurückgesetzt

# CTC Mode

- ▶ Clear Timer on Compare Match.
- ▶ Im CTC Modus wird der Zählerstand nur lange inkrementiert, bis er dem Wert des OCR1A Registers entspricht.
- ▶ Wenn dieser Wert erreicht wird, wird mit dem nächsten Zählimpuls das Zählregister auf 0 zurückgesetzt
- ▶ Der größte mögliche Wert ist also nicht 65535 sondern OCR1A

- ▶ Clear Timer on Compare Match.
- ▶ Im CTC Modus wird der Zählerstand nur lange inkrementiert, bis er dem Wert des OCR1A Registers entspricht.
- ▶ Wenn dieser Wert erreicht wird, wird mit dem nächsten Zählimpuls das Zählregister auf 0 zurückgesetzt
- ▶ Der größte mögliche Wert ist also nicht 65535 sondern OCR1A
- ▶ Der CTC Modus eignet sich zum genauen Festlegen von Interrupt Intervallen.

Die Interrupt Frequenz berechnet sich nach folgender Formel:

$$f_{OCR1A} = \frac{f_{osc}}{N*(1+OCR1A)}$$

# Beispiel

- ▶ Als erstes kann die Timer Frequenz berechnet werden.

$$f_{T1} = \frac{f_{osc}}{N} = \frac{16MHz}{64} = 250kHz$$

# Beispiel

- ▶ Als erstes kann die Timer Frequenz berechnet werden.

$$f_{T1} = \frac{f_{osc}}{N} = \frac{16MHz}{64} = 250kHz$$

- ▶ Daraufhin die Periodendauer.  $T_{T1} = \frac{1}{f_{T1}} = \frac{1}{250kHz} = 4\mu s$

# Beispiel

- ▶ Als erstes kann die Timer Frequenz berechnet werden.

$$f_{T1} = \frac{f_{osc}}{N} = \frac{16MHz}{64} = 250kHz$$

- ▶ Daraufhin die Periodendauer.  $T_{T1} = \frac{1}{f_{T1}} = \frac{1}{250kHz} = 4\mu s$

- ▶ Es werden immer wieder die Zählerstände von 0 bis 6 durchlaufen. Also insgesamt 7 Zählerstände.  $T_{OCR1A} = T_{T1} * (OCR1A + 1) = 4\mu s * (6 + 1) = 28\mu s$

# Beispiel

- ▶ Als erstes kann die Timer Frequenz berechnet werden.  
$$f_{T1} = \frac{f_{osc}}{N} = \frac{16MHz}{64} = 250kHz$$
- ▶ Daraufhin die Periodendauer.  $T_{T1} = \frac{1}{f_{T1}} = \frac{1}{250kHz} = 4\mu s$
- ▶ Es werden immer wieder die Zählerstände von 0 bis 6 durchlaufen. Also insgesamt 7 Zählerstände.  $T_{OCR1A} = T_{T1} * (OCR1A + 1) = 4\mu s * (6 + 1) = 28\mu s$
- ▶ Die Interrupt Frequenz beträgt dann.  $f_{OCR1A} = \frac{1}{T_{OCR1A}} = \frac{1}{28\mu s} = 35,714kHz$

# Beispiel

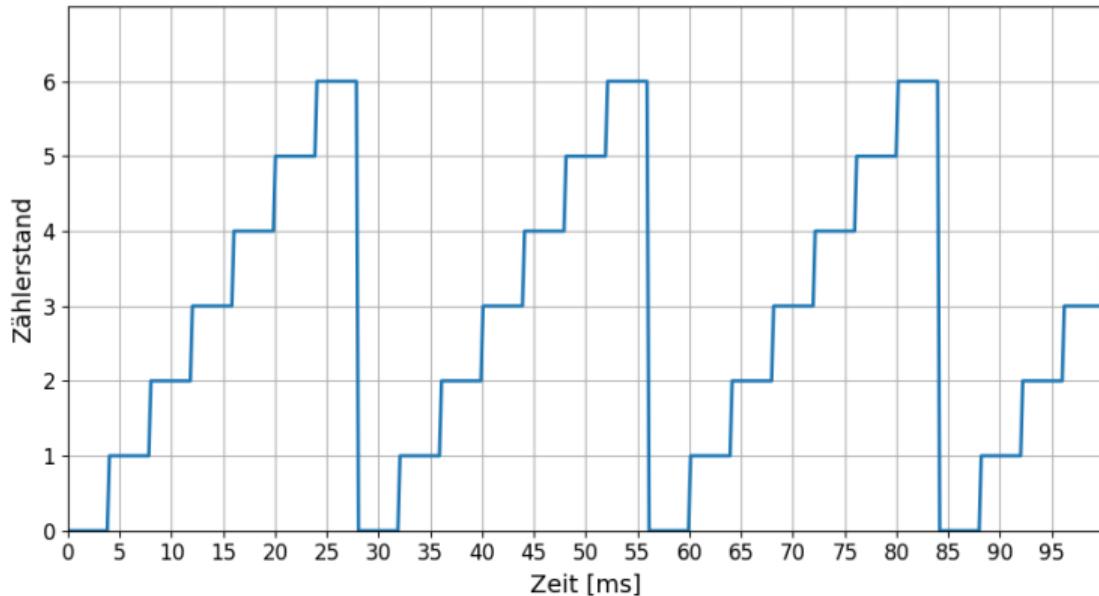


Figure 7: Zählerstand des Timer 1 im CTC Mode bei  $OCR1A = 6$

# Programmieren der Timer Modi

Die Timer Modi werden über die WGM<sub>n</sub> (Wave Generation Mode) Bits konfiguriert.

<b>WGM<sub>n</sub>3</b>	<b>WGM<sub>n</sub>2</b>	<b>WGM<sub>n</sub>1</b>	<b>WGM<sub>n</sub>0</b>	<b>Timer Mode</b>
0	0	0	0	Normal Mode
...	...	...	...	
0	1	0	0	CTC Mode

# Programmieren der Timer Modi

Die WGM Bits sind auf zwei Register verteilt.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>TCCR1A:</b>	—	—	—	—	—	—	WGM11	WGM10

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
<b>TCCR1B:</b>	—	—	—	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10

# Beispiel

Timer/Counter1 soll im CTC-Mode betrieben werden. Dabei soll er als Timer mit einem Prescaler-Wert von 8 arbeiten

- ▶ Für den CTC Mode muss das Bit WGM12 gesetzt werden. `TCCR1B |= 0x01 << WGM12;`

# Beispiel

Timer/Counter1 soll im CTC-Mode betrieben werden. Dabei soll er als Timer mit einem Prescaler-Wert von 8 arbeiten

- ▶ Für den CTC Mode muss das Bit WGM12 gesetzt werden. `TCCR1B |= 0x01 << WGM12;`
- ▶ Für den Prescaler von 8 muss das Bit CS11 gesetzt werden. `TCCR1B |= 0x01 << CS11;`

Oftmals ist es notwendig eine Funktion mit einer genauen Frequenz zu wiederholen. Z.B:

- ▶ Auslesen eines Messwertes immer zum gleichen Zeitpunkt.

Oftmals ist es notwendig eine Funktion mit einer genauen Frequenz zu wiederholen. Z.B:

- ▶ Auslesen eines Messwertes immer zum gleichen Zeitpunkt.
- ▶ Berechnen von Stellgrößen bei einem digitalen Regler.

Oftmals ist es notwendig eine Funktion mit einer genauen Frequenz zu wiederholen. Z.B:

- ▶ Auslesen eines Messwertes immer zum gleichen Zeitpunkt.
- ▶ Berechnen von Stellgrößen bei einem digitalen Regler.
- ▶ Erzeugen von Signalen mit konstanter Frequenz.

# Interrupts mit genauer Frequenz auslösen

- ▶ Dazu wird der CTC Mode verwendet.

# Interrupts mit genauer Frequenz auslösen

- ▶ Dazu wird der CTC Mode verwendet.
- ▶ In den meisten Fällen ist aber die Frequenz  $f_{OCR1A}$  bekannt und es soll daraus der Prescaler  $N$  und der OCR1A Wert bestimmt werden.

# Interrupts mit genauer Frequenz auslösen

- ▶ Dazu wird der CTC Mode verwendet.
- ▶ In den meisten Fällen ist aber die Frequenz  $f_{OCR1A}$  bekannt und es soll daraus der Prescaler  $N$  und der OCR1A Wert bestimmt werden.
- ▶  $OCR1A = \frac{f_{osc}}{N*f_{OCR1A}} - 1$

# Beispiel

Timer/Counter1 soll im CTC-Mode betrieben werden. Es soll dabei eine Interruptfrequenz  $f_{OCR1A}$  von 100 Hz einstellt werden.

Welche OCR1A Werte ergeben sich für die 5 möglichen Prescaler.

Prescaler	OCR1A berechnet	OCR1A möglich
1		
8		
64		
256		
1024		

# Beispiel

Für die 5 möglichen Prescaler ergeben sich folgende OCR1A Werte.

Prescaler	OCR1A berechnet	OCR1A möglich
1	159999	
8	19999	
64	2499	
256	624	
1024	156,25	

# Beispiel

Von den 5 berechneten OCR1A Werte können folgende eingestellt werden.

Prescaler	OCR1A berechnet	OCR1A möglich
1	159999	—
8	19999	19999
64	2499	2499
256	624	624
1024	156,25	156

## Beispiel 2

Für manche Frequenzen kann der Wert aber mit keinem einzigen Prescaler genau eingestellt werden. Z.B. für eine Frequenz von 300 Hz

Prescaler	OCR1A berechnet	OCR1A möglich	$f_{OCR1A}$ berechnet
1	53332,33	53332	300,0018 Hz
8	6665,66	6666	299,9850 Hz
64	832,33	832	300,1200 Hz
256	207,33	207	300,4807 Hz
1024	51,0833	51	300,4807 Hz

Für solche Fälle ist es am besten, den kleinsten möglichen Prescaler zu verwenden, da auch dort der Fehler zur gewünschten Frequenz am kleinsten ist.

## Beispiel 2

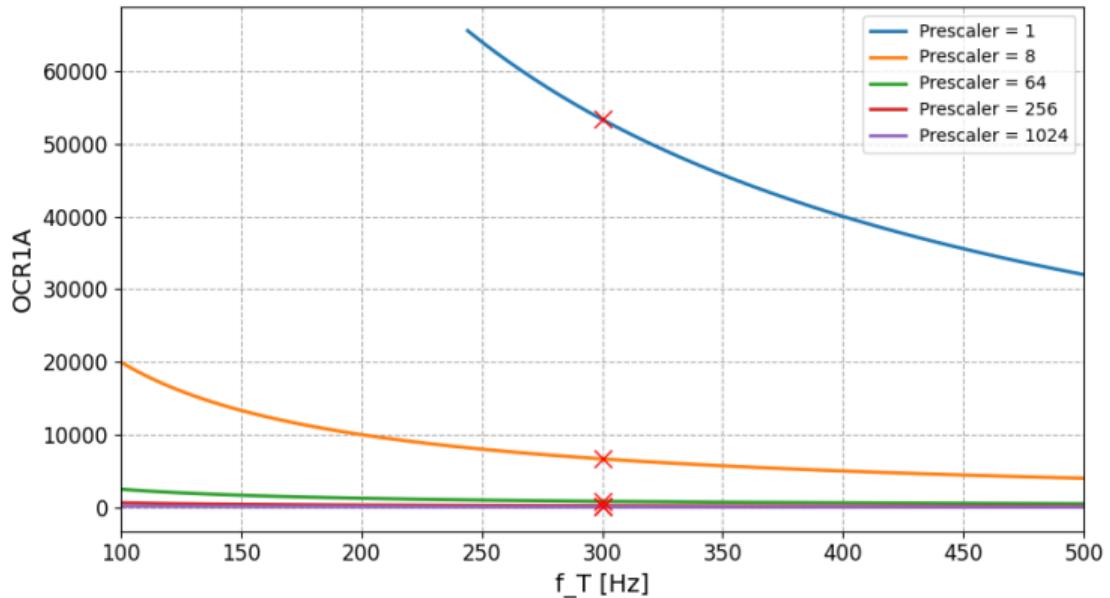


Figure 8: Die berechneten OCR1A Werte für alle möglichen Prescaler. Die Werte für 300 Hz sind hervorgehoben

## Beispiel 2

Beispiel Interrupt mit 300 Hz auslösen.

WokWi Link

- ▶ Soft PWM steht für Software Pulsweitenmodulation.

- ▶ Soft PWM steht für Software Pulsweitenmodulation.
- ▶ Mit einer Pulsweitenmodulation kann im weitesten Sinne ein analoger Ausgang nachgebildet werden.

- ▶ Soft PWM steht für Software Pulsweitenmodulation.
- ▶ Mit einer Pulsweitenmodulation kann im weitesten Sinne ein analoger Ausgang nachgebildet werden.
- ▶ Dabei wird ein digitaler Ausgang mit einer fixen Frequenz ein- und ausgeschaltet.

- ▶ Soft PWM steht für Software Pulsweitenmodulation.
- ▶ Mit einer Pulsweitenmodulation kann im weitesten Sinne ein analoger Ausgang nachgebildet werden.
- ▶ Dabei wird ein digitaler Ausgang mit einer fixen Frequenz ein- und ausgeschaltet.
- ▶ Das Verhältnis von Einschalt- und Periodendauer bestimmt dann den Ausgangswert.

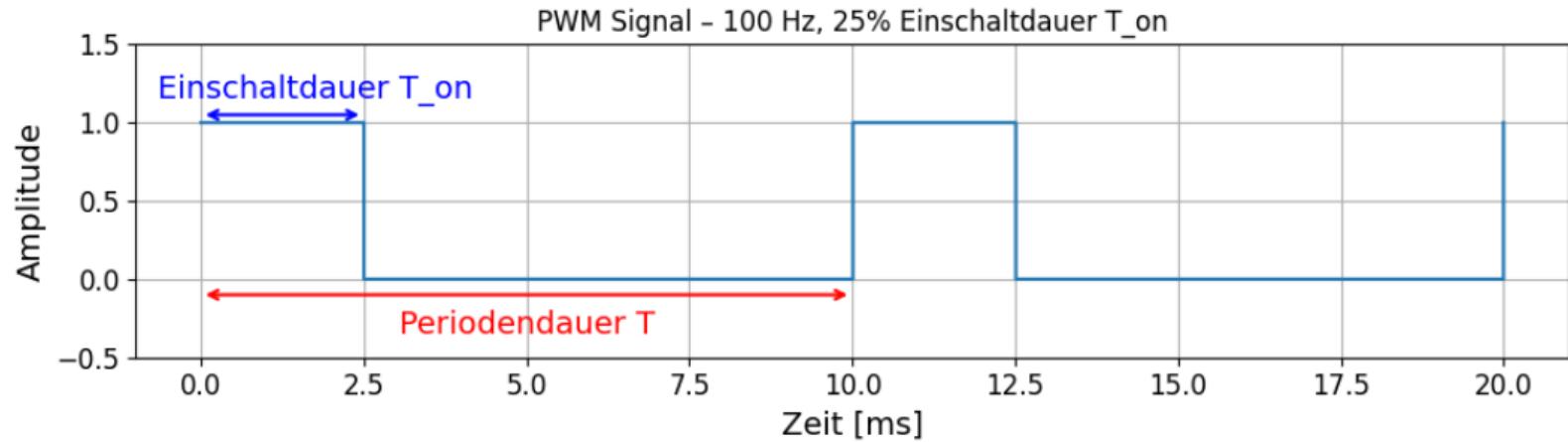


Figure 9: Pulsweitenmodulation

- ▶ Für eine Software PWM kann sehr gut ein Timer im CTC Mode verwendet werden.

- ▶ Für eine Software PWM kann sehr gut ein Timer im CTC Mode verwendet werden.
- ▶ Dazu soll eine PWM mit einer Frequenz von 1kHz verwendet werden. Als ersten Schritt muss der Prescaler und der OCR1A Wert bestimmt werden.

- ▶ Für eine Software PWM kann sehr gut ein Timer im CTC Mode verwendet werden.
- ▶ Dazu soll eine PWM mit einer Frequenz von 1kHz verwendet werden. Als ersten Schritt muss der Prescaler und der OCR1A Wert bestimmt werden.
- ▶  $OCR1A = \frac{f_{osc}}{N * f_{OCR1A}} - 1$

- ▶ Für eine Software PWM kann sehr gut ein Timer im CTC Mode verwendet werden.
- ▶ Dazu soll eine PWM mit einer Frequenz von 1kHz verwendet werden. Als ersten Schritt muss der Prescaler und der OCR1A Wert bestimmt werden.
- ▶  $OCR1A = \frac{f_{osc}}{N*f_{OCR1A}} - 1$
- ▶ Wir nehmen den kleinsten Prescaler von 1 an.

- ▶ Für eine Software PWM kann sehr gut ein Timer im CTC Mode verwendet werden.
- ▶ Dazu soll eine PWM mit einer Frequenz von 1kHz verwendet werden. Als ersten Schritt muss der Prescaler und der OCR1A Wert bestimmt werden.
- ▶  $OCR1A = \frac{f_{osc}}{N*f_{OCR1A}} - 1$
- ▶ Wir nehmen den kleinsten Prescaler von 1 an.
- ▶  $OCR1A = \frac{16000\text{kHz}}{1*1\text{kHz}} - 1 = 15999$

- ▶ Für die PWM sind dann zwei Interrupts notwendig.

- ▶ Für die PWM sind dann zwei Interrupts notwendig.
- ▶ Einer zum Einschalten und einer zum Ausschalten der LED.

- ▶ Für die PWM sind dann zwei Interrupts notwendig.
- ▶ Einer zum Einschalten und einer zum Ausschalten der LED.
- ▶ Es werden der Output Compare A und Output Compare B Interrupt verwendet.

- ▶ Für die PWM sind dann zwei Interrupts notwendig.
- ▶ Einer zum Einschalten und einer zum Ausschalten der LED.
- ▶ Es werden der Output Compare A und Output Compare B Interrupt verwendet.
- ▶ Im OCA Interrupt wird die Led eingeschaltet und im OCB ausgeschaltet.

- ▶ Für die PWM sind dann zwei Interrupts notwendig.
- ▶ Einer zum Einschalten und einer zum Ausschalten der LED.
- ▶ Es werden der Output Compare A und Output Compare B Interrupt verwendet.
- ▶ Im OCA Interrupt wird die Led eingeschaltet und im OCB ausgeschaltet.
- ▶ Für 25% Einschaltdauer ergibt sich dann für OCR1B ein Wert von 4000;

# Soft PMW mit Timer

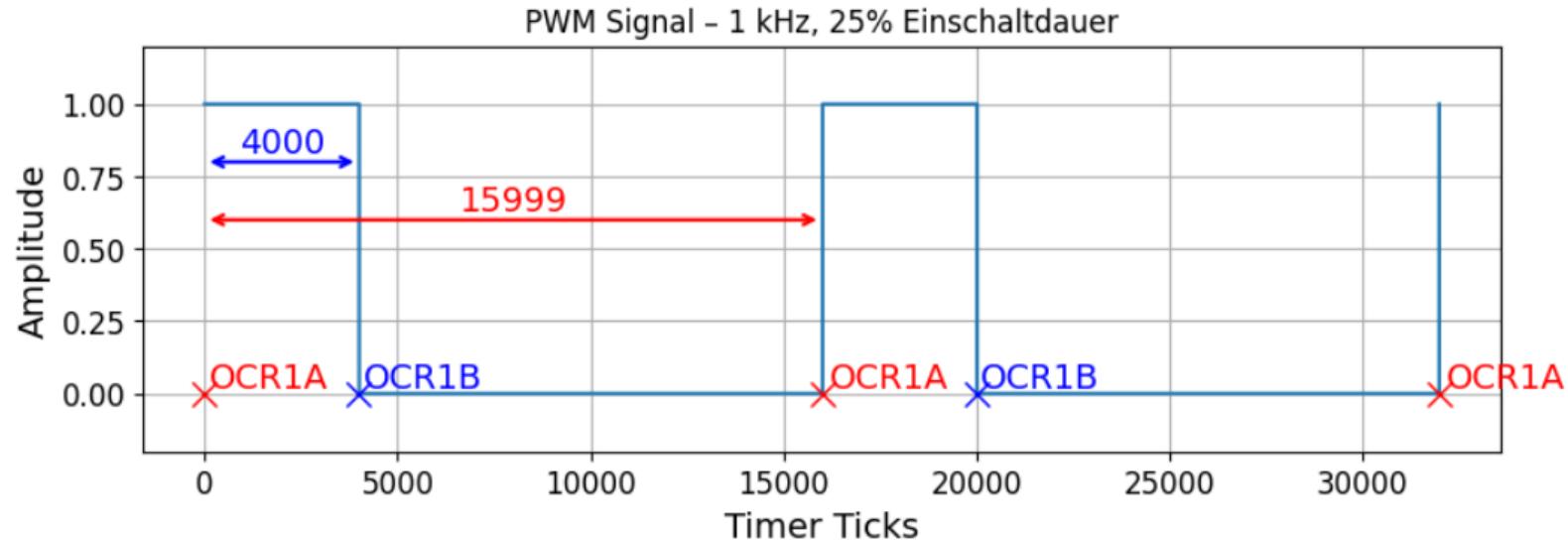


Figure 10: Pulsweitenmodulation mit Timer

# Beispiel

Als Beispiel zum Dimmen einer Led.

WokWi Link