

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Sommersemester 2024

Übung 6

Maxim Ritter von Onciul
Arne Vogel

Lehrstuhl für Informatik 4
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg



Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

AVR Timer



- Häufige Aufgaben in der Mikrocontrollerprogrammierung:
 - Regelmäßige Aktualisierung der Ausgabe (z.B. Bildwiederholrate)
 - Regelmäßiges Auslesen eines Wertes (z.B. serielle Konsole)
 - Pulswweitenmodulation (PWM)
 - Passives Warten
 - ...

⇒ Timer helfen bei der Umsetzung



- Ein Timer modifiziert pro Timertakt seinen Zähler
 - Inkrement (default)
 - Dekrement
 - Bei vorher konfigurierten Ereignissen wird ein Interrupt ausgelöst
 - Zähler erreicht einen bestimmten Wert
 - Zähler läuft über
 - (externes Ereignis tritt auf)
 - Der ATmega328PB bietet 5 verschiedene Timer:
 - `TIMER{0, 2}`: 8-bit Zähler
 - `TIMER{1, 3, 4}`: 16-bit Zähler
- ⇒ Für die Übungsaufgaben: `TIMER0`
- ⇒ In der libspicboard: `TIMER{1, 2, 4}`



■ Wie schnell läuft der Timer:

- TCCR0B: TC0 Control Register B
- CSxx: Clock Select Bits
- Prescaler: Anzahl der CPU-Takte bis Zähler inkrementiert wird
- Was passiert, wenn die CPU in den Schlafmodus geht?

CS02	CS01	CS00	Beschreibung
0	0	0	Timer aus
0	0	1	prescaler 1
0	1	0	prescaler 8
0	1	1	prescaler 64
1	0	0	prescaler 256
1	0	1	prescaler 1024
1	1	0	Ext. Takt (fallende Flanke)
1	1	1	Ext. Takt (steigende Flanke)



CS02	CS01	CS00	Beschreibung
0	0	0	Timer aus
0	0	1	prescaler 1
0	1	0	prescaler 8
0	1	1	prescaler 64
1	0	0	prescaler 256
1	0	1	prescaler 1024
1	1	0	Ext. Takt (fallende Flanke)
1	1	1	Ext. Takt (steigende Flanke)

```
01 static void init(void) {  
02     // Timer mit prescaler 64 aktivieren  
03     TCCR0B &= ~(1 << CS02);  
04     TCCR0B |= (1 << CS01) | (1 << CS00);  
05  
06     // [...]  
07 }
```



- **Wann löst der Timer einen Interrupt aus:**
 - **Overflow:** Wenn der Zähler überläuft
 - **Match:** Wenn der Zähler den Vergleichswert erreicht
 - ⇒ Register OCR0A (TIMER0 Output Compare Register A)
 - ⇒ Register OCR0B (TIMER0 Output Compare Register B)
 - Interrupts einzeln demaskierbar
 - TIMSK0: TIMER0 Interrupt Mask Register

Bit	ISR	Beschreibung
TOIE0	TIMER0_OVF_vect	TIMER0 Overflow (Interrupt Enable)
OCIE0A	TIMER0_COMPA_vect	TIMER0 Output Compare A (...)
OCIE0B	TIMER0_COMPB_vect	TIMER0 Output Compare B (...)



■ Wann löst der Timer einen Interrupt aus:

- **Overflow:** Wenn der Zähler überläuft
- **Match:** Wenn der Zähler den Vergleichswert erreicht
 - ⇒ Register OCR0A (TIMER0 Output Compare Register A)
 - ⇒ Register OCR0B (TIMER0 Output Compare Register B)
- Interrupts einzeln demaskierbar
- TIMSK0: TIMER0 Interrupt Mask Register

Bit	ISR	Beschreibung
TOIE0	TIMER0_OVF_vect	TIMER0 Overflow (Interrupt Enable)
OCIE0A	TIMER0_COMPA_vect	TIMER0 Output Compare A (...)
OCIE0B	TIMER0_COMPB_vect	TIMER0 Output Compare B (...)



Bit	ISR	Beschreibung
TOIE0	TIMER0_OVF_vect	TIMER0 Overflow (Interrupt Enable)
OCIE0A	TIMER0_COMPA_vect	TIMER0 Output Compare A (...)
OCIE0B	TIMER0_COMPB_vect	TIMER0 Output Compare B (...)

```
01 ISR(TIMER0_OVF_vect) {
02     // [...]
03 }
04
05 static void init(void) {
06     // Überlaufunterbrechung aktivieren
07     TIMSK0 |= (1 << TOIE0);
08
09     // [...]
10 }
```



Bit	ISR	Beschreibung
TOIE0	TIMER0_OVF_vect	TIMER0 Overflow (Interrupt Enable)
OCIE0A	TIMER0_COMPA_vect	TIMER0 Output Compare A (...)
OCIE0B	TIMER0_COMPB_vect	TIMER0 Output Compare B (...)

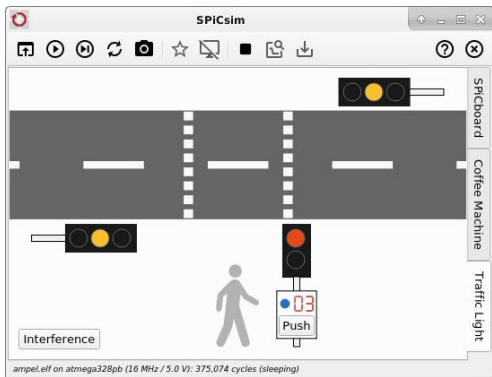
```
01 ISR(TIMER0_COMPA_vect) { /* [...] */ }
02
03 static void init(void) {
04     // Vergleichswert setzen
05     OCR0A = 125 - 1; // Die Maschine fängt bei Null an zu zählen.
06
07     // Damit der Zähler bei 124 wieder zurückgesetzt wird.
08     TCCR0A = (1<<WGM01);
09
10     // Überlaufunterbrechung aktivieren
11     TIMSK0 |= (1 << OCIE0A);
12
13     /* [...] */ }
```



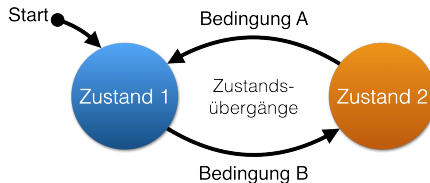
- Zur Erinnerung: $\text{prescaler} \in \{1, 8, 64, 256, 1024\}$

- **Beispiel:**
 - 8-bit Timer mit Überlaufinterrupt
 - CPU Frequenz: 16 MHz (ATmega328PB)
 - Ziel: Mit Periode 1 s zählen
- ⇒ Welcher prescaler ist am ressourcenschonendsten?
- ⇒ Wie viele Überlaufinterrupts bis 1 s vergangen ist?
- ⇒ Welcher Fehler entsteht?

Aufgabe: Ampel

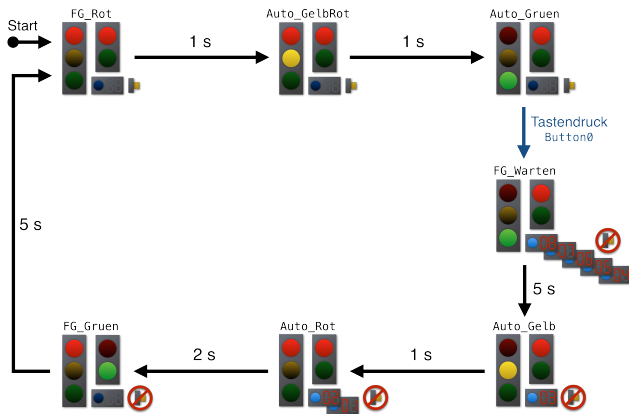


- Implementierung einer (Fußgänger-)Ampel mit Wartezeitanzeige

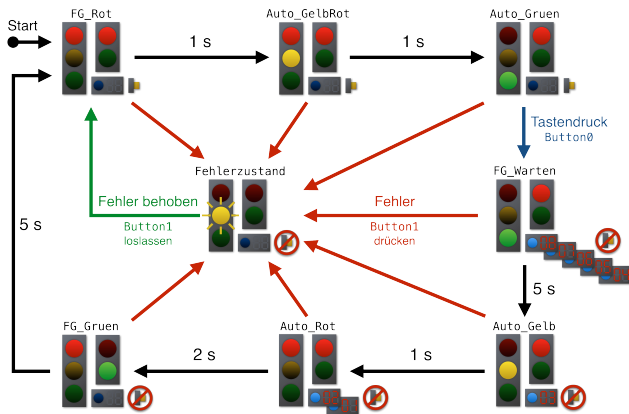


- **Zustände** mit bestimmten Eigenschaften; definierter Initialzustand
- **Zustandswechsel** in Abhängigkeit von definierten Bedingungen

Ampel als Zustandsautomat



Ampel als Zustandsautomat





- Festlegung durch Zahlen ist fehleranfällig
 - Schwer zu merken
 - Wertebereich nur bedingt einschränkbar
- Besser enum:

```
01 enum state { STATE_RED, STATE_YELLOW, STATE_GREEN };  
02  
03 enum state my_state = STATE_RED;
```

- Mit typedef noch lesbarer:

```
01 typedef enum { STATE_RED, STATE_YELLOW, STATE_GREEN } state;  
02  
03 state my_state = STATE_RED;
```



```
01 switch ( my_state ) {
02   case STATE_RED:
03     ...
04     break;
05   case STATE_YELLOW:
06     ...
07     break;
08   case STATE_GREEN:
09     ...
10     break;
11   default:
12     // maybe invalid state
13     ...
14 }
```

- Vermeidung von if-else-Kaskaden
- switch-Ausdruck muss eine Zahl sein (besser ein enum-Typ)
- break-Anweisung nicht vergessen!
- Ideal für Abarbeitung von Systemen mit versch. Zuständen
⇒ Implementierung von Zustandsautomaten



- Alle Transitionen werden durch Interrupts ausgelöst
 - BUTTON0 und BUTTON1 für Interrupts konfigurieren
 - ⇒ Welche Flanke soll Interrupts auslösen?
 - TIMER0 konfigurieren (Einheit: 1 Sekunde)
- Keine Verwendung des Timer Moduls der libspicboard für die Abgabe
 - ⇒ Zum debuggen aber u.U. praktisch

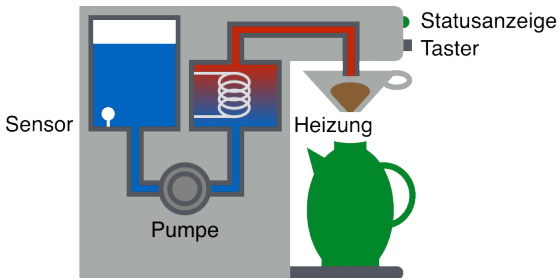


■ Hinweise

- Ablauf nach Aufgabenbeschreibung (Referenzimplementierung verfügbar)
- Tastendrucke und Alarme als Ereignisse
- Passiv Warten auf die jeweiligen Interrupts
- Deaktivieren des Tasters durch Ignorieren des entsprechenden Interrupts
(Änderung der Interrupt-Konfiguration ist nicht notwendig)
- Abbildung auf Zustandsautomaten sinnvoll
- Verwendung von `volatile` begründen

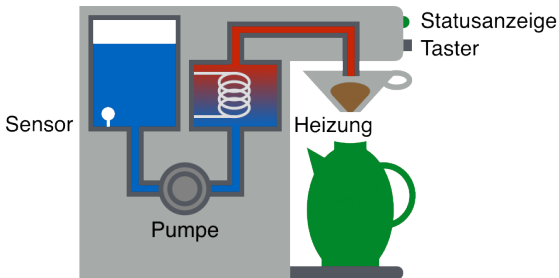
Hands-on: Kaffeemaschine

Screencast: <https://www.video.uni-erlangen.de/clip/id/17647>



■ Lernziele:

- Zustandsautomaten
- Timer bzw. Alarm
- Interrupts & Schlafenlegen



■ Beschaltung:

- Pumpe & Heizung: Port D, Pin 5 (active-low)
- Taster: INT0 an Port D, Pin 2 (active-low)
- Sensor: INT1 an Port D, Pin 3 (Wasser: high; kein Wasser: low)
- Statusanzeige:
 - BLUE0: **STANDBY**
 - GREEN0: **ACTIVE**
 - RED0: **NO_WATER**



STANDBY

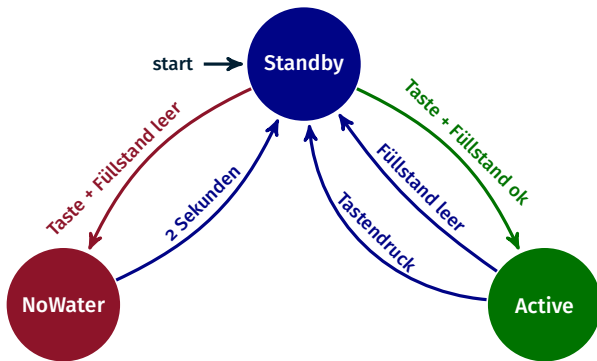
- Kaffeemaschine ist aus
- Pumpe und Heizung sind aus
- Benutzer kann Kaffeezubereitung durch Tastendruck starten
- Anfangszustand

ACTIVE

- Kaffeemaschine ist an
- Pumpe und Heizung sind an
- Wassertank ist nicht leer
- Benutzer kann Kaffeezubereitung durch Tastendruck beenden

NO_WATER

- Kaffeemaschine zeigt an, dass sie nicht genügend Wasser hat
- Pumpe und Heizung sind aus
- Zeitdauer: 2 Sekunden



■ Hinweise:

- Tastendruck & Füllstandsänderung durch Interrupts
- Statusanzeige: `void setLEDState(state_t state)`
- Wartephasen ggf. über SingleShot-Alarm realisieren
- In Wartephasen Mikrocontroller in den Energiesparmodus



DDRx hier konfiguriert man Pin i von Port x als Ein- oder Ausgang

- Bit $i = 1 \rightarrow$ Pin i als Ausgang verwenden
- Bit $i = 0 \rightarrow$ Pin i als Eingang verwenden

PORTx Auswirkung **abhängig von DDRx**:

- ist Pin i **als Ausgang konfiguriert**, so steuert Bit i im PORTx Register ob am Pin i ein high- oder ein low-Pegel erzeugt werden soll
 - Bit $i = 1 \rightarrow$ high-Pegel an Pin i
 - Bit $i = 0 \rightarrow$ low-Pegel an Pin i
- ist Pin i **als Eingang konfiguriert**, so kann man einen internen pull-up-Widerstand aktivieren
 - Bit $i = 1 \rightarrow$ pull-up-Widerstand an Pin i (Pegel wird auf high gezogen)
 - Bit $i = 0 \rightarrow$ Pin i als tri-state konfiguriert

PINx Bit i gibt aktuellen Wert des Pin i von Port x an (nur lesbar)



- Interrupt Sense Control (ISC) Bits befinden sich beim ATmega328PB im External Interrupt Control Register A (EICRA)
- Position der ISC-Bits im Register durch Makros definiert

Interrupt 0		Interrupt bei	Interrupt 1	
ISC01	ISC00		ISC11	ISC10
0	0	low Pegel	0	0
0	1	beliebiger Flanke	0	1
1	0	fallender Flanke	1	0
1	1	steigender Flanke	1	1

- ATmega328PB: External Interrupt Mask Register (EIMSK)
- Die Bitpositionen in diesem Register sind durch Makros INTn definiert