

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Wintersemester 2019/2020

Übung 5

Benedict Herzog
Bernhard Heinloth
Tim Rheinfels

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG

TECHNISCHE FAKULTÄT

AVR Timer



- Häufige Aufgabe in der Mikrocontrollerprogrammierung:
 - Regelmäßige Aktualisierung der Ausgabe (z.B. Bildwiederholrate)
 - Regelmäßiges Auslesen eines Wertes (z.B. serielle Konsole)
 - Watchdogs (in Hardware/Software)
 - Passives Warten
 - Pulseweitenmodulation (PWM)
 - ...

- Währenddessen soll geschlafen werden (Strom sparen) oder andere Aufgaben erledigt werden

⇒ (Regelmäßige) Interrupts zu definierten Zeitpunkten

⇒ Timer können dies realisieren



- Ein Timer modifiziert pro Timertakt seinen Zähler
 - Inkrement (default)
 - Dekrement
- Bei vorher konfigurierten Events wird ein Interrupt ausgelöst
 - Zähler erreicht einen bestimmten Wert
 - Zähler läuft über
 - (externes Event 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 void init(void) {  
02     // Timer mit prescaler 64 aktivieren  
03     TCCR0B |= (1 << CS01) | (1 << CS00);  
04     TCCR0B &= ~(1 << CS02);  
05  
06     // [...]  
07 }
```



■ Wann löst der Timer einen Interrupt aus:

- **Overflow:** Wenn der Zähler überläuft
- **Match:** Wenn der Zähler einen bestimmten Wert 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 einen bestimmten Wert 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 void init(void) {  
06     // Überlaufunterbrechung aktivieren  
07     TIMSK0 |= (1 << TOIE0);  
08  
09     // [...]  
10 }
```



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

- **Beispiel:**

- 16-bit Timer mit Überlaufinterrupt
- CPU Frequenz: 1 MHz
- $\text{prescaler}: 64$

→ alle $\frac{64}{1 \text{ MHz}} = 64 \mu\text{s}$ wird der Zähler erhöht

→ alle $\frac{64 \cdot 2^{16}}{1 \text{ MHz}} = \frac{64 \cdot 65536}{1 \text{ MHz}} = 4.2 \text{ s}$ wird der Überlaufinterrupt ausgelöst

- **Beispiel:**

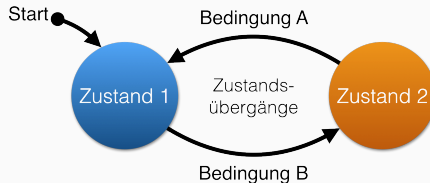
- 8-bit Timer mit Überlaufinterrupt
- CPU Frequenz: 16 MHz (ATmega328PB)

⇒ Welcher prescaler ist am ressourcenschonendsten?

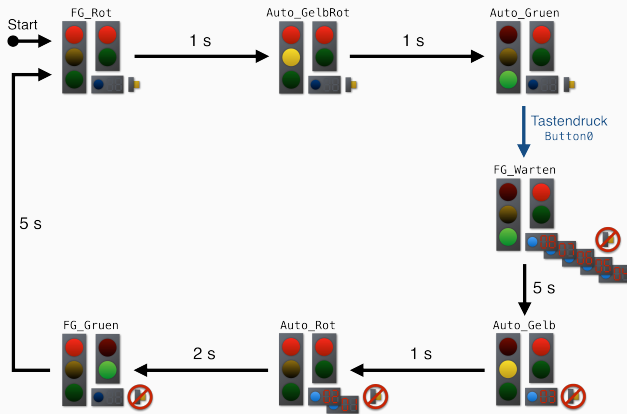
⇒ Wie viele Überlaufinterrupts, bis 1 s vergangen ist?

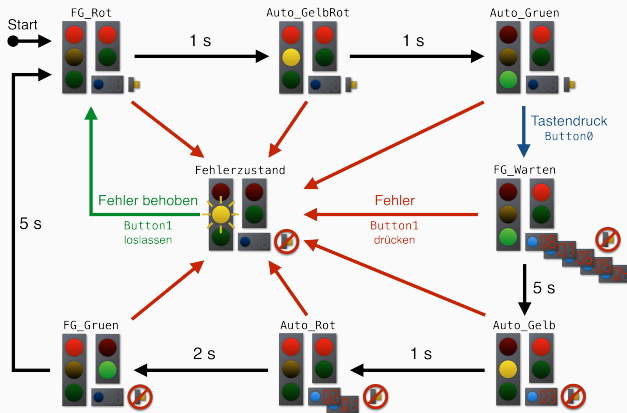
Aufgabe: Ampel

- Implementierung einer (Fußgänger-)Ampel mit Wartezeitanzeige
- Ablauf (exakt) nach Aufgabenbeschreibung
(Referenzimplementierung verfügbar)
- Hinweise
 - Tastendrucke und Alarme als Events (kein aktives Warten)
 - In Sleep-Modus wechseln, wenn keine Events zu bearbeiten sind
 - nur eine Stelle zum Warten auf Events (sleep-Loop)
 - Deaktivieren des Tasters durch Ignorieren des Events
(Änderung der Interrupt-Konfiguration ist nicht notwendig)
 - Abbildung auf Zustandsmaschine sinnvoll
 - Verwendung von `volatile` begründen



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







- 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;
```

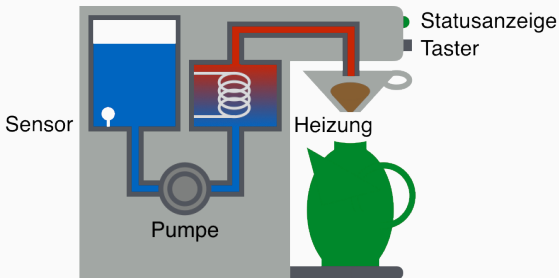


```
01 switch ( my_state ) {  
02 case STATE_RED:  
03     ...  
04     break;  
05 case STATE_YELLOW:  
06     ...  
07     break;  
08 case STATE_GREEN:  
09     ...  
10     break;  
11 default:  
12     // maybe invalid state  
13     ...  
14 }
```

- 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 Zustandsmaschinen

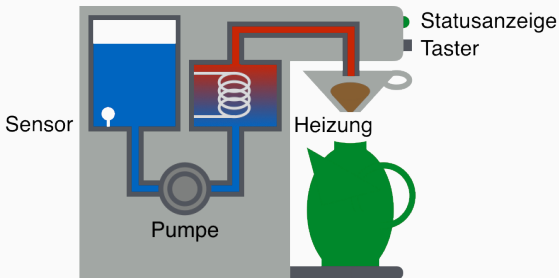
- Alle Zustandsübergänge werden durch Interrupts getriggert
 - BUTTON0 und BUTTON1 für Interrupts konfigurieren
 - ⇒ Welche Flanke soll Interrupts auslösen?
 - TIMER0 konfigurieren (Einheit: 1 Sekunde)
- keine Verwendung des Timer Moduls der libspicboard für die Abgabe
 - ⇒ Zum debuggen aber u.U. praktisch

Hands-on: Kaffeemaschine



■ Lernziele:

- Zustandsmaschine
- Interrupts & Schlafenlegen
- Timer bzw. Alarm



■ 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

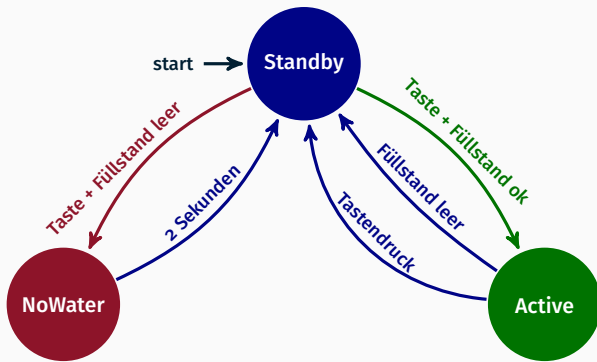
- Kaffeemaschine ist aus
- Pumpe und Heizung aus
- Startmodus
- Benutzer kann Kaffeezubereitung durch Tastendruck starten

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
- Zeitdauer: 2 Sekunden



■ Hinweise:

- Tastendruck & Füllstandsänderung durch Interrupts
- Statusanzeige: `void setLEDState(km_state 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