

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Sommersemester 2019

Übung 6

Benedict Herzog
Bernhard Heinloth

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



FRIEDRICH-ALEXANDER
UNIVERSITÄT
ERLANGEN-NÜRNBERG
TECHNISCHE FAKULTÄT

Vorstellung Aufgabe 3

AVR Timer

Timer: Motivation



- 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: $TIMER\{1, 2, 4\}$

Timer: Konfiguration (Timertakt)



- **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 }
    
```

3



■ 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 (...)

4



■ 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 (...)

4



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 }
```

4



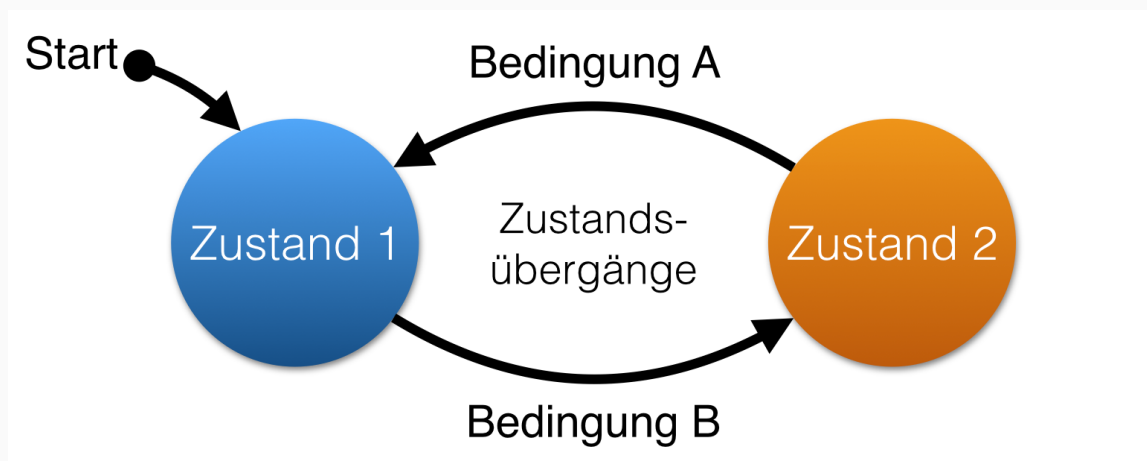
- Zur Erinnerung: $\text{prescaler} \in \{1, 8, 64, 256, 1024\}$
 - **Beispiel:**
 - 16-bit Timer mit Überlaufinterrupt
 - CPU Frequenz: 1 MHz
 - $\text{prescaler}: 64$
 - alle $\frac{64}{1 \text{ MHz}} = 64 \mu\text{s}$ wird der Zähler erhöht
 - alle $\frac{64 \cdot 2^{16}}{1 \text{ MHz}} = \frac{64 \cdot 65536}{1 \text{ MHz}} = 4.2 \text{ s}$ 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

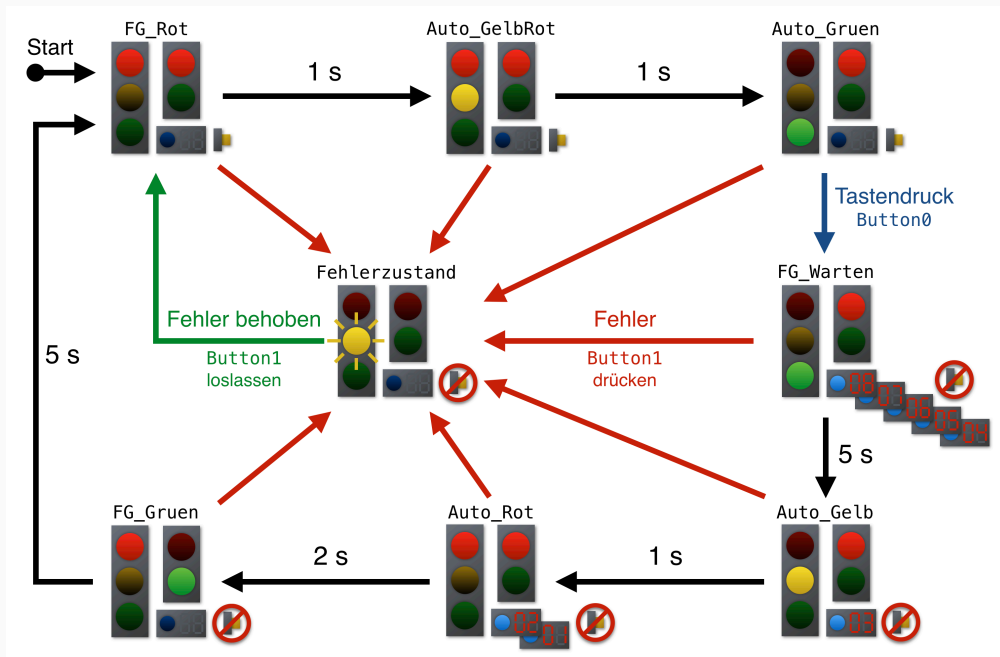
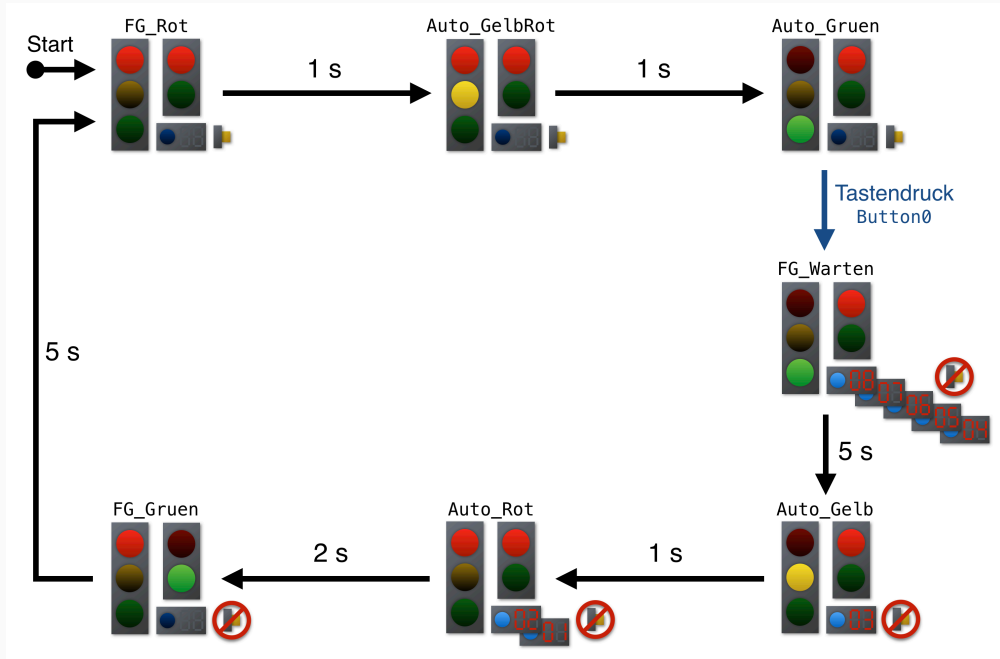
6

Zustandsmaschinen



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

7





- 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;
```

10

Zustandsabfragen: switch-case-Anweisung



```
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 }
```

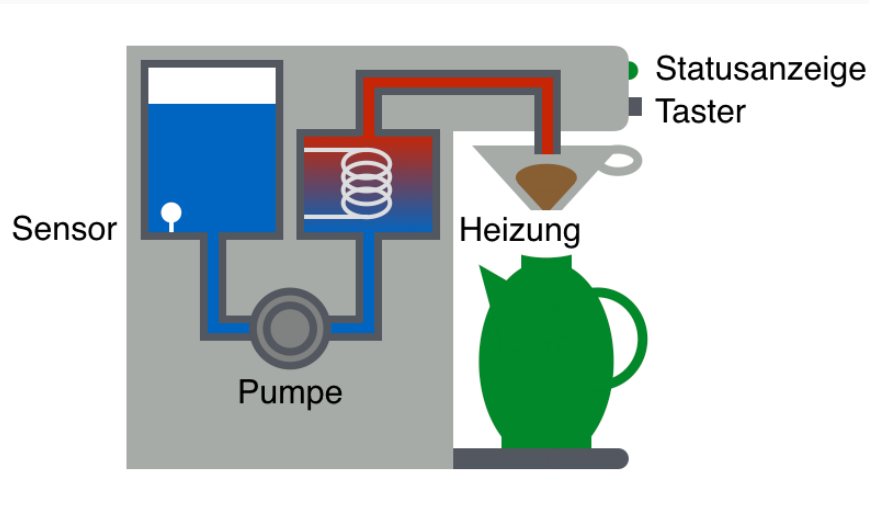
- Vermeidung von if-else-Kaskaden
- switch-Ausdruck muss eine Zahl sein (besser ein enum-Typ)
- break-Anweisung nicht vergessen!
- Ideal für Abarbeitung von Systemen mit versch. Zuständen
⇒ Implementierung von Zustandsmaschinen

11



- 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

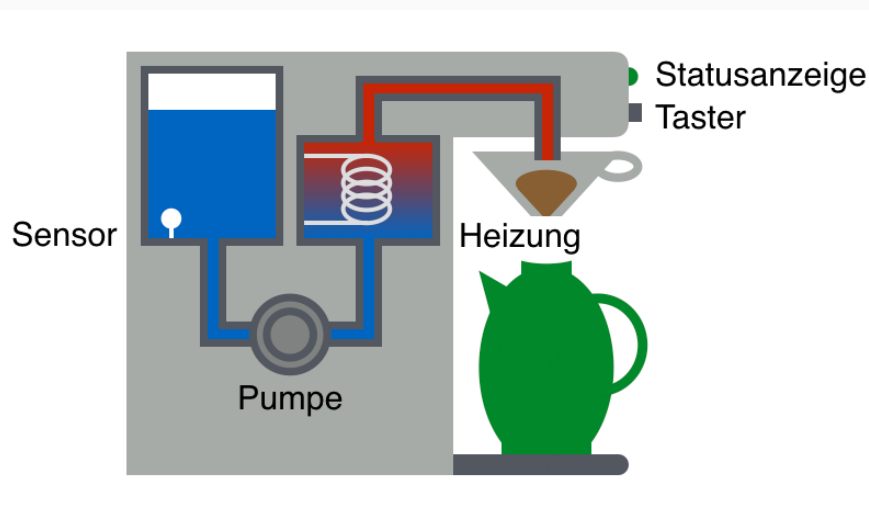
Hands-on: Kaffeemaschine



■ Lernziele:

- Zustandsmaschine
- Interrupts & Schlafenlegen
- Timer bzw. Alarm

13



■ 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**

13

STANDBY

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

ACTIVE

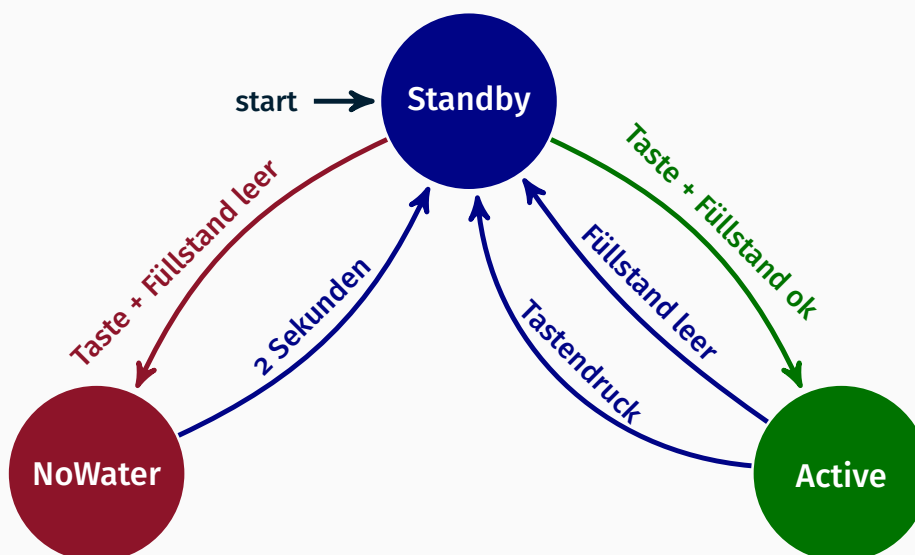
- Kaffeemaschine ist an
- Pumpe und Heizung sind an
- Wassertank ist nicht leer
- Benutzer kann Kaffeezubereitung durch Tastendruck beenden

NO_WATER

- Kaffeemaschine zeigt an, dass sie nicht genügend Wasser hat
- Zeitdauer: 2 Sekunden

14

Hands-on: Kaffeemaschine (2)



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

15



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