

Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC) – Sommersemester 2022

Übung 6

Tim Rheinfels
Phillip Raffeck
Maximilian Ott

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme



Vorstellung Aufgabe 3

Timer: Motivation



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)

■ 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

```

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

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 static void init(void) {
06     // Überlaufunterbrechung aktivieren
07     TIMSK0 |= (1 << TOIE0);
08
09     // [...]
10 }
    
```

4

4

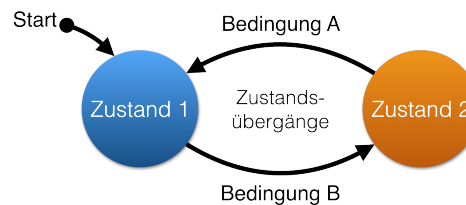
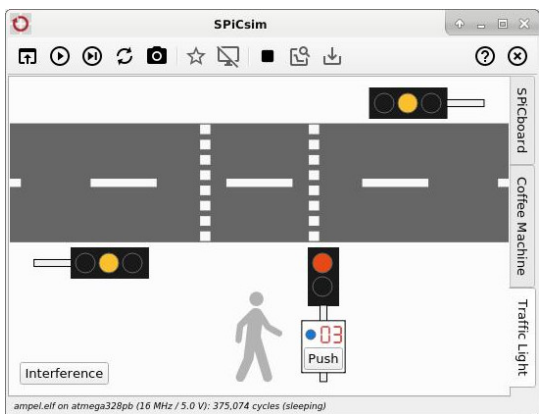


- Zur Erinnerung: $prescaler \in \{1, 8, 64, 256, 1024\}$

Beispiel:

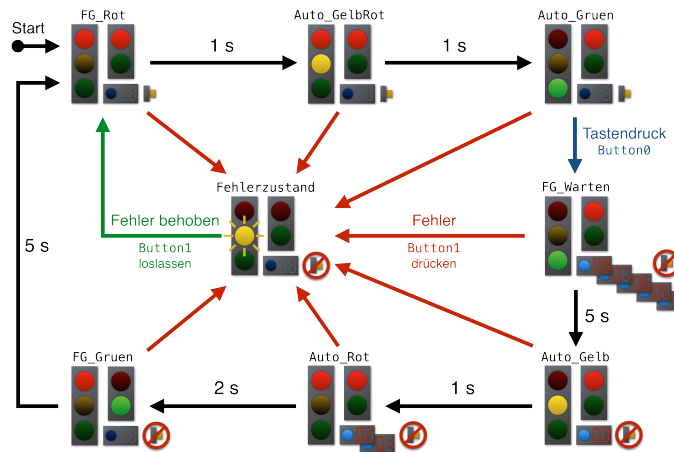
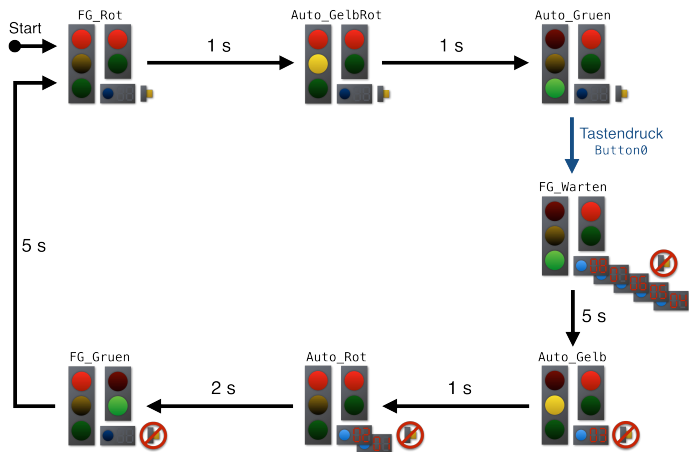
- 8-bit Timer mit Überlaufinterrupt
 - CPU Frequenz: 16 MHz (ATmega328PB)
 - Ziel: Mit Periode 1 s zählen
- ⇒ Welcher prescaler ist am ressourcenschonendsten?
- ⇒ Wie viele Überlaufinterrupts bis 1 s vergangen ist?
- ⇒ Welcher Fehler entsteht?

Aufgabe: Ampel



- Implementierung einer (Fußgänger-)Ampel mit Wartezeitanzeige

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





- 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



```
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

11



- 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 libpicboard für die Abgabe
⇒ Zum debuggen aber u.U. praktisch

- Hinweise
 - Ablauf (exakt) 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

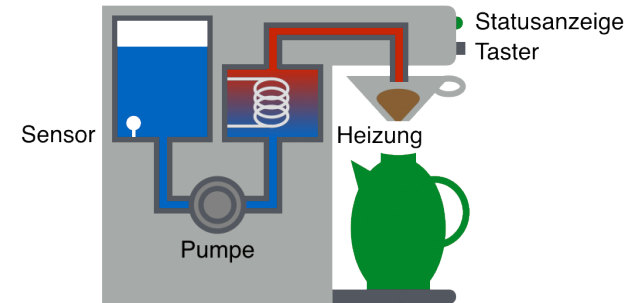
12

13



Hands-on: Kaffeemaschine

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



■ Lernziele:

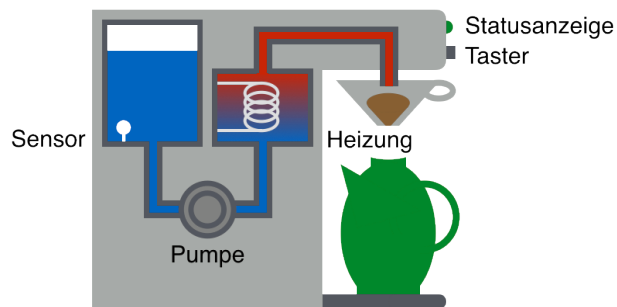
- Zustandsautomaten
- Timer bzw. Alarm
- Interrupts & Schlafenlegen

15

Hands-on: Kaffeemaschine (1)



Hands-on: Kaffeemaschine (2)



■ 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**

15

STANDBY

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

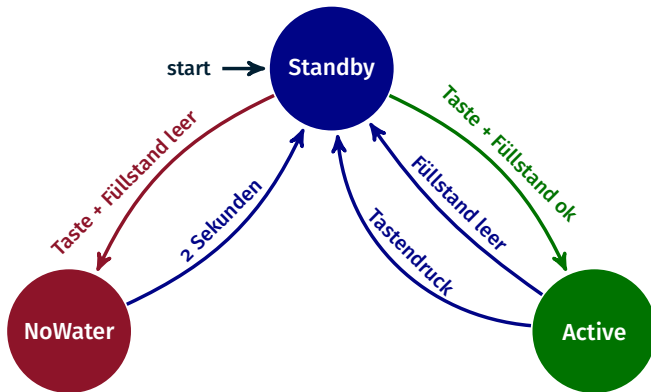
ACTIVE

- 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

16



■ Hinweise:

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

17



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

- Bit *i* = 1 → Pin *i* als Ausgang verwenden
- Bit *i* = 0 → Pin *i* als Eingang verwenden

PORT_x Auswirkung **abhängig von DDR_x**:

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

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

18



- 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 INT_n definiert

19