Übungen zu Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

Sebastian Maier
(Lehrstuhl Informatik 4)

Übung 4

Wintersemester 2016/2017

Inhalt

Wiederholung: Synchronisation

Wiederholung: Stromsparmodi

Aufgabe 4: Ampel

Hands-on: Zeiger, Felder, Strukturen & Zeichenfolgen

Inhalt

Schlüsselwort volatile

- Bei einem Interrupt wird `event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `event != 0`
- Der Compiler erkennt, dass `event` innerhalb der Warteschleife nicht verändert wird

⇒ der Wert von event wird nur einmal vor der Warteschleife aus dem Speicher in ein Prozessorregister geladen

⇒ Endlosschleife

```
1  static uint8_t event = 0;
2  ISR (INT0_vect) { event = 1; }
3
4  void main(void) {
5      while(1) {
6          while(event == 0) { /* warte auf Event */ }
7          /* bearbeite Event */
```

Schlüsselwort volatile

- Bei einem Interrupt wird `event = 1` gesetzt
- Aktive Warteschleife wartet, bis `event != 0`
- Der Compiler erkennt, dass `event` innerhalb der Warteschleife nicht verändert wird

  ⇒ der Wert von event wird nur einmal vor der Warteschleife aus dem Speicher in ein Prozessorregister geladen

  ⇒ Endlosschleife

- `volatile` erzwingt das Laden bei jedem Lesezugriff

```
1  volatile static uint8_t event = 0;
2  ISR (INT0_vect) { event = 1; }
3
4  void main(void) {
5      while(1) {
6          while(event == 0) { /* warte auf Event */ }
7          /* bearbeite Event */
```

Verwendung von volatile

- Fehlendes `volatile` kann zu unerwartetem Programmablauf führen
- Unnötige Verwendung von `volatile` unterbindet Optimierungen des Compilers
- Korrekte Verwendung von `volatile` ist Aufgabe des Programmierers!

⇝ Verwendung von `volatile` so selten wie möglich, aber so oft wie nötig

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3	5	5	-

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3	5	5	-
4	5	4	-

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3	5	5	-
4	5	4	-
8	5	4	5

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3	5	5	-
4	5	4	-
8	5	4	5
9	5	4	6

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3	5	5	-
4	5	4	-
8	5	4	5
9	5	4	6
10	6	4	6

Lost Update

- Tastendruckzähler: Zählt noch zu bearbeitende Tastendrücke
  - Inkrementierung in der Unterbrechungsbehandlung
  - Dekrementierung im Hauptprogramm zum Start der Verarbeitung

Hauptprogramm

```
1  ; volatile uint8_t zaehler;
2  ; C-Anweisung: zaehler--;
3  lds r24, zaehler
4  dec r24
5  sts zaehler, r24
```

Interruptbehandlung

```
7  ; C-Anweisung: zaehler++
8  lds r25, zaehler
9  inc r25
10 sts zaehler, r25
```

Zeile	zaehler	r24	r25
-	5		
3	5	5	-
4	5	4	-
8	5	4	5
9	5	4	6
10	6	4	6
5	4	4	-

16-Bit-Zugriffe (Read-Write)

- Nebenläufige Nutzung von 16-Bit-Werten (Read-Write)

Hauptprogramm

```
1  volatile uint16_t zaehler;
2
3  ; C-Anweisung: z=zaehler;
4  lds r22, zaehler
5  lds r23, zaehler+1
6  ; Verwendung von z
```

Interruptbehandlung

```
8  ; C-Anweisung: zaehler++
9  lds r24, zaehler
10 lds r25, zaehler+1
11 adiw r24,1
12 sts zaehler+1, r25
13 sts zaehler, r24
```

Zeile	zaehler	zaehler (in r22 & r23)
-	0x00ff	

16-Bit-Zugriffe (Read-Write)

- Nebenläufige Nutzung von 16-Bit-Werten (Read-Write)

Hauptprogramm

```
1  volatile uint16_t zaehler;
2
3  ; C-Anweisung: z=zaehler;
4  lds r22, zaehler
5  lds r23, zaehler+1
6  ; Verwendung von z
```

Interruptbehandlung

```
8  ; C-Anweisung: zaehler++
9  lds r24, zaehler
10 lds r25, zaehler+1
11 adiw r24,1
12 sts zaehler+1, r25
13 sts zaehler, r24
```

Zeile	zaehler	zaehler (in r22 & r23)
-	0x00ff	
4	0x00ff	0x??ff

16-Bit-Zugriffe (Read-Write)

- Nebenläufige Nutzung von 16-Bit-Werten (Read-Write)

Hauptprogramm

```
1  volatile uint16_t zaehler;
2
3  ; C-Anweisung: z=zaehler;
4  lds r22, zaehler
5  lds r23, zaehler+1
6  ; Verwendung von z
```

Interruptbehandlung

```
8  ; C-Anweisung: zaehler++
9  lds r24, zaehler
10 lds r25, zaehler+1
11 adiw r24,1
12 sts zaehler+1, r25
13 sts zaehler, r24
```

Zeile	zaehler	zaehler (in r22 & r23)
-	0x00ff	
4	0x00ff	0x??ff
9 - 13	0x0100	0x??ff

16-Bit-Zugriffe (Read-Write)

- Nebenläufige Nutzung von 16-Bit-Werten (Read-Write)

Hauptprogramm

```
1  volatile uint16_t zaehler;
2
3  ; C-Anweisung: z=zaehler;
4  lds r22, zaehler
5  lds r23, zaehler+1
6  ; Verwendung von z
```

Interruptbehandlung

```
8  ; C-Anweisung: zaehler++
9  lds r24, zaehler
10 lds r25, zaehler+1
11 adiw r24,1
12 sts zaehler+1, r25
13 sts zaehler, r24
```

Zeile	zaehler	zaehler (in r22 & r23)
-	0x00ff	
4	0x00ff	0x??ff
9 - 13	0x0100	0x??ff
5 - 6	0x0100	0x01ff

⇒ Abweichung um 255 !

Sperren der Unterbrechungsbehandlung beim AVR

- Viele weitere Nebenläufigkeitsprobleme möglich
  - Nicht-atomare Modifikation von gemeinsamen Daten kann zu Inkonsistenzen führen
  - Problemanalyse durch den Anwendungsprogrammierer
  - Auswahl geeigneter Synchronisationsprimitive
- Lösung hier: Einseitiger Ausschluss durch Sperren der Interrupts
  - Sperrung aller Interrupts (`cli()`, `sei()`)
  - Maskieren einzelner Interrupts (`GICR`-Register)
- Problem: Interrupts während der Sperrung gehen evtl. verloren
  - Kritische Abschnitte sollten so kurz wie möglich gehalten werden

Inhalt

Stromsparmodi von AVR-Prozessoren

- AVR-basierte Geräte oft batteriebetrieben (z.B. Fernbedienung)
- Energiesparen kann die Lebensdauer drastisch erhöhen
- AVR-Prozessoren unterstützen unterschiedliche Powersave-Modi
  - Deaktivierung funktionaler Einheiten
  - Unterschiede in der "Tiefe" des Schlafes
  - Nur aktive funktionale Einheiten können die CPU aufwecken
- Standard-Modus: Idle
  - CPU-Takt wird angehalten
  - Keine Zugriffe auf den Speicher
  - Hardware (Timer, externe Interrupts, ADC, etc.) sind weiter aktiv
- Dokumentation im ATmega32-Datenblatt, S. 33-37

Nutzung der Sleep-Modi

- Unterstützung aus der avr-libc: (`#include <avr/sleep.h>`)
  - `sleep_enable()` - aktiviert den Sleep-Modus
  - `sleep_cpu()` - setzt das Gerät in den Sleep-Modus
  - `sleep_disable()` - deaktiviert den Sleep-Modus
  - `set_sleep_mode(uint8_t mode)` - stellt den zu verwendenden Modus ein
- Dokumentation von `avr/sleep.h` in avr-libc-Dokumentation
  - verlinkt im Doku-Bereich auf der SPiC-Webseite
- Beispiel

```
1 #include <avr/sleep.h>
2 set_sleep_mode(SLEEP_MODE_IDLE); /* Idle-Modus verwenden */
3 sleep_enable();  /* Sleep-Modus aktivieren */
4 sleep_cpu();     /* Sleep-Modus betreten */
5 sleep_disable(); /* Empfohlen: Sleep-Modus danach deaktivieren */
```

Lost Wakeup

- Dornröschenschlaf

⇒ **Problem:** Es kommt genau ein Interrupt

Hauptprogramm

```
1  sleep_enable();
2  event = 0;
3
4  while( !event ) {
5
6      sleep_cpu();
7
8  }
9
10 sleep_disable();
```

Interruptbehandlung

```
11 ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
12     event = 1;
13 }
```

Lost Wakeup

- Dornröschenschlaf

⇒ **Problem:** Es kommt genau ein Interrupt

Hauptprogramm

```
1  sleep_enable();
2  event = 0;
3
4  while( !event ) {
5          ↯ Interrupt ↯
6      sleep_cpu();
7
8  }
9
10 sleep_disable();
```

Interruptbehandlung

```
11 ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
12     event = 1;
13 }
```

Lost Wakeup

- Dornröschenschlaf

⇒ **Problem:** Es kommt genau ein Interrupt

⇒ **Lösung:** Interrupts während des kritischen Abschnitts sperren

Hauptprogramm

```
1  sleep_enable();
2  event = 0;
3  cli();
4  while( !event ) {
5      sei();
6      sleep_cpu();
7      cli();
8  }
9  sei();
10 sleep_disable();
```

Interruptbehandlung

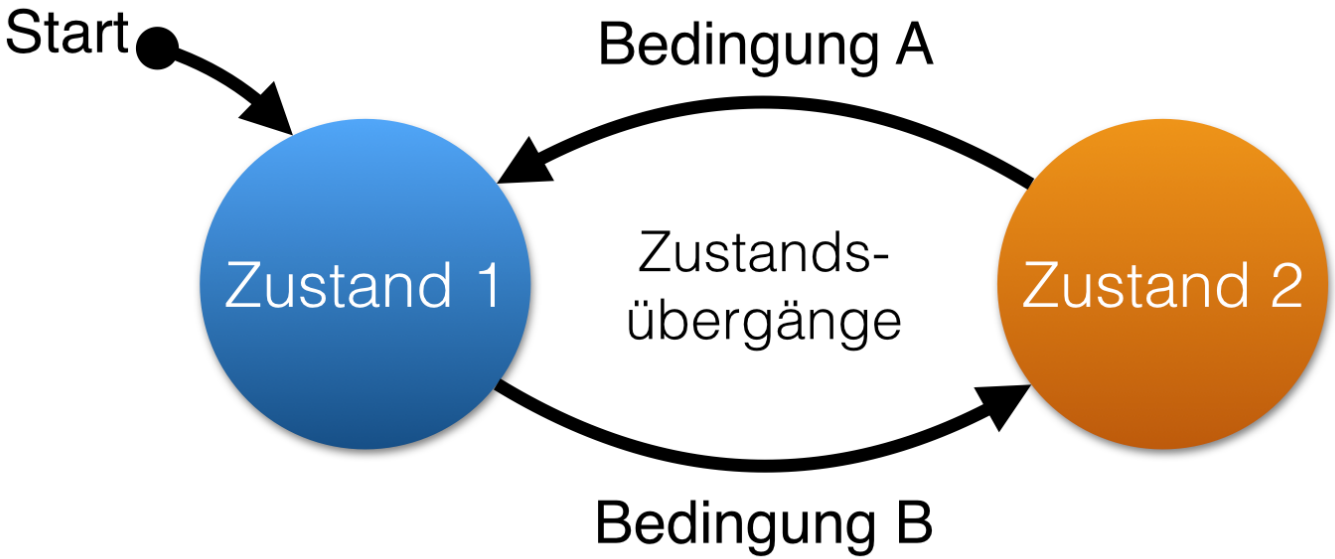
```
11 ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
12     event = 1;
13 }
```

Inhalt

Aufgabe 4: Ampel

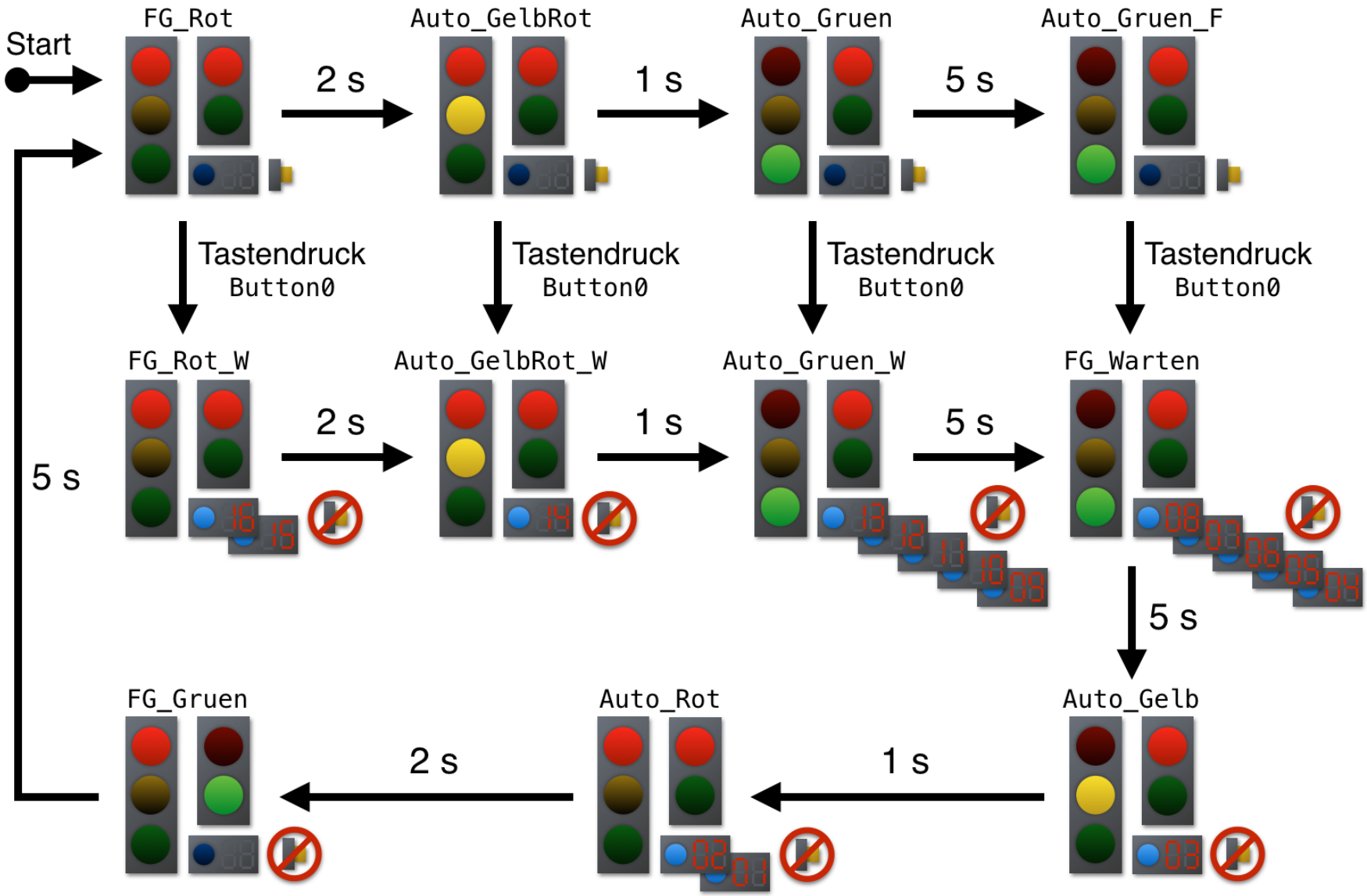
- Implementierung einer (Fußgänger-)Ampel mit Wartezeitanzeige
- Ablauf (exakt) nach Aufgabenbeschreibung (Musterlösung verfügbar)
- Hinweise
  - Tastendrücke und Alarme als Events (kein aktives Warten)
  - In Sleep-Modus wechseln, wenn keine Events zu bearbeiten sind
  - nur eine Stelle zum Warten auf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

Zustandsmaschinen



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

Ampel als Zustandsmaschine



Festlegen von Zuständen: enum-Typen

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

```
1 enum state { STATE_RED, STATE_YELLOW, STATE_GREEN };
2
3 enum state my_state = STATE_RED;
```

- Mit `typedef` noch lesbarer:

```
1 typedef enum { STATE_RED, STATE_YELLOW, STATE_GREEN } state;
2
3 state my_state = STATE_RED;
```

Zustandsabfragen: switch-case-Anweisung

```
1  switch ( my_state ) {
2  case STATE_RED:
3    ...
4    break;
5  case STATE_YELLOW:
6    ...
7    break;
8  case STATE_GREEN:
9    ...
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 die Abarbeitung von Systemen mit verschiedenen Zuständen

⇒ Implementierung von Zustandsmaschinen

Inhalt

Hands-on: Laufschrift

- Funktionsweise:
  Schrittweises Anzeigen eines Textes auf der 7-Segment-Anzeige
- Lernziele:
  - Zeiger & Zeigerarithmetik
  - Zeichenfolgen in C
- Vorgehen:
  - Aktivieren eines wiederkehrenden Alarms (`sb_timer_setAlarm()`)
  - Zusammensetzen des aktuellen Teilstrings
  - Ausgabe über 7-Segment-Anzeige
  - In Wartephasen Mikrocontroller in den Energiesparmodus versetzen

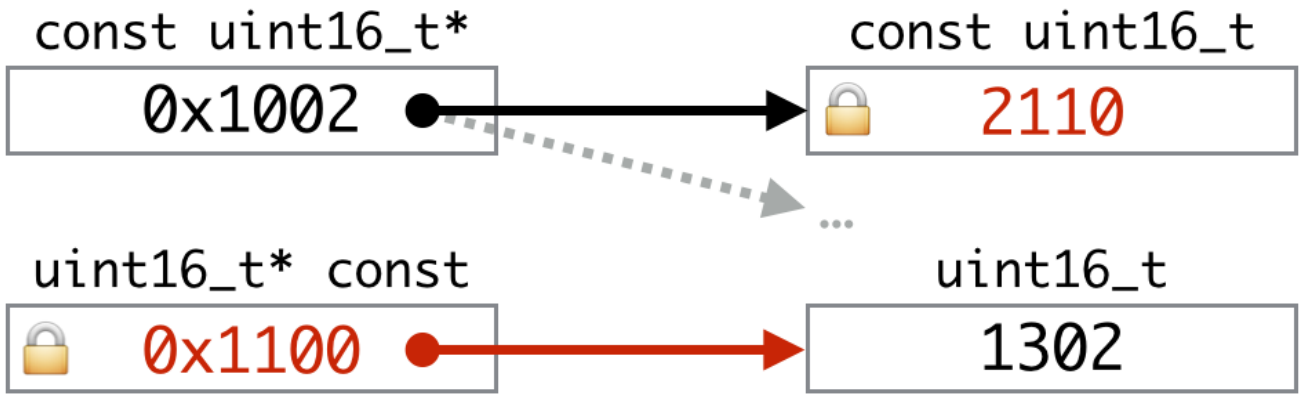
Umgang mit Strings

- Repräsentation von Strings
  - Zeiger auf erstes Zeichen der Zeichenfolge
  - null-terminiert: Null-Zeichen kennzeichnet Ende

⇒ `strlen(s) !=` Speicherbedarf

const uint8_t* vs. uint8_t* const

- `const uint8_t*`
  - ein Pointer auf einen `uint8_t`-**Wert**, der konstant ist
  - Wert nicht über den Pointer veränderbar
- `uint8_t* const`
  - ein **konstanter Pointer** auf einen (beliebigen) `uint8_t`-Wert
  - Pointer darf nicht mehr auf eine andere Speicheradresse zeigen



Hands-on: Strukturen, Felder & Zeiger

- `struct` für GPS-Koordinaten
- Feld von GPS-Koordinaten
- Call-by-Value vs. Call-by-Reference
- Zeigerarithmetik
- Funktionszeiger