

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

---

## Übung 3

Benedict Herzog  
Bernhard Heinloth

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



Lehrstuhl für Verteilte Systeme  
und Betriebssysteme



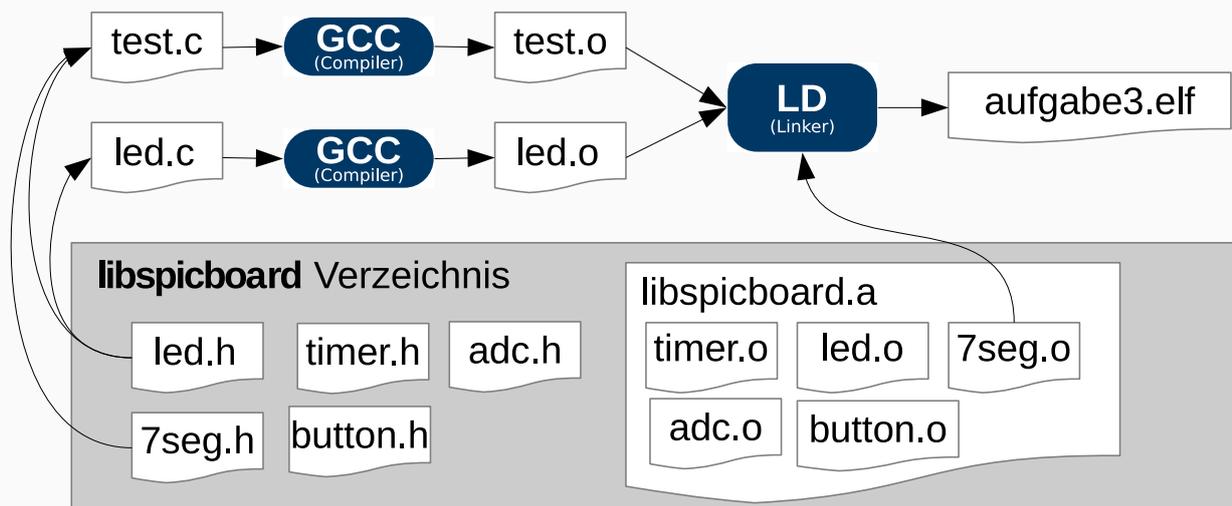
FRIEDRICH-ALEXANDER  
UNIVERSITÄT  
ERLANGEN-NÜRNBERG  
TECHNISCHE FAKULTÄT

## Vorstellung Aufgabe 1

---

# Module

## Ablauf vom Quellcode zum laufenden Programm



1. Präprozessor
2. Compiler
3. Linker
4. Programmer/Flasher



- Header Dateien enthalten die Schnittstelle eines Moduls
  - Funktionsdeklarationen
  - Präprozessormakros
  - Typdefinitionen
- Header Dateien können u.U. mehrmals eingebunden werden
  - `led.h` bindet `avr/io.h` ein
  - `button.h` bindet `avr/io.h` ein
  - ↳ Funktionen aus `avr/io.h` mehrmals deklariert
- Mehrfachinkludierung/Zyklen vermeiden ↳ **Include-Guards**
  - Definition und Abfrage eines Präprozessormakros
  - Konvention: Makro hat den Namen der `.h`-Datei, `'` ersetzt durch `'_'`
  - z.B. für `button.h` ↳ `BUTTON_H`
  - Inhalt nur einbinden, wenn das Makro noch nicht definiert ist
- **Vorsicht:** flacher Namensraum ↳ möglichst eindeutige Namen

2



- Erstellen einer `.h`-Datei (Konvention: gleicher Name wie `.c`-Datei)

```
01 #ifndef COM_H
02 #define COM_H
03 /* fixed-width Datentypen einbinden (im Header verwendet) */
04 #include <stdint.h>
05
06 /* Datentypen */
07 typedef enum {
08     ERROR_NO_STOP_BIT, ERROR_PARITY,
09     ERROR_BUFFER_FULL, ERROR_INVALID_POINTER
10 } COM_ERROR_STATUS;
11
12 /* Funktionen */
13 void sb_com_sendByte(uint8_t data);
14 [...]
15 #endif //COM_H
```

3



- Module müssen Initialisierung durchführen
  - zum Beispiel Portkonfiguration
  - **Java:** mit Klassenkonstruktoren möglich
  - **C:** kennt kein solches Konzept
- *Workaround:* Modul muss bei erstem Aufruf einer seiner Funktionen ggf. die Initialisierung durchführen
  - muss sich merken, ob die Initialisierung schon erfolgt ist
  - Mehrfachinitialisierung vermeiden
- Anlegen einer Init-Variable
  - Aufruf der Init-Funktion bei jedem Funktionsaufruf
  - Init-Variable anfangs 0
  - Nach der Initialisierung auf 1 setzen

4



- `initDone` ist initial 0
  - wird nach der Initialisierung auf 1 gesetzt
- Initialisierung wird nur ein mal durchgeführt

```
01 static void init(void){
02     static uint8_t initDone = 0;
03     if (initDone == 0) {
04         initDone = 1;
05         ...
06     }
07 }
08
09 void mod_func(void) {
10     init();
11     ...
```

5

# Ein- & Ausgabe über Pins

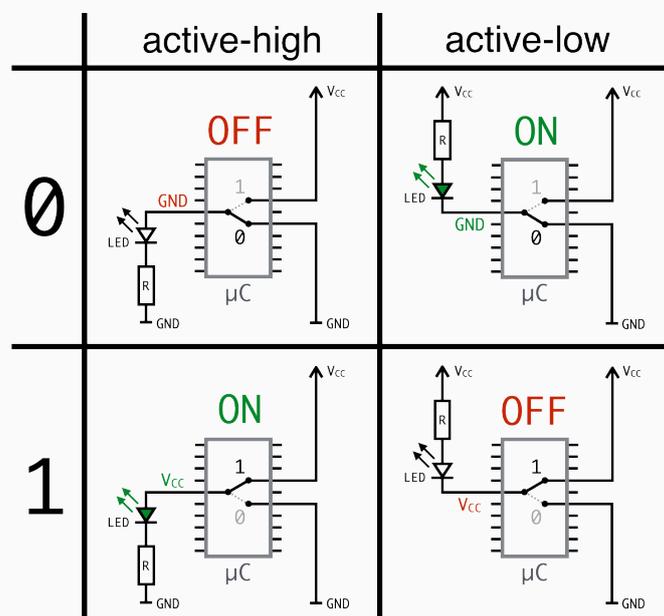
## Ausgang: active-high & active-low



Ausgang je nach Beschaltung:

**active-high** high-Pegel (logisch 1;  $V_{CC}$  am Pin) → LED leuchtet

**active-low** low-Pegel (logisch 0;  $GND$  am Pin) → LED leuchtet

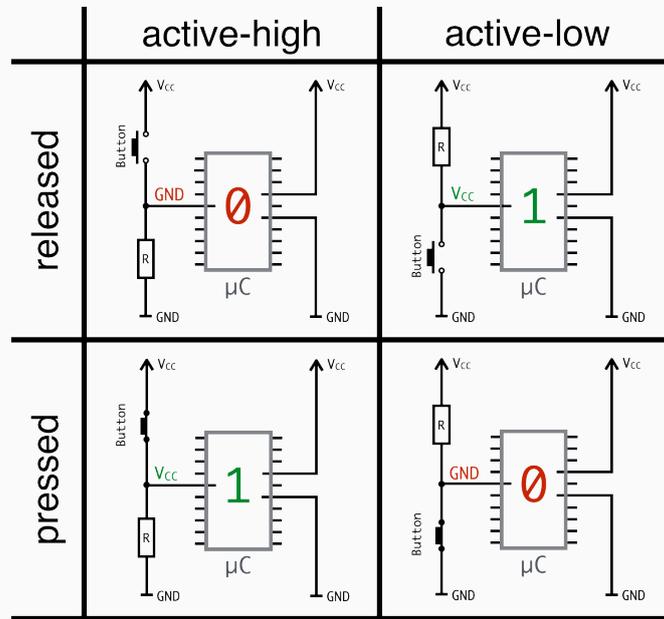


Eingang je nach Beschaltung:

**active-high** Button gedrückt → high-Pegel (logisch 1;  $V_{CC}$  am Pin)

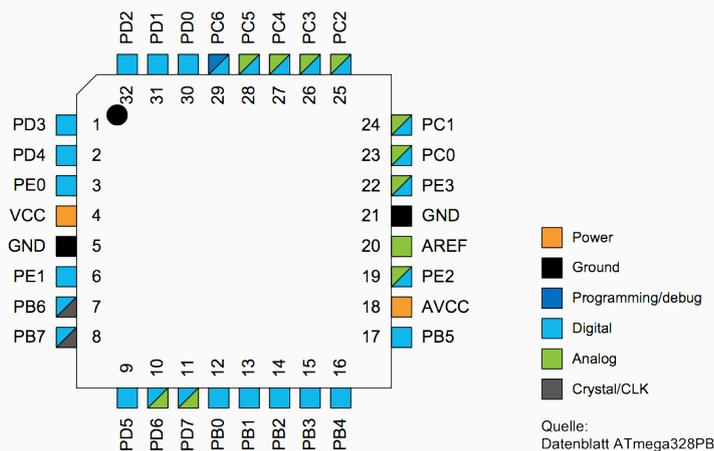
**active-low** Button gedrückt → low-Pegel (logisch 0;  $GND$  am Pin)

interner pull-up-Widerstand (im ATmega328PB) konfigurierbar



7

## Konfiguration der Pins



- jeder I/O-Port des AVR- $\mu C$  wird durch drei 8-bit Register gesteuert:
  - Datenrichtungsregister (DDRx = data direction register)
  - Datenregister (PORTx = port output register)
  - Port Eingabe Register (PINx = port input register, nur-lesbar)
- jedem Anschluss-Pin ist ein Bit in jedem der 3 Register zugeordnet

8



**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)

## Beispiel: Initialisierung eines Ports



- Pin 3 von Port C (PC3) als Ausgang konfigurieren und PC3 auf Vcc schalten:

```
01 DDRC |= (1 << PC3); /* =0x08; PC3 als Ausgang nutzen... */
02 PORTC |= (1 << PC3); /* ...und auf 1 (=high) setzen */
```

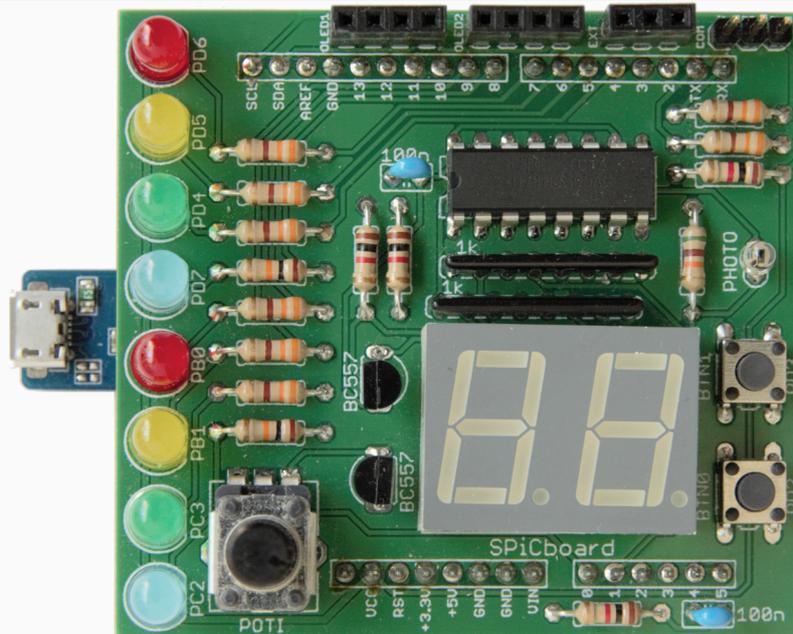
- Pin 2 von Port D (PD2) als Eingang nutzen, pull-up-Widerstand aktivieren und prüfen ob ein low-Pegel anliegt:

```
01 DDRD &= ~(1 << PD2); /* PD2 als Eingang nutzen... */
02 PORTD |= (1 << PD2); /* pull-up-Widerstand aktivieren */
03 if((PIND & (1 << PD2)) == 0){ /* den Zustand auslesen */
04     /* ein low Pegel liegt an, der Taster ist gedrückt */
05 }
```

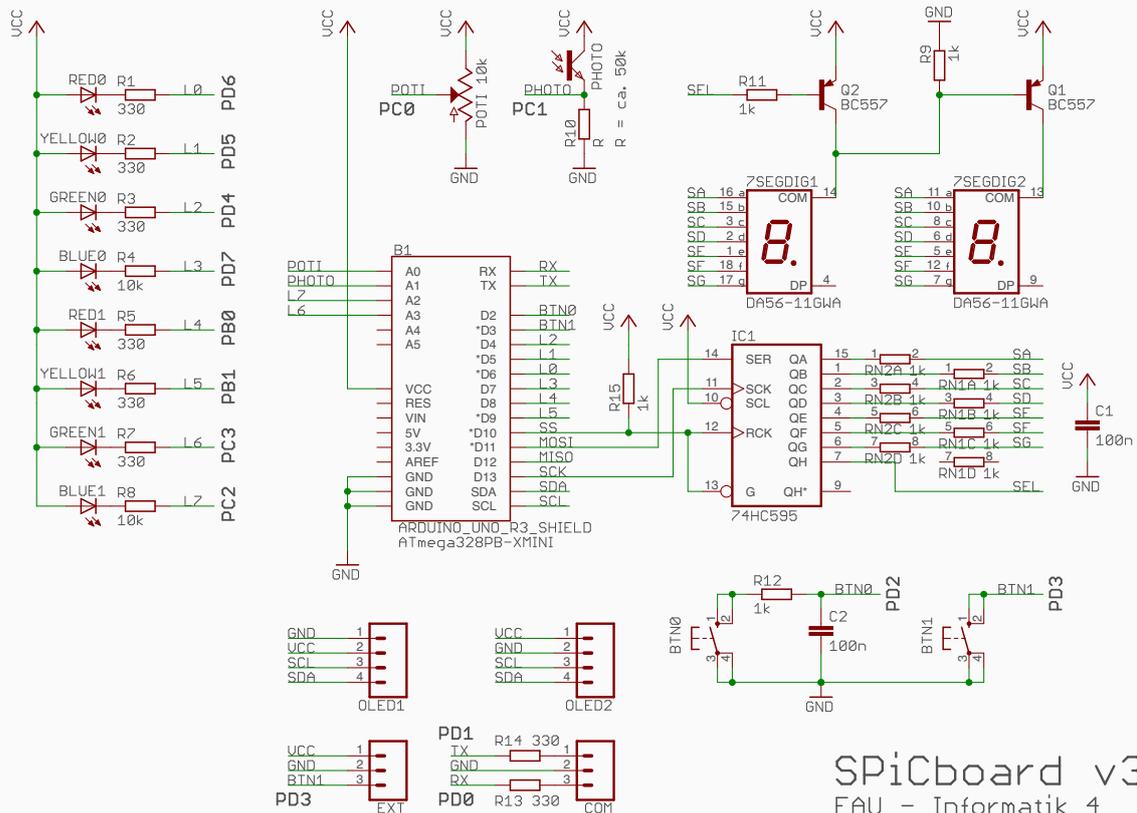
- Die Initialisierung der Hardware wird in der Regel einmalig zum Programmstart durchgeführt

# Aufgabe: LED-Modul

## LED-Modul – Übersicht



- LED 0 (REDO)  $\Rightarrow$  PD6  $\Rightarrow$  Port D, Pin 6  $\Rightarrow$  Bit 6 in PORTD und DDRD
- ...
- LED 7 (BLUE1)  $\Rightarrow$  PC2  $\Rightarrow$  Port C, Pin 2  $\Rightarrow$  Bit 2 in PORTC und DDRC



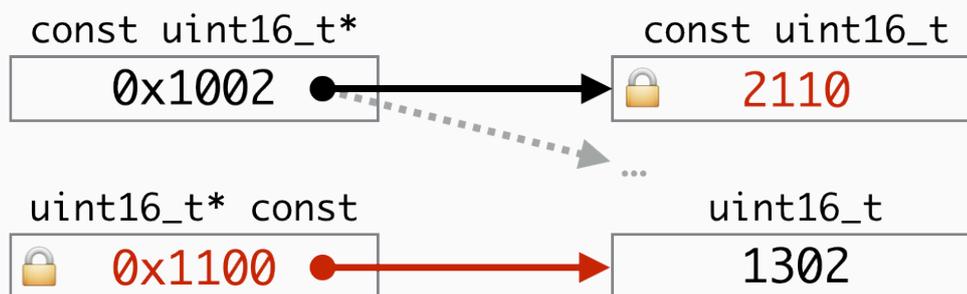
SPiCboard v3  
FAU – Informatik 4  
2017-04-20

## LED-Modul – Aufgabe

- LED-Modul der SPiCboard-Bibliothek selbst implementieren
  - Gleiches Verhalten wie das Original
  - Beschreibung:  
[http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V\\_SPIC/SPiCboard/group\\_LED.shtml](http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS19/V_SPIC/SPiCboard/group_LED.shtml)
- Testen des Moduls
  - Eigenes Modul mit einem Testprogramm (test-led.c) linken
  - Andere Teile der Bibliothek können für den Test benutzt werden
- LEDs des SPiCboards
  - Anschlüsse und Namen der einzelnen LEDs können dem Übersichtsbildchen entnommen werden
  - Alle LEDs sind **active-low**, d.h. leuchten wenn ein low-Pegel auf dem Pin angelegt wird
  - PD6 = Port D, Pin 6



- `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



14

## Port- und Pin-Array



- Port und Pin Definitionen (in `avr/io.h`)

```
01 #define PORTD (* (volatile uint8_t*)0x2B)
02 ...
03 #define PD0      0
04 ...
```

- Adressoperator: `&`
- Dereferenzierungsoperator: `*`
- Port Array:

```
01 static volatile uint8_t * const ports[] = { &PORTD,
02                                           ...,
03                                           &PORTC };
```

- Pin Array:

```
01 static uint8_t const pins[] = { PD6, ..., PC2 };
```

15



- Projekt wie gehabt anlegen
  - Initiale Quelldatei: test-led.c
  - Dann weitere Quelldatei led.c hinzufügen
- Wenn nun übersetzt wird, werden die Funktionen aus dem eigenen LED-Modul verwendet
- Andere Teile der Bibliothek werden nach Bedarf hinzugebunden
- Temporäres Deaktivieren zum Test der Originalfunktionen:

```
01 #if 0
02     ....
03 #endif
```

- Sieht der Compiler diese “Kommentare”?
- Wie kann der Code wieder einkommentiert werden?

16

## Testen des Moduls



```
01 void main(void){
02     ...
03     // 1.) Testen bei korrekter LED-ID
04     int8_t result = sb_led_on(RED0);
05     if(result != 0){
06         // Test fehlgeschlagen
07         // Ausgabe z.B. auf 7-Segment-Anzeige
08     }
09     // Einige Sekunden warten
10
11     // 2.) Testen bei ungueltiger LED-ID
12     ...
13 }
```

- Schnittstellenbeschreibung genau beachten (inkl. Rückgabewerte)
- Testen **aller möglichen Rückgabewerte**
- Fehler wenn Rückgabewert nicht der Spezifikation entspricht

17

# Hands-on: Module, Felder & Zeiger

---

## Hands-on: Module, Felder & Zeiger



- Statistikmodul und Testprogramm
- Funktionalität des Moduls (Schnittstelle):

```
01 // Schnittstelle
02 uint8_t avgArray(uint16_t *a, size_t s, uint16_t *avg);
03 uint8_t minArray(uint16_t *a, size_t s, uint16_t *min);
04 uint8_t maxArray(uint16_t *a, size_t s, uint16_t *max);
05
06 // interne Hilfsfunktionen
07 uint16_t getMin(uint16_t a, uint16_t b);
08 uint16_t getMax(uint16_t a, uint16_t b);
```

- Rückgabewert: 0: OK; 1: Fehler
  - 0: OK
  - 1: Fehler
- Vorgehen:
  - Header-Datei mit Modulschnittstelle (und Include-Guards)
  - Implementierung des Moduls (Sichtbarkeit beachten)
  - Testen des Moduls im Hauptprogramm (inkl. Fehlerfälle)