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

Übung 3

Tim Rheinfels
Phillip Raffeck
Maximilian Ott

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

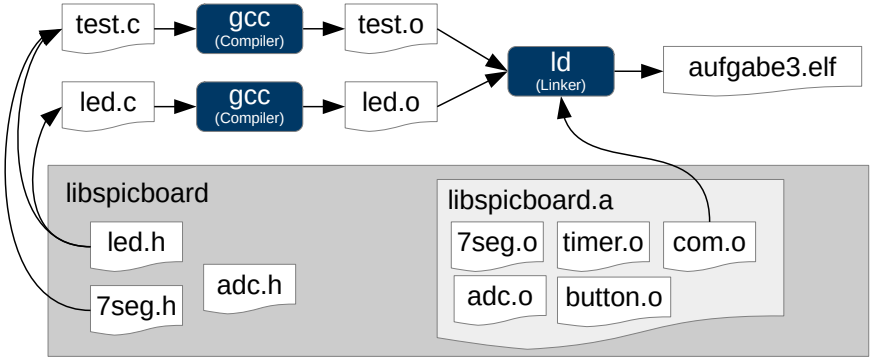
Lehrstuhl für Verteilte Systeme
und Betriebssysteme

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

Schnittstellenbeschreibung (1)

- Header Dateien enthalten die Schnittstelle eines Moduls
  - Funktionsdeklarationen
  - Präprozessormakros
  - Typdefinitionen
- Header Dateien können 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

Schnittstellenbeschreibung (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
```


Implementierung: Kapselung

- Interne Variablen und Hilfsfunktionen nicht Teil der Schnittstelle
- C besitzt einen flachen Namensraum
- Unvorhergesehen Zugriffe können Fehlverhalten auslösen

⇒ Kapselung: Sichtbarkeit & Lebensdauer einschränken

Implementierung: Sichtbarkeit & Lebensdauer (1)

Sichtbarkeit und Lebensdauer	**nicht `static`**	**`static`**
lokale Variable	Sichtbarkeit **Block** Lebensdauer **Block**	Sichtbarkeit **Block** Lebensdauer **Programm**
globale Variable	Sichtbarkeit **Programm** Lebensdauer **Programm**	Sichtbarkeit **Modul** Lebensdauer **Programm**
Funktion	Sichtbarkeit **Programm**	Sichtbarkeit **Modul**

- Lokale Variablen, die **nicht** `static` deklariert werden:

⇝ `auto` Variable (automatisch allokiert & freigegeben)

- Globale Variablen und Funktionen als `static`, wenn kein Export notwendig

Implementierung: Sichtbarkeit & Lebensdauer (2)

```c
static uint8_t state; // global static
uint8_t event_counter; // global

static void f(uint8_t a) {
  static uint8_t call_counter = 0; // local static
  uint8_t num_leds; // local (auto)
  /* ... */
}

void main(void) {
  /* ... */
}
```

- Sichtbarkeit & Lebensdauer möglichst weit **einschränken**

⇝ Wo möglich: `static` für globale Variablen und Funktionen

Implementierung: Initialisierung eines Moduls (1)

- 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

Implementierung: Initialisierung eines Moduls (2)

- `initDone` ist initial `0`
- Wird nach der Initialisierung auf 1 gesetzt

⇝ Initialisierung wird nur einmal durchgeführt

```c
static void init(void) {
    static uint8_t initDone = 0;
    if (initDone == 0) {
      initDone = 1;
      ...
    }
}

void mod_func(void) {
    init();
    ...
}
```


Ein- & Ausgabe über Pins

General Purpose Input/Output (GPIO)

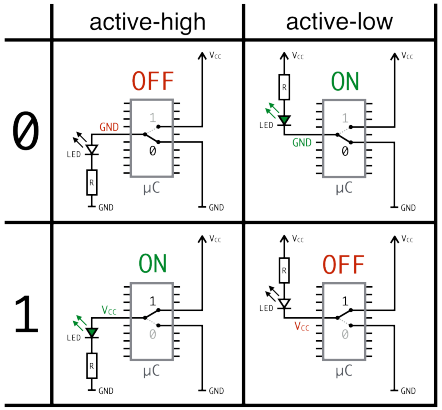
- Mikrocontroller interagieren mit der Außenwelt
- Neben definierten Protokollen auch beliebige (digitale) Signale
- Viele Pins können sowohl als Eingang als auch als Ausgang konfiguriert werden

⇝ General Purpose Input/Output (GPIO)

Ausgang: active-high & active-low

Ausgang je nach Beschaltung:

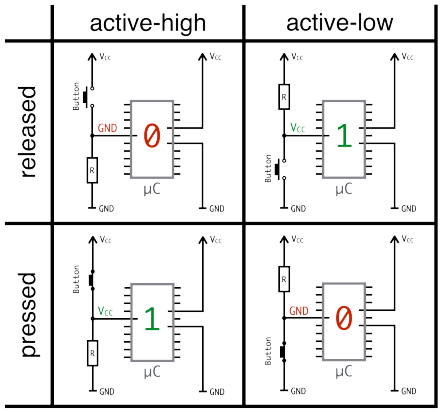
active-high: high-Pegel (logisch 1; V_{cc} am Pin) → LED leuchtet
active-low: low-Pegel (logisch 0; *GND* am Pin) → LED leuchtet



Eingang: active-high & active-low

Eingang je nach Beschaltung:

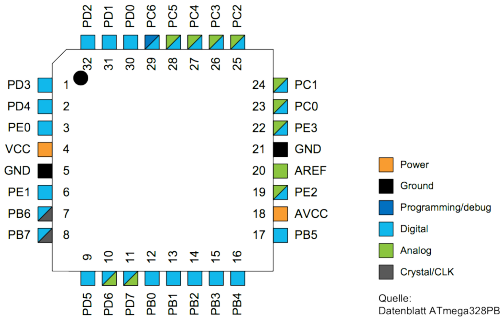
active-high: Button gedrückt → high-Pegel (logisch 1; V_{cc} am Pin)
active-low: Button gedrückt → low-Pegel (logisch 0; *GND* am Pin)



Eingänge sind hochohming, es muss ein definierter Pegel anliegen

⇝ Pull-down oder (interne) Pull-up Widerstände verwenden

Konfiguration der Pins



- Jeweils acht Pins am AVR sind zu einem I/O Port zusammengefasst
- Jeder I/O-Port des AVR wird durch drei 8-bit Register gesteuert:
  - `DDRx` Datenrichtungsregister (Data Direction Register)
  - `PORTx` Portausgaberegister (Port Output Register)
  - `PINx` Porteingaberegister (Port Input Register)
- Jedem Pin eines Ports ist jeweils ein Bit in den drei Register zugeordnet

I/O-Port-Register (1)

DDRx: Data Direction Register konfiguriert Pin `i` als Ein- oder Ausgang

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

Beispiel:

```
DDRC |= (1 << PC3);  // PC3 als Ausgang (Pin 3 an Port C)
DDRD &= ~(1 << PD2); // PD2 als Eingang (Pin 2 an Port D)
```


I/O-Port-Register (2)

PORTx: Port Output Register abhängig von DDRx Register

- Wenn **Ausgang**: Legt high- oder low-Pegel an Pin `i` an
  - `Bit i = 1` → high-Pegel an Pin `i`
  - `Bit i = 0` → low-Pegel an Pin `i`
- Wenn **Eingang**: Konfiguriert internen Pull-Up Widerstand an Pin `i`
  - `Bit i = 1` → aktiviert Pull-Up Widerstand für Pin `i`
  - `Bit i = 0` → deaktiviert Pull-Up Widerstand für Pin `i`

Beispiel:

```
PORTC |= (1 << PC3);  // Zieht PC3 auf high (LED aus)
PORTC &= ~(1 << PC3); // Zieht PC3 auf low (LED an)

PORTD |= (1 << PD2);  // Aktiviert internen Pull-Up für PD2
PORTD &= ~(1 << PD2); // Deaktiviert internen Pull-Up für PD2
```


I/O-Port-Register (3)

PINx: Port Input Register (nur lesbar) aktuellen Wert von Pin `i`

- Wenn **Eingang**: Abrufen was von extern anliegt
- Wenn **Ausgang**: Abrufen ob high oder low ausgegeben wird

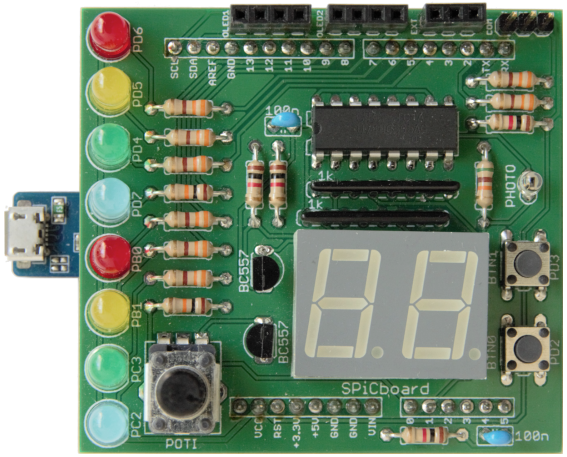
Beispiel:

```
if((PIND & (1 << PD2)) == 0) { // Testen ob Pin PD2 low ist
  // low-Pegel --> Button ist gedrückt
  [...]
}

if((PIND & (1 << PD2)) != 0) { // Testen ob Pin PD2 high ist
  // high-Pegel --> Button ist nicht gedrückt
  [...]
}
```

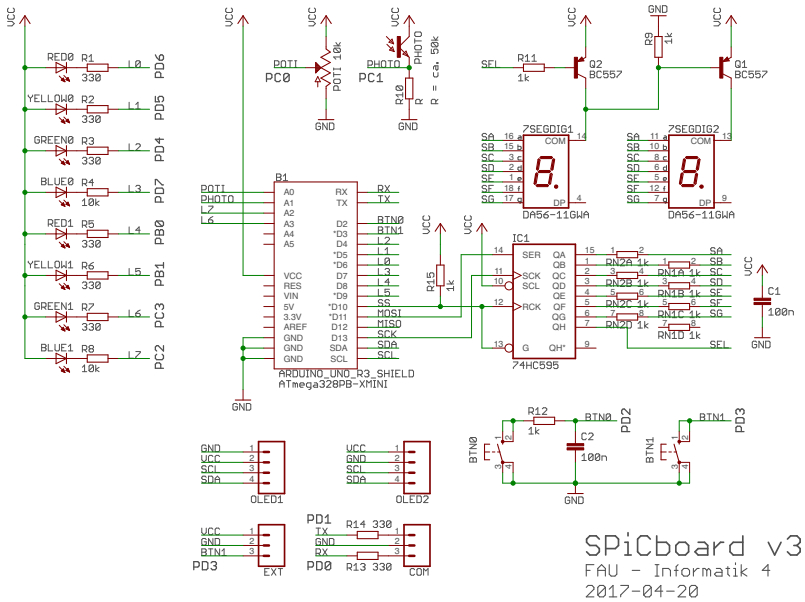

Aufgabe: LED-Modul

LED-Modul – Übersicht



- LED 0 (RED0) ⇒ PD6 ⇒ Port D, Pin 6 ⇒ Bit 6 in PORTD und DDRD
- …
- LED 7 (BLUE1) ⇒ PC2 ⇒ Port C, Pin 2 ⇒ Bit 2 in PORTC und DDRC

SPiCboard Schaltplan

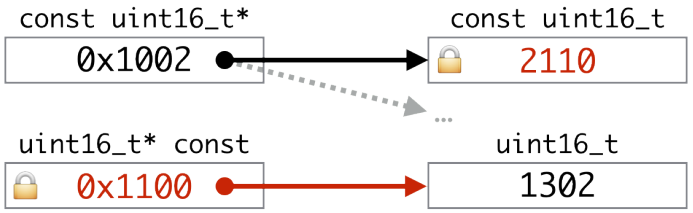


LED-Modul – Aufgabe

- LED-Modul der libspicboard selbst implementieren
  - Gleiches Verhalten wie das Original
  - Beschreibung: `https://sys.cs.fau.de/lehre/SS22/SPIC/uebung/spicboard/libapi/extern/group__LED.html`
- 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

Exkurs: const uint8_t* vs. uint8_t* const

- `const uint8_t*`
  - Ein Zeiger auf einen **konstanten** `uint8_t`-**Wert**
  - **Wert** nicht über den Zeiger veränderbar
- `uint8_t* const`
  - ein **konstanter Zeiger** auf einen (beliebigen) `uint8_t`-Wert
  - **Zeiger** darf nicht mehr auf eine andere Speicheradresse zeigen



Port- und Pin-Array (1)

- Adressoperator: &
- Verweisoperator: *
- Port und Pin Definitionen (in `avr/io.h`)

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

- Makro ersetzt `PORTD` durch `(* (volatile uint8_t *) 0x2B)`
  - Nimmt die Zahl `0x2B` (Adresse von PORTD)
  - Castet in `(volatile uint8_t *)` (volatile Zeiger)
  - Dereferenziert Zeiger `*` (schreibt in PORTD)

Port- und Pin-Array (2)

- Port Array:

```
01 static volatile uint8_t * const ports[8] = { &PORTD,
02                                              ...,
03                                              &PORTC };
```

  - Macht Dereferenzierung durch Adressoperator wieder rückgängig
    - ⇒ In `ports` stehen Adressen als `uint8_t` Zeiger
- Pin Array:

```
01 static uint8_t const pins[8] = { PD6, ..., PC2 };
```

- Zugriff:

```
01 * (ports[0]) &= ~(1 << pins[0]);
```


Übersetzereinstellungen

- 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?

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

Hands-on: Statistikmodul

Screencast: https://www.video.uni-erlangen.de/clip/id/16328

Hands-on: Statistikmodul

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

```
// Schnittstelle
uint8_t avgArray(uint16_t *a, size_t s, uint16_t *avg);
uint8_t minArray(uint16_t *a, size_t s, uint16_t *min);
uint8_t maxArray(uint16_t *a, size_t s, uint16_t *max);

// interne Hilfsfunktionen
uint16_t getMin(uint16_t a, uint16_t b);
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)