Systemnahe Programmierung in C

4 Softwareschichten und Abstraktion

J. Kleinöder, D. Lohmann, V. Sieh, P. Wägemann

Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

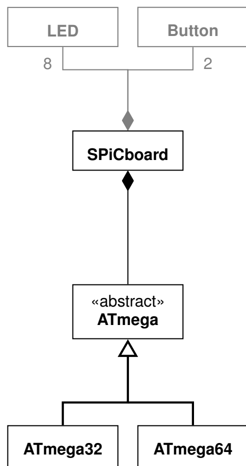
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg (FAU)

Sommersemester 2026

http://sys.cs.fau.de/lehre/ss26

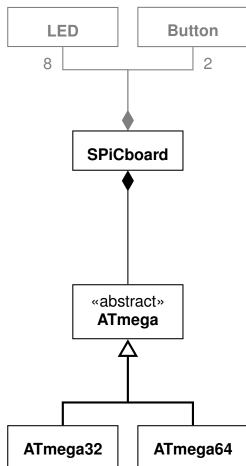
Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

Hardwaresicht

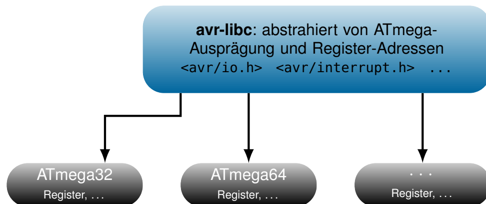


Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

Hardwaresicht



Softwareschichten

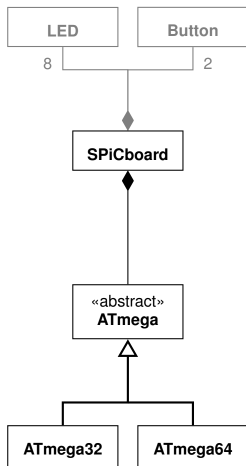


Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

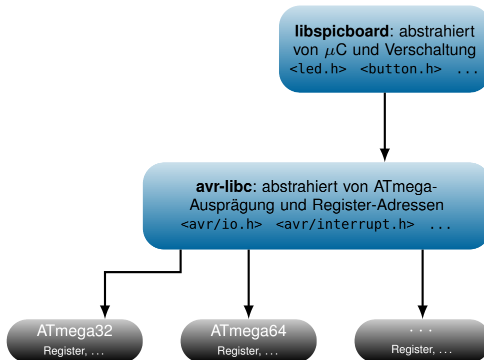
Problemnähe

Maschinennähe

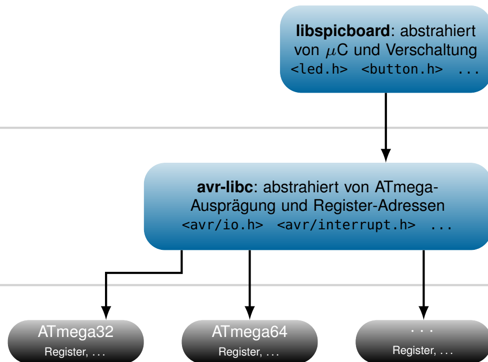
Hardwaresicht



Softwareschichten



Abstraktion durch Softwareschichten: *LED* → *on* im Vergleich

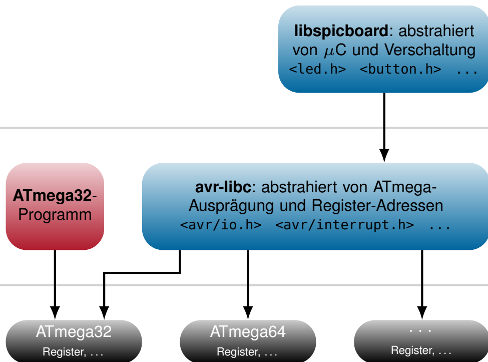


Ziel: Schalte LED `RED0` auf SPiC-board an:

Abstraktion durch Softwareschichten: *LED* → *on* im Vergleich

Programm läuft nur auf **ATmega32**. Es verwendet **ATmega32-spezifische** Registeradressen (wie `0x12`) und Merkmale:

```
...
(*(unsigned char*)(0x11)) |= (1<<7);
(*(unsigned char*)(0x12)) &= ~(1<<7);
```



Ziel: Schalte LED `RED0` auf SPiC-board an:

Abstraktion durch Softwareschichten: *LED* → *on* im Vergleich

Problemnähe — Maschinennähe

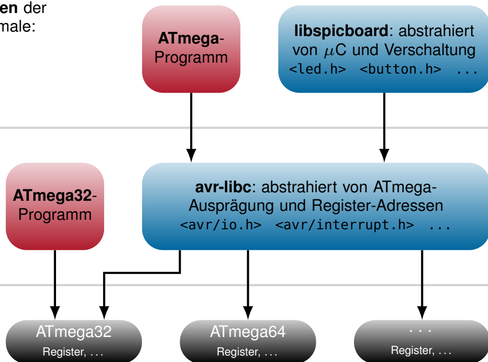
Programm läuft auf **jedem** μC der ATmega-Serie. Es verwendet **symbolische Registernamen** der **avr-libc** (wie `PORTD`) und allgemeine Merkmale:

```
#include <avr/io.h>
...
DDRD |= (1<<7);
PORTD &= ~(1<<7);
```

Programm läuft nur auf **ATmega32**. Es verwendet **ATmega32-spezifische** Registeradressen (wie `0x12`) und Merkmale:

```
...
(*(unsigned char*)(0x11)) |= (1<<7);
(*(unsigned char*)(0x12)) &= ~(1<<7);
```

Ziel: Schalte LED `RED0` auf SPiC-board an:



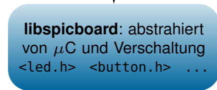
Abstraktion durch Softwareschichten: *LED* → *on* im Vergleich

Programm läuft nur auf dem **SPiCboard**. Es verwendet Funktionen (wie `sb_led_on()`) und Konstanten (wie `RED0`) der **libspicboard**, welche die konkrete Verschaltung von LEDs, Tastern, usw. mit dem μC repräsentieren:

```
#include <led.h>
...
sb_led_on(RED0);
```

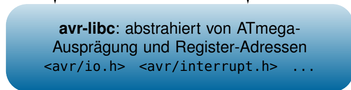
Programm läuft auf **jedem** μC der ATmega-Serie. Es verwendet **symbolische Registernamen** der **avr-libc** (wie `PORTD`) und allgemeine Merkmale:

```
#include <avr/io.h>
...
DDRD |= (1<<7);
PORTD &= ~(1<<7);
```

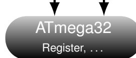


Programm läuft nur auf **ATmega32**. Es verwendet **ATmega32-spezifische** Registeradressen (wie `0x12`) und Merkmale:

```
...
(*(unsigned char*)(0x11)) |= (1<<7);
(*(unsigned char*)(0x12)) &= ~(1<<7);
```



Ziel: Schalte LED `RED0` auf SPiCboard an:



Problemnähe — Maschinennähe

Abstraktion durch Softwareschichten: Vollständiges Beispiel

Bisher: Entwicklung mit avr-libc

```
#include <avr/io.h>

void main(void) {
  // initialize hardware

  // button0 on PD2
  DDRD  &= ~(1 << 2);
  PORTD |=  (1 << 2);
  // LED on PD6
  DDRD  |= (1 << 6);
  PORTD |= (1 << 6);

  // wait until PD2: low --> (button0 pressed)
  while ((PIND >> 2) & 1) {
  }

  // greet user (red LED)
  PORTD &= ~(1 << 6); // PD6: low --> LED is on

  // wait forever
  while (1) {
  }
}
```

(vgl. ↪ 3–11)

Nun: Entwicklung mit libspicboard

```
#include <led.h>
#include <button.h>

void main(void) {

  // wait until Button0 is pressed
  while (sb_button_getState(BUTTON0)
                    != PRESSED) {
  }

  // greet user
  sb_led_on(RED0);

  // wait forever
  while (1) {
  }
}
```

Abstraktion durch Softwareschichten: Vollständiges Beispiel

Bisher: Entwicklung mit avr-libc

```
#include <avr/io.h>

void main(void) {
  // initialize hardware

  // button0 on PD2
  DDRD  &= ~(1 << 2);
  PORTD |=  (1 << 2);
  // LED on PD6
  DDRD  |= (1 << 6);
  PORTD |= (1 << 6);

  // wait until PD2: low --> (button0 pressed)
  while ((PIND >> 2) & 1) {
  }

  // greet user (red LED)
  PORTD &= ~(1 << 6); // PD6: low --> LED is on

  // wait forever
  while (1) {
  }
}
```

(vgl. ↪ 3–11)

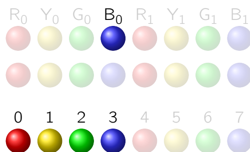
Nun: Entwicklung mit libspicboard

```
#include <led.h>
#include <button.h>

void main(void) {

  // wait until Button0 is pressed
  while (sb_button_getState(BUTTON0)
                    != PRESSED) {
  }

  // greet user
  sb_led_on(RED0);

  // wait forever
  while (1) {
  }
}
```

- Hardwareinitialisierung entfällt
- Programm ist einfacher und verständlicher durch **problemspezifische Abstraktionen**
  - Setze Bit 6 in `PORTD` ↦ `sb_led_on(RED0)`
  - Lese Bit 2 in `PORTD` ↦ `sb_button_getState(BUTTON0)`

Abstraktionen der libspicboard: Kurzüberblick

- Ausgabe-Abstraktionen (Auswahl)
  - LED-Modul (`#include <led.h>`)
    - LED einschalten: `sb_led_on(BLUE0)` ⇝
    - LED ausschalten: `sb_led_off(BLUE0)` ⇝
    - Alle LEDs ein-/ausschalten: `sb_led_setMask(0x0f)` ⇝



  - 7-Seg-Modul (`#include <7seg.h>`)
    - Ganzzahl $n \in \{-9 \dots 99\}$ ausgeben: `sb_7seg_showNumber(47)` ⇝

- Eingabe-Abstraktionen (Auswahl)
  - Button-Modul (`#include <button.h>`)
    - Button-Zustand abfragen: `sb_button_getState(BUTTON0)` $\mapsto$ `BUTTONSTATE_{PRESSED,RELEASED}`
  - ADC-Modul (`#include <adc.h>`)
    - Potentiometer-Stellwert abfragen: `sb_adc_read(POTI)` $\mapsto$ $\{0 \dots 1023\}$

Softwareschichten im Allgemeinen

Diskrepanz: Anwendungsproblem ⟷ Abläufe auf der Hardware

Ziel: Ausführbarer Maschinencode

Die Rolle des Betriebssystems

- **Anwendersicht:** Umgebung zum Starten, Kontrollieren und Kombinieren von Anwendungen
  - Shell, grafische Benutzeroberfläche
    - z. B. bash, Windows
  - Datenaustausch zwischen Anwendungen und Anwendern
    - z. B. über Dateien
- **Anwendungssicht:** Funktionsbibliothek mit Abstraktionen zur Vereinfachung der Softwareentwicklung
  - Generische Ein-/Ausgabe von Daten
    - z. B. auf Drucker, serielle Schnittstelle, in Datei
  - Permanentspeicherung und Übertragung von Daten
    - z. B. durch Dateisystem, über TCP/IP-Sockets
  - Verwaltung von Speicher und anderen Betriebsmitteln
    - z. B. CPU-Zeit

Die Rolle des Betriebssystems (Forts.)

- **Systemsicht:** Softwareschicht zum Multiplexen der Hardware (↪ Mehrbenutzerbetrieb)
  - Parallele Abarbeitung von Programminstanzen durch **Prozesskonzept**
    - Virtueller Speicher ↪ eigener 32-/64-Bit-Adressraum
    - Virtueller Prozessor ↪ wird transparent zugeteilt und entzogen
    - Virtuelle Ein-/Ausgabe-Geräte ↪ umlenkbar in Datei, Socket, ...
  - Isolation von Programminstanzen durch **Prozesskonzept**
    - Automatische Speicherbereinigung bei Prozessende
    - Erkennung/Vermeidung von Speicherzugriffen auf fremde Prozesse
  - **Partieller Schutz** vor schwereren Programmierfehlern
    - Erkennung *einiger* ungültiger Speicherzugriffe (z. B. Zugriff auf Adresse `0`)
    - Erkennung *einiger* ungültiger Operationen (z. B. `div/0`)

µC-Programmierung ohne Betriebssystemplattform ⇝ kein Schutz

- Ein Betriebssystem schützt **weit weniger** vor Programmierfehlern als z. B. Java.
- Selbst darauf müssen wir jedoch bei der µC-Programmierung i. a. **verzichten**.
- Bei 8/16-Bit-µC fehlt i. a. die für Schutz erforderliche **Hardware-Unterstützung**.

Beispiel: Fehlererkennung durch Betriebssystem

Linux: Division durch 0

```
 1 #include <stdio.h>
 2
 3
 4 int main(int argc, char **argv) {
 5   int a = 23;
 6   int b;
 7
 8   b = 4711 / (a - 23);
 9   printf("Ergebnis: %d\n", b);
10
11   return 0;
12 }
```

Übersetzen und Ausführen ergibt:

```
gcc error-linux.c -o error-linux
./error-linux
Floating point exception
```

⤳ Programm wird **abgebrochen**.

SPiCboard: Division durch 0

```
#include <7seg.h>
#include <avr/interrupt.h>

void main(void) {
  int a = 23;
  int b;
  sei();
  b = 4711 / (a - 23);
  sb_7seg_showNumber(b);

  while (1) {}
}
```

Ausführen ergibt:

⤳ Programm setzt Berechnung fort mit **falschen Daten**.

04-Abstraktion: 2026-04-13