

Systemnahe Programmierung in C

4 Softwareschichten und Abstraktion

J. Kleinöder, D. Lohmann, V. Sieh

Lehrstuhl für Informatik 4
Systemsoftware

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2024

<http://sys.cs.fau.de/lehre/ss24>

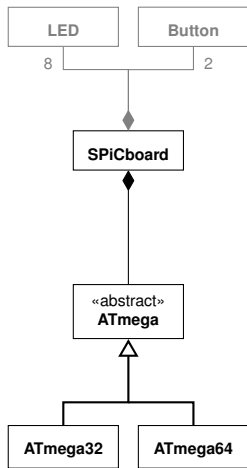


Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

↑ Problemnähe

↓ Maschinennähe

Hardwareansicht

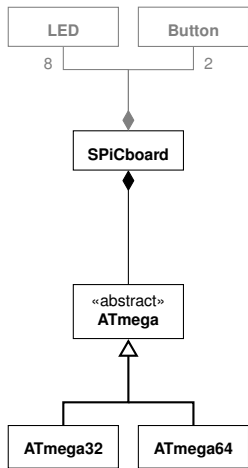


Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

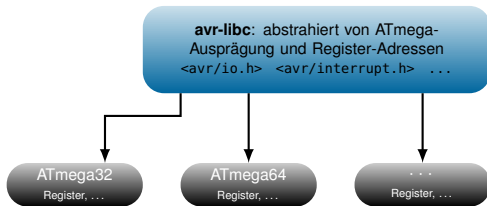
↑ Problemnähe

↓ Maschinennähe

Hardwareansicht



Softwareschichten

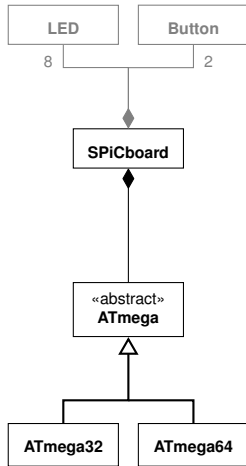


Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

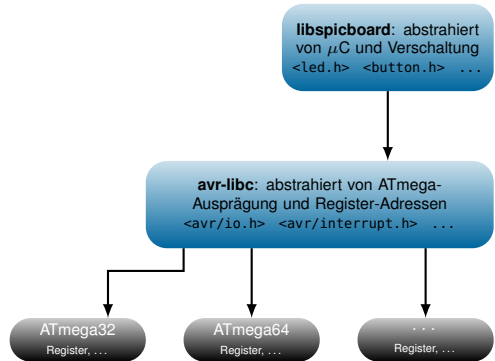
↑ Problemnähe

↓ Maschinennähe

Hardwareansicht



Softwareschichten

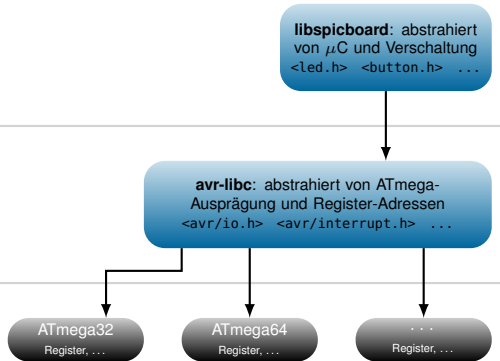


Abstraktion durch Softwareschichten: *LED* → *on* im Vergleich

↑ Problemnähe

↓ Maschinennähe

Ziel: Schalte LED RED0 auf SPiCboard an:



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

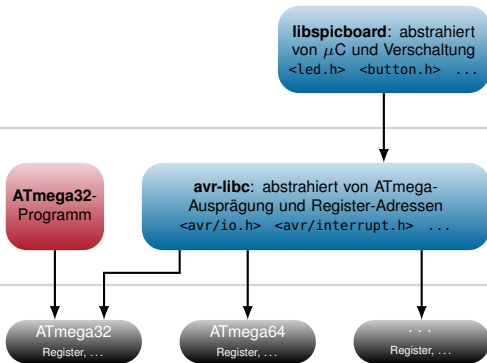
↑ Problemnähe

↓ Maschinennähe

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:



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

Problemnähe ↑

↓ Maschinennähe

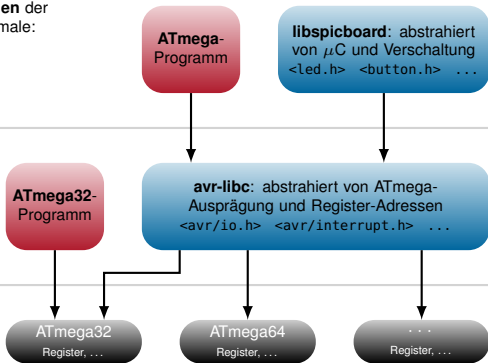
Programm läuft auf **jedem** μC der ATmega-Serie.
Es verwendet **symbolische Registernamen** der **avr-libc** (wie PORTD) und allgemeine Merkmale:

```
#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 SPiCboard an:



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

Problemnähe ↑

↓ Maschinennähe

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

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

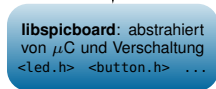
Programm läuft auf **jedem** μC der ATmega-Serie. Es verwendet **symbolische Registernamen** der **avr-libc** (wie `PORTD`) und allgemeine Merkmale:

```
#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:



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) {
    }
}
```

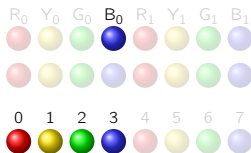
- Hardwareinitialisierung entfällt
- Programm ist einfacher und verständlicher durch **problemspezifische Abstraktionen**
 - Setze Bit 6 in PORTD
↳ `sb_led_on(RED0)`
 - Lese Bit 2 in PORTD
↳ `sb_button_getState(BUTTON0)`



■ Ausgabe-Abstraktionen (Auswahl)

■ LED-Modul (`#include <led.h>`)

- LED einschalten: `sb_led_on(BLUE0)` \rightsquigarrow
- LED ausschalten: `sb_led_off(BLUE0)` \rightsquigarrow
- Alle LEDs ein-/ausschalten:
`sb_led_setMask(0x0f)` \rightsquigarrow



■ 7-Seg-Modul (`#include <7seg.h>`)

- Ganzzahl $n \in \{-9 \dots 99\}$ ausgeben:
`sb_7seg_showNumber(47)` \rightsquigarrow



■ Eingabe-Abstraktionen (Auswahl)

■ Button-Modul (`#include <button.h>`)

- Button-Zustand abfragen:
`sb_button_getState(BUTTON0)` \mapsto `BUTTONSTATE_{PRESSED,RELEASED}`

■ ADC-Modul (`#include <adc.h>`)

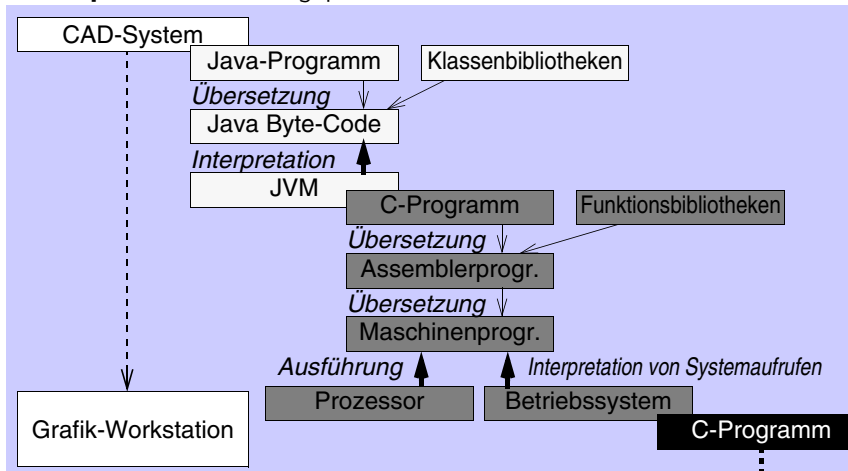
- Potentiometer-Stellwert abfragen:
`sb_adc_read(POTI)` \mapsto `{0...1023}`

Softwareschichten im Allgemeinen

↑ Problemnähe

↓ Maschinennähe

Diskrepanz: Anwendungsproblem \longleftrightarrow 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



- **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. $\text{div}/0$)

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**.

