Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

Daniel Lohmann, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2011

http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS11/V_SPIC

Referenzen

[1] *ATmega32 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash*. 8155-AVR-07/09. Atmel Corporation. July 2009. URL: http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS11/V_GSPIC/Uebungen/doc/mega32.pdf.

[2] Manfred Dausmann, Ulrich Bröckl, Dominic Schoop, et al. *C als erste Programmiersprache: Vom Einsteiger zum Fortgeschrittenen*. (Als E-Book aus dem Uninetz verfügbar; PDF-Version unter /proj/i4gspic/pub). Vieweg+Teubner, 2010. ISBN: 978-3834812216. URL: http://www.springerlink.com/content/978-3-8348-1221-6/#section=813748&page=1.

[3] Brian W. Kernighan and Dennis MacAlistair Ritchie. *The C Programming Language*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1978.

[4] Brian W. Kernighan and Dennis MacAlistair Ritchie. *The C Programming Language (2nd Edition)*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1988. ISBN: 978-8120305960.

[GDI] Elmar Nöth, Peter Wilke, and Stefan Steidl. *Grundlagen der Informatik*. Vorlesung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 5, 2010 (jährlich). URL: http://www5.informatik.uni-erlangen.de/lectures/ws-1011/grundlagen-der-informatik-gdi/folien/.

Referenzen (Forts.)

[5] Dennis MacAlistair Ritchie and Ken Thompson. "The Unix Time-Sharing System". In: *Communications of the ACM* 17.7 (July 1974), pp. 365–370. DOI: 10.1145/361011.361061.

[GDI-Ü] Stefan Steidl, Marcus Prümmer, and Markus Mayer. *Grundlagen der Informatik*. Übung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 5, 2010 (jährlich). URL: http://www5.informatik.uni-erlangen.de/lectures/ws-1011/grundlagen-der-informatik-gdi/uebung/.

[6] David Tennenhouse. "Proactive Computing". In: *Communications of the ACM* (May 2000), pp. 43–45.

[7] Jim Turley. "The Two Percent Solution". In: *embedded.com* (Dec. 2002). http://www.embedded.com/story/OEG20021217S0039, visited 2011-04-08.

Veranstaltungsüberblick

Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

Teil A Konzept und Organisation

Daniel Lohmann, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2011

http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS11/V_SPIC

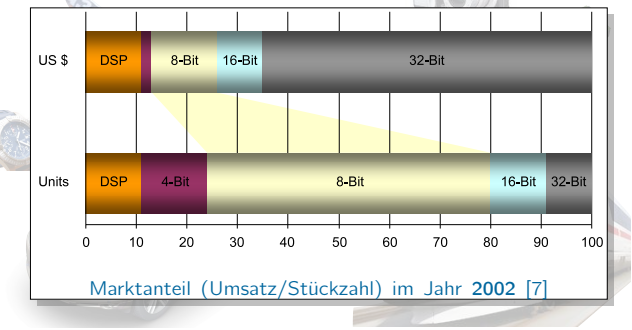
Überblick: Teil A Konzept und Organisation

Lernziele

- **Vertiefen** des Wissens über Konzepte und Techniken der Informatik für die Softwareentwicklung
  - Ausgangspunkt: Grundlagen der Informatik (GdI)
  - Schwerpunkt: Systemnahe Softwareentwicklung in C
- **Entwickeln** von Software in C für einen μ-Controller (μC) und eine Betriebssystem-Plattform (Linux)
  - SPiCboard-Lehrentwicklungsplattform mit ATmega-μC
  - Praktische Erfahrungen in hardware- und systemnaher Softwareentwicklung machen
- **Verstehen** der technologischen Sprach- und Hardwaregrundlagen für die Entwicklung systemnaher Software
  - Die Sprache C verstehen und einschätzen können
  - Umgang mit Nebenläufigkeit und Hardwarenähe
  - Umgang mit den Abstraktionen eines Betriebssystems (Dateien, Prozesse, ...)

Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [6]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ-Controller, **8-Bit oder kleiner** [6, 7]



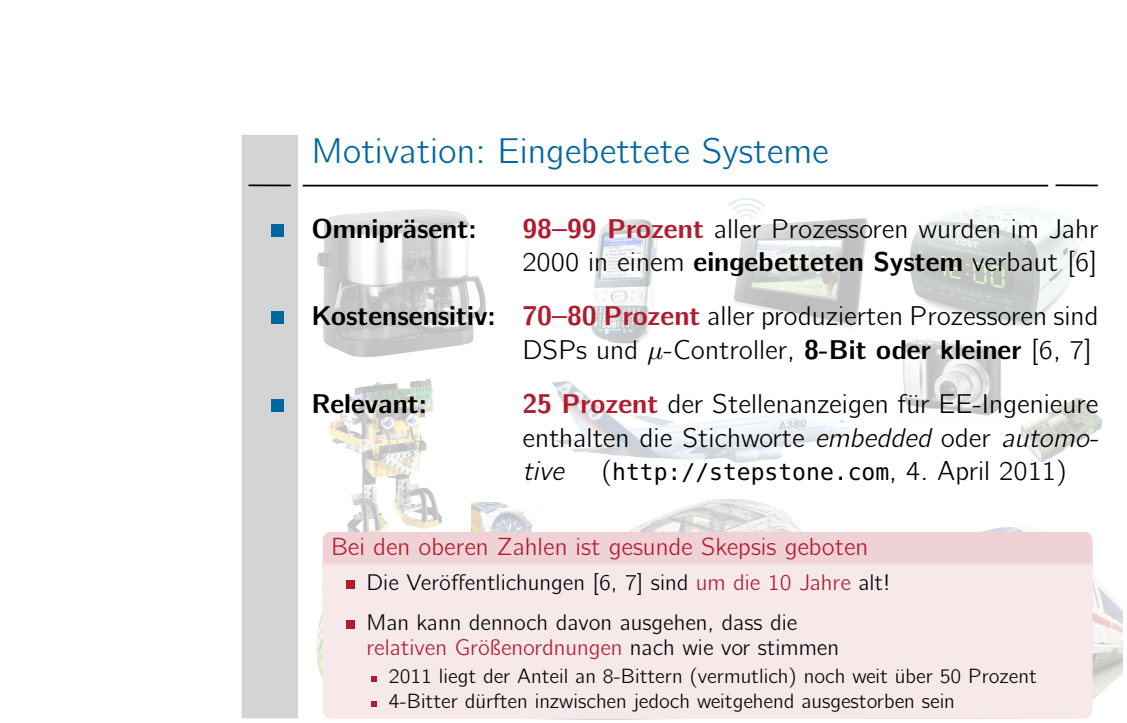
Marktanteil (Umsatz/Stückzahl) im Jahr **2002** [7]

Motivation: Eingebettete Systeme

- **Omnipräsent:** **98–99 Prozent** aller Prozessoren wurden im Jahr 2000 in einem **eingebetteten System** verbaut [6]
- **Kostensensitiv:** **70–80 Prozent** aller produzierten Prozessoren sind DSPs und μ-Controller, **8-Bit oder kleiner** [6, 7]
- **Relevant:** **25 Prozent** der Stellenanzeigen für EE-Ingenieure enthalten die Stichworte *embedded* oder *automotive* (`http://stepstone.com`, 4. April 2011)

Bei den oberen Zahlen ist gesunde Skepsis geboten

- Die Veröffentlichungen [6, 7] sind um die 10 Jahre alt!
- Man kann dennoch davon ausgehen, dass die relativen Größenordnungen nach wie vor stimmen
  - 2011 liegt der Anteil an 8-Bittern (vermutlich) noch weit über 50 Prozent
  - 4-Bitter dürften inzwischen jedoch weitgehend ausgestorben sein



Motivation: Die ATmega-μC-Familie (8-Bit)

Type	Flash	SRAM	IO	Timer 8/16	UART	I^2C	AD	Price (€)
ATTINY11	1 KiB		6	1/-	-	-	-	0.31
ATTINY13	1 KiB	64 B	6	1/-	-	-	4*10	0.66
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	1	1	-	1.06
ATMEGA4820	4 KiB	512 B	23	2/1	2	1	6*10	1.26
ATMEGA8515	8 KiB	512 B	35	1/1	1	-	-	2.04
ATMEGA8535	8 KiB	512 B	32	2/1	1	1	-	2.67
ATMEGA169	16 KiB	1024 B	54	2/1	1	1	8*10	4.03
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	5.60
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	7.91

ATmega-Varianten (Auswahl) und Großhandelspreise (DigiKey **2006**)

- Sichtbar wird: **Ressourcenknappheit**
  - **Flash** (Speicher für Programmcode und konstante Daten) ist **knapp**
  - **RAM** (Speicher für Laufzeit-Variablen) ist **extrem knapp**
  - Wenige Bytes „Verschwendung" $\rightsquigarrow$ signifikant höhere Stückzahlkosten

Motivation: Die Sprache C

- Systemnahe Softwareentwicklung erfolgt überwiegend in **C**
  - **Warum C?** (und nicht Java/Cobol/Scala/<*Lieblingssprache*>)
- C steht für eine Reihe hier wichtiger Eigenschaften
  - Laufzeiteffizienz (CPU)
    - Übersetzter C-Code läuft direkt auf dem Prozessor
    - Keine Prüfungen auf Programmierfehler zur Laufzeit
  - Platzeffizienz (Speicher)
    - Code und Daten lassen sich sehr kompakt ablegen
    - Keine Prüfung der Datenzugriffe zur Laufzeit
  - Direktheit (Maschinennähe)
    - C erlaubt den direkten Zugriff auf Speicher und Register
  - Portabilität
    - Es gibt für **jede** Plattform einen C-Compiler
    - C wurde „erfunden" (1973), um das Betriebssystem UNIX portabel zu implementieren [3, 5]

$\rightsquigarrow$ **C** ist die **lingua franca** der systemnahen Softwareentwicklung!

Motivation: SPiC – Stoffauswahl und Konzept

- **Lehrziel:** Systemnahe Softwareentwicklung in C
  - Das ist ein sehr umfangreiches Feld: Hardware-Programmierung, Betriebssysteme, Middleware, Datenbanken, Verteilte Systeme, Übersetzerbau, ...
  - Dazu kommt dann noch das Erlernen der Sprache C selber
- **Ansatz**
  - Konzentration auf zwei Domänen
    - μ-Controller-Programmierung
    - Softwareentwicklung für die Linux-Systemschnittstelle
  - Gegensatz μC-Umgebung $\leftrightarrow$ Betriebssystemplattform erfahren
  - Konzepte und Techniken an kleinen Beispielen lehr- und erfahrbar
  - **Hohe Relevanz** für die Zielgruppe (ME)

Vorlesungsskript

- Das Handout der Vorlesungsfolien wird online und als 4×1-Ausdruck auf Papier zur Verfügung gestellt
  - Ausdrucke werden vor der Vorlesung verteilt
  - Online-Version wird vor der Vorlesung aktualisiert
  - Handout enthält (in geringem Umfang) zusätzliche Informationen
- **Das Handout kann eine eigene Mitschrift nicht ersetzen!**

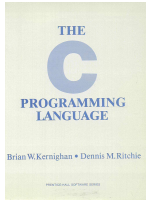
Literaturempfehlungen

[2] Für den Einstieg empfohlen:

Manfred Dausmann, Ulrich Bröckl, Dominic Schoop, et al. *C als erste Programmiersprache: Vom Einsteiger zum Fortgeschrittenen*. (Als E-Book aus dem Uninetz verfügbar; PDF-Version unter `/proj/i4gspic/pub`). Vieweg+Teubner, 2010. ISBN: 978-3834812216. URL: `http://www.springerlink.com/content/978-3-8348-1221-6/#section=813748&page=1`

[4] Der „Klassiker" (eher als Referenz geeignet):

Brian W. Kernighan and Dennis MacAlistair Ritchie. *The C Programming Language (2nd Edition)*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall PTR, 1988. ISBN: 978-8120305960



Vorlesung

- Inhalt und Themen
  - Grundlegende Konzepte der systemnahen Programmierung
  - Einführung in die Programmiersprache C
    - Unterschiede zu Java
    - Modulkonzept
    - Zeiger und Zeigerarithmetik
  - Softwareentwicklung auf „der nackten Hardware" (ATmega-μC)
    - Abbildung Speicher $\leftrightarrow$ Sprachkonstrukte
    - Unterbrechungen (*interrupts*) und Nebenläufigkeit
  - Softwareentwicklung auf „einem Betriebssystem" (Linux)
    - Betriebssystem als Ausführungsumgebung für Programme
    - Abstraktionen und Dienste eines Betriebssystems
- Termin: Mi 08:15–09:45, KS II
  - Einzeltermin am 5. Mai (Do), 10:15–11:45, H9
  - insgesamt 14–15 Vorlesungstermine $\hookrightarrow$ 2–7

Übungen

- Kombinierte Tafel- und Rechnerübung (jeweils im Wechsel)
  - Tafelübungen
    - Ausgabe und Erläuterung der Programmieraufgaben
    - Gemeinsame Entwicklung einer Lösungsskizze
    - Besprechung der Lösungen
  - Rechnerübungen
    - selbstständige Programmierung
    - Umgang mit Entwicklungswerkzeug (AVR Studio)
    - Betreuung durch Übungsbetreuer
- Termin: Initial 6 Gruppen zur Auswahl
  - Anmeldung über Waffel (siehe Webseite): Heute, 10:00 – Do, 08:00
  - Bei nur 2–3 Teilnehmern behalten wir uns eine Verteilung auf andere Gruppen vor. Ihr werdet in diesem Fall per E-Mail angeschrieben.

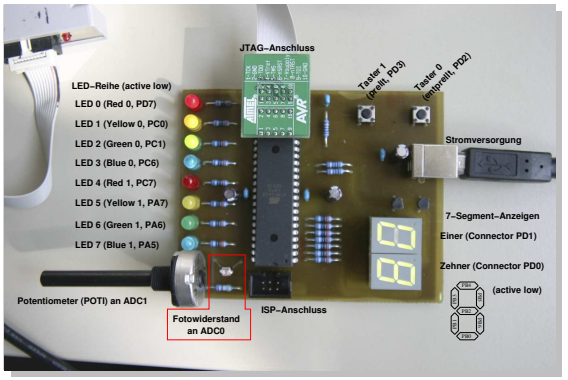
Programmieraufgaben

- Praktische Umsetzung des Vorlesungsstoffs
  - Fünf Programmieraufgaben (Abgabe ca. alle 14 Tage) ↪ 2–7
  - Bearbeitung wechselseitig alleine / mit Übungspartner
- Lösungen mit Abgabeskript am Rechner abgeben
  - Lösung wird durch Skripte überprüft
  - Wir korrigieren und bepunkten die Abgaben und geben sie zurück
  - Eine Lösung wird vom Teilnehmer an der Tafel erläutert (impliziert Anwesenheit!)
- ★ Abgabe der Übungsaufgaben ist freiwillig; ↪ 2–6
  es können jedoch bis zu **10% Bonuspunkte** für die Prüfungsklausur erarbeitet werden!

Unabhängig davon ist die Teilnahme an den Übungen **dringend empfohlen!**

Übungsplattform: Das SPiCboard

- ATmega32-μC
- JTAG-Anschluss
- 8 LEDs
- 2 7-Seg-Elemente
- 2 Taster
- 1 Potentiometer
- 1 Fotosensor



- Ausleihe zur Übungsbearbeitung möglich
- Oder noch besser ↪ selber Löten

SPiCboard-Lötabend

- Die Fachschaften (EEI / ME) bieten drei „Lötabende“ an
  - Teilnahme ist freiwillig
  - (Erste) Löterfahrung sammeln beim Löten eines eigenen SPiCboards
- **Termine:** 17./18./19. Mai, jeweils 18:00–21:00
- **Anmeldung:** über Waffel (siehe Webseite)
- **Kostenbeitrag:** 12–13 EUR (SPiCBoard)
  22 EUR (ISP, falls gewünscht)

Prüfung und Modulnote

- Prüfung (Klausur)
  - Termin: voraussichtlich Ende Juli / Anfang August
  - Dauer: 90 min
  - Inhalt: Fragen zum Vorlesungsstoff + Programmieraufgabe
- Klausurnote ↦ Modulnote
  - Bestehensgrenze (in der Regel): 50% der möglichen Klausurpunkte (KP)
  - Falls bestanden ist eine Notenverbesserung möglich durch Bonuspunkte aus den Programmieraufgaben
    - Basis (Minimum): 50% der möglichen Übungspunkte (ÜP)
    - Jede weiteren 5% der möglichen ÜP ↦ +1% der möglichen KP

  ⇝ 100% der möglichen ÜP ↦ +10% der möglichen KP

Semesterüberblick

Siehe http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS11/V_SPIC

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen
18	02.05.	03.05.	04.05. VL1	05.05. VL2	06.05.	*Einführung, Organisation, Java nach C, Abstraktion, Sprachüberblick, Datentypen*
19	09.05.	10.05.	11.05. VL3	12.05. A1 (Blink)	13.05.	*Variablen, Ausdrücke, Kontrollstrukturen, Funktionen, Makros*
20	16.05.	17.05.	18.05. VL4	19.05. A2 (Snake)	20.05.	*Mikrocontroller-Systemarchitektur, -Softwareentwicklung*
21	23.05.	24.05.	25.05. VL5	26.05. A3 (Spiel)	27.05.	*Programmstruktur, Module, komplexe Datentypen*
22	30.05.	31.05.	01.06. VL6	02.06. *Himmelfahrt*	03.06.	*Zeiger und Felder*
23	06.06. A4(LED)	07.06.	08.06. VL 7	09.06.	10.06.	*Nebenläufigkeit*
24	13.06. *Pfingsten/Berg*	14.06.	15.06. VL8	16.06. A5 (Ampel)	17.06.	*Speicherorganisation*

Semesterüberblick

Siehe http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS11/V_SPIC

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen
25	20.06.	21.06.	22.06. VL9	23.06. *Fronleichnam*	24.06.	*Dateisystme*
26	27.06. A6 (PrintDir)	28.06.	29.06. VL10	30.06.	01.07.	*Prozesse*
27	04.07. A7 (fish)	05.07.	06.07. VL11	07.07.	08.07.	*Signale*
28	11.07. A7 (tqsh)	12.07.	13.07. VL12	14.07.	15.07.	*Threads, Koordinierung*
29	18.07.	19.07.	20.07. VL13	21.07.	22.07.	*pthreads, Threads in Java*
30	25.07. Wdh.	26.07.	27.07. VL14	28.07.	29.07.	*Wiederholung*
29	19.07.	20.07.	21.07. VL15	22.07.	23.07.	*Fragestunde*

© dl SPiC (Teil A, SS 11) 2 Organisation | 2.5 Semesterüberblick 2–7

Beteiligte Personen, LS Informatik 4

Dozenten Vorlesung


Daniel Lohmann


Jürgen Kleinöder

Organisatoren des Übungsbetriebs


Wanja Hofer


Moritz Strübe


Christoph Erhardt


Dirk Wischermann

Beteiligte Personen, LS Informatik 4 (Forts.)

Techniker (Ausleihe SPiCboard und Debugger)


Harald Junggunst


Matthias Schäfer


Daniel Christiani

Übungsleiter


Daniel Back


Fabian Fersterra


Markus Müller


Sebastian Schinabeck


Matthias Völkel

Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

Teil B Einführung in C

Daniel Lohmann, Jürgen Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2011

http://www4.informatik.uni-erlangen.de/Lehre/SS11/V_SPIC

Überblick: Teil B Einführung in C

Das erste C-Programm

- Das berühmteste Programm der Welt in **C**

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char** argv) {
  // greet user
  printf("Hello World!\n");
  return 0;
}
```

- Übersetzen und Ausführen (auf einem UNIX-System)

```
lohmann@latte:~/src$ gcc -o hello hello-linux.c
lohmann@latte:~/src$ ./hello
Hello World!
lohmann@latte:~/src$
```

Gar nicht so schwer :-)

Das erste C-Programm – Vergleich mit Java

- Das berühmteste Programm der Welt in **C**

```c
1 #include <stdio.h>
2
3 int main(int argc, char** argv) {
4   // greet user
5   printf("Hello World!\n");
6   return 0;
7 }
```

- Das berühmteste Programm der Welt in **Java**

```java
1 import java.lang.System;
2 class Hello {
3   public static void main(String[] args) {
4     /* greet user */
5     System.out.println("Hello World!");
6     return;
7   }
8 }
```

Das erste C-Programm – Erläuterungen [Handout]

- **C**-Version zeilenweise erläutert
  1 Für die Benutzung von `printf()` wird die **Funktionsbibliothek** `stdio.h` mit der **Präprozessor-Anweisung** `#include` eingebunden.
  3 Ein C-Programm startet in `main()`, einer **globalen Funktion** vom Typ `int`, die in genau einer **Datei** definiert ist.
  5 Die Ausgabe einer Zeichenkette erfolgt mit der **Funktion** `printf()`. (`\n` ⇝ Zeilenumbruch)
  6 Rückkehr zum Betriebssystem mit **Rückgabewert**. 0 bedeutet hier, dass kein Fehler aufgetreten ist.

- **Java**-Version zeilenweise erläutert
  1 Für die Benutzung der **Klasse** `out` wird das **Paket** `System` mit der `import`-Anweisung eingebunden.
  2 Jedes Java-Programm besteht aus mindestens einer **Klasse**.
  3 Jedes Java-Programm startet in `main()`, einer **statischen Methode** vom Typ `void`, die in genau einer **Klasse** definiert ist.
  5 Die Ausgabe einer Zeichenkette erfolgt mit der **Methode** `println()` aus der Klasse `out` aus dem Paket `System`. [↪ GDI, IV-191]
  6 Rückkehr zum Betriebssystem.

Das erste C-Programm für einen μ-Controller

- „Hello World“ für AVR-ATmega (SPiCboard)

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

void main() {
  // initialize hardware: LED on port D pin 7, active low
  DDRD  |= (1<<7);  // PD7 is used as output
  PORTD |= (1<<7);  // PD7: high --> LED is off

  // greet user
  PORTD &= ~(1<<7); // PD7: low --> LED is on

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

μ-Controller-Programmierung ist „irgendwie anders“.

- Übersetzen und **Flashen** (mit AVR Studio) ⇝ Übung
- Ausführen (SPiCboard):  (rote LED leuchtet)

Das erste C-Programm für einen μ-Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (vgl. ↪ 3–1)

```
1  #include <avr/io.h>
2
3  void main() {
4    // initialize hardware: LED on port D pin 7, active low
5    DDRD  |= (1<<7);  // PD7 is used as output
6    PORTD |= (1<<7);  // PD7: high --> LED is off
7
8    // greet user
9    PORTD &= ~(1<<7); // PD7: low --> LED is on
10
11   // wait forever
12   while(1){
13   }
14 }
```

μ-Controller-Programm – Erläuterungen [Handout]

- μ-Controller-Programm zeilenweise erläutert
  (Beachte Unterschiede zur Linux-Version ↪ 3–3)
  1 Für den Zugriff auf Hardware-Register (`DDRD`, `PORTD`, bereitgestellt als **globale Variablen**) wird die **Funktionsbibliothek** `avr/io.h` mit `#include` eingebunden.
  3 Die `main()`-Funktion hat **keinen Rückgabewert** (Typ `void`). Ein μ-Controller-Programm läuft **endlos** ⇝ `main()` terminiert nie.
  5 Zunächst wird die **Hardware** initialisiert (in einen definierten Zustand gebracht). Dazu müssen **einzelne Bits** in bestimmten **Hardware-Registern** manipuliert werden.
  9 Die Interaktion mit der Umwelt (hier: LED einschalten) erfolgt ebenfalls über die **Manipulation einzelner Bits** in Hardware-Registern.
  12 Es erfolgt **keine Rückkehr** zum Betriebssystem (wohin auch?). Die Endlosschleife stellt sicher, dass `main()` nicht terminiert.

Das zweite C-Programm – Eingabe unter Linux

- Benutzerinteraktion (Lesen eines Zeichens) unter Linux:

```c
#include <stdio.h>

int main(int argc, char** argv){

  printf("Press key: ");
  int key = getchar();

  printf("You pressed %c\n", key);
  return 0;
}
```

Die `getchar()`-Funktion liest ein Zeichen von der Standardeingabe (hier: Tastatur). Sie „wartet“ gegebenenfalls, bis ein Zeichen verfügbar ist. In dieser Zeit entzieht das Betriebssystem den Prozessor.

Das zweite C-Programm – Eingabe mit μ-Controller

- Benutzerinteraktion (Warten auf Tasterdruck) auf dem SPiCboard:

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

void main() {
  // initialize hardware: button on port D pin 2
  DDRD  &= ~(1<<2);  // PD2 is used as input
  PORTD |=  (1<<2);  // activate pull-up: PD2: high

  // initialize hardware: LED on port D pin 7, active low
  DDRD  |= (1<<7);  // PD7 is used as output
  PORTD |= (1<<7);  // PD7: high --> LED is off

  // wait until PD2 -> low (button is pressed)
  while(PIND & (1<<2))
    ;

  // greet user
  PORTD &= ~(1<<7); // PD7: low --> LED is on

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

Warten auf Tasterdruck – Erläuterungen [Handout]

- Benutzerinteraktion mit SPiCboard zeilenweise erläutert
  - 5 Wie die LED ist der Taster mit einem **digitalen IO-Pin** des μ-Controllers verbunden. Hier konfigurieren wir Pin 2 von Port D als **Eingang** durch **Löschen** des entsprechenden Bits im Register `DDRD`.
  - 6 Durch **Setzen** von Bit 2 im Register `PORTD` wird der interne Pull-Up-Widerstand (hochohmig) aktiviert, über den V_{CC} anliegt $\rightsquigarrow$ PD2 = *high*.
  - 13 **Aktive Warteschleife:** Wartet auf Tastendruck, d. h. solange PD2 (Bit 2 im Register `PIND`) *high* ist. Ein Tasterdruck zieht PD2 auf Masse $\rightsquigarrow$ Bit 2 im Register `PIND` wird *low* und die Schleife verlassen.

Zum Vergleich: Benutzerinteraktion als Java-Programm

```java
import java.lang.System;
import javax.swing.*;
import java.awt.event.*;

public class Input implements ActionListener {
  private JFrame frame;

  public static void main(String[] args) {
    // create input, frame and button objects
    Input input = new Input();
    input.frame = new JFrame("Java-Programm");
    JButton button = new JButton("Klick mich");

    // add button to frame
    input.frame.add(button);
    input.frame.setSize(400, 400);
    input.frame.setVisible(true);

    // register input as listener of button events
    button.addActionListener(input);
  }

  public void actionPerformed(ActionEvent e) {
    System.out.println("Knopfdruck!");
    System.exit(0);
  }
}
```

Eingabe als „typisches“ Java-Programm (**objektorientiert**, **grafisch**)

Benutzerinteraktion als Java-Programm – Erläuterungen [Handout]

- Das Programm ist mit der C-Variante nicht unmittelbar vergleichbar
  - Es verwendet das in Java übliche (und Ihnen bekannte) **objektorientierte Paradigma**.
  - Dieser Unterschied soll hier verdeutlicht werden.
- Benutzerinteraktion in Java zeilenweise erläutert

5 Um Interaktionsereignisse zu empfangen, implementiert die Klasse `Input` ein entsprechendes **Interface**.
10 Das Programmverhalten ist implementiert durch eine Menge von **Objekten** (`frame`, `button`, `input`), die hier bei der Initialisierung erzeugt werden.
20 Das erzeugte `button`-Objekt schickt nun seine Nachrichten an das `input`-Objekt.
23 Der Knopfdruck wird durch eine `actionPerformed()`-Nachricht (Methodenaufruf) signalisiert.

Ein erstes Fazit: Von Java → C (Syntax)

- **Syntaktisch** sind Java und C sich sehr ähnlich
  (Syntax: „Wie sehen gültige Programme der Sprache aus?“)
- C-Syntax war Vorbild bei der Entwicklung von Java
  ⇝ Viele Sprachelemente sind ähnlich oder identisch verwendbar
  - Blöcke, Schleifen, Bedingungen, Anweisungen, Literale
  - Werden in den folgenden Kapiteln noch im Detail behandelt
- Wesentliche Sprachelemente aus Java gibt es in C jedoch **nicht**
  - Klassen, Pakete, Objekte, Ausnahmen (Exceptions), ...

Ein erstes Fazit: Von Java → C (Idiomatik)

- **Idiomatisch** gibt es sehr große Unterschiede
  (Idiomatik: „Wie sehen übliche Programme der Sprache aus?“)
- **Java: Objektorientiertes Paradigma**
  - Zentrale Frage: Aus welchen Dingen besteht das Problem?
  - Gliederung der Problemlösung in **Klassen** und Objekte
  - Hierarchiebildung durch Vererbung und Aggregation
  - Programmablauf durch Interaktion zwischen Objekten
  - Wiederverwendung durch umfangreiche Klassenbibliothek
- **C: Imperatives Paradigma**
  - Zentrale Frage: Aus welchen Aktivitäten besteht das Problem?
  - Gliederung der Problemlösung in **Funktionen** und Variablen
  - Hierarchiebildung durch Untergliederung in Teilfunktionen
  - Programmablauf durch Aufrufe zwischen Funktionen
  - Wiederverwendung durch Funktionsbibliotheken

Ein erstes Fazit: Von Java → C (Philosophie)

- **Philosophisch** gibt es ebenfalls erhebliche Unterschiede
  (Philosophie: „Grundlegende Ideen und Konzepte der Sprache“)
- **Java:** Sicherheit und Portabilität durch **Maschinenferne**
  - Übersetzung für virtuelle Maschine (JVM)
  - Umfangreiche Überprüfung von Programmfehlern zur Laufzeit
    - Bereichsüberschreitungen, Division durch 0, ...
  - Problemnahes Speichermodell
    - Nur typsichere Speicherzugriffe, automatische Bereinigung zur Laufzeit
- **C:** Effizienz und Leichtgewichtigkeit durch **Maschinennähe**
  - Übersetzung für konkrete Hardwarearchitektur
  - Keine Überprüfung von Programmfehlern zur Laufzeit
    - Einige Fehler werden vom Betriebssystem abgefangen – falls vorhanden
  - Maschinennahes Speichermodell
    - Direkter Speicherzugriff durch **Zeiger**
    - Grobgranularer Zugriffsschutz und automatische Bereinigung (auf Prozessebene) durch das Betriebssystem – falls vorhanden

Ein erstes Fazit: μ-Controller-Programmierung

C $\mapsto$ Maschinennähe $\mapsto$ μC-Programmierung

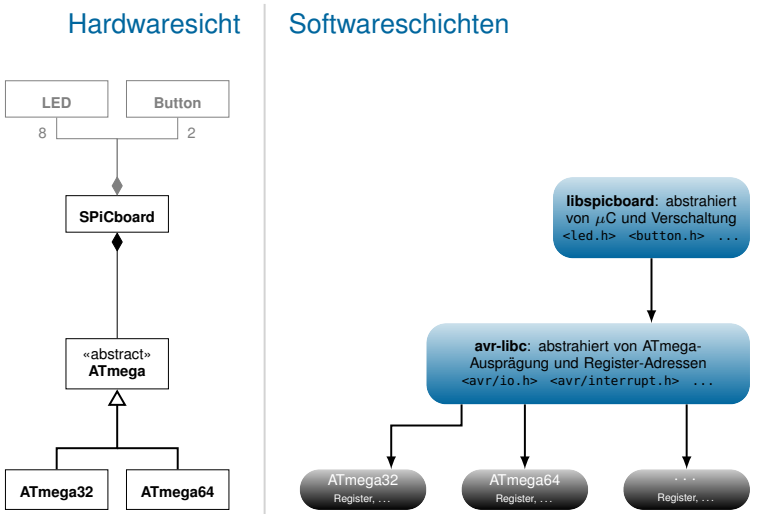
Die Maschinennähe von C zeigt sich insbesondere auch bei der μ-Controller-Programmierung!

- Es läuft nur ein Programm
  - Wird bei RESET direkt aus dem Flash-Speicher gestartet
  - Muss zunächst die Hardware initialisieren
  - Darf nie terminieren (z. B. durch Endlosschleife in `main()`)
- Die Problemlösung ist maschinennah implementiert
  - Direkte Manipulation von einzelnen Bits in Hardwareregistern
  - Detailliertes Wissen über die elektrische Verschaltung erforderlich
  - Keine Unterstützung durch Betriebssystem (wie etwa Linux)
  - Allgemein geringes Abstraktionsniveau $\rightsquigarrow$ fehleranfällig, aufwändig

Ansatz: Mehr Abstraktion durch problemorientierte Bibliotheken

Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

Problemnähe — Maschinennähe



Abstraktion durch Softwareschichten: *LED → on* im Vergleich

Problemnähe — Maschinennähe

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

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

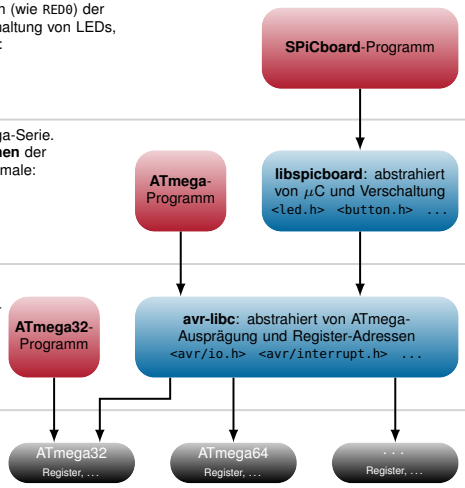
Programm läuft auf **jedem** μC der ATmega-Serie. Es verwendet **symbolische Registernamen** der **avr-libc** (wie `PORTD`) und allgemeine Merkmale:

```
#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:



Abstraktion durch Softwareschichten: Vollständiges Beispiel

Bisher: Entwicklung mit avr-libc

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

void main() {
  // initialize hardware

  // button0 on PD2
  DDRD  &= ~(1<<2);
  PORTD |=  (1<<2);
  // LED on PD7
  DDRD  |= (1<<7);
  PORTD |= (1<<7);

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

  // greet user (red LED)
  PORTD &= ~(1<<7); // PD7: low --> LED is on

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

(vgl. ↪ 3–8)

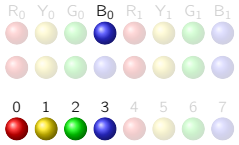
Nun: Entwicklung mit libspicboard

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

void main() {

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

  // greet user
  sb_led_on(RED0);

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

- Hardwareinitialisierung entfällt
- Programm ist einfacher und verständlicher durch **problemspezifische Abstraktionen**
  - Setze Bit 7 in `PORTD` ↦ `sb_set_led(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_set_led(BLUE0)` ⇝
    - LED ausschalten: `sb_clear_led(BLUE0)` ⇝
    - Alle LEDs ein-/ausschalten: `sb_set_all_leds(0x0f)` ⇝



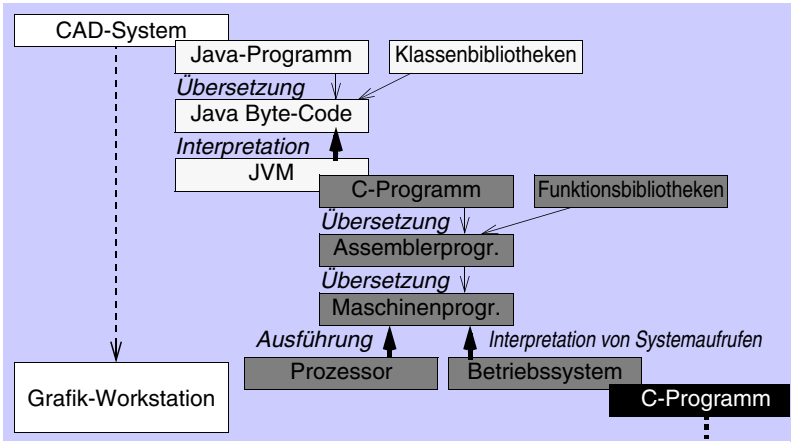
  - 7-Seg-Modul (`#include <7seg.h>`)
    - Ganzzahl $n \in \{-9 \ldots 99\}$ ausgeben: `sb_7seg_showNumber(47)` ⇝

- Eingabe-Abstraktionen (Auswahl)
  - Button-Modul (`#include <button.h>`)
    - Button-Zustand abfragen: `sb_button_getState(BUTTON0)` ↦ {`BTNPRESSED`, `BTNRELEASED`}
  - ADC-Modul (`#include <adc.h>`)
    - Potentiometer-Stellwert abfragen: `sb_adc_read(POTI)` ↦ $\{0 \ldots 1023\}$

Softwareschichten im Allgemeinen

Problemnähe ↑ Maschinennähe ↓

Diskrepanz: Anwendungsproblem ⟷ Abläufe auf der Hardware



Ziel: Ausführbarer Maschinencode

Die Rolle des Betriebssystems

- **Anwenderersicht:** 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**.