Grundlagen der Systemnahen Programmierung in C (GSPiC)

Jürgen Kleinöder, Daniel Lohmann, Volkmar Sieh

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2017

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_GSPIC

Referenzen

[1] *ATmega328PB 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash*. Atmel Corporation. Oct. 2015.

[GDI] Frank Bauer. *Grundlagen der Informatik*. Vorlesung. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Informatik 5, 2015 (jährlich). URL: `https://gdi.cs.fau.de/w15/material`.

[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.

[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`.

Referenzen (Forts.)

[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

Grundlagen der Systemnahen Programmierung in C (GSPiC)

Teil A Konzept und Organisation

Jürgen Kleinöder, Daniel Lohmann, Volkmar Sieh

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2017

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_GSPIC

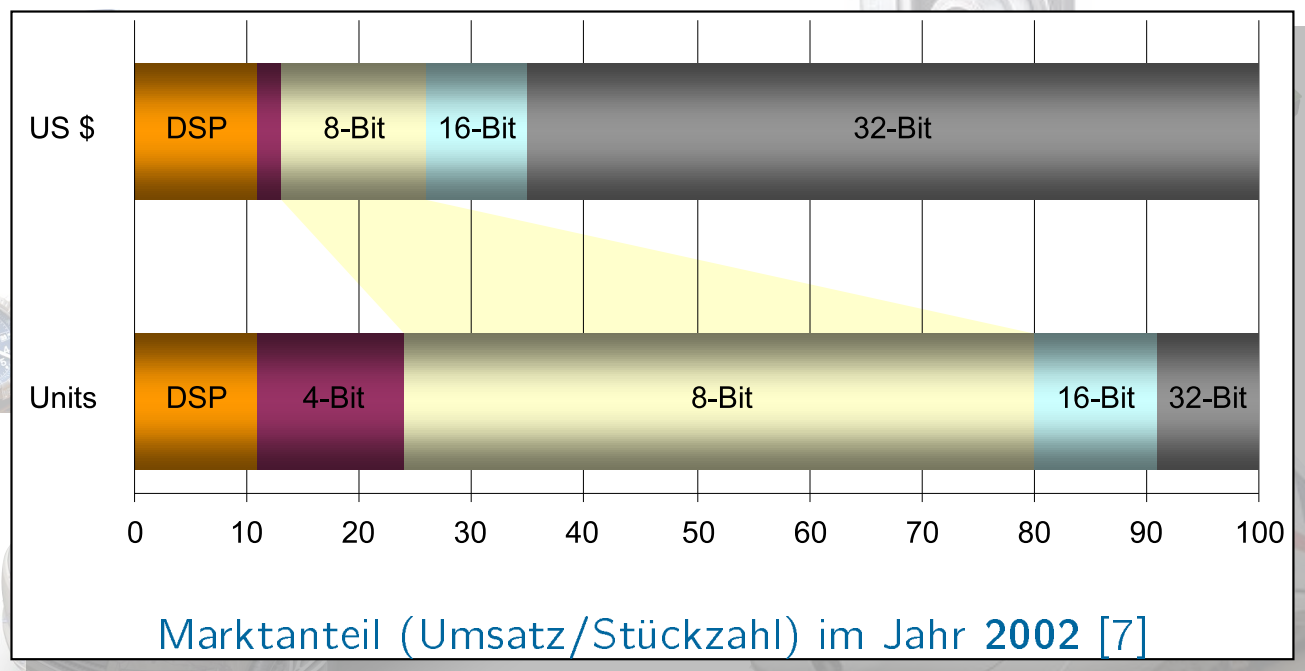
Überblick: Teil A Konzept und Organisation

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)
  - SPiCboard-Lehrentwicklungsplattform mit ATmega-μC
  - Praktische Erfahrungen in hardwarenaher 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

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 mehr als 10 Jahre alt!
- Man kann dennoch davon ausgehen, dass die relativen Größenordnungen nach wie vor stimmen
  - 2016 liegt der Anteil an 8-Bittern (vermutlich) noch bei 40 Prozent
  - 4-Bitter dürften inzwischen jedoch weitgehend ausgestorben sein

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

Type	Flash	SRAM	IO	Timer 8/16	UART	SPI	ADC	PWM	EUR
ATTINY13	1 KiB	64 B	6	1/-	-	-	1*4	-	**0,86**
ATTINY2313	2 KiB	128 B	18	1/1	-	1	-	-	**0,99**
ATMEGA48	4 KiB	512 B	23	2/1	1	1	8*10	6	**1,40**
ATMEGA16	16 KiB	1024 B	32	2/1	1	1	8*10	4	**2,05**
ATMEGA32	32 KiB	2048 B	32	2/1	1	1	8*10	4	**3,65**
ATMEGA64	64 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	**5,70**
ATMEGA128	128 KiB	4096 B	53	2/2	2	1	8*10	8	**7,35**
ATMEGA256	256 KiB	8192 B	86	2/2	4	1	16*10	16	**8,99**

ATmega-Varianten (Auswahl) und Handelspreise (Reichelt Elektronik, April 2015)

- 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: GSPiC – 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
- **Herausforderung:** Umfang der Veranstaltung (nur 2,5 ECTS)
  - Für Vorlesung und Übung eigentlich zu wenig
  - Veranstaltung soll trotzdem einen **hohen praktischen Anteil** haben
- **Ansatz:** Konzentration auf die Domäne μ-Controller
  - Konzepte und Techniken an kleinen Beispielen lehr- und erfahrbar
  - **Hohe Relevanz** für die Zielgruppe (EEI)

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!**

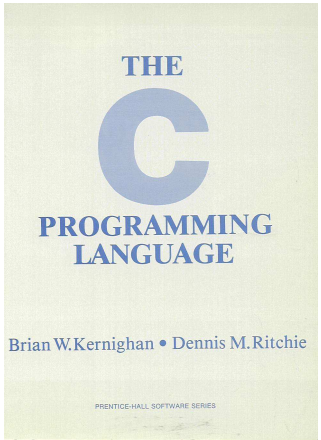
Literaturempfehlungen

[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

- Termin: Do 12:15–13:45, H8
  - Einzeltermin am 24. April (Mo), 12:15–13:45, H8
  - insgesamt 9 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 (Atmel Studio)
    - Betreuung durch Übungsbetreuer
- Termin: Initial 8 Gruppen zur Auswahl
  - Anmeldung über Waffel (siehe Webseite): Heute, 18:00 – So, 18:00
  - Bei zu wenigen Teilnehmern behalten wir uns eine Verteilung auf andere Gruppen vor. Ihr werdet in diesem Fall per E-Mail angeschrieben.

Zur Übungsteilnahme wird ein gültiges Login in Linux-CIP gebraucht!

Programmieraufgaben

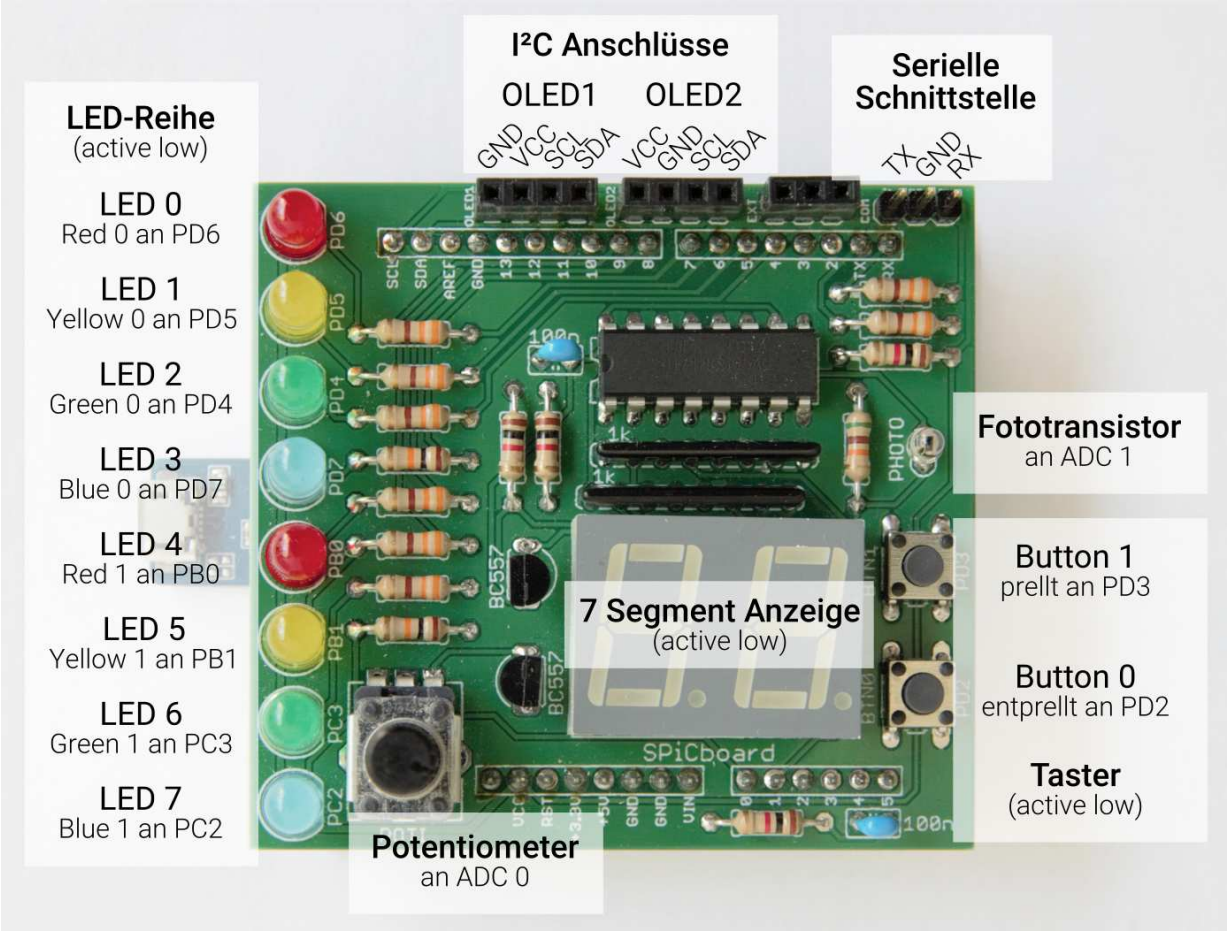
- Praktische Umsetzung des Vorlesungsstoffs
  - Fünf Programmieraufgaben (Abgabe ca. alle 14 Tage) ↪ 2–7
  - Bearbeitung wechselseitig alleine / mit Übungspartner
- Lösungen mit Abgabeskript am Rechner abgeben
  - Lösung wird durch Skripte überprüft
  - Wir korrigieren und bepunkten die Abgaben und geben 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!**

01-02-Konzept: 2017-04-24

Übungsplattform: Das SPiCboard

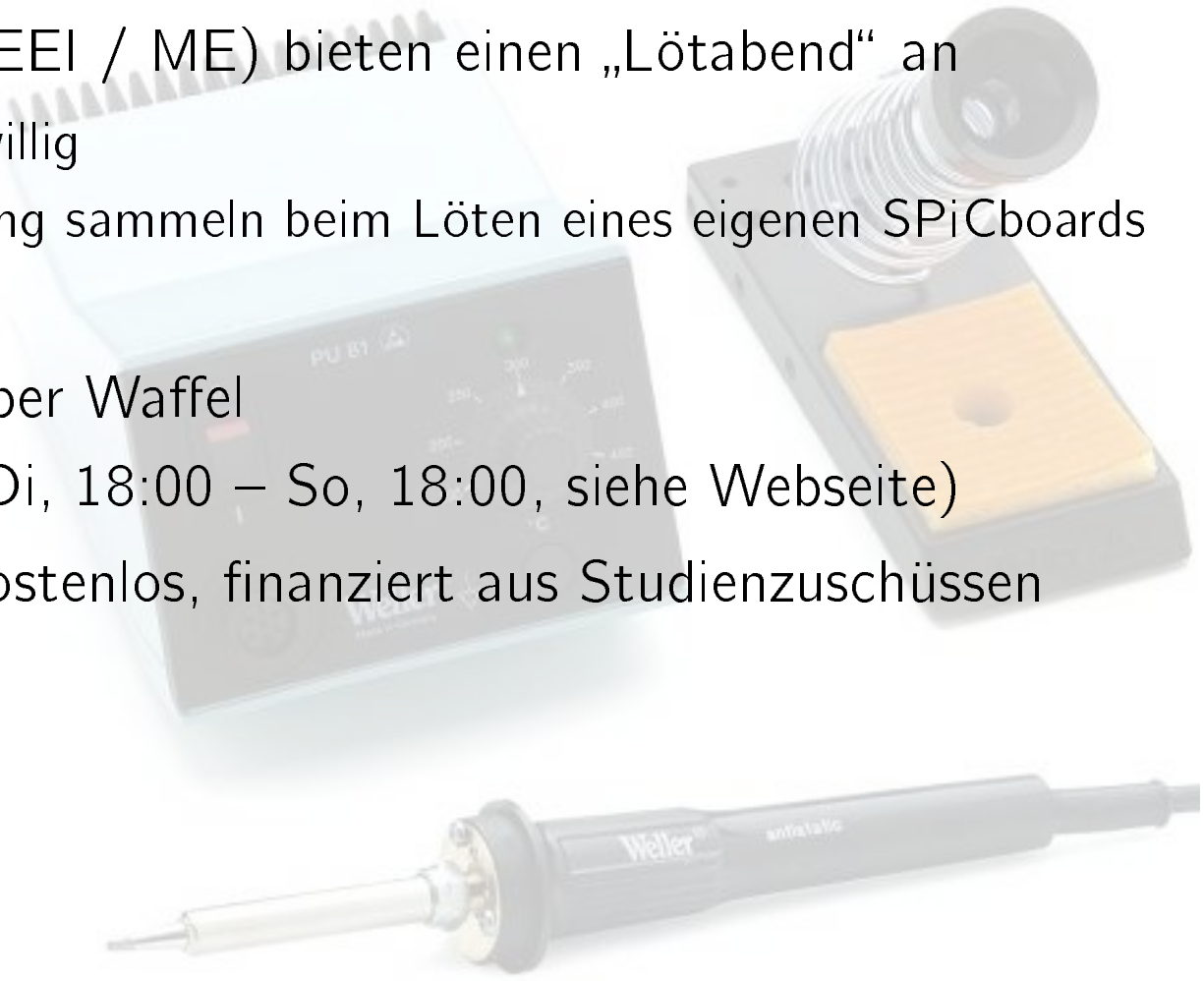
- ATmega328-μC
- USB-Anschluss
- 8 LEDs
- 2 7-Seg-Elemente
- 2 Taster
- 1 Potentiometer
- 1 Fotosensor



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

SPiCboard-Lötabend

- Die Fachschaften (EEI / ME) bieten einen „Lötabend“ an
  - Teilnahme ist freiwillig
  - (Erste) Löterfahrung sammeln beim Löten eines eigenen SPiCboards
- **Anmeldung:** über Waffel
  (Di, 18:00 – So, 18:00, siehe Webseite)
- **Kostenbeitrag:** kostenlos, finanziert aus Studienzuschüssen



Prüfung und Modulnote

- Prüfung (Klausur)
  - Termin: voraussichtlich Ende Juli / Anfang August
  - Dauer: 60 min
  - Inhalt: Fragen zum Vorlesungsstoff + Programmieraufgabe
- Klausurnote $\mapsto$ 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 $\mapsto$ +1% der möglichen KP

    $\rightsquigarrow$ 100% der möglichen ÜP $\mapsto$ +10% der möglichen KP

Semesterplanung

KW	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Themen
17	24.04.	25.04.	26.04.	27.04.	28.04.	*Einführung, Organisation, Java nach C* *Abstraktion, Sprachüberblick, Datentypen*
	VL 1			VL 2		
18	01.05.	02.05.	03.05.	04.05.	05.05.	*Ausdrücke, Kontrollstrukturen, Funktionen*
	Feiertag	A1 (Blink)		VL 3		
19	08.05.	09.05.	10.05.	11.05.	12.05.	*Funktionen (Forts.), Variablen, Präprozessor, Programmstruktur, Module*
	A2 (Snake)			VL 4		
20	15.05.	16.05.	17.05.	18.05.	19.05.	*Zeiger*
				VL 5		
21	22.05.	23.05.	24.05.	25.05.	26.05.	
	A3 (Spiel)			*Himmelf.*		
22	29.05.	30.05.	31.05.	01.06.	02.06.	*Mikrocontroller-Systemarchitektur, volatile, Verbundtypen (struct, union)*
				VL 6		
23	05.06.	06.06.	07.06.	08.06.	09.06.	
	Pfingsten/Berg					
24	12.06.	13.06.	14.06.	15.06.	16.06.	
				Fronleich.		
25	19.06.	20.06.	21.06.	22.06.	23.06.	*Interrupts, Nebenläufigkeit*
	A4 (LED)			VL 7		
26	26.06.	27.06.	28.06.	29.06.	30.06.	
27	03.07.	04.07.	05.07.	06.07.	07.07.	*Speicherorganisation, Zusammenfassung*
	A5 (Ampel)			VL 8		
28	10.07.	11.07.	12.07.	13.07.	14.07.	
29	17.07.	18.07.	19.07.	20.07.	21.07.	
	Wiederholung					
30	24.07.	25.07.	26.07.	27.07.	28.07.	*Fragestunde*
				VL 9		

Beteiligte Personen, LS Informatik 4

Dozenten Vorlesung

Volkmar Sieh

Jürgen Kleinöder

Organisatoren des Übungsbetriebs

Rainer Müller

Sebastian Maier

Heiko Janker

Beteiligte Personen, LS Informatik 4 (Forts.)

Techniker (Ausleihe SPiCboard)

Harald Junggunst

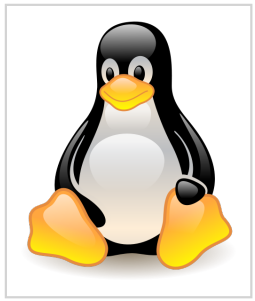
Christian Preller

Daniel Christiani

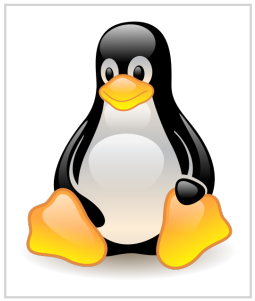
Beteiligte Personen, LS Informatik 4 (Forts.)

Übungsleiter

Constantin Baumann



Fabian Dechent

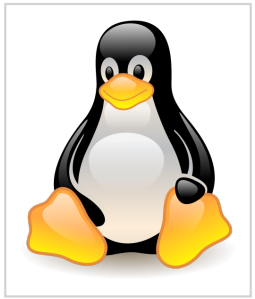


Tom Endres

Lukas Geyer

Julius Gohsrich

Jonas Herterich



Mike Schmidt

Tim Zunner

Bei Fragen oder Problemen

- Vorlesungs- und Übungsfolien konsultieren
- Häufig gestellte Fragen (FAQ) und Antworten siehe Webseite
  → `http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_GSPIC`
  → Übungen
  → FAQ
- Allgemeine Fragen zu Übungsaufgaben etc. im EEI-Forum posten
  → `https://eei.fsi.uni-erlangen.de/forum/forum/16`
- Bei speziellen Fragen Mail an Mailingliste (alle Übungsleiter)
  → i4spic@cs.fau.de

Grundlagen der Systemnahen Programmierung in C (GSPiC)

Teil B Einführung in C

Jürgen Kleinöder, Daniel Lohmann, Volkmar Sieh

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2017

http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS17/V_GSPIC

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)

```
~> gcc -o hello hello.c
~> ./hello
Hello World!
~>
```

Gar nicht so schwer :-)

Das erste C-Programm – Vergleich mit Java

- 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;
}
```

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

```java
import java.lang.System;
class Hello {
  public static void main(String[] args) {
    /* greet user */
    System.out.println("Hello World!");
    return;
  }
}
```


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, 01-10]
  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 6, active low
  DDRD  |= (1<<6);  // PD6 is used as output
  PORTD |= (1<<6);  // PD6: high --> LED is off

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

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

μ-Controller-Programmierung ist „irgendwie anders“.

- Übersetzen und **Flashen** (mit Atmel Studio) $\rightsquigarrow$ 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 6, active low
5    DDRD  |= (1<<6);  // PD6 is used as output
6    PORTD |= (1<<6);  // PD6: high --> LED is off
7
8    // greet user
9    PORTD &= ~(1<<6); // PD6: 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.

  5-6 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.

  12-13 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:

```
1  #include <avr/io.h>
2
3  void main() {
4    // initialize hardware: button on port D pin 2
5    DDRD  &= ~(1<<2);  // PD2 is used as input
6    PORTD |=  (1<<2);  // activate pull-up: PD2: high
7
8    // initialize hardware: LED on port D pin 6, active low
9    DDRD  |= (1<<6);  // PD6 is used as output
10   PORTD |= (1<<6);  // PD6: high --> LED is off
11
12   // wait until PD2 -> low (button is pressed)
13   while(PIND & (1<<2))
14     ;
15
16   // greet user
17   PORTD &= ~(1<<6); // PD6: low --> LED is on
18
19   // wait forever
20   while(1)
21     ;
22 }
```

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 $\leadsto$ PD2 = *high*.
  - 13-14 **Aktive Warteschleife:** Wartet auf Tastendruck, d. h. solange PD2 (Bit 2 im Register `PIND`) *high* ist. Ein Tasterdruck zieht PD2 auf Masse $\leadsto$ Bit 2 im Register `PIND` wird *low* und die Schleife verlassen.

Zum Vergleich: Benutzerinteraktion als Java-Programm

```
1  import java.lang.System;
2  import javax.swing.*;
3  import java.awt.event.*;
4
5  public class Input implements ActionListener {
6    private JFrame frame;
7
8    public static void main(String[] args) {
9      // create input, frame and button objects
10     Input input = new Input();
11     input.frame = new JFrame("Java-Programm");
12     JButton button = new JButton("Klick mich");
13
14     // add button to frame
15     input.frame.add(button);
16     input.frame.setSize(400, 400);
17     input.frame.setVisible(true);
18
19     // register input as listener of button events
20     button.addActionListener(input);
21   }
22
23   public void actionPerformed(ActionEvent e) {
24     System.out.println("Knopfdruck!");
25     System.exit(0);
26   }
27 }
```

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

- 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**.

  10-12 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.

  23-26 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

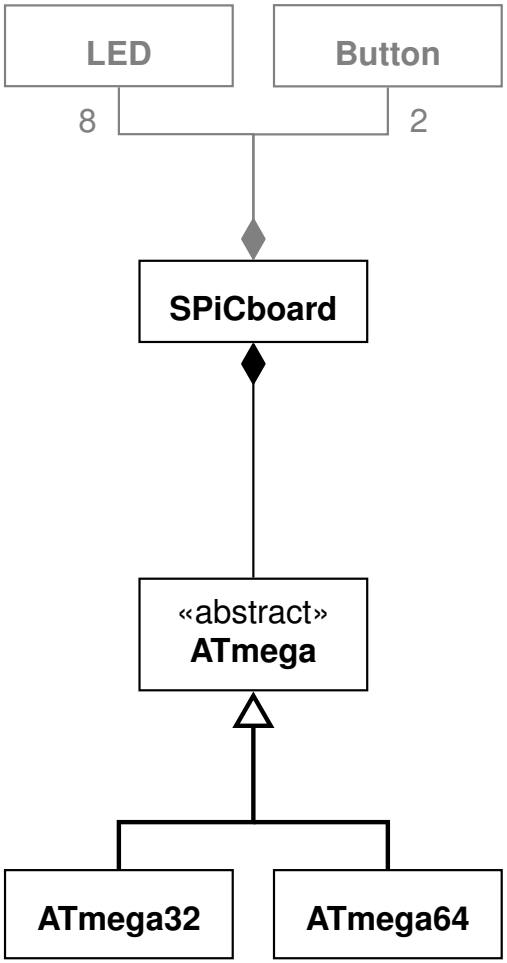
Die Maschinennähe von C zeigt sich insbesondere auch bei der μ-Controller-Programmierung!

- 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

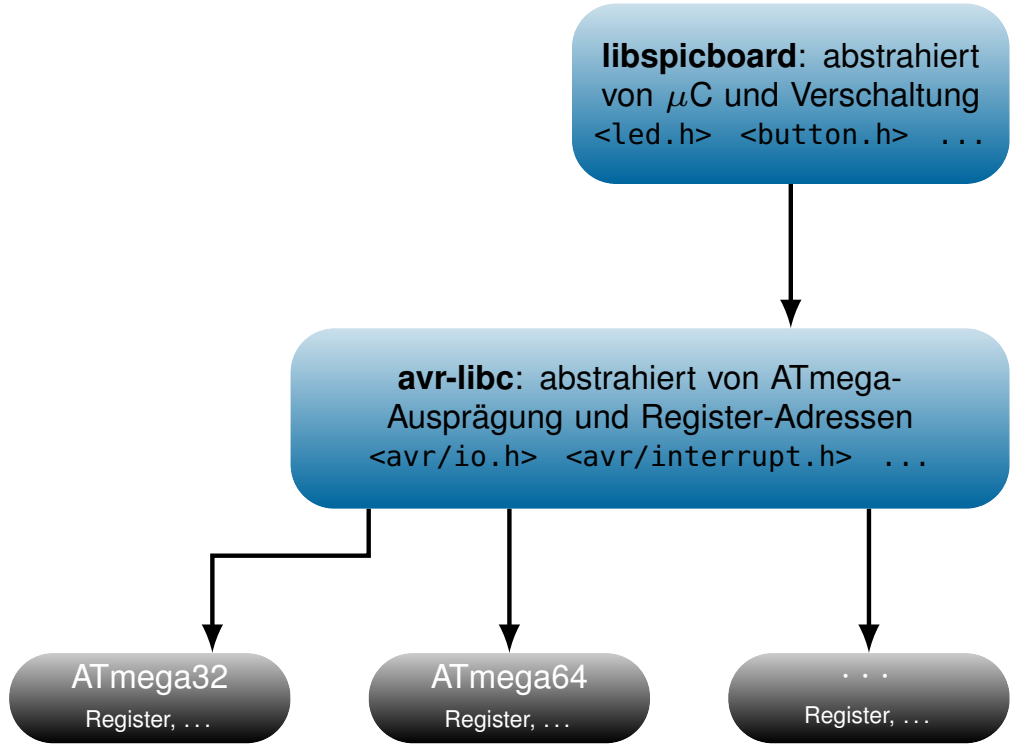
Ansatz: Mehr Abstraktion durch problemorientierte Bibliotheken

Abstraktion durch Softwareschichten: SPiCboard

Hardwaresicht



Softwareschichten



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);
```

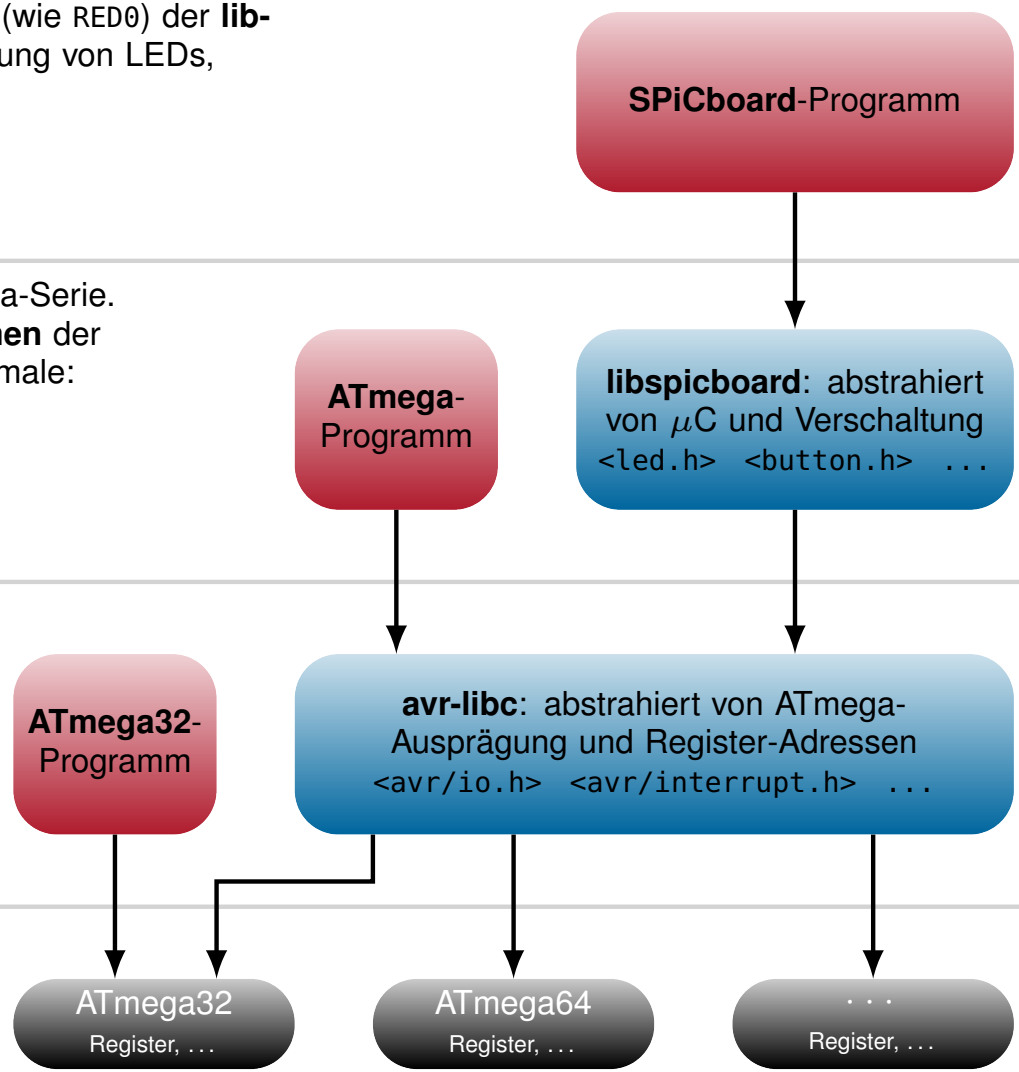
Programm läuft auf **jedem** μC der ATmega-Serie. Es verwendet **symbolische Registernamen** der **avr-libc** (wie `PORTD`) und allgemeine Merkmale:

```
#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:



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 & (1<<2)) {
  }

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

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

(vgl. ↪ 3–8)

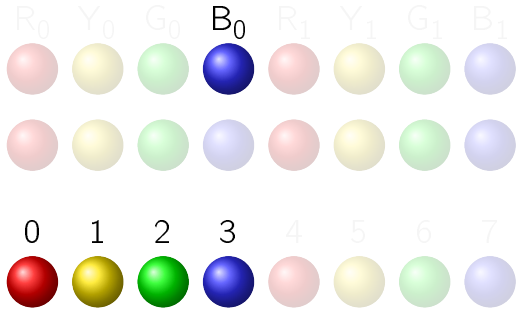
Nun: Entwicklung mit libspicboard

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

void main(void) {

  // wait until Button0 is pressed
  while(sb_button_getState(BUTTON0)
        != BUTTONSTATE_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_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_led_on(BLUE0)` ⇝
    - LED ausschalten: `sb_led_off(BLUE0)` ⇝
    - Alle LEDs ein-/ausschalten: `sb_led_set_all_leds(0x0f)` ⇝

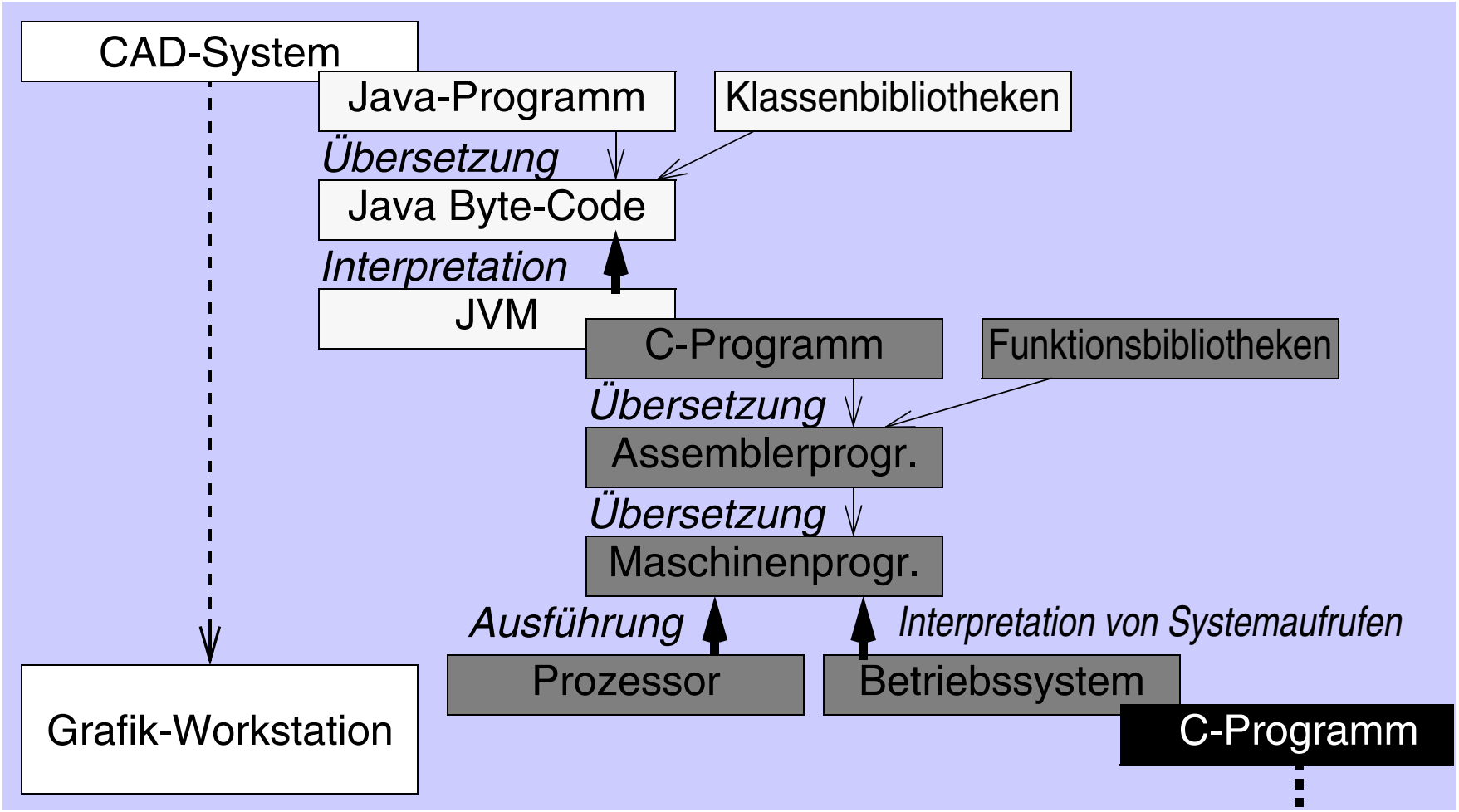


  - 7-Seg-Modul (`#include <7seg.h>`)
    - Ganzzahl $n \in \{-9 \ldots 99\}$ ausgeben: `sb_7seg_showNumber(47)` ⇝

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

Softwareschichten im Allgemeinen

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

Die Rolle des Betriebssystems (Forts.)

- **Systemsicht:** Softwareschicht zum Multiplexen der Hardware ($\hookrightarrow$ Mehrbenutzerbetrieb)
  - Parallele Abarbeitung von Programminstanzen durch **Prozesskonzept**
    - Virtueller Speicher $\hookrightarrow$ eigener 32-/64-Bit-Adressraum
    - Virtueller Prozessor $\hookrightarrow$ wird transparent zugeteilt und entzogen
    - Virtuelle Ein-/Ausgabe-Geräte $\hookrightarrow$ 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 $\rightsquigarrow$ **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 = 0;
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() {
  int a = 23;
  int b = 0;
  sei();
  b = 4711 / (a-23);
  sb_7seg_showNumber(b);

  while(1){}
}
```

Ausführen ergibt:

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

Überblick: Teil B Einführung in C

Struktur eines C-Programms – allgemein

```
1  // include files
2  #include ...
3
4  // global variables
5  ... variable1 = ...
6
7  // subfunction 1
8  ... subfunction_1(...) {
9    // local variables
10   ... variable1 = ...
11   // statements
12   ...
13 }
14 // subfunction n
15 ... subfunction_n(...) {
16
17   ...
18
19 }
20
21 // main function
22 ... main(...) {
23
24   ...
25
26 }
```

- Ein C-Programm besteht (üblicherweise) aus
  - Menge von globalen Variablen
  - Menge von (Sub-)Funktionen
    - Menge von lokalen Variablen
    - Menge von Anweisungen
  - Der Funktion `main()`, in der die Ausführung beginnt

Struktur eines C-Programms – am Beispiel

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait(void) {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Ein C-Programm besteht (üblicherweise) aus
  - Menge von globalen Variablen — `nextLED`, Zeile 5
  - Menge von (Sub-)Funktionen — `wait()`, Zeile 15
    - Menge von lokalen Variablen — `i`, Zeile 16
    - Menge von Anweisungen — `for`-Schleife, Zeile 17
  - Der Funktion `main()`, in der die Ausführung beginnt

Bezeichner [=Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait(void) {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Vom Entwickler vergebener Name für ein Element des Programms
  - Element: Typ, Variable, Konstante, Funktion, Sprungmarke
  - Aufbau: **[** *A-Z, a-z,* _ **]** **[** *A-Z, a-z, 0-9,* _ **]** $*$
    - Buchstabe gefolgt von Buchstaben, Ziffern und Unterstrichen
    - Unterstrich als erstes Zeichen möglich, aber reserviert für Compilerhersteller
  - Ein Bezeichner muss vor Gebrauch deklariert werden

Schlüsselwörter [≈Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait(void) {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Reservierte Wörter der Sprache
  (⇝ dürfen nicht als Bezeichner verwendet werden)
  - Eingebaute (*primitive*) Datentypen — `unsigned int`, `void`
  - Typmodifizierer — `volatile`
  - Kontrollstrukturen — `for`, `while`
  - Elementaranweisungen — `return`

Schlüsselwörter in C99

[Handout]

- Referenz: Liste der Schlüsselwörter (bis einschließlich C99)
  - `auto`, `_Bool`, `break`, `case`, `char`, `_Complex`, `const`, `continue`, `default`, `do`, `double`, `else`, `enum`, `extern`, `float`, `for`, `goto`, `if`, `_Imaginary`, `inline`, `int`, `long`, `register`, `restrict`, `return`, `short`, `signed`, `sizeof`, `static`, `struct`, `switch`, `typedef`, `union`, `unsigned`, `void`, `volatile`, `while`

Literale [=Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait(void) {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- (Darstellung von) Konstanten im Quelltext
  - Für jeden primitiven Datentyp gibt es eine oder mehrere Literalformen
    - Bei Integertypen: dezimal (Basis 10: `65535`), hexadezimal (Basis 16, führendes `0x`: `0xffff`), oktal (Basis 8, führende `0`: `0177777`)
  - Der Programmierer kann jeweils die am besten geeignete Form wählen
    - `0xffff` ist handlicher als `65535`, um den Maximalwert einer vorzeichenlosen 16-Bit-Ganzzahl darzustellen

Anweisungen [=Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait(void) {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Beschreiben den eigentlichen Ablauf des Programms
- Werden hierarchisch komponiert aus drei Grundformen
  - Einzelanweisung – Ausdruck gefolgt von ;
    - einzelnes Semikolon ↦ leere Anweisung
  - Block – Sequenz von Anweisungen, geklammert durch {...}
  - Kontrollstruktur, gefolgt von Anweisung

Ausdrücke [= Java]

```
1  // include files
2  #include <led.h>
3
4  // global variables
5  LED nextLED = RED0;
6
7  // subfunction 1
8  LED lightLED(void) {
9    if (nextLED <= BLUE1) {
10     sb_led_on(nextLED++);
11   }
12   return nextLED;
13 }
```

```
14 // subfunction 2
15 void wait(void) {
16   volatile unsigned int i;
17   for (i=0; i<0xffff; i++)
18     ;
19 }
20
21 // main function
22 void main() {
23   while (lightLED() < 8) {
24     wait();
25   }
26 }
```

- Gültige Kombination von Operatoren, Literalen und Bezeichnern
  - „Gültig“ im Sinne von Syntax und Typsystem
  - Vorrangregeln für Operatoren legen die Reihenfolge fest, in der Ausdrücke abgearbeitet werden ↪ 7–14
    - Auswertungsreihenfolge kann mit Klammern ( ) explizit bestimmt werden
    - Der Compiler darf Teilausdrücke in möglichst effizienter Folge auswerten

Überblick: Teil B Einführung in C

Was ist ein Datentyp? [↪ GDI, 03-2]

- **Datentyp** := (<*Menge von Werten*>, <*Menge von Operationen*>)
  - Literal — Wert im Quelltext ↪ 5–6
  - Konstante — Bezeichner für einen Wert
  - Variable — Bezeichner für Speicherplatz, der einen Wert aufnehmen kann
  - Funktion — Bezeichner für Sequenz von Anweisungen, die einen Wert zurückgibt

  ⇝ Literale, Konstanten, Variablen, Funktionen haben einen **(Daten-)Typ**

- Datentyp legt fest
  - Repräsentation der Werte im Speicher
  - Größe des Speicherplatzes für Variablen
  - Erlaubte Operationen

- Datentyp wird festgelegt
  - Explizit, durch Deklaration, Typ-Cast oder Schreibweise (Literale)
  - Implizit, durch „Auslassung“ (⇝ int schlechter Stil!)

Primitive Datentypen in C

- Ganzzahlen/Zeichen `char`, `short`, `int`, `long`, `long long` (C99)
  - Wertebereich: implementierungsabhängig [≠Java]
    Es gilt: `char` ≤ `short` ≤ `int` ≤ `long` ≤ `long long`
  - Jeweils als `signed`- und `unsigned`-Variante verfügbar
- Fließkommazahlen `float`, `double`, `long double`
  - Wertebereich: implementierungsabhängig [≠Java]
    Es gilt: `float` ≤ `double` ≤ `long double`
  - Ab C99 auch als `_Complex`-Datentypen verfügbar (für komplexe Zahlen)
- Leerer Datentyp `void`
  - Wertebereich: ∅
- Boolescher Datentyp `_Bool` (C99)
  - Wertebereich: $\{0, 1\}$ ($\hookleftarrow$ letztlich ein Integertyp)
  - Bedingungsausdrücke (z. B. `if(...)`) sind in C vom Typ `int`! [≠Java]

Integertypen [≈Java][↪ GDI, 03-2]

Integertyp	Verwendung	Literalformen
`char`	kleine Ganzzahl oder Zeichen	`'A'`, `65`, `0x41`, `0101`
`short [int]`	Ganzzahl (`int` ist optional)	s. o.
`int`	Ganzzahl „natürlicher Größe“	s. o.
`long [int]`	große Ganzzahl	`65L`, `0x41L`, `0101L`
`long long [int]`	sehr große Ganzzahl	`65LL`, `0x41LL`, `0101LL`

Typ-Modifizierer	werden vorangestellt	Literal-Suffix
signed	Typ ist vorzeichenbehaftet (Normalfall)	-
unsigned	Typ ist vorzeichenlos	`U`
const	Variable des Typs kann nicht verändert werden	-

- Beispiele (Variablendefinitionen)

```
char a                = 'A';    // char-Variable, Wert 65 (ASCII: A)
const int b           = 0x41;   // int-Konstante, Wert 65 (Hex: 0x41)
long c                = 0L;     // long-Variable, Wert 0
unsigned long int d = 22UL;   // unsigned-long-Variable, Wert 22
```

Integertypen: Größe und Wertebereich [≠Java]

- Die interne Darstellung (Bitbreite) ist implementierungsabhängig

	Datentyp-Breite in Bit				
	Java	C-Standard	gcc_{IA32}	gcc_{IA64}	gcc_{AVR}
`char`	16	≥ 8	8	8	8
`short`	16	≥ 16	16	16	16
`int`	32	≥ 16	32	32	16
`long`	64	≥ 32	32	64	32
`long long`	-	≥ 64	64	64	64

- Der Wertebereich berechnet sich aus der Bitbreite
  - signed $\quad -(2^{Bits-1}-1) \longrightarrow +(2^{Bits-1}-1)$
  - unsigned $\quad 0 \longrightarrow +(2^{Bits}-1)$

Hier zeigt sich die C-Philosophie: Effizienz durch **Maschinennähe** ↪ 3–14

Die interne Repräsentation der Integertypen ist definiert durch die **Hardware** (Registerbreite, Busbreite, etc.). Das führt im Ergebnis zu **effizientem Code**.

Integertypen: Maschinennähe $\longrightarrow$ Problemnähe

- **Problem:** Breite ($\rightsquigarrow$ Wertebereich) der C-Standardtypen ist implementierungsspezifisch $\mapsto$ **Maschinennähe**
- **Oft benötigt:** Integertyp definierter Größe $\mapsto$ **Problemnähe**
  - Wertebereich sicher, aber möglichst kompakt darstellen
  - Register definierter Breite n bearbeiten
  - Code unabhängig von Compiler und Hardware halten ($\rightsquigarrow$ Portierbarkeit)
- **Lösung:** Modul `stdint.h`
  - Definiert Alias-Typen: `int`n`_t` und `uint`n`_t` für $n \in \{8, 16, 32, 64\}$
  - Wird vom Compiler-Hersteller bereitgestellt

Wertebereich `stdint.h`-Typen							
`uint8_t`	0	$\rightarrow$	255	`int8_t`	-128	$\rightarrow$	$+127$
`uint16_t`	0	$\rightarrow$	65.535	`int16_t`	-32.768	$\rightarrow$	$+32.767$
`uint32_t`	0	$\rightarrow$	4.294.967.295	`int32_t`	$-2.147.483.648$	$\rightarrow$	$+2.147.483.647$
`uint64_t`	0	$\rightarrow$	$> 1,8 * 10^{19}$	`int64_t`	$< -9,2 * 10^{18}$	$\rightarrow$	$> +9,2 * 10^{18}$

Typ-Aliase mit `typedef` [≠Java]

- Mit dem `typedef`-Schlüsselwort definiert man einen Typ-Alias:

  `typedef` *Typausdruck Bezeichner*`;`

  - *Bezeichner* ist nun ein alternativer Name für *Typausdruck*
  - Kann überall verwendet werden, wo ein Typausdruck erwartet wird

```
// stdint.h (avr-gcc)                  // stdint.h (x86-gcc, IA32)
typedef unsigned char uint8_t;         typedef unsigned char  uint8_t;
typedef unsigned int  uint16_t;        typedef unsigned short uint16_t;
...                                    ...
```

```
// main.c
#include <stdint.h>

uint16_t counter = 0;      // global 16-bit counter, range 0-65535
...
typedef uint8_t Register; // Registers on this machine are 8-bit
...
```

Typ-Aliase mit `typedef` (Forts.) [≠Java]

- Typ-Aliase ermöglichen einfache problembezogene Abstraktionen
  - `Register` ist problemnäher als `uint8_t`
    ⇝ Spätere Änderungen (z. B. auf 16-Bit-Register) zentral möglich
  - `uint16_t` ist problemnäher als `unsigned char`
  - `uint16_t` ist sicherer als `unsigned char`

Definierte Bitbreiten sind bei der μC-Entwicklung sehr wichtig!

- Große Unterschiede zwischen Plattformen und Compilern
  ⇝ Kompatibilitätsprobleme
- Um Speicher zu sparen, sollte immer der **kleinstmögliche** Integertyp verwendet werden

Regel: Bei der systemnahen Programmierung werden Typen aus `stdint.h` verwendet!

Aufzählungstypen mit enum [≈Java]

- Mit dem **enum**-Schlüsselwort definiert man einen Aufzählungstyp über eine explizite Menge symbolischer Werte:

  `enum` *Bezeichner*$_{opt}$ `{` *KonstantenListe* `} ;`

- Beispiel
  - Definition:

```
enum eLED {RED0, YELLOW0, GREEN0, BLUE0,
           RED1, YELLOW1, GREEN1, BLUE1};
```

  - Verwendung:

```
enum eLED myLed = YELLOW0;  // enum necessary here!
...
sb_led_on(BLUE1);
```

- Vereinfachung der Verwendung durch `typedef`
  - Definition:

```
typedef enum eLED {RED0, YELLOW0, GREEN0, BLUE0,
                   RED1, YELLOW1, GREEN1, BLUE1} LED;
```

  - Verwendung:

```
LED myLed = YELLOW0;  // LED --> enum eLED
```


enum ↦ int [≠Java]

- Technisch sind enum-Typen Integers (int)
  - enum-Konstanten werden von 0 an durchnummeriert

```
typedef enum { RED0,      // value: 0
               YELLOW0,   // value: 1
               GREEN0,    // value: 2
               ··· } LED;
```

  - Es ist auch möglich, Werte direkt zuzuweisen

```
typedef enum { BUTTON0 = 4, BUTTON1 = 8 } BUTTON;
```

  - Man kann sie verwenden wie ints (z. B. mit ihnen rechnen)

```
sb_led_on(RED0 + 2);  // -> LED GREEN0 is on
sb_led_on(1);         // -> LED YELLOW0 is on
for( int led = RED0, led <= BLUE1; led++ )
  sb_led_off(led);    // turn off all LEDs
// Also possible...
sb_led_on(4711);      // no compiler/runtime error!
```

- ⇝ Es findet **keinerlei Typprüfung** statt!

Das entspricht der **C-Philosophie**! ↪ 3–14

Fließkommatypen [≈Java]

- Fließkommatyp — Verwendung — Literalformen
  - `float` — einfache Genauigkeit (≈ 7 St.) — `100.0F`, `1.0E2F`
  - `double` — doppelte Genauigkeit (≈ 15 St.) — `100.0`, `1.0E2`
  - `long double` — „erweiterte Genauigkeit“ — `100.0L` `1.0E2L`
- Genauigkeit / Wertebereich sind implementierungsabhängig [≠Java]
  - Es gilt: `float` ≤ `double` ≤ `long double`
  - `long double` und `double` sind auf vielen Plattformen identisch

„Effizienz durch Maschinennähe“ ↪ 3–14

Fließkommazahlen + μC-Plattform = $$$

- Oft keine Hardwareunterstützung für `float`-Arithmetik
  ⇝ **sehr teure** Emulation in Software (langsam, viel zusätzlicher Code)
- Speicherverbrauch von `float`- und `double`-Variablen ist **sehr hoch**
  ⇝ mindestens 32/64 Bit (`float`/`double`)

Regel: Bei der μ-Controller-Programmierung ist auf Fließkommaarithmetik **zu verzichten**!

Zeichen $\mapsto$ Integer [$\approx$Java]

- Zeichen sind in C ebenfalls Ganzzahlen (Integers) $\hookrightarrow$ 6–3
  - `char` gehört zu den Integer-Typen (üblicherweise 8 Bit = 1 Byte)
- Repräsentation erfolgt durch den ASCII-Code $\hookrightarrow$ 6–12
  - 7-Bit-Code $\mapsto$ 128 Zeichen standardisiert
    (die verbleibenden 128 Zeichen werden unterschiedlich interpretiert)
  - Spezielle Literalform durch Hochkommata
    `'A'` $\mapsto$ ASCII-Code von `A`
  - Nichtdruckbare Zeichen durch Escape-Sequenzen
    - Tabulator `'\t'`
    - Zeilentrenner `'\n'`
    - Backslash `'\\'`
- Zeichen $\mapsto$ Integer $\rightsquigarrow$ man kann mit Zeichen rechnen

```
char b = 'A' + 1;          // b: 'B'

int lower(int ch) {        // lower('X'): 'x'
  return ch + 0x20;
}
```

ASCII-Code-Tabelle (7 Bit)

ASCII $\mapsto$ *American Standard Code for Information Interchange*

NUL 00	**SOH** 01	**STX** 02	**ETX** 03	**EOT** 04	**ENQ** 05	**ACK** 06	**BEL** 07
BS 08	**HT** 09	**NL** 0A	**VT** 0B	**NP** 0C	**CR** 0D	**SO** 0E	**SI** 0F
DLE 10	**DC1** 11	**DC2** 12	**DC3** 13	**DC4** 14	**NAK** 15	**SYN** 16	**ETB** 17
CAN 18	**EM** 19	**SUB** 1A	**ESC** 1B	**FS** 1C	**GS** 1D	**RS** 1E	**US** 1F
SP 20	**!** 21	**"** 22	**#** 23	**$** 24	**%** 25	**&** 26	**'** 27
(28	**)** 29	***** 2A	**+** 2B	**,** 2C	**-** 2D	**.** 2E	**/** 2F
0 30	**1** 31	**2** 32	**3** 33	**4** 34	**5** 35	**6** 36	**7** 37
8 38	**9** 39	**:** 3A	**;** 3B	**<** 3C	**=** 3D	**>** 3E	**?** 3F
@ 40	**A** 41	**B** 42	**C** 43	**D** 44	**E** 45	**F** 46	**G** 47
H 48	**I** 49	**J** 4A	**K** 4B	**L** 4C	**M** 4D	**N** 4E	**O** 4F
P 50	**Q** 51	**R** 52	**S** 53	**T** 54	**U** 55	**V** 56	**W** 57
X 58	**Y** 59	**Z** 5A	**[** 5B	**** 5C	**]** 5D	**^** 5E	**_** 5F
` 60	**a** 61	**b** 62	**c** 63	**d** 64	**e** 65	**f** 66	**g** 67
h 68	**i** 69	**j** 6A	**k** 6B	**l** 6C	**m** 6D	**n** 6E	**o** 6F
p 70	**q** 71	**r** 72	**s** 73	**t** 74	**u** 75	**v** 76	**w** 77
x 78	**y** 79	**z** 7A	**{** 7B	**|** 7C	**}** 7D	**~** 7E	**DEL** 7F

Zeichenketten (Strings) [≠Java]

- Ein String ist in C ein Feld (Array) von Zeichen
  - Repräsentation: Folge von Einzelzeichen, terminiert durch (letztes Zeichen): `NUL` (ASCII-Wert 0)
  - Speicherbedarf: (Länge + 1) Bytes
- Spezielle Literalform durch doppelte Hochkommata:

`"Hi!"` ↦

'H'	'i'	'!'	0

← abschließendes 0-Byte

- Beispiel (Linux)

```
#include <stdio.h>

char string[] = "Hello, World!\n";

int main(void) {
  printf("%s", string);
  return 0;
}
```

Zeichenketten brauchen vergleichsweise viel Speicher und „größere“ Ausgabegeräte (z. B. LCD-Display).
⇝ Bei der μC-Programmierung spielen sie nur eine untergeordnete Rolle.

Ausblick: Komplexe Datentypen

- Aus einfachen Datentypen lassen sich (rekursiv) auch komplexe(re) Datentypen bilden
  - Felder (Arrays) $\hookrightarrow$ Sequenz von Elementen gleichen Typs [≈Java]

```
int intArray[4];          // allocate array with 4 elements
intArray[0] = 0x4711;     // set 1st element (index 0)
```

  - Zeiger $\hookrightarrow$ veränderbare Referenzen auf Variablen [≠Java]

```
int  a = 0x4711;          // a: 0x4711
int *b = &a;              // b: -->a (memory location of a)
int  c = *b;              // pointer dereference (c: 0x4711)
*b     = 23;              // pointer dereference (a: 23)
```

  - Strukturen $\hookrightarrow$ Verbund von Elementen bel. Typs [≠Java]

```
struct Point { int x; int y; };
struct Point p;           // p is Point variable
p.x = 0x47;               // set x-component
p.y = 0x11;               // set y-component
```

- Wir betrachten diese detailliert in späteren Kapiteln

Überblick: Teil B Einführung in C

Arithmetische Operatoren [=Java]

- Stehen für alle Ganzzahl- und Fließkommatypen zur Verfügung

$+$	Addition	
$-$	Subtraktion	
$\star$	Multiplikation	
/	Division	
unäres $-$	negatives Vorzeichen (z. B. $-a$)	$\leadsto$ Multiplikation mit -1
unäres $+$	positives Vorzeichen (z. B. $+3$)	$\leadsto$ kein Effekt

- Zusätzlich nur für Ganzzahltypen:

%	Modulo (Rest bei Division)

Inkrement-/Dekrement-Operatoren [=Java][↪ GDI, 07-02]

- Stehen für Ganzzahltypen und Zeigertypen zur Verfügung

++	Inkrement (Erhöhung um 1)
−−	Dekrement (Verminderung um 1)

- Linksseitiger Operator (Präfix) ++x bzw. --x
  - Erst wird der Inhalt von x verändert
  - Dann wird der (neue) Inhalt von x als Ergebnis geliefert
- Rechtsseitiger Operator (Postfix) x++ bzw. x--
  - Erst wird der (alte) Inhalt von x als Ergebnis geliefert
  - Dann wird der Inhalt von x verändert
- Beispiele

```
a = 10;
b = a++;  // b: 10, a: 11
c = ++a;  // c: 12, a: 12
```

Vergleichsoperatoren [=Java][↪ GDI, 03-09]

- Vergleichen von zwei Ausdrücken

$<$	kleiner
$<=$	kleiner gleich
$>$	größer
$>=$	größer gleich
$==$	gleich (zwei Gleichheitszeichen!)
$!=$	ungleich

- Beachte: Ergebnis ist vom Typ `int` [≠Java]
  - Ergebnis: *falsch* $\mapsto$ 0
    wahr $\mapsto$ 1
  - Man kann mit dem Ergebnis rechnen
- Beispiele

```
if (a >= 3) {···}
if (a == 3) {···}
return a * (a > 0);   // return 0 if a is negative
```


Logische Operatoren [≈Java][↪ GDI, 03-10]

- Verknüpfung von Wahrheitswerten (wahr / falsch), kommutativ

&&	„und“	*wahr*	&&	*wahr*	→	*wahr*
	(Konjunktion)	*wahr*	&&	*falsch*	→	*falsch*
		falsch	&&	*falsch*	→	*falsch*
||	„oder“	*wahr*	||	*wahr*	→	*wahr*
	(Disjunktion)	*wahr*	||	*falsch*	→	*wahr*
		falsch	||	*falsch*	→	*falsch*
!	„nicht“		!	*wahr*	→	*falsch*
	(Negation, unär)		!	*falsch*	→	*wahr*

- Beachte: Operanden und Ergebnis sind vom Typ `int` [≠Java]
  - Operanden (Eingangsparameter): $0 \mapsto$ *falsch*, $\neq 0 \mapsto$ *wahr*
  - Ergebnis: *falsch* $\mapsto 0$, *wahr* $\mapsto 1$

Logische Operatoren – Auswertung [=Java]

- Die Auswertung eines logischen Ausdrucks wird abgebrochen, sobald das Ergebnis feststeht
  - Sei `int a = 5; int b = 3; int c = 7;`

$$\underbrace{\underbrace{a > b}_{1} \;||\; \underbrace{a > c}_{?}}_{1}$$

⟵ wird nicht ausgewertet, da der erste Term bereits *wahr* ergibt

$$\underbrace{\underbrace{a > c}_{0} \;\&\&\; \underbrace{a > b}_{?}}_{0}$$

⟵ wird nicht ausgewertet, da der erste Term bereits *falsch* ergibt

- Kann überraschend sein, wenn Teilausdrücke Nebeneffekte haben

```
int a = 5; int b = 3; int c = 7;
if ( a > c && !func(b) ) {···}      // func() will not be called
```

Zuweisungsoperatoren [=Java]

- Allgemeiner Zuweisungsoperator (=)
  - Zuweisung eines Wertes an eine Variable
  - Beispiel: `a = b + 23`
- Arithmetische Zuweisungsoperatoren (+=, −=, ...)
  - Abgekürzte Schreibweise zur Modifikation des Variablenwerts
  - Beispiel: `a += 23` ist äquivalent zu `a = a + 23`
  - Allgemein: `a` *op*`= b` ist äquivalent zu `a = a` *op* `b`
    für $op \in \{ +, -, \star, \%, <<, >>, \&, \hat{}, | \}$
- Beispiele

```
int a = 8;
a += 8;     // a: 16
a %= 3;     // a: 1
```


Zuweisungen sind Ausdrücke!

- Zuweisungen können in komplexere Audrücke geschachtelt werden
  - Das Ergebnis eines Zuweisungsausdrucks ist der zugewiesene Wert

```
int a, b, c;
a = b = c = 1;  // c: 1, b: 1, a: 1
```

  - Die Verwendung von Zuweisungen in beliebigen Ausdrücken führt zu **Nebeneffekten**, die nicht immer offensichtlich sind

```
a += b += c;    // Value of a and b?
```

Besonders gefährlich: Verwendung von = statt ==

In C sind Wahrheitswerte Integers: $0 \mapsto$ *falsch*, $\emptyset \mapsto$ *wahr*

- Typischer „Anfängerfehler“ in Kontrollstrukturen:

```
if (a = 6) {···} else {···} // BUG: if-branch is always taken!!!
```

- Compiler beanstandet das Konstrukt nicht, es handelt sich um einen gültigen Ausdruck! $\leadsto$ Fehler wird leicht übersehen!

Bitoperationen [=Java]

- Bitweise Verknüpfung von Ganzzahltypen, kommutativ

&	bitweises „Und“ (Bit-Schnittmenge)	$1 \,\&\, 1 \rightarrow 1$ $1 \,\&\, 0 \rightarrow 0$ $0 \,\&\, 0 \rightarrow 0$
|	bitweises „Oder“ (Bit-Vereinigungsmenge)	$1 \mid 1 \rightarrow 1$ $1 \mid 0 \rightarrow 1$ $0 \mid 0 \rightarrow 0$
$\wedge$	bitweises „Exklusiv-Oder“ (Bit-Antivalenz)	$1 \wedge 1 \rightarrow 0$ $1 \wedge 0 \rightarrow 1$ $0 \wedge 0 \rightarrow 0$
~	bitweise Inversion (Einerkomplement, unär)	$\sim 1 \rightarrow 0$ $\sim 0 \rightarrow 1$

Bitoperationen (Forts.) [=Java]

- Schiebeoperationen auf Ganzzahltypen, nicht kommutativ

  `<<` bitweises Linksschieben (rechts werden 0-Bits „nachgefüllt“)

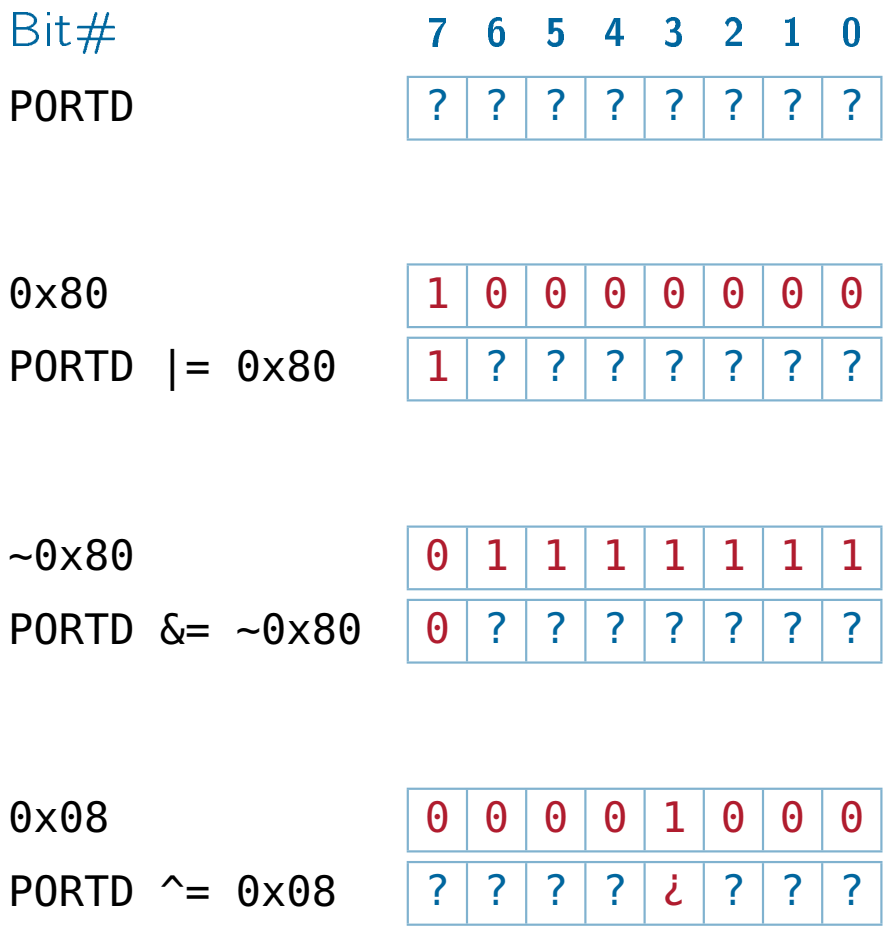
  `>>` bitweises Rechtsschieben (links werden 0-Bits „nachgefüllt“)

- Beispiele (x sei vom Typ `uint8_t`)

Bit#	7	6	5	4	3	2	1	0	
x=156	1	0	0	1	1	1	0	0	0x9c
~x	0	1	1	0	0	0	1	1	0x63
7	0	0	0	0	0	1	1	1	0x07
x | 7	1	0	0	1	1	1	1	1	0x9f
x & 7	0	0	0	0	0	1	0	0	0x04
x ^ 7	1	0	0	1	1	0	1	1	0x9B
x << 2	0	1	1	1	0	0	0	0	0x70
x >> 1	0	1	0	0	1	1	1	0	0x4e

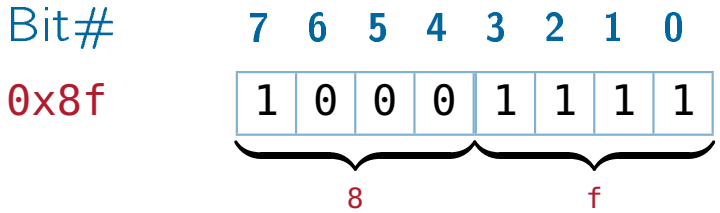
Bitoperationen – Anwendung

- Durch Verknüpfung lassen sich gezielt einzelne Bits setzen/löschen



Bitoperationen – Anwendung (Forts.)

- Bitmasken werden gerne als Hexadezimal-Literale angegeben



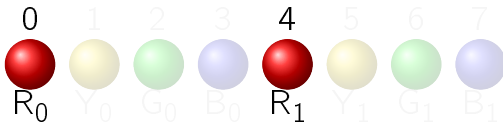
Jede Hex-Ziffer repräsentiert genau ein Halb-Byte (*Nibble*) ⇝ Verständlichkeit

- Für „Dezimal-Denker“ bietet sich die Linksschiebe-Operation an

```
PORTD |= (1<<7);    // set bit 7:  1<<7 --> 10000000
PORTD &= ~(1<<7);   // mask bit 7: ~(1<<7) --> 01111111
```

- Zusammen mit der Oder-Operation auch für komplexere Masken

```
#include <led.h>
void main() {
  uint8_t mask = (1<<RED0) | (1<<RED1);

  sb_led_set_all_leds (mask);

  while(1) ;
}
```

⇝ 

Bedingte Auswertung [≈Java][↪ GDI, 07-10]

- Formulierung von Bedingungen in Ausdrücken

  $Ausdruck_1$ **?** $Ausdruck_2$ **:** $Ausdruck_3$

  - Zunächst wird $Ausdruck_1$ ausgewertet
    - $Ausdruck_1 \neq 0$ (*wahr*) $\rightsquigarrow$ Ergebnis ist $Ausdruck_2$
    - $Ausdruck_1 = 0$ (*falsch*) $\rightsquigarrow$ Ergebnis ist $Ausdruck_3$
  - `?:` ist der einzige ternäre (dreistellige) Operator in C

- Beispiel

```
int abs(int a) {
  // if (a<0) return -a; else return a;
  return (a<0) ? -a : a;
}
```


Sequenzoperator

[≠Java]

- Reihung von Ausdrücken

  $Ausdruck_1$, $Ausdruck_2$

  - Zunächst wird $Ausdruck_1$ ausgewertet
    $\leadsto$ Nebeneffekte von $Ausdruck_1$ werden sichtbar
  - Ergebnis ist der Wert von $Ausdruck_2$

- Verwendung des Komma-Operators ist selten erforderlich!
  (Präprozessor-Makros mit Nebeneffekten)

Vorrangregeln bei Operatoren [≈Java][↪ GDI, 03-07]

	Klasse	Operatoren	Assoziativität

1	Funktionsaufruf, Feldzugriff
	Strukturzugriff
	Post-Inkrement/-Dekrement
		`x() x[]`
		`x.y x->y`
		`x++ x--`
			links → rechts

2	Prä-Inkrement/-Dekrement
	unäre Operatoren
	Adresse, Verweis (Zeiger)
	Typkonvertierung (cast)
	Typgröße
		`++x --x`
		`+x -x ~x !x`
		`& *`
		`(<Typ>)x`
		`sizeof(x)`
			rechts → links

3	Multiplikation, Division, Modulo	`* / %`	links → rechts
4	Addition, Subtraktion	`+ -`	links → rechts
5	Bitweises Schieben	`>> <<`	links → rechts
6	Relationaloperatoren	`< <= > >=`	links → rechts
7	Gleichheitsoperatoren	`== !=`	links → rechts
8	Bitweises UND	`&`	links → rechts
9	Bitweises OR	`|`	links → rechts
10	Bitweises XOR	`^`	links → rechts
11	Konjunktion	`&&`	links → rechts
12	Disjunktion	`||`	links → rechts
13	Bedingte Auswertung	`?:`	rechts → links
14	Zuweisung	`= op=`	rechts → links
15	Sequenz	`,`	links → rechts

Typumwandlung in Ausdrücken

- Eine Operation wird *mindestens* mit `int`-Wortbreite berechnet
  - `short`- und `signed char`-Operanden werden implizit „aufgewertet“ (↪ *Integer Promotion*)
  - Erst das Ergebnis wird auf den Zieldatentyp abgeschnitten/erweitert

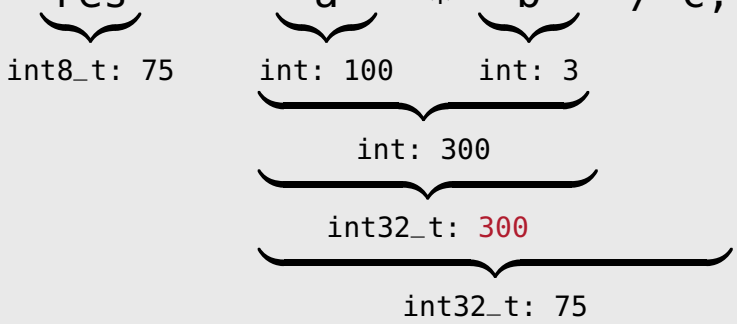
```
int8_t a=100, b=3, c=4, res;   // range: -128 --> +127

res   =   a   *  b   /  c  ; // promotion to int: 300 fits in!
```

int8_t: 75 — int: 100 — int: 3 — int: 4 — int: 300 — int: 75

Typumwandlung in Ausdrücken (Forts.)

- Generell wird die *größte* beteiligte Wortbreite verwendet ↪ 6–3

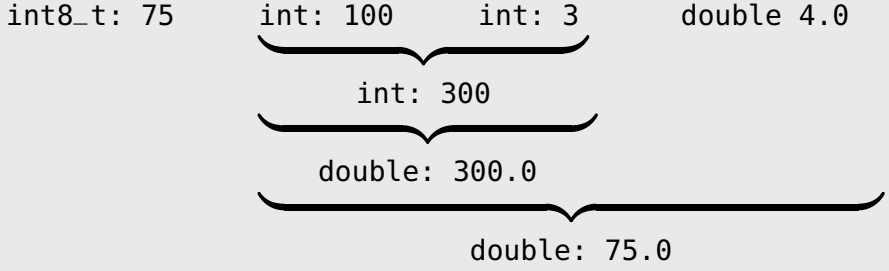
```
int8_t a=100, b=3, res;  // range: -128 --> +127
int32_t c=4;             // range: -2147483648 --> +2147483647

res   =   a   *   b   / c; // promotion to int32_t
```



Typumwandlung in Ausdrücken (Forts.)

- Fließkomma-Typen gelten dabei als „größer" als Ganzzahl-Typen
- Alle Fließkomma-Operationen werden *mindestens* mit `double`-Wortbreite berechnet

```
  int8_t a=100, b=3, res;              // range: -128 --> +127

  res   =   a    *  b    /   4.0f  ;  // promotion to double
```



Typumwandlung in Ausdrücken (Forts.)

- `unsigned`-Typen gelten dabei als „größer” als `signed`-Typen

```
int s = -1, res;            // range: -32768 --> +32767
unsigned u = 1;             // range: 0 --> 65535

res  =     s     < u;      // promotion to unsigned: -1 --> 65535
int: 0    unsigned: 65535
          unsigned: 0
```

↝ Überraschende Ergebnisse bei negativen Werten!

↝ Mischung von `signed`- und `unsigned`-Operanden vermeiden!

Typumwandlung in Ausdrücken – Typ-Casts

- Durch den Typ-Cast-Operator kann man einen Ausdruck gezielt in einen anderen Typ konvertieren

  (*Typ***)** *Ausdruck*

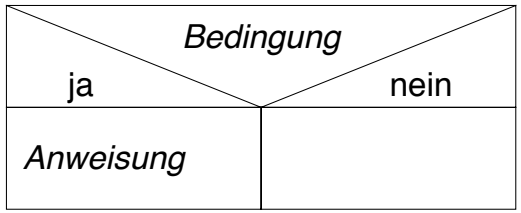
```
int s = -1, res;        // range: -32768 --> +32767
unsigned u = 1;         // range: 0 --> 65535

res  = s < (int) u ;    // cast u to int
int: 1      int: 1
      int: 1
```

Überblick: Teil B Einführung in C

Bedingte Anweisung [=Java][↪ GDI, 07-02]

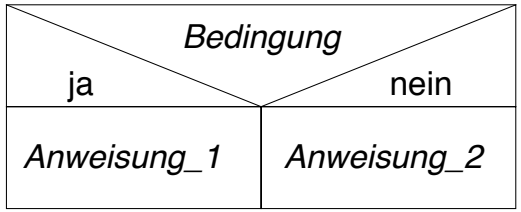
- `if`-Anweisung (bedingte Anweisung)

```
if (Bedingung)
    Anweisung;
```



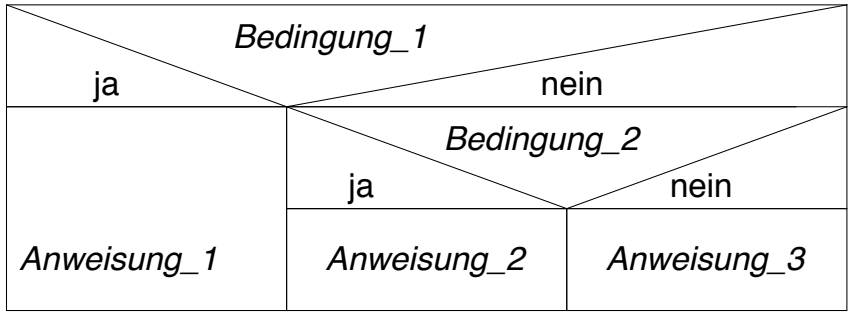
- `if-else`-Anweisung (einfache Verzweigung)

```
if (Bedingung)
    Anweisung_1;
else
    Anweisung_2;
```



- `if-else-if`-Kaskade (mehrfache Verzweigung)

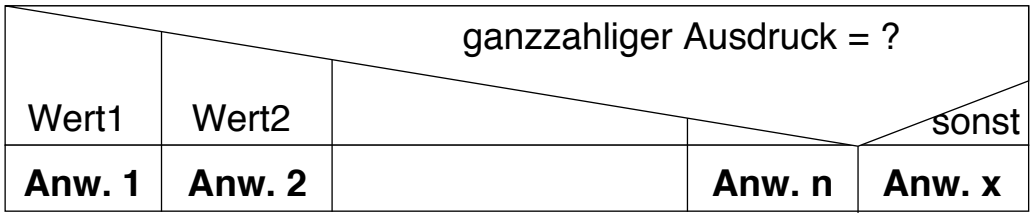
```
if (Bedingung_1)
    Anweisung_1;
else if (Bedingung_2)
    Anweisung_2;
else
    Anweisung_3;
```



Fallunterscheidung [=Java]

`switch`-Anweisung (Fallunterscheidung)

- Alternative zur `if`-Kaskade bei Test auf Ganzzahl-Konstanten



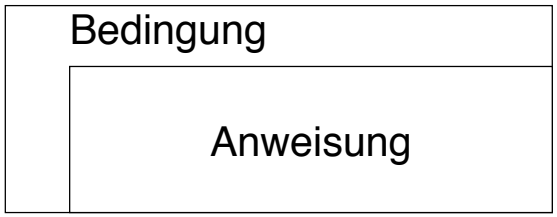

```
switch (Ausdruck) {
case Wert1:
    Anweisung1;
    break;
case Wert2:
    Anweisung2;
    break;
...
case Wertn:
    Anweisungn;
    break;
default:
    Anweisungx;
}
```

Abweisende und nicht-abweisende Schleife [=Java]

Abweisende Schleife

[↪ GDI, 08-05]

- `while`-Schleife
- Null- oder mehrfach ausgeführt



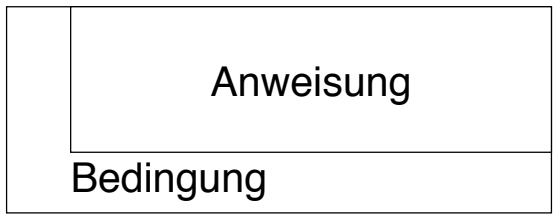

```
while(Bedingung)
    Anweisung;
```

```
while (
    sb_button_getState(BUTTON0)
        == BUTTONSTATE_RELEASED
) {
  ··· // do unless button press.
}
```

Nicht-abweisende Schleife

[↪ GDI, 08-07]

- `do-while`-Schleife
- Ein- oder mehrfach ausgeführt



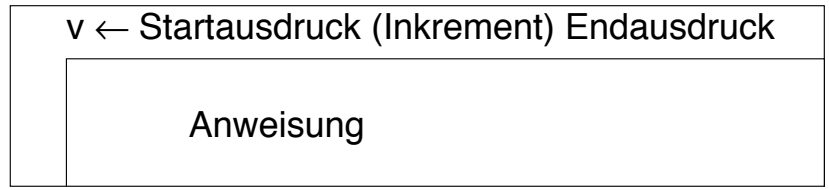

```
do
    Anweisung;
while(Bedingung);
```

```
do {
    ··· // do at least once
} while (
    sb_button_getState(BUTTON0)
        == BUTTONSTATE_RELEASED
);
```

Zählende Schleife [=Java][↪ GDI, 08-02]

- `for`-Schleife (Laufanweisung)

```
for (Startausdruck;
     Endausdruck;
     Inkrement–Ausdruck)
  Anweisung;
```



- Beispiel (übliche Verwendung: *n* Ausführungen mit Zählvariable)

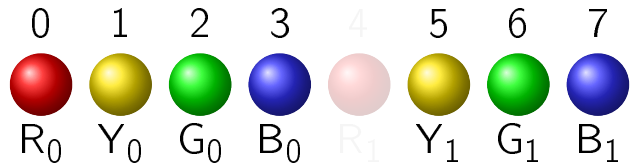
```
uint8_t sum = 0; // calc sum 1+...+10
for (uint8_t n = 1; n < 11; n++) {
    sum += n;
}
sb_7seg_showNumber( sum );
```

- Anmerkungen
  - Die Deklaration von Variablen (`n`) im *Startausdruck* ist erst ab C99 möglich
  - Die Schleife wird wiederholt, solange *Endausdruck* $\neq 0$ (*wahr*)
    $\rightsquigarrow$ die `for`-Schleife ist eine „verkappte“ `while`-Schleife

Schleifensteuerung [=Java][↪ GDI, 08-09]

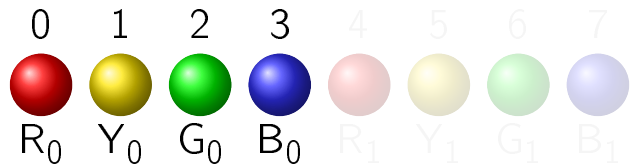
- Die `continue`-Anweisung beendet den aktuellen Schleifendurchlauf
  ⇝ Schleife wird mit dem nächsten Durchlauf fortgesetzt

```
for( uint8_t led=0; led < 8; ++led ) {
  if( led == RED1 ) {
    continue;          // skip RED1
  }
  sb_led_on(led);
}
```



- Die `break`-Anweisung verlässt die (innerste) Schleife
  ⇝ Programm wird *nach* der Schleife fortgesetzt

```
for( uint8_t led=0; led < 8; ++led ) {
  if( led == RED1 ) {
    break;           // break at RED1
  }
  sb_led_on(led);
}
```



Überblick: Teil B Einführung in C

Was ist eine Funktion?

- **Funktion** := Unterprogramm [↪ GDI, 11-01]
  - Programmstück (Block) mit einem Bezeichner
  - Beim Aufruf können Parameter übergeben werden
  - Bei Rückkehr kann ein Rückgabewert zurückgeliefert werden
- Funktionen sind elementare Programmbausteine
  - Gliedern umfangreiche Aufgaben in kleine, beherrschbare Komponenten
  - Ermöglichen die einfache Wiederverwendung von Komponenten
  - Ermöglichen den einfachen Austausch von Komponenten
  - Verbergen Implementierungsdetails (**Black-Box**-Prinzip)

Funktion ↦ Abstraktion ↪ 4–1

- Bezeichner und Parameter abstrahieren
  - Vom tatsächlichen Programmstück
  - Von der Darstellung und Verwendung von Daten
- Ermöglicht schrittweise Abstraktion und Verfeinerung

Beispiel

- Funktion (Abstraktion) `sb_led_set_all_leds()`

```
#include <led.h>
void main() {
  sb_led_set_all_leds( 0xaa );
  while(1) {}
}
```

- Implementierung in der `libspicboard`

```
void sb_led_set_all_leds(uint8_t setting)
```

Sichtbar: Bezeichner und formale Paramter

```
{
  uint8_t i = 0;
  for (i = 0; i < 8; i++) {
    if (setting & (1<<i)) {
      sb_led_on(i);

    } else {
      sb_led_off(i);
    }
  }
}
```

Unsichtbar: Tatsächliche Implementierung

Funktionsdefinition [≈Java]

- Syntax: *Typ Bezeichner* **(** $FormaleParam_{opt}$ **)** **{***Block***}**
  - *Typ* — Typ des Rückgabewertes der Funktion, `void` falls kein Wert zurückgegeben wird [=Java]
  - *Bezeichner* — Name, unter dem die Funktion aufgerufen werden kann ↪ 5–3 [=Java]
  - $FormaleParam_{opt}$ — Liste der formalen Parameter: $Typ_1\ Bez_{1\,opt}, \ldots, Typ_n\ Bez_{n\,opt}$ (Parameter-Bezeichner sind optional) [=Java]
    `void`, falls kein Parameter erwartet wird [≠Java]
  - *{Block}* — Implementierung; formale Parameter stehen als lokale Variablen bereit [=Java]
- Beispiele:

```
int max(int a, int b) {
  if (a > b) return a;
  return b;
}
```

```
void wait(void) {
  volatile uint16_t w;
  for (w = 0; w < 0xffff; w++) {
  }
}
```


Funktionsaufruf [=Java]

- Syntax: *Bezeichner* **(** *TatParam* **)**
  - *Bezeichner* — Name der Funktion, in die verzweigt werden soll [=Java]
  - *TatParam* — Liste der tatsächlichen Parameter (übergebene Werte, muss anzahl- und typkompatibel sein zur Liste der formalen Parameter) [=Java]
- Beispiele:

```
int x = max(47, 11);
```

Aufruf der `max()`-Funktion. `47` und `11` sind die tatsächlichen Parameter, welche nun den formalen Parametern `a` und `b` der `max()`-Funktion (↪ 9–3) zugewiesen werden.

```
char text[] = "Hello, World";
int x = max(47, text);
```

Fehler: `text` ist nicht `int`-konvertierbar (tatsächlicher Parameter 2 passt nicht zu formalem Parameter `b` ↪ 9–3)

```
max(48, 12);
```

Der Rückgabewert darf ignoriert werden (was hier nicht wirklich Sinn ergibt)

Funktionsaufruf – Parameterübergabe [≠Java]

- Generelle Arten der Parameterübergabe [↪ GDI, 14-01]
  - *Call-by-value*
    Die formalen Parameter sind Kopien der tatsächlichen Parameter. Änderungen in den formalen Parametern gehen mit Verlassen der Funktion verloren.
    Dies ist der Normalfall in C.
  - *Call-by-reference*
    Die formalen Parameter sind Verweise (Referenzen) auf die tatsächlichen Parameter. Änderungen in den formalen Parametern betreffen auch die tatsächlichen Parameter.
    In C nur indirekt über Zeiger möglich. ↪ 13–5
- Des weiteren gilt
  - Arrays werden in C immer *by-reference* übergeben [=Java]
  - Die Auswertungsreihenfolge der Parameter ist undefiniert! [≠Java]

Funktionsaufruf – Rekursion [=Java]

- Funktionen können sich auch selber aufrufen (Rekursion)

```
int fak(int n) {
  if (n > 1)
    return n * fak(n - 1);
  return 1;
}
```

Rekursive Definition der Fakultätsfunktion.

Ein anschauliches, aber mieses Beispiel für den Einsatz von Rekursion!

Rekursion $\mapsto$ $$$

Rekursion verursacht erhebliche Laufzeit- und Speicherkosten!
Pro Rekursionsschritt muss:

- Speicher bereit gestellt werden für Rücksprungadresse, Parameter und alle lokalen Variablen
- Parameter kopiert und ein Funktionsaufruf durchgeführt werden

Regel: Bei der systemnahen Softwareentwicklung wird möglichst auf **Rekursion verzichtet!**

Funktionsdeklaration

[≠Java]

- Funktionen müssen vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine voranstehende Definition beinhaltet bereits die Deklaration
  - Ansonsten (falls die Funktion „weiter hinten“ im Quelltext oder in einem anderen Modul definiert wird) muss sie explizit deklariert werden
- Syntax: *Bezeichner* **(** *FormaleParam* **) ;**
- Beispiel:

```
// Deklaration durch Definition
int max(int a, int b) {
  if (a > b) return a;
  return b;
}

void main(void) {
  int z = max(47, 11);
}
```

```
// Explizite Deklaration
int max(int, int);

void main(void) {
  int z = max(47, 11);
}

int max(int a, int b) {
  if (a > b) return a;
  return b;
}
```

Funktionsdeklaration (Forts.) [≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein

Achtung: C erzwingt dies nicht!

- Es ist erlaubt **nicht-deklarierte** Funktionen aufzurufen (↪ implizite Deklaration)
- Derartige Aufrufe sind jedoch **nicht typsicher**
  - Compiler kennt die formale Parameterliste nicht
    ⇝ kann nicht prüfen, ob die tatsächlichen Parameter passen
  - Man kann **irgendwas** übergeben
- Moderne Compiler generieren immerhin eine **Warnung**
  ⇝ Warnungen des Compilers immer ernst nehmen!

Funktionsdeklaration (Forts.)

[≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
- **Beispiel:**

```
1  #include <stdio.h>
2
3  int main(void) {
4    double d = 47.11;
5    foo(d);
6    return 0;
7  }
8
9  void foo(int a, int b) {
10   printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
11 }
```

5 Funktion `foo()` ist nicht **deklariert** ⇝ der Compiler **warnt**, aber akzeptiert beliebige tatsächliche Parameter

9 `foo()` ist **definiert** mit den formalen Parmetern `(int, int)`. Was immer an tatsächlichen Parametern übergeben wurde, wird entsprechend interpretiert!

10 **Was wird hier ausgegeben?**

Funktionsdeklaration (Forts.)

[≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit leerer formaler Parameterliste deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter ⇝ **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!
- **Beispiel:**

```
#include <stdio.h>

void foo(); // "open" declaration

int main(void) {
  double d = 47.11;
  foo(d);
  return 0;
}

void foo(int a, int b) {
  printf("foo: a:%d, b:%d\n", a, b);
}
```

Funktion `foo` wurde mit **leerer** formaler Parameterliste deklariert ⇝ dies ist formal ein **gültiger Aufruf!**

Funktionsdeklaration (Forts.)

[≠Java]

- Funktionen ~~müssen~~ **sollten** vor ihrem ersten Aufruf im Quelltext deklariert (↦ bekannt gemacht) worden sein
  - Eine Funktion, die mit leerer formaler Parameterliste deklariert wurde, akzeptiert ebenfalls beliebige Parameter ⇝ **keine Typsicherheit**
  - In diesem Fall warnt der Compiler **nicht!** Die Probleme bleiben!

Achtung: Verwechslungsgefahr

- In Java deklariert `void foo()` eine **parameterlose** Methode
  - In C muss man dafür `void foo(void)` schreiben ↪ 9–3
- In C deklariert `void foo()` eine **offene** Funktion
  - Das macht nur in (sehr seltenen) Ausnahmefällen Sinn!
  - Schlechter Stil ⇝ Punktabzug

Regel: Funktionen werden stets **vollständig deklariert!**

Überblick: Teil B Einführung in C

Variablendefinition [≈Java]

- **Variable** := Behälter für Werte (↦ Speicherplatz)
- Syntax (Variablendefinition):

$$SK_{opt}\ \ Typ_{opt}\ \ Bez_1\ [\ =\ Ausdr_1]_{opt}\ [,\ Bez_2\ [\ =\ Ausdr_2]_{opt}\ ,\ \ldots]_{opt};$$

SK_{opt}	Speicherklasse der Variable, `auto`, `static`, oder leer	[≈Java]
Typ	Typ der Variable, `int` falls kein Typ angegeben wird (↦ schlechter Stil!)	[=Java] [≠Java]
Bez_i	Name der Variable	[=Java]
$Ausdr_i$	Ausdruck für die initiale Wertzuweisung; wird kein Wert zugewiesen so ist der Inhalt von nicht-`static`-Variablen **undefiniert**	[≠Java]

Variablendefinition (Forts.)

- Variablen können an verschiedenen Positionen definiert werden
  - Global — außerhalb von Funktionen, üblicherweise am Kopf der Datei
  - Lokal — zu Beginn eines `{ Blocks }`, direkt nach der öffnenden Klammer — C89
  - Lokal — überall dort, wo eine Anweisung stehen darf — C99

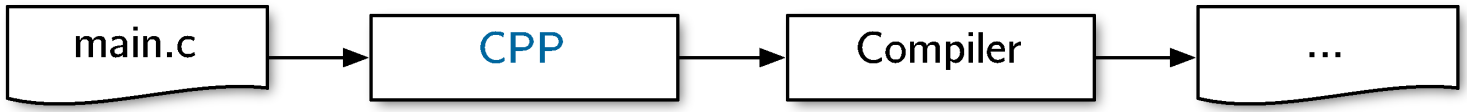
```
int a = 0;                      // a: global
int b = 47;                     // b: global

void main() {
  int a = b;                    // a: local to function, covers global a
  printf("%d", a);
  int c = 11;                   // c: local to function (C99 only!)
  for(int i=0; i<c; i++) {      // i: local to for-block (C99 only!)
    int a = i;                  // a: local to for-block,
  }                             //    covers function-local a
}
```

Mit globalen Variablen beschäftigen wir uns noch näher im Zusammenhang mit **Modularisierung** ↪ 12–5

Überblick: Teil B Einführung in C

Der C-Präprozessor

[≠Java]



- Bevor eine C-Quelldatei übersetzt wird, wird sie zunächst durch einen Makro-Präprozessor bearbeitet
  - Historisch ein eigenständiges Programm (**CPP** = **C** **P**re**P**rocessor)
  - Heutzutage in die üblichen Compiler integriert
- Der CPP bearbeitet den Quellcode durch Texttransformation
  - Automatische Transformationen („Aufbereiten“ des Quelltextes)
    - Kommentare werden entfernt
    - Zeilen, die mit \ enden, werden zusammengefügt
    - ...
  - Steuerbare Transformationen (durch den Programmierer)
    - Präprozessor-Direktiven werden evaluiert und ausgeführt
    - Präprozessor-Makros werden expandiert

Präprozessor-Direktiven [≠Java]

- **Präprozessor-Direktive** := Steueranweisung an den Präprozessor

`#include` <*Datei*>	**Inklusion:** Fügt den Inhalt von *Datei* an der aktuellen Stelle in den Token-Strom ein.
`#define` *Makro Ersetzung*	**Makrodefinition:** Definiert ein Präprozessor-Makro *Makro*. In der Folge wird im Token-Strom jedes Auftreten des Wortes *Makro* durch *Ersetzung* substituiert. *Ersetzung* kann auch leer sein.
`#if`(*Bedingung*), `#elif`, `#else`, `#endif`	**Bedingte Übersetzung:** Die folgenden Code-Zeilen werden in Abhängigkeit von *Bedingung* dem Compiler überreicht oder aus dem Token-Strom entfernt.
`#ifdef` *Makro*, `#ifndef` *Makro*	Bedingte Übersetzung in Abhängigkeit davon, ob *Makro* (z. B. mit `#define`) definiert wurde.
`#error` *Text*	**Abbruch:** Der weitere Übersetzungsvorgang wird mit der Fehlermeldung *Text* abgebrochen.

Der Präprozessor definiert letztlich eine eingebettete **Meta-Sprache**. Die Präprozessor-Direktiven (Meta-Programm) verändern das C-Programm (eigentliches Programm) vor dessen Übersetzung.

Präprozessor – Verwendungsbeispiele [≠Java]

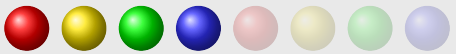
Einfache Makro-Definitionen

Leeres Makro (Flag)	`#define USE_7SEG`
Quelltext-Konstante	`#define NUM_LEDS (4)`
„Inline“-Funktion	`#define SET_BIT(m, b) (m | (1 << b))`

Präprozessor-Anweisungen werden **nicht** mit einem Strichpunkt abgeschlossen!

Verwendung

```
#if (NUM_LEDS < 0 || 8 < NUM_LEDS)
#  error invalid NUM_LEDS            // this line is not included
#endif

void enlighten(void) {
  uint8_t mask = 0, i;
  for (i = 0; i < NUM_LEDS; i++) {  // NUM_LEDS --> (4)
    mask = SET_BIT(mask, i);        // SET_BIT(mask, i) --> (mask | (1 << i))
  }
  sb_led_set_all_leds(mask);        // -->

#ifdef USE_7SEG
  sb_show_HexNumber(mask);          // -->
#endif

}
```



Präprozessor – Gefahren [≠Java]

- Funktionsähnliche Makros sind keine Funktionen!
  - Parameter werden nicht evaluiert, sondern textuell eingefügt
    Das kann zu unangenehmen Überraschungen führen

```
#define POW2(a) 1 << a
n = POW2(2) * 3
```

<< hat geringere Präzedenz als *

⇝ `n = 1 << 2 * 3`

  - Einige Probleme lassen sich durch korrekte Klammerung vermeiden

```
#define POW2(a) (1 << a)
n = POW2(2) * 3
```

⇝ `n = (1 << 2) * 3`

  - Aber nicht alle

```
#define max(a, b) ((a > b) ? a : b)
n = max(x++, 7)
```

a++ wird ggf. zweimal ausgewertet

⇝ `n = ((x++ > 7) ? x++ : 7)`

- Eine mögliche Alternative sind `inline`-Funktionen C99
  - Funktionscode wird eingebettet ⇝ ebenso effizient wie Makros

```
inline int max(int a, int b) {
  return (a > b) ? a : b;
}
```