

# Systemnahe Programmierung in C (SPiC)

## 3 Java versus C – Erste Beispiele

**Jürgen Kleinöder, Daniel Lohmann, Volkmar Sieh**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

Sommersemester 2020

[http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS20/V\\_SPiC](http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS20/V_SPiC)



# Das erste C-Programm

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

```
#include <stdio.h>

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



# Das erste C-Programm

- Das berühmteste Programm der Welt in **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**

```
#include <stdio.h>

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

- Das berühmteste Programm der Welt in **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 – Vergleich mit Java

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **C**

```
#include <stdio.h>

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

**C:** Ein C-Programm startet in `main()`, einer **globalen Funktion** vom Typ `int`, die in genau einer **Datei** definiert ist.

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **Java**

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

**Java:** Jedes Java-Programm startet in `main()`, einer **statischen Methode** vom Typ `void`, die in genau einer **Klasse** definiert ist.



# Das erste C-Programm – Vergleich mit Java

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

```
#include <stdio.h>

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

**C:** <keine Entsprechung>

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

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

**Java:** Jedes Java-Programm besteht aus mindestens einer **Klasse**.



# Das erste C-Programm – Vergleich mit Java

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **C**

```
#include <stdio.h>

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

**C:** Die Ausgabe einer Zeichenkette erfolgt mit der **Funktion** `printf()`. (`\n` ~ Zeilenumbruch)

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **Java**

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

**Java:** Die Ausgabe einer Zeichenkette erfolgt mit der **Methode** `println()` aus der Klasse `out` aus dem Paket `System`. [[↔ GDI, 01-10](#)]



# Das erste C-Programm – Vergleich mit Java

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **C**

```
#include <stdio.h>

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

**C:** Für die Benutzung von printf() wird die **Funktionsbibliothek** stdio.h mit der **Präprozessor-Anweisung** #include eingebunden.

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **Java**

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

**Java:** Für die Benutzung der **Klasse** out wird das **Paket** System mit der import-Anweisung eingebunden.





# Das erste C-Programm – Vergleich mit Java

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **C**

```
#include <stdio.h>

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

**C:** Rückkehr zum Betriebssystem mit **Rückgabewert**. 0 bedeutet hier, dass kein Fehler aufgetreten ist.

## ■ Das berühmteste Programm der Welt in **Java**

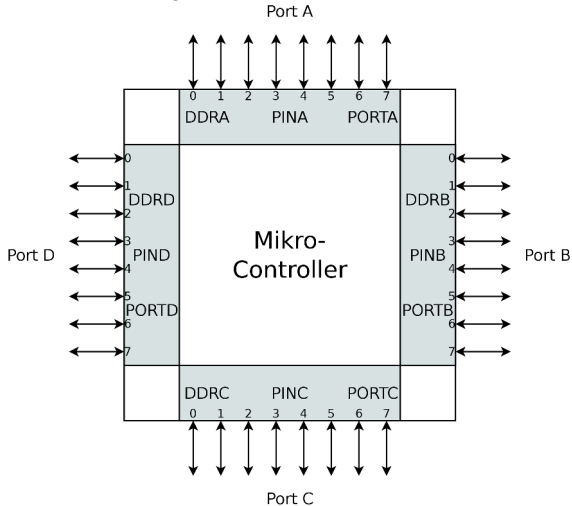
```
import java.lang.System;
class Hello {
    public static void main(String[] args) {
        /* greet user */
        System.out.println("Hello World!");
        return;
    }
}
```

**Java:** Rückkehr zum Betriebssystem.



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

Vorbemerkung:

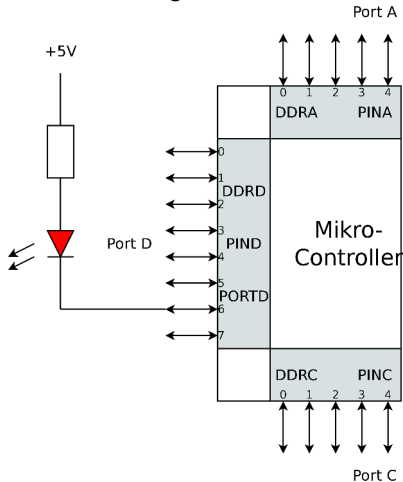


- DDRx: Data Direction Register
- PINx: Port Input Register
- PORTx: Port Output Register (jeweils 8 Bit)



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

Vorbemerkung:



- LED leuchtet nicht:
  - DDRD Bit 6: '1' (Output)
  - PORTD Bit 6: '1' (5V)
- LED leuchtet:
  - DDRD Bit 6: '1' (Output)
  - PORTD Bit 6: '0' (0V)



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (SPiCboard)

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

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



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (SPiCboard)

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

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

- Übersetzen und **Flashen** (mit SPiC-IDE)

↪ Übung



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (SPiCboard)

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

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

- Übersetzen und **Flashen** (mit SPiC-IDE) ↷ Übung
- Ausführen (SPiCboard):  (rote LED leuchtet)



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (SPiCboard)

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

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

$\mu$ -Controller-Programmierung  
ist „irgendwie anders“.

- Übersetzen und **Flashen** (mit SPiC-IDE) ↪ Übung
- Ausführen (SPiCboard):  (rote LED leuchtet)



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (vgl. [↔ 3-1](#))

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

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

Die `main()`-Funktion hat **keinen Rückgabewert** (Typ `void`). Ein  $\mu$ -Controller-Programm läuft **endlos**  $\rightsquigarrow$  `main()` terminiert nie.





# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (vgl. [↔ 3-1](#))

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

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

Es erfolgt **keine Rückkehr** zum Betriebssystem (wohin auch?). Die Endlosschleife stellt sicher, dass `main()` nicht terminiert.



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (vgl. [↔ 3-1](#))

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

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

Zunächst wird die **Hardware** initialisiert (in einen definierten Zustand gebracht). Dazu müssen **einzelne Bits** in bestimmten **Hardware-Registern** manipuliert werden.



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (vgl.  $\leftrightarrow$  3-1)

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

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

Die Interaktion mit der Umwelt (hier: LED einschalten) erfolgt ebenfalls über die **Manipulation einzelner Bits** in Hardware-Registern.



# Das erste C-Programm für einen $\mu$ -Controller

- „Hello World“ für AVR ATmega (vgl. [↔ 3-1](#))

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

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

Für den Zugriff auf Hardware-Register (DDRD, PORTD, bereitgestellt als **globale Variablen**) wird die **Funktionsbibliothek** `avr/io.h` mit `#include` eingebunden.



# Das zweite C-Programm – Eingabe unter Linux

- Benutzerinteraktion (Lesen eines Zeichens) unter Linux:

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv) {
    printf("Press key: ");
    int key = getchar();

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



- Benutzerinteraktion (Lesen eines Zeichens) unter Linux:

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char **argv) {
    printf("Press key: ");
    int key = getchar();

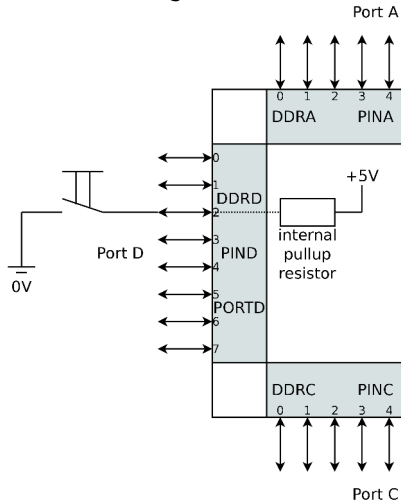
    printf("You pressed %c\n", key);
    return 0;
}
```

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 für einen $\mu$ -Controller

Vorbemerkung:



- Initialisierung:
  - DDRD Bit 2: '0' (Input)
  - PORTD Bit 2: '1' (Pullup eingeschaltet)
- Erkennung:
  - PIND Bit 2: '1' => Taster nicht gedrückt
  - PIND Bit 2: '0' => Taster gedrückt



- Benutzerinteraktion (Warten auf Tasterdruck) auf dem SPiCboard:

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

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

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

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

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





# Das zweite C-Programm – Eingabe mit $\mu$ -Controller

- Benutzerinteraktion (Warten auf Tasterdruck) auf dem SPiCboard:

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

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

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

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

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

Wie die LED ist der Taster mit einem **digitalen IO-Pin** des  $\mu$ -Controllers verbunden. Hier konfigurieren wir Pin 2 von Port D als **Eingang** durch **Löschen** des entsprechenden Bits im Register DDRD.



# Das zweite C-Programm – Eingabe mit $\mu$ -Controller

- Benutzerinteraktion (Warten auf Tasterdruck) auf dem SPiCboard:

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

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

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

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

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

Durch **Setzen** von Bit 2 im Register PORTD wird der interne Pull-Up-Widerstand (hochohmig) aktiviert, über den  $V_{CC}$  anliegt  $\rightsquigarrow$  PD2 = high.



# Das zweite C-Programm – Eingabe mit $\mu$ -Controller

- Benutzerinteraktion (Warten auf Tasterdruck) auf dem SPiCboard:

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

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

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

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

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

**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

```
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**)



## Zum Vergleich: Benutzerinteraktion als Java-Programm

```
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**)

Um Interaktionsereignisse zu empfangen, implementiert die Klasse **Input** ein entsprechendes **Interface**.



## Zum Vergleich: Benutzerinteraktion als Java-Programm

```
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**)

Das Programmverhalten ist implementiert durch eine Menge von **Objekten** (frame, button, input), die hier bei der Initialisierung erzeugt werden.



## Zum Vergleich: Benutzerinteraktion als Java-Programm

```
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**)

Das erzeugte button-Objekt  
schickt nun seine Nachrichten an  
das input-Objekt.



## Zum Vergleich: Benutzerinteraktion als Java-Programm

```
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**)

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**



C  $\mapsto$  Maschinennähe  $\mapsto$   $\mu$ C-Programmierung

Die Maschinennähe von C zeigt sich insbesondere auch bei der  $\mu$ -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



C  $\mapsto$  Maschinennähe  $\mapsto$   $\mu$ C-Programmierung

Die Maschinennähe von C zeigt sich insbesondere auch bei der  $\mu$ -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**

