

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

Wintersemester 2023/24

## Wichtiger Hinweis

Diese Vortragsfolien dienen dazu, den Vortrag der/des Lehrenden zu unterstützen. Sie enthalten **nur einen Teil** der Lerninhalte. Wie groß dieser Teil ist, hängt von den konkreten Lerninhalten ab und kann von „praktisch alles“ bis „praktisch gar nichts“ schwanken. Diese Folien alleine sind daher **nicht für ein Selbststudium geeignet!** Hierfür sei auf das Skript verwiesen, in dem allerdings keine tagesaktuellen Änderungen enthalten sind.

Mindestens genauso wichtig wie die Vortragsfolien sind die Beispiel-Programme, die vor Ihren Augen in den Vorlesungen erarbeitet werden. Diese sind im Git-Repository (<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp.git>) mit allen Zwischenschritten enthalten und befinden sich in den zu den jeweiligen Kalenderdaten gehörenden Verzeichnissen (z. B. für den 5. 10. 2023 unter <https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp/tree/2023ws/20231005/>).

Wenn Sie die Übungsaufgaben bearbeiten, nutzen Sie die Gelegenheit, Ihre Lösungen in den Übungen überprüfen zu lassen. Wer nach Vergleich mit der Musterlösung zu dem Schluß kommt, alles richtig gelöst zu haben, erlebt sonst in der Klausur oft eine unangenehme Überraschung.

In jedem Fall: *Viel Erfolg!*

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

5. Oktober 2023

# Hardwarenahe Programmierung

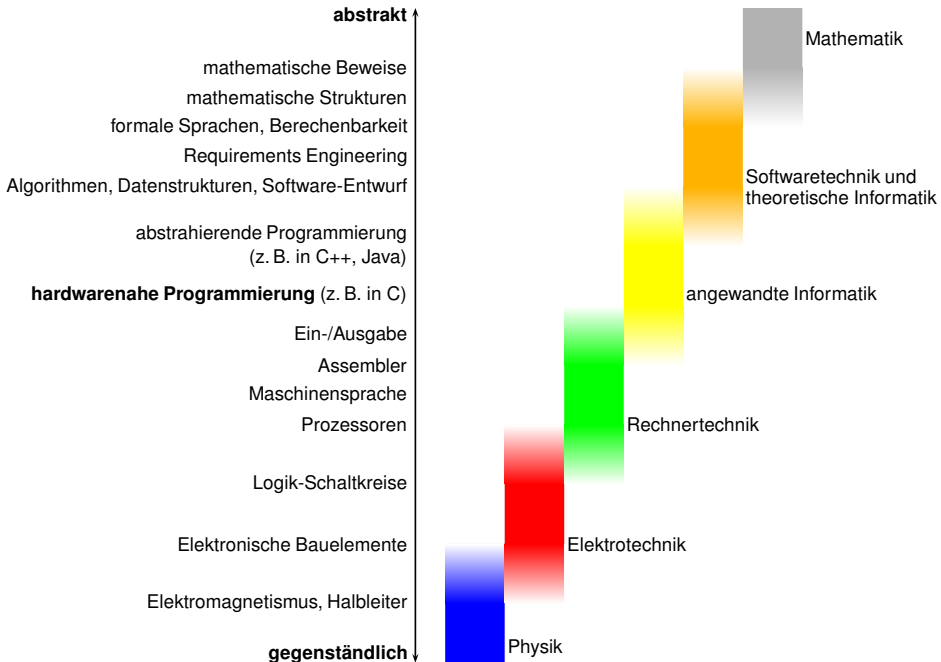
Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

*rerum naturalium* = der natürlichen Dinge (lat.)

5. Oktober 2023

# Vorab: Online-Werkzeuge

- Diese Veranstaltung findet **in Präsenz** statt.  
Wir versuchen aber, auch eine Online-Teilnahme zu ermöglichen.
- **Mumble**: Seminarraum 2  
Fragen: Mikrofon einschalten oder über den Chat  
Umfragen: über den Chat – **auch während der Präsenz-Veranstaltung**
- **VNC**: Kanal 6, Passwort: `testcvh`  
Eigenen Bildschirm freigeben: VNC-Software oder Web-Interface *yesVNC*  
Eigenes Kamerabild übertragen: Web-Interface *CVH-Camera*
- Allgemeine Informationen: <https://www.cvh-server.de/online-werkzeuge/>
- Notfall-Schnellzugang: <https://www.cvh-server.de/virtuelle-raeume/>  
Seminarraum 2, VNC-Passwort: `testcvh`
- **Lehrmaterialien**: <https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>



# Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

# Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

## Programmierung in C

- Hardware direkt ansprechen und effizient einsetzen
- ... bis hin zu komplexen Software-Projekten
- Programmierkenntnisse werden nicht vorausgesetzt, aber schnelles Tempo



# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Hardware und/oder Betriebssystem



# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich

Hardware und/oder Betriebssystem



# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich

„High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem



# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“

Hardware und/oder Betriebssystem



# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich

„High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich

„High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich



„High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip



# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

### Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich



### „High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

### Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln

# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

### Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich



### „High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

### Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln
- kein „Fallschirm“

# Zu dieser Lehrveranstaltung



- **Lehrmaterialien:**

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

- **Klausur:**

Zeit: 120 Minuten

Zulässige Hilfsmittel:

- Schreibgerät
- beliebige Unterlagen in Papierform und/oder auf Datenträgern
- elektronische Rechner (Notebook, Taschenrechner o. ä.)
- *kein* Internet-Zugang

- **Übungen**

sind mit der Vorlesung und dem Praktikum integriert.

- **Das Praktikum**

findet jede Woche statt.

Diese Woche: vorbereitende Maßnahmen,  
Kennenlernen der verwendeten Werkzeuge.

Im Laufe des Semesters: **4 Praktikumsversuche**

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

- 1.1 Was ist hardwarenahe Programmierung?
- 1.2 Programmierung in C
- 1.3 Zu dieser Lehrveranstaltung

## 2 Einführung in C

- 2.1 Hello, world!
- 2.2 Programme compilieren und ausführen
- 2.3 Elementare Aus- und Eingabe
- 2.4 Elementares Rechnen
- 2.5 Verzweigungen
- 2.6 Schleifen
- 2.7 Strukturierte Programmierung
- ...

## 3 Bibliotheken

...

## 2 Einführung in C

### 2.1 Hello, world!

Text ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Hello,_world!\n");  
    return 0;  
}
```

## 2 Einführung in C

### 2.1 Hello, world!

Text ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Hello, _world!\n");  
    return 0;  
}
```

printf = „print formatted“

## 2 Einführung in C

### 2.1 Hello, world!

Text ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Hello, _world!\n");  
    return 0;  
}
```

printf = „print formatted“

\n: Zeilenschaltung



## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
```

```
$ ./hello-1
```

```
Hello, world!
```

```
$
```



## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
```

```
$ ./hello-1
```

```
Hello, world!
```

```
$
```

`-o hello-1`

Name für Ausgabe-Datei („output“)  
unter Unix: ohne Endung  
unter MS-Windows: Endung `.exe`

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
$ ./hello-1
Hello, world!
$
```

Hier: Kommandozeilen-Interface (CLI)

- Der C-Compiler (hier: `gcc`) muß installiert sein und sich im `PATH` befinden.
- Der Quelltext (hier: `hello-1.c`) muß sich im aktuellen Verzeichnis befinden.
- aktuelles Verzeichnis herausfinden: `pwd`
- aktuelles Verzeichnis wechseln: `cd foobar`, `cd ..`
- Inhalt des aktuellen Verzeichnisses ausgeben: `ls`, `ls -l`
- Ausführen des Programms (`hello-1`) im aktuellen Verzeichnis (.):  
`./hello-1`

Alternative: Integrierte Entwicklungsumgebung (IDE)  
mit graphischer Benutzeroberfläche (GUI)

- Das können Sie bereits.

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
$ ./hello-1
Hello, world!
$
```

GNU Compiler Collection (GCC) für verschiedene Plattformen:

- GNU/Linux: [gcc](#)
- Apple Mac OS: [Xcode](#)
- Microsoft Windows: [Cygwin](#)  
oder [MinGW](#) mit [MSYS](#)  
oder [WSL](#) mit darin installiertem [GNU/Linux](#)
- außerdem: Texteditor  
[vi\(m\)](#), [nano](#), [Emacs](#), [Notepad++](#), ...  
(Microsoft Notepad ist *nicht* geeignet!)

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
```


```
$ ./hello-1
```

```
Hello, world!
```

```
$
```

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc -Wall -O hello-1.c -o hello-1
$ ./hello-1
Hello, world!
$
```



|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| -Wall | alle Warnungen einschalten          |
| -O    | optimieren                          |
| -O3   | maximal optimieren                  |
| -Os   | Codegröße optimieren                |
| ...   | gcc hat <i>sehr viele</i> Optionen. |

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Die_Antwort_lautet:_");
```

```
    printf (42);
```

```
    printf ("\n");
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Die_Antwort_lautet:_");
```

```
    printf (42);
```

```
    printf ("\n");
```

```
    return 0;
```

```
}
```

→ Absturz

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Die_Antwort_lautet:_%d\n", 42);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Formatspezifikation „d“: „dezimal“





## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Die_Antwort_lautet:_%d\n", 42);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Formatspezifikation „d“: „dezimal“

Weitere Formatspezifikationen:  
siehe Dokumentation (z. B. man 3 printf),  
Internet-Recherche oder Literatur

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert einlesen

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    double a;
```

```
    printf ("Bitte_eine_Zahl_eingeben:_");
```

```
    scanf ("%lf", &a);
```

```
    printf ("Ihre_Antwort_war:_%lf\n", a);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Formatspezifikation „lf“:  
„long floating-point“

Das „&“ nicht vergessen!

## 2.4 Elementares Rechnen

Wert an Variable zuweisen

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int a;
```

```
    printf ("Bitte_eine_Zahl_eingeben:_");
```

```
    scanf ("%d", &a);
```

```
    a = 2 * a;
```

```
    printf ("Das_Doppelte_ist:_%d\n", a);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.4 Elementares Rechnen

Variable bei Deklaration initialisieren

```
int a = 42;  
a = 137;
```

**Achtung:** Initialisierung  $\neq$  Zuweisung

Die beiden Gleichheitszeichen haben  
*subtil unterschiedliche* Bedeutungen!

## 2.5 Verzweigungen

### if-Verzweigung

```
if (b != 0)  
    printf ("%d\n", a / b);
```

## 2.5 Verzweigungen

### if-Verzweigung

```
if (b != 0)
    printf ("%d\n", a / b);
```

### Wahrheitswerte in C: numerisch

0 steht für *falsch* (*false*),  
≠ 0 steht für *wahr* (*true*).

```
if (b)
    printf ("%d\n", a / b);
```

## 2.6 Schleifen

### **while**-Schleife

```
a = 1;  
while (a <= 10)  
{  
    printf ("%d\n", a);  
    a = a + 1;  
}
```

## 2.6 Schleifen

### **while**-Schleife

```
a = 1;
while (a <= 10)
{
    printf ("%d\n", a);
    a = a + 1;
}
```

### **for**-Schleife

```
for (a = 1; a <= 10; a = a + 1)
    printf ("%d\n", a);
```



## 2.6 Schleifen

### **while**-Schleife

```
a = 1;
while (a <= 10)
{
    printf ("%d\n", a);
    a = a + 1;
}
```

### **for**-Schleife

```
for (a = 1; a <= 10; a = a + 1)
    printf ("%d\n", a);
```

### **do-while**-Schleife

```
a = 1;
do
{
    printf ("%d\n", a);
    a = a + 1;
}
while (a <= 10);
```

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

```
i = 0;  
while (1)  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
int i;
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

```
i = 0;  
while (1)  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
i = 0;  
loop:  
if (i >= 10)  
    goto endloop;  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

```
int i;
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

## 2.7 Strukturierte Programmierung

```
i = 0;  
while (1)  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
i = 0;  
loop:  
if (i >= 10)  
    goto endloop;  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

```
int i;  
  
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

## 2.7 Strukturierte Programmierung

```
i = 0;  
while (1)      fragwürdig  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
i = 0;  
loop:  
if (i >= 10)    sehr fragwürdig  
    goto endloop; (siehe z. B.: http://xkcd.com/292/)  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

```
int i;  
  
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

gut

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

nur, wenn  
Sie wissen,  
was Sie tun

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

- 1.1 Was ist hardwarenahe Programmierung?
- 1.2 Programmierung in C
- 1.3 Zu dieser Lehrveranstaltung

## 2 Einführung in C

- 2.1 Hello, world!
- 2.2 Programme compilieren und ausführen
- 2.3 Elementare Aus- und Eingabe
- 2.4 Elementares Rechnen
- 2.5 Verzweigungen
- 2.6 Schleifen
- 2.7 Strukturierte Programmierung
- 2.8 Seiteneffekte
- 2.9 Funktionen
- 2.10 Zeiger

...

## 3 Bibliotheken

...

# Hardwarenahe Programmierung

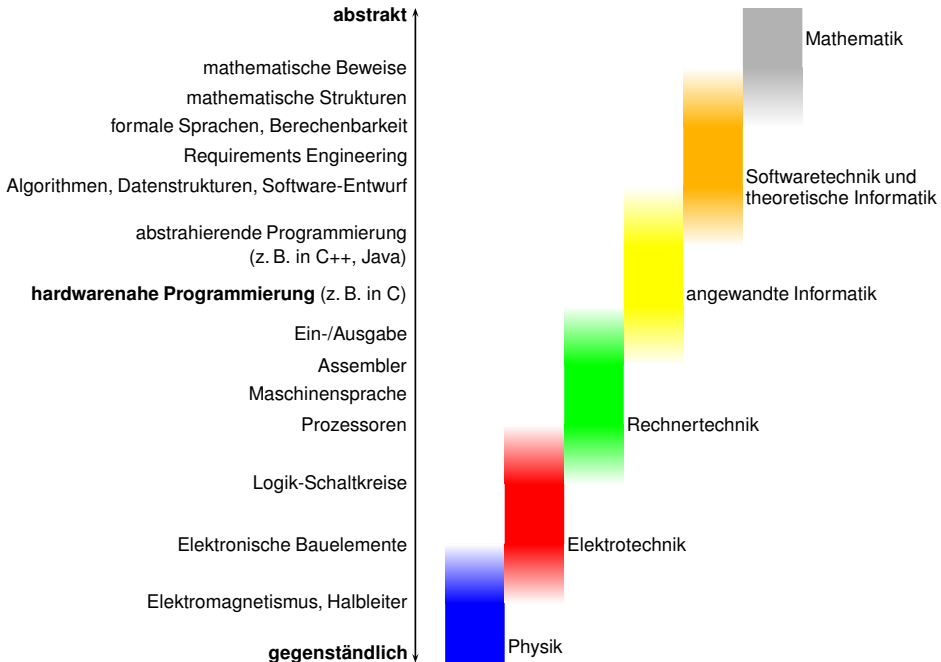
Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

12. Oktober 2023



# Vorab: Online-Werkzeuge

- Diese Veranstaltung findet **in Präsenz** statt.  
Wir versuchen aber, auch eine Online-Teilnahme zu ermöglichen.
- **Mumble**: Seminarraum 2  
Fragen: Mikrofon einschalten oder über den Chat  
Umfragen: über den Chat – **auch während der Präsenz-Veranstaltung**
- **VNC**: Kanal 6, Passwort: `testcvh`  
Eigenen Bildschirm freigeben: VNC-Software oder Web-Interface *yesVNC*  
Eigenes Kamerabild übertragen: Web-Interface *CVH-Camera*
- Allgemeine Informationen: <https://www.cvh-server.de/online-werkzeuge/>
- Notfall-Schnellzugang: <https://www.cvh-server.de/virtuelle-raeume/>  
Seminarraum 2, VNC-Passwort: `testcvh`
- **Lehrmaterialien**: <https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>



# Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

## Programmierung in C

- Hardware direkt ansprechen und effizient einsetzen
- ... bis hin zu komplexen Software-Projekten
- Programmierkenntnisse werden nicht vorausgesetzt, aber schnelles Tempo

# Hardwarenahe Programmierung

## Was ist C?

### Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen
- leistungsfähig, aber gefährlich



### „High-Level-Assembler“

Hardware und/oder Betriebssystem

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

### Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln
- kein „Fallschirm“

# Zu dieser Lehrveranstaltung



- **Lehrmaterialien:**

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

- **Klausur:**

Zeit: 120 Minuten

Zulässige Hilfsmittel:

- Schreibgerät
- beliebige Unterlagen in Papierform und/oder auf Datenträgern
- elektronische Rechner (Notebook, Taschenrechner o. ä.)
- *kein* Internet-Zugang

- **Übungen**

sind mit der Vorlesung und dem Praktikum integriert.

- **Das Praktikum**

findet jede Woche statt.

Diese Woche: vorbereitende Maßnahmen,  
Kennenlernen der verwendeten Werkzeuge.

Im Laufe des Semesters: **4 Praktikumsversuche**

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

- 1.1 Was ist hardwarenahe Programmierung?
- 1.2 Programmierung in C
- 1.3 Zu dieser Lehrveranstaltung

## 2 Einführung in C

- 2.1 Hello, world!
- 2.2 Programme compilieren und ausführen
- 2.3 Elementare Aus- und Eingabe
- 2.4 Elementares Rechnen
- 2.5 Verzweigungen
- 2.6 Schleifen
- 2.7 Strukturierte Programmierung

...

## 3 Bibliotheken

...

## 2 Einführung in C

### 2.1 Hello, world!

Text ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Hello, _world!\n");  
    return 0;  
}
```

printf = „print formatted“

\n: Zeilenschaltung



## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
```

```
$ ./hello-1
```

```
Hello, world!
```

```
$
```



## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
```

```
$ ./hello-1
```

```
Hello, world!
```

```
$
```

`-o hello-1`

Name für Ausgabe-Datei („output“)  
unter Unix: ohne Endung  
unter MS-Windows: Endung `.exe`

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
$ ./hello-1
Hello, world!
$
```

Hier: Kommandozeilen-Interface (CLI)

- Der C-Compiler (hier: `gcc`) muß installiert sein und sich im `PATH` befinden.
- Der Quelltext (hier: `hello-1.c`) muß sich im aktuellen Verzeichnis befinden.
- aktuelles Verzeichnis herausfinden: `pwd`
- aktuelles Verzeichnis wechseln: `cd foobar`, `cd ..`
- Inhalt des aktuellen Verzeichnisses ausgeben: `ls`, `ls -l`
- Ausführen des Programms (`hello-1`) im aktuellen Verzeichnis (`.`):  
`./hello-1`

Alternative: Integrierte Entwicklungsumgebung (IDE)  
mit graphischer Benutzeroberfläche (GUI)

- Das können Sie bereits.

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
$ ./hello-1
Hello, world!
$
```

GNU Compiler Collection (GCC) für verschiedene Plattformen:

- GNU/Linux: [gcc](#)
- Apple Mac OS: [Xcode](#)
- Microsoft Windows: [Cygwin](#)  
oder [MinGW](#) mit [MSYS](#)  
oder [WSL](#) mit darin installiertem [GNU/Linux](#)
- außerdem: Texteditor  
[vi\(m\)](#), [nano](#), [Emacs](#), [Notepad++](#), ...  
(Microsoft Notepad ist *nicht* geeignet!)

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc hello-1.c -o hello-1
```


```
$ ./hello-1
```

```
Hello, world!
```

```
$
```

## 2.2 Programme compilieren und ausführen

```
$ gcc -Wall -O hello-1.c -o hello-1
$ ./hello-1
Hello, world!
$
```



|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| -Wall | alle Warnungen einschalten          |
| -O    | optimieren                          |
| -O3   | maximal optimieren                  |
| -Os   | Codegröße optimieren                |
| ...   | gcc hat <i>sehr viele</i> Optionen. |

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Die_Antwort_lautet:_");
```

```
    printf (42);
```

```
    printf ("\n");
```

```
    return 0;
```

```
}
```

→ Absturz

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Die_Antwort_lautet:_%d\n", 42);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Formatspezifikation „d“: „dezimal“

Weitere Formatspezifikationen:  
siehe Dokumentation (z. B. man 3 printf),  
Internet-Recherche oder Literatur

## 2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert einlesen

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    double a;
```

```
    printf ("Bitte_eine_Zahl_eingeben:_");
```

```
    scanf ("%lf", &a);
```

```
    printf ("Ihre_Antwort_war:_%lf\n", a);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Formatspezifikation „lf“:  
„long floating-point“

Das „&“ nicht vergessen!



## 2.4 Elementares Rechnen

Wert an Variable zuweisen

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int a;
```

```
    printf ("Bitte_eine_Zahl_eingeben:_");
```

```
    scanf ("%d", &a);
```

```
    a = 2 * a;
```

```
    printf ("Das_Doppelte_ist:_%d\n", a);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.4 Elementares Rechnen

Variable bei Deklaration initialisieren

```
int a = 42;  
a = 137;
```

**Achtung:** Initialisierung  $\neq$  Zuweisung

Die beiden Gleichheitszeichen haben  
*subtil unterschiedliche* Bedeutungen!

## 2.5 Verzweigungen

### if-Verzweigung

```
if (b != 0)
    printf ("%d\n", a / b);
```

### Wahrheitswerte in C: numerisch

0 steht für *falsch* (*false*),  
≠ 0 steht für *wahr* (*true*).

```
if (b)
    printf ("%d\n", a / b);
```

## 2.6 Schleifen

### **while**-Schleife

```
a = 1;
while (a <= 10)
{
    printf ("%d\n", a);
    a = a + 1;
}
```

### **for**-Schleife

```
for (a = 1; a <= 10; a = a + 1)
    printf ("%d\n", a);
```

### **do-while**-Schleife

```
a = 1;
do
{
    printf ("%d\n", a);
    a = a + 1;
}
while (a <= 10);
```

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

- 1.1 Was ist hardwarenahe Programmierung?
- 1.2 Programmierung in C
- 1.3 Zu dieser Lehrveranstaltung

## 2 Einführung in C

- 2.1 Hello, world!
- 2.2 Programme compilieren und ausführen
- 2.3 Elementare Aus- und Eingabe
- 2.4 Elementares Rechnen
- 2.5 Verzweigungen
- 2.6 Schleifen
- 2.7 Strukturierte Programmierung
- 2.8 Seiteneffekte
- 2.9 Funktionen
- 2.10 Zeiger

...

## 3 Bibliotheken

...

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

```
i = 0;  
while (1)  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
int i;
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

```
i = 0;  
while (1)  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
i = 0;  
loop:  
if (i >= 10)  
    goto endloop;  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

```
int i;
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```



## 2.7 Strukturierte Programmierung

```
i = 0;  
while (1)  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
i = 0;  
loop:  
if (i >= 10)  
    goto endloop;  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

```
int i;  
  
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

## 2.7 Strukturierte Programmierung

```
i = 0;  
while (1)      fragwürdig  
{  
    if (i >= 10)  
        break;  
    printf ("%d\n", i++);  
}
```

```
i = 0;  
loop:  
if (i >= 10)    sehr fragwürdig  
    goto endloop; (siehe z. B.: http://xkcd.com/292/)  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

```
int i;  
  
i = 0;  
while (i < 10)  
{  
    printf ("%d\n", i);  
    i++;  
}
```

gut

```
for (i = 0; i < 10; i++)  
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;  
while (i < 10)  
    printf ("%d\n", i++);
```

nur, wenn  
Sie wissen,  
was Sie tun

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Hello, _world!\n");  
    "Hello, _world!\n";  
    return 0;  
}
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Hello, _world!\n");
```

```
    "Hello, _world!\n"; ← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Hello, _world!\n");
```

```
    "Hello, _world!\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int a = printf ("Hello, _world!\n");
```

```
    printf ("%d\n", a);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, _world!\n");
    printf ("%d\n", a);
    return 0;
}
```

```
$ gcc -Wall -O side-effects-1.c -o side-effects-1
$ ./side-effects-1
Hello, world!
14
$
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, \_world!\n");
    printf ("%d\n", a);
    return 0;
}
```

- `printf()` ist eine Funktion.



## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, _world!\n");
    printf ("%d\n", a);
    return 0;
}
```

- `printf()` ist eine Funktion.
- „Haupteffekt“: Wert zurückliefern  
(hier: Anzahl der ausgegebenen Zeichen)

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, _world!\n");
    printf ("%d\n", a);
    return 0;
}
```

- `printf()` ist eine Funktion.
- „Haupteffekt“: Wert zurückliefern  
(hier: Anzahl der ausgegebenen Zeichen)
- *Seiteneffekt*: Ausgabe

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
ignore es, nimm stattdessen `b`

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
ignoreiere es, nimm stattdessen `b`

rot = mit Seiteneffekt

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
 ignoriere es, nimm stattdessen `b`

rot = mit Seiteneffekt

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+` `-` `*` `/` `%`
- Vergleich: `==` `!=` `<` `>` `<=` `>=`
- Zuweisung: `=` `+=` `-=` `*=` `/=` `%=`
- Ignorieren: `,` `a`, `b`: berechne `a`,  
ignoriere es, nimm stattdessen `b`

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

rot = mit Seiteneffekt

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
ignore es, nimm stattdessen `b`

rot = mit Seiteneffekt

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
    printf ("%d\n", i++);
```

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+` `-` `*` `/` `%`
- Vergleich: `==` `!=` `<` `>` `<=` `>=`
- Zuweisung: `=` `+=` `-=` `*=` `/=` `%=`
- Ignorieren: `,` `a, b`: berechne `a`,  
ignore es, nimm stattdessen `b`

rot = mit Seiteneffekt

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```



## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
int answer (void)
```

```
{  
    return 42;  
}
```

```
void foo (void)
```

```
{  
    printf ("%d\n", answer ());  
}
```

```
int main (void)
```

```
{  
    foo ();  
    return 0;  
}
```

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
int answer (void)
```

```
{  
    return 42;  
}
```

```
void foo (void)
```

```
{  
    printf ("%d\n", answer ());  
}
```

```
int main (void)
```

```
{  
    foo ();  
    return 0;  
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
 Anweisungen  
}

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
void add_verbose (int a, int b)
{
    printf ("%d_+_d=_d\n", a, b, a + b);
}
```

```
int main (void)
{
    add_verbose (3, 7);
    return 0;
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
    Anweisungen  
}

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
void add_verbose (int a, int b)
{
    printf ("%d_+_d=_d\n", a, b, a + b);
}
```

```
int main (void)
{
    add_verbose (3, 7);
    return 0;
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
    Anweisungen  
}
- Der Datentyp **void** steht für „nichts“ und kann ignoriert werden.

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
void add_verbose (int a, int b)
{
    printf ("%d_+_%d=_%d\n", a, b, a + b);
}
```

```
int main (void)
{
    add_verbose (3, 7);
    return 0;
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
    Anweisungen  
}
- Der Datentyp **void** steht für „nichts“ und muß ignoriert werden.

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
int a, b = 3;
```

```
void foo (void)
```

```
{  
    b++;  
    static int a = 5;  
    int b = 7;  
    printf ("foo():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    a++;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    foo ();  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    a = b = 12;  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    foo ();  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    return 0;  
}
```

## 2.10 Zeiger

```
#include <stdio.h>
```

```
void calc_answer (int *a)
```

```
{
```

```
    *a = 42;
```

```
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int answer;
```

```
    calc_answer (&answer);
```

```
    printf ("The_answer_is_%d.\n", answer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.10 Zeiger

```
#include <stdio.h>
```

```
void calc_answer (int *a)
```

```
{  
    *a = 42;  
}
```

- `*a` ist eine `int`.

```
int main (void)
```

```
{  
    int answer;  
    calc_answer (&answer);  
    printf ("The_answer_is_%d.\n", answer);  
    return 0;  
}
```



## 2.10 Zeiger

```
#include <stdio.h>
```

```
void calc_answer (int *a)
{
    *a = 42;
}
```

- `*a` ist eine **int**.
- unärer Operator `*`:  
Pointer-Derferenzierung

```
int main (void)
{
    int answer;
    calc_answer (&answer);
    printf ("The_answer_is_%d.\n", answer);
    return 0;
}
```

## 2.10 Zeiger

```
#include <stdio.h>
```

```
void calc_answer (int *a)
{
    *a = 42;
}
```

- `*a` ist eine **int**.
- unärer Operator `*`:  
Pointer-Derferenzierung

→ `a` ist ein Zeiger (Pointer) auf eine **int**.

```
int main (void)
{
    int answer;
    calc_answer (&answer);
    printf ("The_answer_is_%d.\n", answer);
    return 0;
}
```

## 2.10 Zeiger

```
#include <stdio.h>
```

```
void calc_answer (int *a)
{
    *a = 42;
}
```

- `*a` ist eine **int**.
- unärer Operator `*`:  
Pointer-Derferenzierung

→ `a` ist ein Zeiger (Pointer) auf eine **int**.

```
int main (void)
{
    int answer;
    calc_answer (&answer);
    printf ("The_answer_is_%d.\n", answer);
    return 0;
}
```

- unärer Operator `&`: Adresse

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist eine Ansammlung von fünf ganzen Zahlen.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```



- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", p[i]);  
    return 0;  
}
```



- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.
- Andere Schreibweise:  
**p[i]** statt **\*(p + i)**

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", prime[i]);  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.
- Andere Schreibweise:  
**p[i]** statt **\*(p + i)**

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    for (int *p = prime;  
        p < prime + 5; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.
- Andere Schreibweise:  
**p[i]** statt **\*(p + i)**
- Zeiger-Arithmetik:  
**p++** rückt den Zeiger **p** um eine **int** weiter.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[6] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.
- Andere Schreibweise:  
**p[i]** statt **\*(p + i)**
- Zeiger-Arithmetik:  
**p++** rückt den Zeiger **p** um eine **int** weiter.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

**int** main (**void**)

```
{  
    int prime[] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.
- Andere Schreibweise:  
**p[i]** statt **\*(p + i)**
- Zeiger-Arithmetik:  
**p++** rückt den Zeiger **p** um eine **int** weiter.
- Array ohne Längenangabe:  
Compiler zählt selbst



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

**#include** <stdio.h>

```
int main (void)
{
    int prime[] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };
    for (int *p = prime; *p; p++)
        printf ("%d\n", *p);
    return 0;
}
```

**Die Länge des Arrays  
ist *nicht* veränderlich!**

- **prime** ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- **prime** ist ein Zeiger auf eine **int**.
- **p + i** ist ein Zeiger auf den **i**-ten Nachbarn von **\*p**.
- **\*(p + i)** ist der **i**-te Nachbar von **\*p**.
- Andere Schreibweise:  
**p[i]** statt **\*(p + i)**
- Zeiger-Arithmetik:  
**p++** rückt den Zeiger **p** um eine **int** weiter.
- Array ohne explizite Längenangabe:  
Compiler zählt selbst

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

2.1 Hello, world!

2.2 Programme compilieren und ausführen

2.3 Elementare Aus- und Eingabe

2.4 Elementares Rechnen

2.5 Verzweigungen

2.6 Schleifen

2.7 Strukturierte Programmierung

2.8 Seiteneffekte

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

...

## 3 Bibliotheken

...

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

19. Oktober 2023

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

2.1 Hello, world!

2.2 Programme compilieren und ausführen

2.3 Elementare Aus- und Eingabe

2.4 Elementares Rechnen

2.5 Verzweigungen

2.6 Schleifen

2.7 Strukturierte Programmierung

2.8 Seiteneffekte

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

...

## 3 Bibliotheken

...

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Hello, _world!\n");  
    "Hello, _world!\n";  
    return 0;  
}
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Hello, _world!\n");
```

```
    "Hello, _world!\n"; ← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    printf ("Hello, _world!\n");
```

```
    "Hello, _world!\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, _world!\n");
    printf ("%d\n", a);
    return 0;
}
```

```
$ gcc -Wall -O side-effects-1.c -o side-effects-1
$ ./side-effects-1
Hello, world!
14
$
```



## 2.8 Seiteneffekte

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, _world!\n");
    printf ("%d\n", a);
    return 0;
}
```

- `printf()` ist eine Funktion.
- „Haupteffekt“: Wert zurückliefern  
(hier: Anzahl der ausgegebenen Zeichen)
- *Seiteneffekt*: Ausgabe

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
ignore es, nimm stattdessen `b`

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
ignore es, nimm stattdessen `b`

rot = mit Seiteneffekt

## 2.8 Seiteneffekte bei Operatoren

Unäre Operatoren:

- Negation: `-foo`
- Funktionsaufruf: `foo ()`
- Post-Inkrement: `foo++`
- Post-Dekrement: `foo--`
- Prä-Inkrement: `++foo`
- Prä-Dekrement: `--foo`

Binäre Operatoren:

- Rechnen: `+ - * / %`
- Vergleich: `== != < > <= >=`
- Zuweisung: `= += -= *= /= %=`
- Ignorieren: `, a, b`: berechne `a`,  
ignore es, nimm stattdessen `b`

rot = mit Seiteneffekt

```
int i;
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
{
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
    i++;
```

```
}
```

```
for (i = 0; i < 10; i++)
```

```
    printf ("%d\n", i);
```

```
i = 0;
```

```
while (i < 10)
```

```
    printf ("%d\n", i++);
```

```
for (i = 0; i < 10; printf ("%d\n", i++));
```

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
int answer (void)
```

```
{  
    return 42;  
}
```

```
void foo (void)
```

```
{  
    printf ("%d\n", answer ());  
}
```

```
int main (void)
```

```
{  
    foo ();  
    return 0;  
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
 Anweisungen  
}

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
void add_verbose (int a, int b)
{
    printf ("%d_+_d=_d\n", a, b, a + b);
}
```

```
int main (void)
{
    add_verbose (3, 7);
    return 0;
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
    Anweisungen  
}
- Der Datentyp **void**  
steht für „nichts“  
und kann ignoriert werden.

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
void add_verbose (int a, int b)
{
    printf ("%d_+_d=_d\n", a, b, a + b);
}
```

```
int main (void)
{
    add_verbose (3, 7);
    return 0;
}
```

- Funktionsdeklaration:  
Typ Name ( Parameterliste )  
{  
    Anweisungen  
}
- Der Datentyp **void** steht für „nichts“ und muß ignoriert werden.

## 2.9 Funktionen

```
#include <stdio.h>
```

```
int a, b = 3;
```

```
void foo (void)
```

```
{  
    b++;  
    static int a = 5;  
    int b = 7;  
    printf ("foo():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    a++;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    foo ();  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    a = b = 12;  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    foo ();  
    printf ("main():_"  
           "a=_%d,_b=_%d\n",  
           a, b);  
    return 0;  
}
```



## 2.10 Zeiger

```
#include <stdio.h>
```

```
void calc_answer (int *a)
{
    *a = 42;
}
```

- `*a` ist eine **int**.
- unärer Operator `*`:  
Pointer-Derferenzierung

→ `a` ist ein Zeiger (Pointer) auf eine **int**.

```
int main (void)
{
    int answer;
    calc_answer (&answer);
    printf ("The_answer_is_%d.\n", answer);
    return 0;
}
```

- unärer Operator `&`: Adresse

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- `prime` ist eine Ansammlung von fünf ganzen Zahlen.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.



- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.


## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", p[i]);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`. 
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", prime[i]);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    for (int *p = prime;  
         p < prime + 5; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[6] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.
- Array ohne Längenangabe:  
Compiler zählt selbst

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

**Die Länge des Arrays  
ist *nicht* veränderlich!**

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.
- Array ohne explizite Längenangabe:  
Compiler zählt selbst

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.5 Verzweigungen

2.6 Schleifen

2.7 Strukturierte Programmierung

2.8 Seiteneffekte

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

...



## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, _world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars**.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, _world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars** also ein Zeiger auf (kleinere) Integer.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars** also ein Zeiger auf (kleinere) Integer.
- Der letzte **char** muß 0 sein. Er kennzeichnet das Ende des Strings.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, _world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%c", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars** also ein Zeiger auf (kleinere) Integer.
- Der letzte **char** muß 0 sein. Er kennzeichnet das Ende des Strings.
- Die Formatspezifikation entscheidet über die Ausgabe:
  - %d** dezimal
  - %c** Zeichen
  - %x** hexadezimal

## 2.11 Arrays und Strings und Zeichen

„Alles ist Zahl.“ – Schule der Pythagoreer, 6. Jh. v. Chr.

|         |                     |                               |
|---------|---------------------|-------------------------------|
| "Hello" |                     | { 72, 101, 108, 108, 111, 0 } |
| 'H'     | ist nur eine andere | 72                            |
|         | Schreibweise für    |                               |
| 'a' + 4 |                     | 'e'                           |

- Welchen Zahlenwert hat '\*' im Zeichensatz?

```
printf ("%d\n", '*');
```

(normalerweise: ASCII)

- Ist **char** **ch** ein Großbuchstabe?

```
if (ch >= 'A' && ch <= 'Z')
```

...

- Groß- in Kleinbuchstaben umwandeln

```
ch += 'a' - 'A';
```



## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today = { 17, 10, 2022 };
```

```
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day, today.month, today.year);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
void set_date (date *d)
```

```
{
```

```
    (*d).day = 17;
```

```
    (*d).month = 10;
```

```
    (*d).year = 2022;
```

```
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today;
```

```
    set_date (&today);
```

```
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day,  
            today.month, today.year);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
void set_date (date *d)
```

```
{
```

```
    d->day = 17;
```

```
    d->month = 10;
```

```
    d->year = 2022;
```

```
}
```

foo->bar ist Abkürzung für (\*foo).bar

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today;
```

```
    set_date (&today);
```

```
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day,  
            today.month, today.year);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{  
    char day, month;  
    int year;  
}  
date;
```

```
void set_date (date *d)
```

```
{  
    d->day = 17;  
    d->month = 10;  
    d->year = 2022;  
}
```

`foo->bar` ist Abkürzung für `(*foo).bar`

Eine Funktion, die mit einem **struct** arbeitet, kann man eine *Methode* des **struct** nennen.

```
int main (void)
```

```
{  
    date today;  
    set_date (&today);  
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day,  
            today.month, today.year);  
    return 0;  
}
```

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    fprintf (f, "Hello, world!\n");
```

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (f)
```

```
    {
```

```
        fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
        fclose (f);
```

```
    }
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (f)
```

```
    {
```

```
        fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
        fclose (f);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
        fprintf (stderr, "error_#%d\n", errno);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
```

```
int main (void)
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (f)
    {
        fprintf (f, "Hello, _world!\n");
        fclose (f);
    }
    else
    {
        char *msg = strerror (errno);
        fprintf (stderr, "%s\n", msg);
    }
    return 0;
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`
- Die Funktion `strerror()` wandelt `errno` in einen Fehlermeldungstext um. Benötigt: `#include <string.h>`



## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
#include <error.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (!f)
```

```
        error (errno, errno, "cannot_open_file");
```

```
    fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`
- Die Funktion `strerror()` wandelt `errno` in einen Fehlermeldungstext um. Benötigt: `#include <string.h>`
- Die Funktion `error()` gibt eine Fehlermeldung aus und beendet das Programm. Benötigt: `#include <error.h>`

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
#include <error.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (!f)
```

```
        error (errno, errno, "cannot_open_file");
```

```
    fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`
- Die Funktion `strerror()` wandelt `errno` in einen Fehlermeldungstext um. Benötigt: `#include <string.h>`
- Die Funktion `error()` gibt eine Fehlermeldung aus und beendet das Programm. Benötigt: `#include <error.h>`
- **Niemals Fehler einfach ignorieren!**

## 2.14 Parameter des Hauptprogramms

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
{
    printf ("argc=%d\n", argc);
    for (int i = 0; i < argc; i++)
        printf ("argv[%d]=\n", i, argv[i]);
    return 0;
}
```

## 2.14 Parameter des Hauptprogramms

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
{
    printf ("argc=%d\n", argc);
    for (int i = 0; *argv; i++, argv++)
        printf ("argv[%d]=\n", i, *argv);
    return 0;
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello,_world!\n";
```

```
    printf ("%s\n", hello);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello));
```

```
    printf ("%s\n", hello + 7);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello + 7));
```

```
    hello[5] = 0;
```

```
    printf ("%s\n", hello);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

26. Oktober 2023

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.7 Strukturierte Programmierung

2.8 Seiteneffekte

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

...

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable.



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- `prime` ist eine Ansammlung von fünf ganzen Zahlen.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };
```

```
    int *p = prime;
```

```
    for (int i = 0; i < 5; i++)
```

```
        printf ("%d\n", *(p + i));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.



- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", *(p + i));  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.


## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    int *p = prime;  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", p[i]);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`. 
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`



## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    for (int i = 0; i < 5; i++)  
        printf ("%d\n", prime[i]);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[5] = { 2, 3, 5, 7, 11 };  
    for (int *p = prime;  
         p < prime + 5; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[6] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.
- Array ohne Längenangabe:  
Compiler zählt selbst

## 2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    int prime[] = { 2, 3, 5, 7, 11, 0 };  
    for (int *p = prime; *p; p++)  
        printf ("%d\n", *p);  
    return 0;  
}
```

**Die Länge des Arrays  
ist *nicht* veränderlich!**

- `prime` ist ein Array von fünf ganzen Zahlen.
- `prime` ist ein Zeiger auf eine `int`.
- `p + i` ist ein Zeiger auf den `i`-ten Nachbarn von `*p`.
- `*(p + i)` ist der `i`-te Nachbar von `*p`.
- Andere Schreibweise:  
`p[i]` statt `*(p + i)`
- Zeiger-Arithmetik:  
`p++` rückt den Zeiger `p` um eine `int` weiter.
- Array ohne explizite Längenangabe:  
Compiler zählt selbst

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.5 Verzweigungen

2.6 Schleifen

2.7 Strukturierte Programmierung

2.8 Seiteneffekte

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

...

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, _world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.



## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, _world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, _world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars**.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars** also ein Zeiger auf (kleinere) Integer.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello, world!\n";
```

```
    for (char *p = hello; *p; p++)
```

```
        printf ("%d", *p);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars** also ein Zeiger auf (kleinere) Integer.
- Der letzte **char** muß 0 sein. Er kennzeichnet das Ende des Strings.

## 2.11 Arrays und Strings

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
{
    char hello[] = "Hello, world!\n";
    for (char *p = hello; *p; p++)
        printf ("%c", *p);
    return 0;
}
```

- Ein **char** ist eine kleinere **int**.
- Ein „String“ in C ist ein Array von **chars**, also ein Zeiger auf **chars** also ein Zeiger auf (kleinere) Integer.
- Der letzte **char** muß 0 sein. Er kennzeichnet das Ende des Strings.
- Die Formatspezifikation entscheidet über die Ausgabe:
  - %d** dezimal
  - %c** Zeichen
  - %x** hexadezimal

## 2.11 Arrays und Strings und Zeichen

„Alles ist Zahl.“ – Schule der Pythagoreer, 6. Jh. v. Chr.

|         |                     |                               |
|---------|---------------------|-------------------------------|
| "Hello" |                     | { 72, 101, 108, 108, 111, 0 } |
| 'H'     | ist nur eine andere | 72                            |
|         | Schreibweise für    |                               |
| 'a' + 4 |                     | 'e'                           |

- Welchen Zahlenwert hat '\*' im Zeichensatz?

```
printf ("%d\n", '*');
```

(normalerweise: ASCII)

- Ist **char** **ch** ein Großbuchstabe?

```
if (ch >= 'A' && ch <= 'Z')
```

...

- Groß- in Kleinbuchstaben umwandeln

```
ch += 'a' - 'A';
```

## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today = { 26, 10, 2023 };
```

```
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day, today.month, today.year);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
void set_date (date *d)
```

```
{
```

```
    (*d).day = 26;
```

```
    (*d).month = 10;
```

```
    (*d).year = 2023;
```

```
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today;
```

```
    set_date (&today);
```

```
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day,  
            today.month, today.year);
```

```
    return 0;
```

```
}
```



## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{  
    char day, month;  
    int year;  
}  
date;
```

```
void set_date (date *d)
```

```
{  
    d->day = 26;  
    d->month = 10;  
    d->year = 2023;  
}
```

foo->bar ist Abkürzung für (\*foo).bar

```
int main (void)
```

```
{  
    date today;  
    set_date (&today);  
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day,  
            today.month, today.year);  
    return 0;  
}
```

## 2.12 Strukturen

```
#include <stdio.h>
```

```
typedef struct
```

```
{  
    char day, month;  
    int year;  
}  
date;
```

```
void set_date (date *d)
```

```
{  
    d->day = 26;  
    d->month = 10;  
    d->year = 2023;  
}
```

`foo->bar` ist Abkürzung für `(*foo).bar`

Eine Funktion, die mit einem **struct** arbeitet, kann man eine *Methode* des **struct** nennen.

```
int main (void)
```

```
{  
    date today;  
    set_date (&today);  
    printf ("%d.%d.%d\n", today.day,  
            today.month, today.year);  
    return 0;  
}
```

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    fprintf (f, "Hello, world!\n");
```

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (f)
```

```
    {
```

```
        fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
        fclose (f);
```

```
    }
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (f)
```

```
    {
```

```
        fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
        fclose (f);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
        fprintf (stderr, "error_#%d\n", errno);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
#include <errno.h>
#include <string.h>
```

```
int main (void)
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (f)
    {
        fprintf (f, "Hello, _world!\n");
        fclose (f);
    }
    else
    {
        char *msg = strerror (errno);
        fprintf (stderr, "%s\n", msg);
    }
    return 0;
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`
- Die Funktion `strerror()` wandelt `errno` in einen Fehlermeldungstext um. Benötigt: `#include <string.h>`

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
#include <error.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (!f)
```

```
        error (errno, errno, "cannot_open_file");
```

```
    fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`
- Die Funktion `strerror()` wandelt `errno` in einen Fehlermeldungstext um. Benötigt: `#include <string.h>`
- Die Funktion `error()` gibt eine Fehlermeldung aus und beendet das Programm. Benötigt: `#include <error.h>`

## 2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <errno.h>
```

```
#include <error.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
```

```
    if (!f)
```

```
        error (errno, errno, "cannot_open_file");
```

```
    fprintf (f, "Hello,_world!\n");
```

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

- Wenn die Datei nicht geöffnet werden kann, gibt `fopen()` den Wert `NULL` zurück.
- Die globale Variable `int errno` enthält dann die Nummer des Fehlers. Benötigt: `#include <errno.h>`
- Die Funktion `strerror()` wandelt `errno` in einen Fehlermeldungstext um. Benötigt: `#include <string.h>`
- Die Funktion `error()` gibt eine Fehlermeldung aus und beendet das Programm. Benötigt: `#include <error.h>`
- **Niemals Fehler einfach ignorieren!**



## 2.14 Parameter des Hauptprogramms

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
{
    printf ("argc=%d\n", argc);
    for (int i = 0; i < argc; i++)
        printf ("argv[%d]=\n", i, argv[i]);
    return 0;
}
```

## 2.14 Parameter des Hauptprogramms

```
#include <stdio.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
{
    printf ("argc=%d\n", argc);
    for (int i = 0; *argv; i++, argv++)
        printf ("argv[%d]=\n", i, *argv);
    return 0;
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello,_world!\n";
```

```
    printf ("%s\n", hello);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello));
```

```
    printf ("%s\n", hello + 7);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello + 7));
```

```
    hello[5] = 0;
```

```
    printf ("%s\n", hello);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char *anton = "Anton";
```

```
    char *zacharias = "Zacharias";
```

```
    printf ("%d\n", strcmp (anton, zacharias));
```

```
    printf ("%d\n", strcmp (zacharias, anton));
```

```
    printf ("%d\n", strcmp (anton, anton));
```

```
    char buffer[100] = "Huber_";
```

```
    strcat (buffer, anton);
```

```
    printf ("%s\n", buffer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char buffer[100] = "";
```

```
    sprintf (buffer, "Die_Antwort_lautet:%d", 42);
```

```
    printf ("%s\n", buffer);
```

```
    char *answer = strstr (buffer, "Antwort");
```

```
    printf ("%s\n", answer);
```

```
    printf ("found_at:%zd\n", answer - buffer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char buffer[100] = "";
```

```
    snprintf (buffer, 100, "Die_Antwort_lautet:_%d", 42);
```

```
    printf ("%s\n", buffer);
```

```
    char *answer = strstr (buffer, "Antwort");
```

```
    printf ("%s\n", answer);
```

```
    printf ("found_at:_%zd\n", answer - buffer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2 Einführung in C

Sprachelemente weitgehend komplett

Es fehlen:

- Ergänzungen (z. B. ternärer Operator, **union**, **unsigned**, **volatile**)
- Bibliotheksfunktionen (z. B. **malloc()**)

—> werden eingeführt, wenn wir sie brauchen

- Konzepte (z. B. rekursive Datenstrukturen, Klassen selbst bauen)

—> werden eingeführt, wenn wir sie brauchen, oder:

—> Literatur

(z. B. Wikibooks: C-Programmierung,  
Dokumentation zu Compiler und Bibliotheken)

- Praxiserfahrung

—> Übung und Praktikum: nur Einstieg

—> selbständig arbeiten

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.7 Strukturierte Programmierung

2.8 Seiteneffekte

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

...



## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include** <stdio.h>: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

**#define SIX 6**: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

**#define SIX 6**: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include <stdio.h>**: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include "answer.h"**: auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

**#define SIX 6**: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:  
**#define SIX (1 + 5)**

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include** <stdio.h>: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include** "answer.h": auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

**#define** SIX 6: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:  
**#define** SIX (1 + 5)
- Konvention: Großbuchstaben

## 3 Bibliotheken

### 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen



## 3 Bibliotheken

### 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int answer (void);
```

# 3 Bibliotheken

## 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int answer (void);
```

```
extern int printf (__const char *__restrict __format, ...);
```

# 3 Bibliotheken

## 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

```
extern int answer (void);
```

```
extern int printf (__const char *__restrict __format, ...);
```

Funktion wird „anderswo“ definiert

# 3 Bibliotheken

## 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

**extern int** answer (**void**);

**extern int** printf (\_\_const **char** \*\_\_restrict \_\_format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben

## 3 Bibliotheken

### 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

**extern int** answer (**void**);

**extern int** printf (\_\_const **char** \*\_\_restrict \_\_format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an *gcc* übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*

# 3 Bibliotheken

## 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

**extern int** answer (**void**);

**extern int** printf (\_\_const **char** \*\_\_restrict \_\_format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*
- vorcompilierte Bibliothek: `-lfoo`

# 3 Bibliotheken

## 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

**extern int** answer (**void**);

**extern int** printf (\_\_const **char** \*\_\_restrict \_\_format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*
- vorcompilierte Bibliothek: `-lfoo`  
= Datei `libfoo.a` in Standard-Verzeichnis

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- **#include** <gtk/gtk.h>



## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß:

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- **#include** <gtk/gtk.h>

- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß:

```
$ pkg-config --cflags --libs gtk4
-I/usr/include/gtk-4.0 -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/
include/glib-2.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/glib-2.0/i
nclude -I/usr/include/harfbuzz -I/usr/include/freetype2
-I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/libmount -I/usr/
include/blkid -I/usr/include/fribidi -I/usr/include/cai
ro -I/usr/include/pixman-1 -I/usr/include/gdk-pixbuf-2.
0 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu -I/usr/include/graphene-1.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/graphene-1.0/include
-mfpmath=sse -msse -msse2 -pthread -lgtk-4 -lpangocairo
-1.0 -lpango-1.0 -lharfbuzz -lgdk_pixbuf-2.0 -lcairo-go
bject -lcairo -lgraphene-1.0 -lgio-2.0 -lgobject-2.0 -l
glib-2.0
```

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- **#include** <gtk/gtk.h>
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c -I/usr/include/gtk-4.0 -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/include/glib-2.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/glib-2.0/include -I/usr/include/harfbuzz -I/usr/include/freetype2 -I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/libmount -I/usr/include/blkid -I/usr/include/fribidi -I/usr/include/cairo -I/usr/include/pixman-1 -I/usr/include/gdk-pixbuf-2.0 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu -I/usr/include/graphene-1.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/graphene-1.0/include -mfpmath=sse -msse -msse2 -pthread -lgtk-4 -lpangocairo -l.0 -lpango-1.0 -lharfbuzz -lgdk_pixbuf-2.0 -lcairo-gobject -lcairo -lgraphene-1.0 -lgio-2.0 -lgobject-2.0 -l glib-2.0 -o hello-gtk
```

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c $(pkg-config --cflags --libs  
    gtk4) -o hello-gtk
```

Optionen:

u. a. viele Include-Verzeichnisse:

`-I/usr/include/gtk-4.0`

Bibliotheken:

u. a. `-lgtk-4`

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- **#include** <gtk/gtk.h>
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

—> Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c $(pkg-config --cflags --libs  
    gtk4) -o hello-gtk
```

- Auf manchen Plattformen kommt es auf die Reihenfolge an:

```
$ gcc -Wall -O $(pkg-config --cflags gtk4) \  
    hello-gtk.c $(pkg-config --libs gtk4) \  
    -o hello-gtk
```

(Backslash = „Es geht in der nächsten Zeile weiter.“)

## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void hello (GtkWidget *this, gpointer user_data)
{
    char *world = user_data;
    printf ("Hello, %s!\n", world);
}
```

...

```
g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (hello), "world");
```

—> GTK ruft immer dann, wenn der Button betätigt wurde,  
die Funktion `hello` auf.

## 3.4 Callbacks

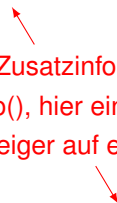
Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void hello (GtkWidget *this, gpointer user_data)
{
    char *world = user_data;
    printf ("Hello, %s!\n", world);
}
```

...

```
g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (hello), "world");
```

optionale Zusatzinformationen  
für hello(), hier ein String  
oft ein Zeiger auf ein struct



→ GTK ruft immer dann, wenn der Button betätigt wurde,  
die Funktion `hello` auf.

## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void draw (GtkDrawingArea *drawing_area, cairo_t *c,  
                  int width, int height, gpointer user_data)
```

```
{  
    /* Zeichenbefehle */  
    ...  
}
```

```
...
```

```
gtk_drawing_area_set_draw_func (GTK_DRAWING_AREA (drawing_area),  
                                draw, NULL, NULL);
```

→ GTK ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,  
die Funktion `draw` auf.



## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*


```
static void draw (GtkDrawingArea *drawing_area, cairo_t *c,  
                  int width, int height, gpointer user_data)
```

```
{  
    /* Zeichenbefehle */  
    ...  
}
```

```
...
```

```
gtk_drawing_area_set_draw_func (GTK_DRAWING_AREA (drawing_area),  
                                draw, NULL, NULL);
```

repräsentiert den  
Bildschirm, auf den  
gezeichnet werden soll



→ GTK ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,  
die Funktion `draw` auf.

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Callbacks

3.5 Projekt organisieren: make

## 4 Hardwarenahe Programmierung

...

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

2. November 2023

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Callbacks

3.5 Projekt organisieren: make

## 4 Hardwarenahe Programmierung

...

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char hello[] = "Hello,_world!\n";
```

```
    printf ("%s\n", hello);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello));
```

```
    printf ("%s\n", hello + 7);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello + 7));
```

```
    hello[5] = 0;
```

```
    printf ("%s\n", hello);
```

```
    printf ("%zd\n", strlen (hello));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char *anton = "Anton";
```

```
    char *zacharias = "Zacharias";
```

```
    printf ("%d\n", strcmp (anton, zacharias));
```

```
    printf ("%d\n", strcmp (zacharias, anton));
```

```
    printf ("%d\n", strcmp (anton, anton));
```

```
    char buffer[100] = "Huber_";
```

```
    strcat (buffer, anton);
```

```
    printf ("%s\n", buffer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char buffer[100] = "";
```

```
    sprintf (buffer, "Die_Antwort_lautet:%d", 42);
```

```
    printf ("%s\n", buffer);
```

```
    char *answer = strstr (buffer, "Antwort");
```

```
    printf ("%s\n", answer);
```

```
    printf ("found_at:%zd\n", answer - buffer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.15 String-Operationen

```
#include <stdio.h>
```

```
#include <string.h>
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    char buffer[100] = "";
```

```
    snprintf (buffer, 100, "Die_Antwort_lautet:_%d", 42);
```

```
    printf ("%s\n", buffer);
```

```
    char *answer = strstr (buffer, "Antwort");
```

```
    printf ("%s\n", answer);
```

```
    printf ("found_at:_%zd\n", answer - buffer);
```

```
    return 0;
```

```
}
```



## 2 Einführung in C

Sprachelemente weitgehend komplett

Es fehlen:

- Ergänzungen (z. B. ternärer Operator, **union**, **unsigned**, **volatile**)
- Bibliotheksfunktionen (z. B. **malloc()**)

—> werden eingeführt, wenn wir sie brauchen

- Konzepte (z. B. rekursive Datenstrukturen, Klassen selbst bauen)

—> werden eingeführt, wenn wir sie brauchen, oder:

—> Literatur

(z. B. Wikibooks: C-Programmierung,  
Dokumentation zu Compiler und Bibliotheken)

- Praxiserfahrung

—> Übung und Praktikum: nur Einstieg

—> selbständig arbeiten

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

**#include**: Text einbinden

- **#include** <stdio.h>: Standard-Verzeichnisse – Standard-Header
- **#include** "answer.h": auch aktuelles Verzeichnis – eigene Header

**#define** SIX 6: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:  
**#define** SIX (1 + 5)
- Konvention: Großbuchstaben

# 3 Bibliotheken

## 3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

**extern int** answer (**void**);

**extern int** printf (\_\_const **char** \*\_\_restrict \_\_format, ...);

Funktion wird „anderswo“ definiert

- separater C-Quelltext: mit an `gcc` übergeben
- Zusammenfügen zu ausführbarem Programm durch den *Linker*
- vorcompilierte Bibliothek: `-lfoo`  
= Datei `libfoo.a` in Standard-Verzeichnis

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- **#include** <gtk/gtk.h>

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß:

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- `#include <gtk/gtk.h>`

- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß:

```
$ pkg-config --cflags --libs gtk4
-I/usr/include/gtk-4.0 -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/
include/glib-2.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/glib-2.0/i
nclude -I/usr/include/harfbuzz -I/usr/include/freetype2
-I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/libmount -I/usr/
include/blkid -I/usr/include/fribidi -I/usr/include/cai
ro -I/usr/include/pixman-1 -I/usr/include/gdk-pixbuf-2.
0 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu -I/usr/include/graphene-1.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/graphene-1.0/include
-mfpmath=sse -msse -msse2 -pthread -lgtk-4 -lpangocairo
-1.0 -lpango-1.0 -lharfbuzz -lgdk_pixbuf-2.0 -lcairo-go
bject -lcairo -lgraphene-1.0 -lgio-2.0 -lgobject-2.0 -l
glib-2.0
```

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- **#include** <gtk/gtk.h>
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c -I/usr/include/gtk-4.0 -I/usr/include/pango-1.0 -I/usr/include/glib-2.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/glib-2.0/include -I/usr/include/harfbuzz -I/usr/include/freetype2 -I/usr/include/libpng16 -I/usr/include/libmount -I/usr/include/blkid -I/usr/include/fribidi -I/usr/include/cairo -I/usr/include/pixman-1 -I/usr/include/gdk-pixbuf-2.0 -I/usr/include/x86_64-linux-gnu -I/usr/include/graphene-1.0 -I/usr/lib/x86_64-linux-gnu/graphene-1.0/include -mfpmath=sse -msse -msse2 -pthread -lgtk-4 -lpangocairo -l.0 -lpango-1.0 -lharfbuzz -lgdk_pixbuf-2.0 -lcairo-gobject -lcairo -lgraphene-1.0 -lgio-2.0 -lgobject-2.0 -l glib-2.0 -o hello-gtk
```

## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

→ Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c $(pkg-config --cflags --libs  
    gtk4) -o hello-gtk
```

Optionen:

u. a. viele Include-Verzeichnisse:

`-I/usr/include/gtk-4.0`

Bibliotheken:

u. a. `-lgtk-4`



## 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: GTK)

- `#include <gtk/gtk.h>`
- Mit `pkg-config --cflags --libs gtk4` erfährt man, welche Optionen und Bibliotheken man an `gcc` übergeben muß.

—> Compiler-Aufruf:

```
$ gcc -Wall -O hello-gtk.c $(pkg-config --cflags --libs  
    gtk4) -o hello-gtk
```

- Auf manchen Plattformen kommt es auf die Reihenfolge an:

```
$ gcc -Wall -O $(pkg-config --cflags gtk4) \  
    hello-gtk.c $(pkg-config --libs gtk4) \  
    -o hello-gtk
```

(Backslash = „Es geht in der nächsten Zeile weiter.“)

## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void hello (GtkWidget *this, gpointer user_data)
{
    char *world = user_data;
    printf ("Hello, %s!\n", world);
}
```

...

```
g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (hello), "world");
```

→ GTK ruft immer dann, wenn der Button betätigt wurde,  
die Funktion `hello` auf.

## 3.4 Callbacks

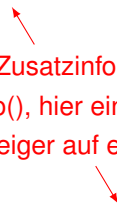
Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void hello (GtkWidget *this, gpointer user_data)
{
    char *world = user_data;
    printf ("Hello, %s!\n", world);
}
```

...

```
g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (hello), "world");
```

optionale Zusatzinformationen  
für hello(), hier ein String  
oft ein Zeiger auf ein struct



→ GTK ruft immer dann, wenn der Button betätigt wurde,  
die Funktion `hello` auf.

## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void draw (GtkDrawingArea *drawing_area, cairo_t *c,  
                  int width, int height, gpointer user_data)
```

```
{  
    /* Zeichenbefehle */
```

```
    ...
```

```
}
```

```
...
```

```
gtk_drawing_area_set_draw_func (GTK_DRAWING_AREA (drawing_area),  
                                draw, NULL, NULL);
```

→ GTK ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,  
die Funktion `draw` auf.

## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void draw (GtkDrawingArea *drawing_area, cairo_t *c,  
                  int width, int height, gpointer user_data)
```

```
{  
    /* Zeichenbefehle */  
    ...  
}
```

```
...
```

```
gtk_drawing_area_set_draw_func (GTK_DRAWING_AREA (drawing_area),  
                                draw, NULL, NULL);
```

repräsentiert den  
Bildschirm, auf den  
gezeichnet werden soll

→ GTK ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,  
die Funktion `draw` auf.

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

2.11 Arrays und Strings

2.12 Strukturen

2.13 Dateien und Fehlerbehandlung

2.14 Parameter des Hauptprogramms

2.15 String-Operationen

## 3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Callbacks

3.5 Projekt organisieren: make

## 4 Hardwarenahe Programmierung

...

## 3.5 Projekt organisieren: make

- Regeln
- Makros

## 3.5 Projekt organisieren: make

- Regeln

```
philosophy: philosophy.o answer.o  
gcc philosophy.o answer.o -o philosophy
```

```
answer.o: answer.c answer.h  
gcc -Wall -O answer.c -c
```

```
philosophy.o: philosophy.c answer.h  
gcc -Wall -O philosophy.c -c
```

- Makros



## 3.5 Projekt organisieren: make

- Regeln
- Makros

TARGET = philosophy

OBJECTS = philosophy.o answer.o

HEADERS = answer.h

CFLAGS = -Wall -O

\$(TARGET): \$(OBJECTS)

gcc \$(OBJECTS) -o \$(TARGET)

answer.o: answer.c \$(HEADERS)

gcc \$(CFLAGS) answer.c -c

philosophy.o: philosophy.c \$(HEADERS)

gcc \$(CFLAGS) philosophy.c -c

clean:

rm -f \$(OBJECTS) \$(TARGET)

## 3.5 Projekt organisieren: make

- explizite und implizite Regeln

TARGET = philosophy

OBJECTS = philosophy.o answer.o

HEADERS = answer.h

CFLAGS = -Wall -O

\$(TARGET): \$(OBJECTS)

gcc \$(OBJECTS) -o \$(TARGET)

%.o: %.c \$(HEADERS)

gcc \$(CFLAGS) \$< -c

clean:

rm -f \$(OBJECTS) \$(TARGET)

- Makros

## 3.5 Projekt organisieren: make

- explizite und implizite Regeln
- Makros

→ 3 Sprachen: C, Präprozessor, make

## 4 Hardwarenahe Programmierung

### 4.1 Bit-Operationen

#### 4.1.1 Zahlensysteme

| Basis | Name                  | Beispiel    | Anwendung                  |
|-------|-----------------------|-------------|----------------------------|
| 2     | Binärsystem           | 1 0000 0011 | Bit-Operationen            |
| 8     | Oktalsystem           | 0403        | Dateizugriffsrechte (Unix) |
| 10    | Dezimalsystem         | 259         | Alltag                     |
| 16    | Hexadezimalsystem     | 0x103       | Bit-Operationen            |
| 256   | (keiner gebräuchlich) | 0.0.1.3     | IP-Adressen (IPv4)         |

- Computer rechnen im Binärsystem.
- Für viele Anwendungen (z. B. I/O-Ports, Grafik, ...) ist es notwendig, Bits in Zahlen einzeln ansprechen zu können.

### 4.1.1 Zahlensysteme

|     |          |      |          |      |          |
|-----|----------|------|----------|------|----------|
| 000 | <b>0</b> | 0000 | <b>0</b> | 1000 | <b>8</b> |
| 001 | <b>1</b> | 0001 | <b>1</b> | 1001 | <b>9</b> |
| 010 | <b>2</b> | 0010 | <b>2</b> | 1010 | <b>A</b> |
| 011 | <b>3</b> | 0011 | <b>3</b> | 1011 | <b>B</b> |
| 100 | <b>4</b> | 0100 | <b>4</b> | 1100 | <b>C</b> |
| 101 | <b>5</b> | 0101 | <b>5</b> | 1101 | <b>D</b> |
| 110 | <b>6</b> | 0110 | <b>6</b> | 1110 | <b>E</b> |
| 111 | <b>7</b> | 0111 | <b>7</b> | 1111 | <b>F</b> |

- Oktal- und Hexadezimalzahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen.
- Hexadezimalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 4 Bits.
- Oktalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 3 Bits.
- Trotz Taschenrechner u. ä. lohnt es sich, die o. a. Umrechnungstabelle **auswendig** zu kennen.

## 4.1.2 Bit-Operationen in C

| C-Operator | Verknüpfung              | Anwendung                |
|------------|--------------------------|--------------------------|
| &          | Und                      | Bits gezielt löschen     |
|            | Oder                     | Bits gezielt setzen      |
| ^          | Exklusiv-Oder            | Bits gezielt invertieren |
| ~          | Nicht                    | Alle Bits invertieren    |
| <<         | Verschiebung nach links  | Maske generieren         |
| >>         | Verschiebung nach rechts | Bits isolieren           |

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen: `a |= 1 << 3;`

Bit Nr. 4 auf 0 setzen: `a &= ~(1 << 4);`

Bit Nr. 0 invertieren: `a ^= 1 << 0;`

Abfrage, ob Bit Nr. 1 gesetzt ist: `if (a & (1 << 1))`

## 4.1.2 Bit-Operationen in C

C-Datentypen für Bit-Operationen:

**#include** <stdint.h>

|                 | 8 Bit   | 16 Bit   | 32 Bit   | 64 Bit   |
|-----------------|---------|----------|----------|----------|
| mit Vorzeichen  | int8_t  | int16_t  | int32_t  | int64_t  |
| ohne Vorzeichen | uint8_t | uint16_t | uint32_t | uint64_t |

Ausgabe:

**#include** <stdio.h>

**#include** <stdint.h>

**#include** <inttypes.h>

...

uint64\_t x = 42;

printf ("Die\_Antwort\_lautet:\_% " PRIu64 "\n", x);

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

9. November 2023



# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

## 3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Callbacks

3.5 Projekt organisieren: make

## 4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

...

...

## 3.4 Callbacks

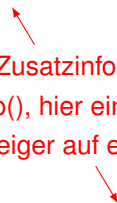
Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void hello (GtkWidget *this, gpointer user_data)
{
    char *world = user_data;
    printf ("Hello, %s!\n", world);
}
```

...

```
g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (hello), "world");
```

optionale Zusatzinformationen  
für hello(), hier ein String  
oft ein Zeiger auf ein struct



→ GTK ruft immer dann, wenn der Button betätigt wurde,  
die Funktion `hello` auf.

## 3.4 Callbacks

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
static void draw (GtkDrawingArea *drawing_area, cairo_t *c,  
                  int width, int height, gpointer user_data)
```

```
{  
    /* Zeichenbefehle */  
    ...  
}
```

```
...
```

```
gtk_drawing_area_set_draw_func (GTK_DRAWING_AREA (drawing_area),  
                                draw, NULL, NULL);
```

repräsentiert den  
Bildschirm, auf den  
gezeichnet werden soll

→ GTK ruft immer dann, wenn es etwas zu zeichnen gibt,  
die Funktion `draw` auf.

## 3.5 Projekt organisieren: make

- Regeln
- Makros

## 3.5 Projekt organisieren: make

- Regeln

```
philosophy: philosophy.o answer.o  
gcc philosophy.o answer.o -o philosophy
```

```
answer.o: answer.c answer.h  
gcc -Wall -O answer.c -c
```

```
philosophy.o: philosophy.c answer.h  
gcc -Wall -O philosophy.c -c
```

- Makros

## 3.5 Projekt organisieren: make

- Regeln
- Makros

TARGET = philosophy

OBJECTS = philosophy.o answer.o

HEADERS = answer.h

CFLAGS = -Wall -O

\$(TARGET): \$(OBJECTS)

gcc \$(OBJECTS) -o \$(TARGET)

answer.o: answer.c \$(HEADERS)

gcc \$(CFLAGS) answer.c -c

philosophy.o: philosophy.c \$(HEADERS)

gcc \$(CFLAGS) philosophy.c -c

clean:

rm -f \$(OBJECTS) \$(TARGET)

## 3.5 Projekt organisieren: make

- explizite und implizite Regeln

TARGET = philosophy

OBJECTS = philosophy.o answer.o

HEADERS = answer.h

CFLAGS = -Wall -O

\$(TARGET): \$(OBJECTS)

gcc \$(OBJECTS) -o \$(TARGET)

%.o: %.c \$(HEADERS)

gcc \$(CFLAGS) \$< -c

clean:

rm -f \$(OBJECTS) \$(TARGET)

- Makros

## 3.5 Projekt organisieren: make

- explizite und implizite Regeln
- Makros

→ 3 Sprachen: C, Präprozessor, make



## 4 Hardwarenahe Programmierung

### 4.1 Bit-Operationen

#### 4.1.1 Zahlensysteme

| Basis | Name                  | Beispiel    | Anwendung                  |
|-------|-----------------------|-------------|----------------------------|
| 2     | Binärsystem           | 1 0000 0011 | Bit-Operationen            |
| 8     | Oktalsystem           | 0403        | Dateizugriffsrechte (Unix) |
| 10    | Dezimalsystem         | 259         | Alltag                     |
| 16    | Hexadezimalsystem     | 0x103       | Bit-Operationen            |
| 256   | (keiner gebräuchlich) | 0.0.1.3     | IP-Adressen (IPv4)         |

- Computer rechnen im Binärsystem.
- Für viele Anwendungen (z. B. I/O-Ports, Grafik, ...) ist es notwendig, Bits in Zahlen einzeln ansprechen zu können.

### 4.1.1 Zahlensysteme

|     |          |      |          |      |          |
|-----|----------|------|----------|------|----------|
| 000 | <b>0</b> | 0000 | <b>0</b> | 1000 | <b>8</b> |
| 001 | <b>1</b> | 0001 | <b>1</b> | 1001 | <b>9</b> |
| 010 | <b>2</b> | 0010 | <b>2</b> | 1010 | <b>A</b> |
| 011 | <b>3</b> | 0011 | <b>3</b> | 1011 | <b>B</b> |
| 100 | <b>4</b> | 0100 | <b>4</b> | 1100 | <b>C</b> |
| 101 | <b>5</b> | 0101 | <b>5</b> | 1101 | <b>D</b> |
| 110 | <b>6</b> | 0110 | <b>6</b> | 1110 | <b>E</b> |
| 111 | <b>7</b> | 0111 | <b>7</b> | 1111 | <b>F</b> |

- Oktal- und Hexadezimalzahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen.
- Hexadezimalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 4 Bits.
- Oktalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 3 Bits.
- Trotz Taschenrechner u. ä. lohnt es sich, die o. a. Umrechnungstabelle **auswendig** zu kennen.

## 4.1.2 Bit-Operationen in C

| C-Operator | Verknüpfung              | Anwendung                |
|------------|--------------------------|--------------------------|
| &          | Und                      | Bits gezielt löschen     |
|            | Oder                     | Bits gezielt setzen      |
| ^          | Exklusiv-Oder            | Bits gezielt invertieren |
| ~          | Nicht                    | Alle Bits invertieren    |
| <<         | Verschiebung nach links  | Maske generieren         |
| >>         | Verschiebung nach rechts | Bits isolieren           |

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen: `a |= 1 << 3;`

Bit Nr. 4 auf 0 setzen: `a &= ~(1 << 4);`

Bit Nr. 0 invertieren: `a ^= 1 << 0;`

Abfrage, ob Bit Nr. 1 gesetzt ist: `if (a & (1 << 1))`

## 4.1.2 Bit-Operationen in C

C-Datentypen für Bit-Operationen:

**#include** <stdint.h>

|                 | 8 Bit   | 16 Bit   | 32 Bit   | 64 Bit   |
|-----------------|---------|----------|----------|----------|
| mit Vorzeichen  | int8_t  | int16_t  | int32_t  | int64_t  |
| ohne Vorzeichen | uint8_t | uint16_t | uint32_t | uint64_t |

Ausgabe:

**#include** <stdio.h>

**#include** <stdint.h>

**#include** <inttypes.h>

...

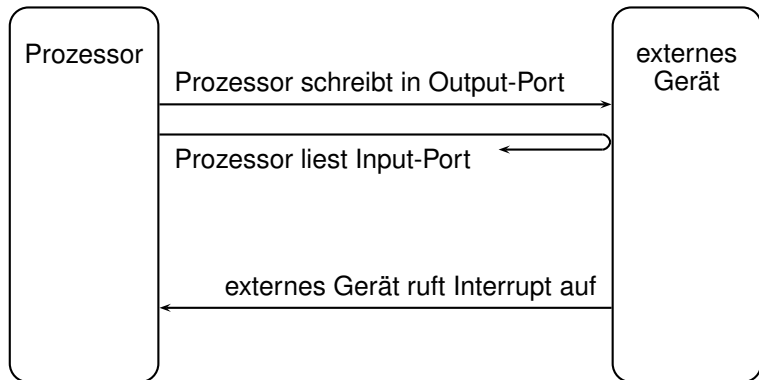
uint64\_t x = 42;

printf ("Die\_Antwort\_lautet:\_%" PRIu64 "\n", x);

## 4.2 I/O-Ports

## 4.3 Interrupts

Kommunikation mit externen Geräten



## 4.2 I/O-Ports

In Output-Port schreiben = Aktoren ansteuern

Beispiel: LED

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

```
...
```

```
DDRC = 0x70;    binär: 0111 0000
```

```
PORTC = 0x40;    binär: 0100 0000
```

Herstellerspezifisch!

**DDR** = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

## 4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;          binär: 1111 1101
```

```
while ((PINC & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

```
; /* just wait */
```

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

## 4.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: eingebaute Uhr

statt Zählschleife (`_delay_ms`):  
Hauptprogramm kann  
andere Dinge tun

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

```
...  
ISR (TIMER0B_COMP_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

„Dies ist ein Interrupt-Handler.“

Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `TCCR0B`, `TIMSK0`

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*



## 4.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

statt *Busy Waiting*:  
Hauptprogramm kann  
andere Dinge tun

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: **EICRA**, **EIMSK**

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

## 4.4 volatile-Variable

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
uint8_t key_pressed = 0;
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    key_pressed = 1;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
...
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    while (!key_pressed)
```

```
        ; /* just wait */
```

```
    PORTD ^= 0x40;
```

```
    key_pressed = 0;
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```

## 4.4 volatile-Variable

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“  
Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
volatile uint8_t key_pressed = 0;
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    key_pressed = 1;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
...
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    while (!key_pressed)
```

```
        ; /* just wait */
```

```
        PORTD ^= 0x40;
```


```
        key_pressed = 0;
```

```
    }
```

```
    return 0;
```

```
}
```

**volatile:**  
Speicherzugriff  
nicht wegoptimieren



## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

```
→ (*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;
```

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

```
→ (* (volatile uint8_t *) (((0x0B) + 0x20))) = 0x01;
```

Zahl: 0x2B

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

→ 
$$\underbrace{*(\text{volatile uint8\_t } *)}_{\text{Umwandlung in Zeiger auf volatile uint8\_t}} \underbrace{((0x0B) + 0x20)}_{\text{Zahl: 0x2B}} = 0x01;$$



## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

```
→ (* (volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;
```

Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t

Zahl: 0x2B

Dereferenzierung des Zeigers

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

PORTD = 0x01;

→ `(*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;`

↑

Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t

Zahl: 0x2B

Dereferenzierung des Zeigers

→ **volatile** uint8\_t-Variable an Speicheradresse 0x2B

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

PORTD = 0x01;

→ `(*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;`

↑

Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t

Zahl: 0x2B

Dereferenzierung des Zeigers

→ **volatile** uint8\_t-Variable an Speicheradresse 0x2B

→ `PORTA = PORTB = PORTC = PORTD = 0` ist eine schlechte Idee.

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
  - 4.1 Bit-Operationen
  - 4.2 I/O-Ports
  - 4.3 Interrupts
  - 4.4 volatile-Variable
  - 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen
  - 4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen
  - 4.8 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
- 6 Objektorientierte Programmierung**
- 7 Datenstrukturen**

# Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

16. November 2023

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
  - 4.1 Bit-Operationen
  - 4.2 I/O-Ports
  - 4.3 Interrupts
  - 4.4 volatile-Variable
  - 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen
  - 4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen
  - 4.8 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
- 6 Objektorientierte Programmierung**
- 7 Datenstrukturen**

## 4 Hardwarenahe Programmierung

### 4.1 Bit-Operationen

#### 4.1.1 Zahlensysteme

| Basis | Name                  | Beispiel    | Anwendung                  |
|-------|-----------------------|-------------|----------------------------|
| 2     | Binärsystem           | 1 0000 0011 | Bit-Operationen            |
| 8     | Oktalsystem           | 0403        | Dateizugriffsrechte (Unix) |
| 10    | Dezimalsystem         | 259         | Alltag                     |
| 16    | Hexadezimalsystem     | 0x103       | Bit-Operationen            |
| 256   | (keiner gebräuchlich) | 0.0.1.3     | IP-Adressen (IPv4)         |

- Computer rechnen im Binärsystem.
- Für viele Anwendungen (z. B. I/O-Ports, Grafik, ...) ist es notwendig, Bits in Zahlen einzeln ansprechen zu können.

## 4.1.1 Zahlensysteme

|     |          |      |          |      |          |
|-----|----------|------|----------|------|----------|
| 000 | <b>0</b> | 0000 | <b>0</b> | 1000 | <b>8</b> |
| 001 | <b>1</b> | 0001 | <b>1</b> | 1001 | <b>9</b> |
| 010 | <b>2</b> | 0010 | <b>2</b> | 1010 | <b>A</b> |
| 011 | <b>3</b> | 0011 | <b>3</b> | 1011 | <b>B</b> |
| 100 | <b>4</b> | 0100 | <b>4</b> | 1100 | <b>C</b> |
| 101 | <b>5</b> | 0101 | <b>5</b> | 1101 | <b>D</b> |
| 110 | <b>6</b> | 0110 | <b>6</b> | 1110 | <b>E</b> |
| 111 | <b>7</b> | 0111 | <b>7</b> | 1111 | <b>F</b> |

- Oktal- und Hexadezimalzahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen.
- Hexadezimalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 4 Bits.
- Oktalzahlen sind eine Kurzschreibweise für Binärzahlen, gruppiert zu jeweils 3 Bits.
- Trotz Taschenrechner u. ä. lohnt es sich, die o. a. Umrechnungstabelle **auswendig** zu kennen.



## 4.1.2 Bit-Operationen in C

| C-Operator            | Verknüpfung              | Anwendung                |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| <code>&amp;</code>    | Und                      | Bits gezielt löschen     |
| <code> </code>        | Oder                     | Bits gezielt setzen      |
| <code>^</code>        | Exklusiv-Oder            | Bits gezielt invertieren |
| <code>~</code>        | Nicht                    | Alle Bits invertieren    |
| <code>&lt;&lt;</code> | Verschiebung nach links  | Maske generieren         |
| <code>&gt;&gt;</code> | Verschiebung nach rechts | Bits isolieren           |

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen: `a |= 1 << 3;`

Bit Nr. 4 auf 0 setzen: `a &= ~(1 << 4);`

Bit Nr. 0 invertieren: `a ^= 1 << 0;`

Abfrage, ob Bit Nr. 1 gesetzt ist: `if (a & (1 << 1))`

## 4.1.2 Bit-Operationen in C

C-Datentypen für Bit-Operationen:

**#include** <stdint.h>

|                 | 8 Bit   | 16 Bit   | 32 Bit   | 64 Bit   |
|-----------------|---------|----------|----------|----------|
| mit Vorzeichen  | int8_t  | int16_t  | int32_t  | int64_t  |
| ohne Vorzeichen | uint8_t | uint16_t | uint32_t | uint64_t |

Ausgabe:

**#include** <stdio.h>

**#include** <stdint.h>

**#include** <inttypes.h>

...

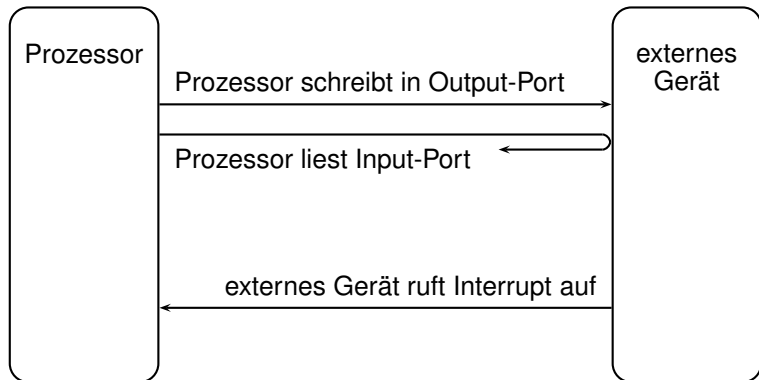
uint64\_t x = 42;

printf ("Die\_Antwort\_lautet:\_%" PRIu64 "\n", x);

## 4.2 I/O-Ports

## 4.3 Interrupts

Kommunikation mit externen Geräten



## 4.2 I/O-Ports

In Output-Port schreiben = Aktoren ansteuern

Beispiel: LED

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

```
...
```

```
DDRC = 0x70;    binär: 0111 0000
```

```
PORTC = 0x40;   binär: 0100 0000
```

Herstellerspezifisch!

**DDR** = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

## 4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;          binär: 1111 1101
```

```
while ((PINC & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

```
; /* just wait */
```

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

## 4.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: eingebaute Uhr

statt Zählschleife (`_delay_ms`):  
Hauptprogramm kann  
andere Dinge tun

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

```
...  
ISR (TIMER0B_COMP_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

„Dies ist ein Interrupt-Handler.“

Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `TCCR0B`, `TIMSK0`

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

## 4.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

statt *Busy Waiting*:  
Hauptprogramm kann  
andere Dinge tun

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: **EICRA**, **EIMSK**

*Details: siehe Datenblatt und Schaltplan*

## 4.4 volatile-Variable

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
uint8_t key_pressed = 0;
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    key_pressed = 1;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
...
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    while (!key_pressed)
```

```
        ; /* just wait */
```

```
    PORTD ^= 0x40;
```

```
    key_pressed = 0;
```

```
}
```

```
return 0;
```

```
}
```



## 4.4 volatile-Variable

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf  
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“  
Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
volatile uint8_t key_pressed = 0;
```

```
ISR (INT0_vect)
```

```
{  
    key_pressed = 1;  
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
...
```

```
while (1)
```

```
{
```

```
    while (!key_pressed)
```

```
        ; /* just wait */
```

```
        PORTD ^= 0x40;
```


```
        key_pressed = 0;
```

```
    }
```

```
    return 0;
```

```
}
```

**volatile:**  
Speicherzugriff  
nicht wegoptimieren



## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

```
→ (*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;
```

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

```
→ (* (volatile uint8_t *) (((0x0B) + 0x20))) = 0x01;
```

Zahl: 0x2B

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

→ 
$$\underbrace{*(\text{volatile uint8\_t } *)}_{\substack{\text{Umwandlung in Zeiger} \\ \text{auf volatile uint8\_t}}} \underbrace{((0x0B) + 0x20)}_{\text{Zahl: 0x2B}} = 0x01;$$

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

```
PORTD = 0x01;
```

```
→ (* (volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;
```

Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t

Zahl: 0x2B

Dereferenzierung des Zeigers

## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

PORTD = 0x01;

→ `(*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;`

↑

Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t

Zahl: 0x2B

Dereferenzierung des Zeigers

→ **volatile** uint8\_t-Variable an Speicheradresse 0x2B



## 4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

PORTD = 0x01;

→ `(*(volatile uint8_t *) ((0x0B) + 0x20)) = 0x01;`

↑  
Umwandlung in Zeiger  
auf **volatile** uint8\_t  
Dereferenzierung des Zeigers

Zahl: 0x2B

→ **volatile** uint8\_t-Variable an Speicheradresse 0x2B

→ PORTA = PORTB = PORTC = PORTD = 0 ist eine schlechte Idee.

# Hardwarenahe Programmierung

<https://gitlab.cvh-server.de/pgerwinski/hp>

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
  - 4.1 Bit-Operationen
  - 4.2 I/O-Ports
  - 4.3 Interrupts
  - 4.4 volatile-Variable
  - 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
  - 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen
  - 4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen
  - 4.8 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
- 6 Objektorientierte Programmierung**
- 7 Datenstrukturen**

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.  
Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen  
Welche Bits liegen wo?

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

|    |    |
|----|----|
| 04 | 03 |
|----|----|

 Big-Endian „großes Ende zuerst“

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

|    |    |
|----|----|
| 04 | 03 |
|----|----|

Big-Endian „großes Ende zuerst“  
für Menschen leichter lesbar

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

|    |    |
|----|----|
| 04 | 03 |
|----|----|

 Big-Endian „großes Ende zuerst“  
für Menschen leichter lesbar

|    |    |
|----|----|
| 03 | 04 |
|----|----|

 Little-Endian „kleines Ende zuerst“

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

|    |    |
|----|----|
| 04 | 03 |
|----|----|

 Big-Endian „großes Ende zuerst“  
für Menschen leichter lesbar

|    |    |
|----|----|
| 03 | 04 |
|----|----|

 Little-Endian „kleines Ende zuerst“  
bei Additionen effizienter



## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

|    |    |
|----|----|
| 04 | 03 |
|----|----|

 Big-Endian „großes Ende zuerst“  
für Menschen leichter lesbar

|    |    |
|----|----|
| 03 | 04 |
|----|----|

 Little-Endian „kleines Ende zuerst“  
bei Additionen effizienter

→ Geschmackssache

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.

Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

Speicherzellen:

|    |    |
|----|----|
| 04 | 03 |
|----|----|

 Big-Endian „großes Ende zuerst“  
für Menschen leichter lesbar

|    |    |
|----|----|
| 03 | 04 |
|----|----|

 Little-Endian „kleines Ende zuerst“  
bei Additionen effizienter

→ Geschmackssache

... **außer bei Datenaustausch!**

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.  
Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

—→ Geschmackssache

... **außer bei Datenaustausch!**

- Dateiformate
- Datenübertragung

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.2 Dateiformate

Audio-Formate: Reihenfolge der Bytes in 16- und 32-Bit-Zahlen

- RIFF-WAVE-Dateien (.wav): Little-Endian
- Au-Dateien (.au): Big-Endian

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.2 Dateiformate

Audio-Formate: Reihenfolge der Bytes in 16- und 32-Bit-Zahlen

- RIFF-WAVE-Dateien (.wav): Little-Endian
- Au-Dateien (.au): Big-Endian
- ältere AIFF-Dateien (.aiff): Big-Endian
- neuere AIFF-Dateien (.aiff): Little-Endian

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.2 Dateiformate

Audio-Formate: Reihenfolge der Bytes in 16- und 32-Bit-Zahlen

- RIFF-WAVE-Dateien (.wav): Little-Endian
- Au-Dateien (.au): Big-Endian
- ältere AIFF-Dateien (.aiff): Big-Endian
- neuere AIFF-Dateien (.aiff): Little-Endian

Grafik-Formate: Reihenfolge der Bits in den Bytes

- PBM-Dateien: Big-Endian
- XBM-Dateien: Little-Endian

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.2 Dateiformate

Audio-Formate: Reihenfolge der Bytes in 16- und 32-Bit-Zahlen

- RIFF-WAVE-Dateien (.wav): Little-Endian
- Au-Dateien (.au): Big-Endian
- ältere AIFF-Dateien (.aiff): Big-Endian
- neuere AIFF-Dateien (.aiff): Little-Endian

Grafik-Formate: Reihenfolge der Bits in den Bytes

- PBM-Dateien: Big-Endian, MSB first
- XBM-Dateien: Little-Endian, LSB first

MSB/LSB = most/least significant bit

## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.3 Datenübertragung

- RS-232 (serielle Schnittstelle): LSB first
- I<sup>2</sup>C: MSB first
- USB: beides



## 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

### 4.5.3 Datenübertragung

- RS-232 (serielle Schnittstelle): LSB first
- I<sup>2</sup>C: MSB first
- USB: beides
- Ethernet: LSB first
- TCP/IP (Internet): Big-Endian

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

→ Zweierkomplement

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→  $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

→ Zweierkomplement

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→  $127 + 1 = -128$

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

16-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint16_t`

→ Zahlenwerte von `0x0000` bis `0xffff` = 0 bis 65535

→  $65535 + 1 = 0$

`uint8_t`

0 bis 255

$255 + 1 = 0$

16-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int16_t`

`0xffff` = 65535 ist die „natürliche“ Schreibweise für  $-1$ .

→ Zweierkomplement

`int8_t`

`0xff` = 255 =  $-1$

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→  $32767 + 1 = -32768$

Literatur: <http://xkcd.com/571/>

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

|    |    |
|----|----|
| a3 | 90 |
|----|----|

 (hexadezimal)?



## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

|    |    |
|----|----|
| a3 | 90 |
|----|----|

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

|    |    |
|----|----|
| a3 | 90 |
|----|----|

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;—)

Little-Endian:

|                                   |        |   |
|-----------------------------------|--------|---|
| als <code>int8_t</code> :         | −93    | (nur erstes Byte)                         |
| als <code>uint8_t</code> :        | 163    | (nur erstes Byte)                         |
| als <code>int16_t</code> :        | −28509 |   |
| als <code>uint16_t</code> :       | 37027  |   |
| <code>int32_t</code> oder größer: | 37027  | (zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt) |

## 4.6 Binärdarstellung negativer Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt 

|    |    |
|----|----|
| a3 | 90 |
|----|----|

 (hexadezimal)?

Antwort: Das kommt darauf an. ;–)

Little-Endian:

|                                   |        |   |
|-----------------------------------|--------|---|
| als <code>int8_t</code> :         | –93    | (nur erstes Byte)                         |
| als <code>uint8_t</code> :        | 163    | (nur erstes Byte)                         |
| als <code>int16_t</code> :        | –28509 |   |
| als <code>uint16_t</code> :       | 37027  |   |
| <code>int32_t</code> oder größer: | 37027  | (zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt) |

Big-Endian:

|                             |                      |   |
|-----------------------------|----------------------|---|
| als <code>int8_t</code> :   | –93                  | (nur erstes Byte)                         |
| als <code>uint8_t</code> :  | 163                  | (nur erstes Byte)                         |
| als <code>int16_t</code> :  | –23664               |   |
| als <code>uint16_t</code> : | 41872                |   |
| als <code>int32_t</code> :  | –1550843904          | (zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt) |
| als <code>uint32_t</code> : | 2744123392           |   |
| als <code>int64_t</code> :  | –6660823848880963584 |   |
| als <code>uint64_t</code> : | 11785920224828588032 |   |

## 4.7 Binärdarstellung von Gleitkommazahlen

(Diese Seite wurde unbewußt leer gelassen.)

## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter

## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung



## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;    uint8_t a;  
uint16_t b;        uint8_t c;  
uint8_t c;         uint16_t b;
```

## 4.8 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

Speicheradresse durch 2 teilbar – „16-Bit-Alignment“

- 2-Byte-Operation: effizienter
- ... oder sogar nur dann erlaubt

→ Compiler optimiert Speicherausrichtung

```
uint8_t a;  
uint8_t dummy;  
uint16_t b;  
uint8_t c;  
  
uint8_t a;  
uint8_t c;  
uint16_t b;
```

Fazit:

- **Adressen von Variablen sind systemabhängig**
- Bei Definition von Datenformaten Alignment beachten → effizienter