

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

17. Oktober 2019

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

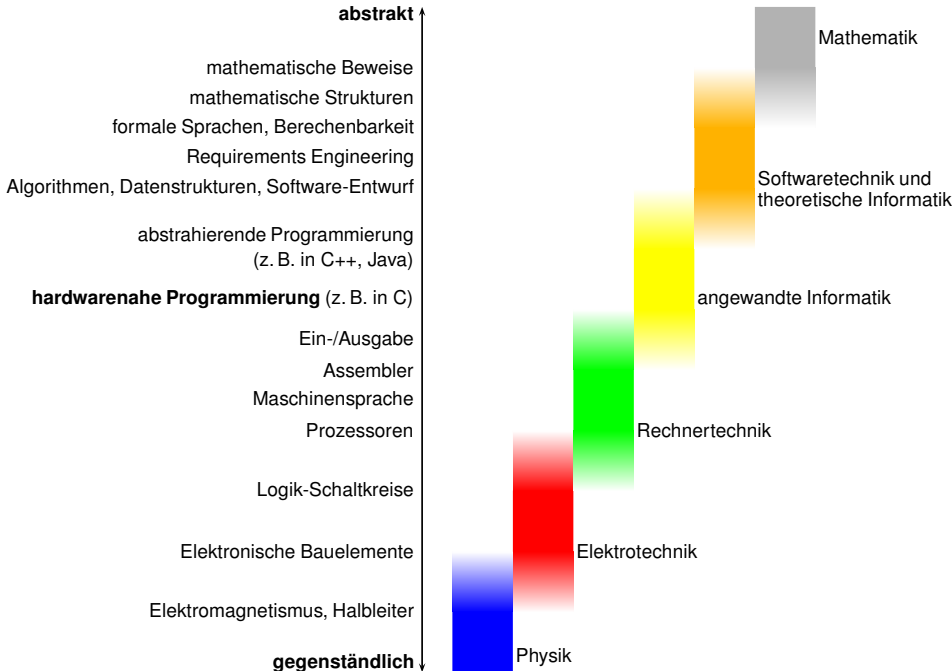
2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

...

3 Bibliotheken

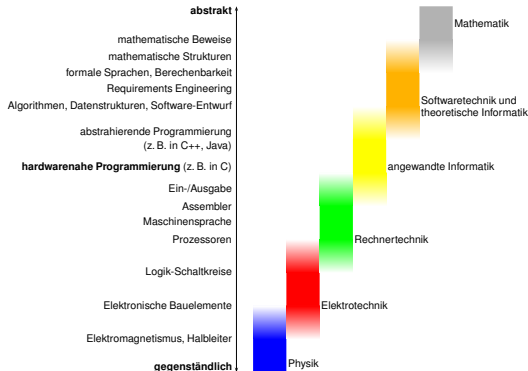
...



1 Einführung

1.1 Was ist hardwarenahe Programmierung?

Man kann Computer
vollständig beherrschen.



1.2 Programmierung in C

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

1 Einführung

1.2 Programmierung in 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“

1 Einführung

1.3 Zu dieser Lehrveranstaltung

- **Lehrmaterialien:**

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

- **Klausur:**

Zeit: 150 Minuten

Zulässige Hilfsmittel:

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

- **Übungen**

finden bereits diese Woche statt.

- **Praktikumstermine:**

- Versuch 1: 17. 10. und 24. 10. 2018
- Versuch 2 bis 4: Termine werden noch bekanntgegeben.



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!
```

```
$
```

`-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.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](#)
- außerdem: Texteditor
[vi\(m\)](#), [nano](#), [Emacs](#), [Notepad++](#), ...
(Microsoft Notepad ist *nicht* geeignet!)

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);
```

2.5 Verzweigungen

if-Verzweigung

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

Wahrheitswerte in C: numerisch

0 steht für *falsch* (*false*),
 $\neq 0$ 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;  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:
```

(siehe z. B.:
<http://xkcd.com/292/>)

```
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

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

...

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;
}
```

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
{
    int a = printf ("Hello, \uworld!\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`,
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`

```
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`,
ignore 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`, ignoriere `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++));
```

```
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;  
printf ("%d\n", i++);  
goto loop;  
endloop:  
(siehe z. B.:  
http://xkcd.com/292/)
```

```
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++);
```

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

nur, wenn
Sie wissen,
was Sie tun

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;  
}
```

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

...