

# Angewandte Informatik

## Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

31. Oktober 2016

# Hardwarenahe Programmierung

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

### 2.10 Zeiger

### 2.11 Arrays und Strings

### 2.12 Parameter des Hauptprogramms

### 2.13 String-Operationen

### 2.14 Strukturen

### 2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

### 3.2 Bibliotheken einbinden

### 3.3 Bibliotheken verwenden

### 3.4 Projekt organisieren: make

...


## 2.10 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)`

## 2.10 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)`

## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    int i = 0;
```

```
    while (hello_world[i] != 0)
```

```
        printf ("%d", hello_world[i++]);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    int i = 0;
```

```
    while (hello_world[i])
```

```
        printf ("%d", hello_world[i++]);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    char *p = hello_world;
```

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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


```
    char *p = hello_world;
```

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```



Zeiger inkrementieren:  
Lasse den Zeiger auf das  
nächste Element zeigen.  
„Pointer-Arithmetik“



## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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


```
    char *p = hello_world;
```

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```



Zeiger inkrementieren:  
Lasse den Zeiger auf das  
nächste Element zeigen.  
„Pointer-Arithmetik“

## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    char *p = hello_world;
```

```
    while (*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

## 2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    char *p = hello_world;
```

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

```
...
```

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

```
...
```

- 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:

<b>%d</b>	dezimal	<b>%c</b>	Zeichen
<b>%x</b>	hexadezimal	<b>%s</b>	String

## 2.11 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]_=%s\n", i, argv[i]);
    return 0;
}
```

## 2.11 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;
}
```

## 2.11 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;
}
```

Schlechter Programmierstil:  
Die for-Schleife suggeriert,  
i sei der Schleifenzähler.  
Tatsächlich: argv

## 2.11 Parameter des Hauptprogramms

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

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

## 2.12 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;
```

```
}
```



## 2.12 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;
```

```
}
```

## 2.12 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;
```

```
}
```

## 2.13 Strukturen

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

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today = { 30, 10, 2014 };
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.13 Strukturen

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

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

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

```
{
```

```
    (*d).day = 30;
```

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

```
    (*d).year = 2014;
```

```
}
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    date today;
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.13 Strukturen

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

```
typedef struct
```

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

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

```
{  
    d->day = 30;  
    d->month = 10;  
    d->year = 2014;  
}
```

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;  
}
```

## 2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

## 2.14 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.

## 2.14 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>`



## 2.14 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>`

## 2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (!f)
        error (1, 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 mit Return-Code. Benötigt: `#include <error.h>`

↑  
hier: 1  
auch üblich: `errno`

## 2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (!f)
        error (1, 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 mit Return-Code. Benötigt: `#include <error.h>`
- **Niemals Fehler einfach ignorieren!**

## 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

—> Praktikum: nur Einstieg

—> selbständig arbeiten

# Hardwarenahe Programmierung

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

### 2.10 Zeiger

### 2.11 Arrays und Strings

### 2.12 Parameter des Hauptprogramms

### 2.13 String-Operationen

### 2.14 Strukturen

### 2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

### 3.2 Bibliotheken einbinden

### 3.3 Bibliotheken verwenden

### 3.4 Projekt organisieren: make

...

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

`#include`

## 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 VIER 4**: 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 VIER 4**: 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 VIER 4**: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:  
**#define VIER (2 + 2)**

# 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 VIER 4**: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!
- Berechnungen in Klammern setzen:  
**#define VIER (2 + 2)**
- 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: OpenGL)

- Include-Dateien:

```
#include <GL/gl.h>
```

```
#include <GL/glu.h>
```

```
#include <GL/glut.h>
```

- Compiler-Aufruf:

```
gcc -Wall -O cube-1.c opengl-magic.c -lGL -lGLU -lglut \  
-o cube-1
```

### 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
void draw (void)
```

```
{
```

```
    ...
```

```
}
```

```
...
```

```
glutDisplayFunc (draw);
```

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

### 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
void key_handler (unsigned char key, int x, int y)
```

```
{
```

```
    ...
```

```
}
```

```
...
```

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

→ OpenGL ruft immer dann, wenn eine Taste gedrückt wurde, die Funktion `key_handler` auf.



### 3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
void key_handler (unsigned char key, int x, int y)
```

```
{
```

```
    ...
```

```
}
```

```
...
```

gedrückte Taste

Mausposition

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

→ OpenGL ruft immer dann, wenn eine Taste gedrückt wurde, die Funktion `key_handler` auf.

# Hardwarenahe Programmierung

## 1 Einführung

## 2 Einführung in C

...

### 2.10 Zeiger

### 2.11 Arrays und Strings

### 2.12 Parameter des Hauptprogramms

### 2.13 String-Operationen

### 2.14 Strukturen

### 2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

## 3 Bibliotheken

### 3.1 Der Präprozessor

### 3.2 Bibliotheken einbinden

### 3.3 Bibliotheken verwenden

### 3.4 Projekt organisieren: make

...