

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

9. Oktober 2017

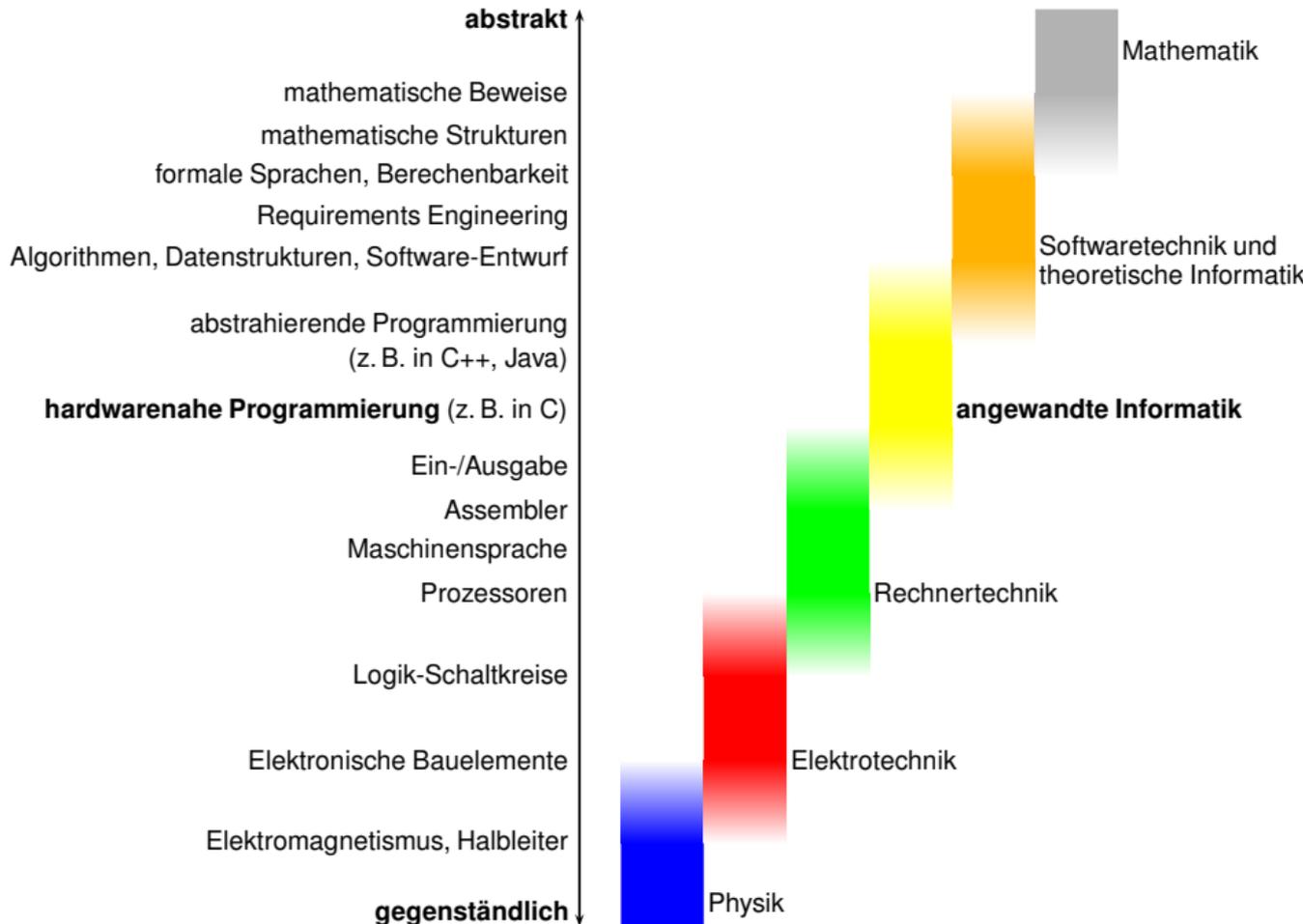
Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

rerum naturalium = der natürlichen Dinge (lat.)

9. Oktober 2017



Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Rechnertechnik

Man kann vollständig verstehen, wie Computer funktionieren.

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Programmierung in C

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Programmierung in C

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Programmierung in C

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Hardware und/oder Betriebssystem



Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Programmierung in C

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Hardware und/oder Betriebssystem

- Programmierkenntnisse werden nicht vorausgesetzt, aber schnelles Tempo

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Programmierung in C

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Hardware und/oder Betriebssystem

- Programmierkenntnisse werden nicht vorausgesetzt, aber schnelles Tempo
- Hardware direkt ansprechen und effizient einsetzen

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Man kann Computer vollständig beherrschen.

Programmierung in C und C++

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Hardware und/oder Betriebssystem

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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

- kleinster gemeinsamer Nenner für viele Plattformen

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Was ist C?

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln
- kein „Fallschirm“

Zu dieser Lehrveranstaltung



- **Lehrmaterialien:**

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

- **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: 11. 10. und 18. 10. 2017
- Versuch 2 bis 4: Termine werden noch bekanntgegeben.

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

- 1.1 Was ist angewandte Informatik / 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;  
}
```

2.2 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!
```

```
$
```

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:_%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 Online-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“



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;
```

```
}
```

2.5 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)
{
    if (i >= 10)
        break;
    printf ("%d\n", i++);
}
```

fragwürdig

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

sehr fragwürdig
(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

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

- 1.1 Was ist angewandte Informatik / 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

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

16. Oktober 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

1.1 Was ist angewandte Informatik / 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

...

Einführung

Programmierung in C

Etabliertes Profi-Werkzeug

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

„High-Level-Assembler“

- kein „Fallschirm“
- kompakte Schreibweise

Unix-Hintergrund

- Baukastenprinzip
- konsequente Regeln
- kein „Fallschirm“

2 Einführung in C

2.1 Hello, world!

Text ausgeben

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

```
int main (void)
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

Formatspezifikation „d“: „dezimal“

Weitere Formatspezifikationen:
siehe Online-Dokumentation
(z. B. man 3 printf),

Internet-Recherche oder Literatur

2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

printf() erwartet immer einen
String als ersten Parameter.

Weitere Parameter (z. B. Zahlen):
immer mit **Formatspezifikationen**

Formatspezifikation „d“: „dezimal“

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

2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

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

```
int main (void)
```

```
{  
    printf ("Die_Antwort_lautet:_", 42, "\n");  
    return 0;  
}
```

wird nicht ausgegeben

printf() erwartet immer einen
String als ersten Parameter.

Weitere Parameter (z. B. Zahlen):
immer mit **Formatspezifikationen**

2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert ausgeben

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

```
int main (void)
```

```
{  
    printf (42, "_lautet_die_Antwort.\n");  
    return 0;  
}
```

kein String, daher **Absturz**



printf() erwartet immer einen
String als ersten Parameter.



Weitere Parameter (z. B. Zahlen):
immer mit **Formatspezifikationen**

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“



**Die Formatspezifikation besagt,
was scanf() akzeptieren soll.**

2.3 Elementare Aus- und Eingabe

Wert einlesen

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

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    double a;
```

```
    scanf ("Bitte_eine_Zahl_eingeben:_%lf", &a);
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

Der Benutzer muß die Zahl als
„Bitte eine Zahl eingeben: 3.14“ eingeben,
damit scanf() sie akzeptiert.

**Die Formatspezifikation besagt,
was scanf() akzeptieren soll.**

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;
```

```
}
```

2.5 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);
```

2.5 Verzweigungen

if-Verzweigung

```
if (b != 0)
    printf ("%d\n", a / b);
else
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
```

Wahrheitswerte in C: numerisch

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

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

2.5 Verzweigungen

if-Verzweigung

```
if (b != 0)
    printf ("%d\n", a / b);
else
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
```

```
if (b == 0)
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
else
{
    if (b == 1)
        printf ("Division_durch_1_ist_langweilig.\n");
    else
        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);
```

2.5 Verzweigungen

if-Verzweigung

```
if (b != 0)
    printf ("%d\n", a / b);
else
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
```

```
if (b == 0)
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
else
    if (b == 1)
        printf ("Division_durch_1_ist_langweilig.\n");
    else
        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);
```

2.5 Verzweigungen

if-Verzweigung

```
if (b != 0)
    printf ("%d\n", a / b);
else
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
```

```
if (b == 0)
    printf ("Division_durch_0?!?\n");
else if (b == 1)
    printf ("Division_durch_1_ist_langweilig.\n");
else
    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);
```

2.7 Strukturierte Programmierung

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

fragwürdig

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

sehr fragwürdig
(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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

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

...

3 Bibliotheken

...

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

```
    return 0;
```

```
}
```

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{  
    int a = printf ("%d\n", 42);  
    printf ("%d\n", a);  
    return 0;  
}
```

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{  
    int a = printf ("%d\n", 42);  
    printf ("%d\n", a);  
    return 0;  
}
```

```
$ gcc -Wall -O side-effects-1.c -o side-effects-1
```

```
$ ./side-effects-1
```

```
42
```

```
3
```

```
$
```

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{  
    int a = printf ("%d\n", 42);  
    printf ("%d\n", a);  
    return 0;  
}
```

- printf() ist eine Funktion.

2.8 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{  
    int a = printf ("%d\n", 42);  
    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 ("%d\n", 42);  
    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: `,`

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: `,`

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: `,`

```
int i;
```

```
i = 0;
```

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

```
{
```

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

```
    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: `,`

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);
```

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: `,`

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: `,`

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;  
}
```

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

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

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

23. Oktober 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

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

...

3 Bibliotheken

...

2.1 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

```
    return 0;
```

```
}
```

2.1 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

2.1 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{  
    int a = printf ("%d\n", 42);  
    printf ("%d\n", a);  
    return 0;  
}
```

```
$ gcc -Wall -O side-effects-1.c -o side-effects-1
```

```
$ ./side-effects-1
```

```
42
```

```
3
```

```
$
```

2.1 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{  
    int a = printf ("%d\n", 42);  
    printf ("%d\n", a);  
    return 0;  
}
```

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

2.1 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: `,`

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++));
```

2.2 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
}

2.2 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.

2.2 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.

2.2 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;  
}
```

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

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

...

2.3 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;  
}
```

2.3 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;  
}
```

2.3 Zeiger

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

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

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

- ***a** ist eine **int**.
- unärer Operator *****:
 Pointer-Dereferenzierung

```
int main (void)
```

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

2.3 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;  
}
```

2.3 Zeiger

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

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

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

→ `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

2.4 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable.

2.4 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

2.4 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;
```

```
}
```

2.4 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.

2.4 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.

2.4 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`.

2.4 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`.

2.4 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`.

2.4 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)`

2.4 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)`

2.4 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;
```

```
}
```

2.4 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;
```

```
}
```

2.4 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    int i = 0;
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.4 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;
```

```
}
```

2.4 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**.

2.4 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**.

2.4 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**.

2.4 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.

2.4 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.

2.4 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

2.4 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	%s	String

2.5 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;
```

```
}
```

2.5 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;  
}
```

2.5 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;  
}
```

2.6 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

2.6 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.

2.6 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>`

2.6 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>`

2.6 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. Benötigt: `#include <error.h>`

2.6 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. Benötigt: `#include <error.h>`
- **Niemals Fehler einfach ignorieren!**

2.7 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;
}
```

2.7 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] = \"%s\"\n", i, *argv);
    return 0;
}
```

2.8 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;
```

```
}
```

2.8 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;
```

```
}
```

2.8 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 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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

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

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

6. November 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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

...

2.10 Zeiger

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

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

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

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

→ `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

```
#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;
```

```
}
```

2.11 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;
```

```
}
```

2.11 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    int i = 0;
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.11 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;
```

```
}
```

2.11 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**.

2.11 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**.

2.11 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**.

2.11 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.

2.11 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.

2.11 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

2.11 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	%s	String

2.12 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;
```

```
}
```

2.12 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;  
}
```

2.12 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;  
}
```

2.13 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 (-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. 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 (-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. 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] = \"%s\"\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] = \"%s\"\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 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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

...

...

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.

5 Algorithmen

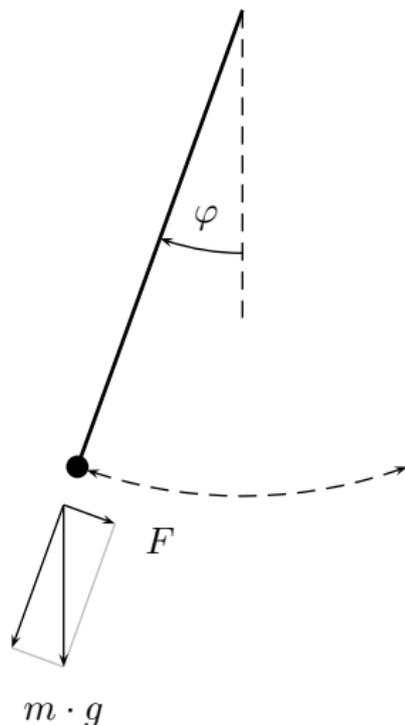
5.1 Differentialgleichungen

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```



5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

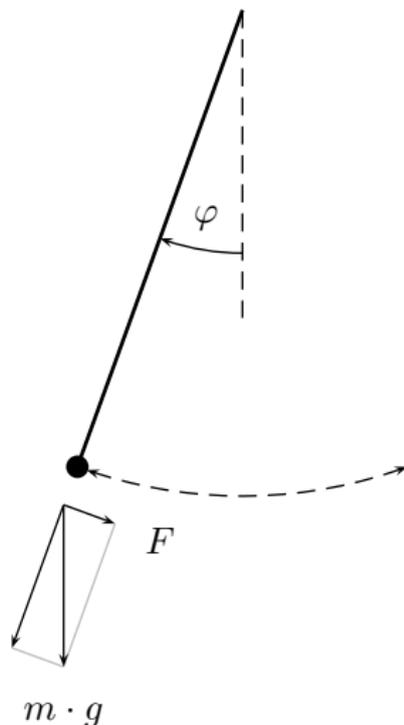
$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```

Praktikumsaufgabe: Basketball



Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

13. November 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

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] = \"%s\"\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] = \"%s\"\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 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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

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

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

```
{  
  ...  
}
```

gedrückte Taste Mausposition

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

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

3.4 Projekt organisieren: make

- Regeln
- Makros

3.4 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

3.4 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)

3.4 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

3.4 Projekt organisieren: make

- explizite und implizite Regeln
- Makros

→ 3 Sprachen: C, Präprozessor, make

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

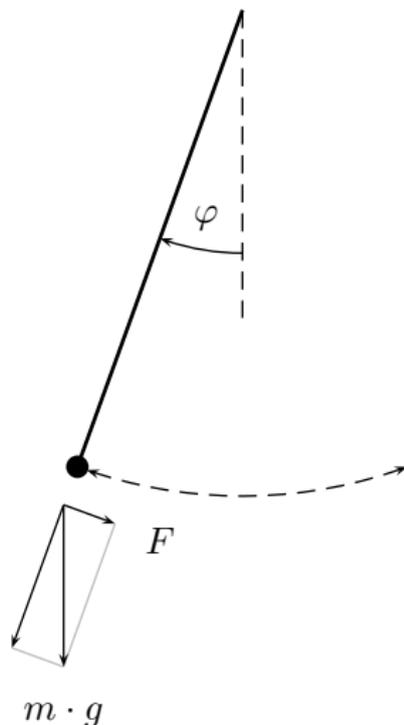
$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```

Praktikumsaufgabe: Basketball



5.1 Differentialgleichungen

$$F = \sin \varphi \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

$$\sin \varphi \cdot g = a = l \cdot \alpha$$

Länge des Fadens \nearrow Winkelbeschleunigung \nwarrow

$$\alpha = \omega'(t)$$

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = \frac{g}{l} \sin \varphi$$

$$\approx \frac{g}{l} \varphi \quad (\text{Kleinwinkel-naherung})$$

Winkelgeschwindigkeit



$$\frac{F}{m \cdot g} = \sin \varphi$$

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

...

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

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>
```

```
...
```

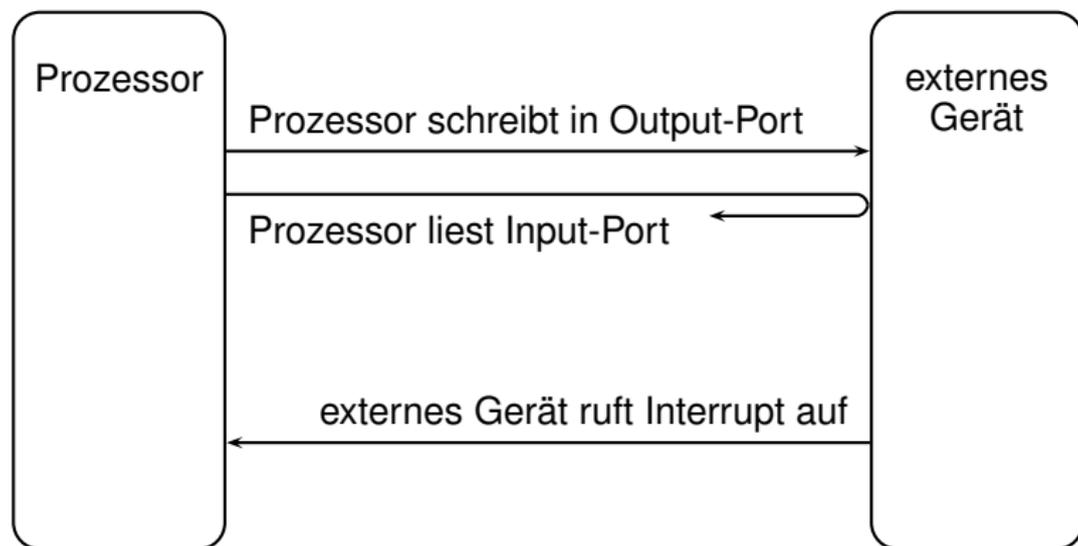
```
uint64_t x = 42;
```

```
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!

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!

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!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

...

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

20. November 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

...

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 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

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] = \"%s\"\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] = \"%s\"\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 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 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

```
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)
```

```
{  
  ...  
}
```

gedrückte Taste

Mausposition

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

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

3.4 Projekt organisieren: make

- Regeln
- Makros

3.4 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

3.4 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)

3.4 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

3.4 Projekt organisieren: make

- explizite und implizite Regeln
- Makros

→ 3 Sprachen: C, Präprozessor, make

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

...

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

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>
```

```
...
```

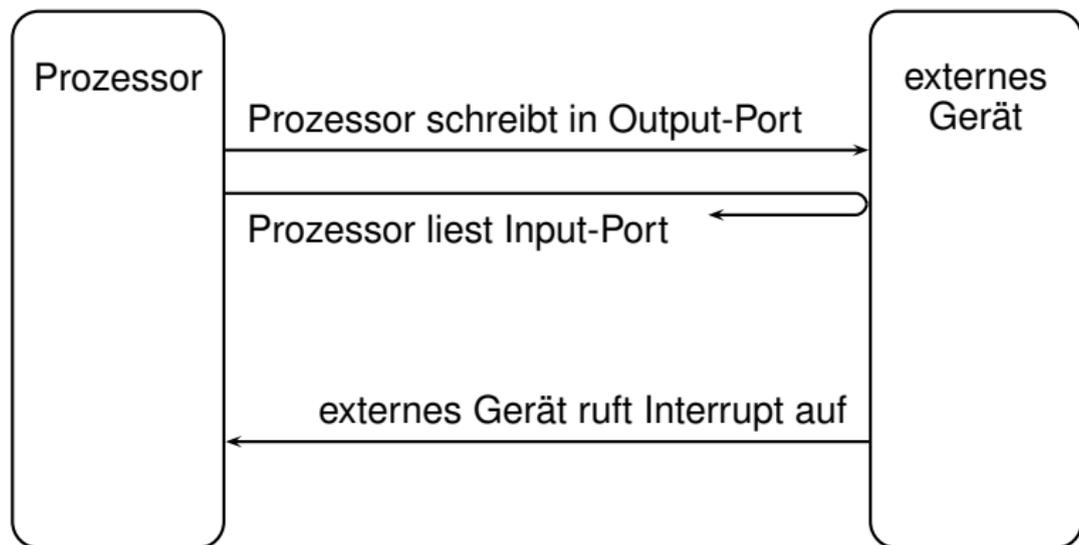
```
uint64_t x = 42;
```

```
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!

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!

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!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Hardwarenahe Programmierung

4.1 Bit-Operationen

4.2 I/O-Ports

4.3 Interrupts

...

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

27. November 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - ...

...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

4.1.1 Zahlensysteme

$$\begin{array}{r} \text{AFFE} \\ + \quad 1 \\ \hline \text{AFFF} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{AFFE} \\ + \quad 2 \\ \hline \text{B000} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6789 \\ + 7654 \\ \hline \text{DDDD} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 68AC \\ + 7654 \\ \hline \text{DE00} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ \& 0101 \\ \hline 0001 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1011 \\ | 0101 \\ \hline 1111 \end{array} \quad \begin{array}{r} 1011 \\ \wedge 0101 \\ \hline 1110 \end{array}$$

$$a = 011011011100$$

$$a \mid = 000000100000 \quad \leftarrow \text{"Maske"}$$

$$\hline 011011111100$$

$$a \& = 11111011111$$

$$\hline 011011011100$$

$$a \wedge = 000000000010$$

$$\hline 011011011110$$

$$\begin{array}{r} 01100011 \\ \swarrow \searrow \swarrow \searrow \swarrow \searrow \swarrow \searrow \\ \hline 10001100 \end{array}$$

"Bit Nr. 3"

Maske generieren:
 $1 \ll 3$

$$\begin{aligned} &= 00001000 \\ \sim(1 \ll 3) &= 11110111 \end{aligned}$$

4.1.2 Bit-Operationen in C

C-Operator	Verknüpfung	Anwendung
<code>&</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><<</code>	Verschiebung nach links	Maske generieren
<code>>></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>
```

```
...
```

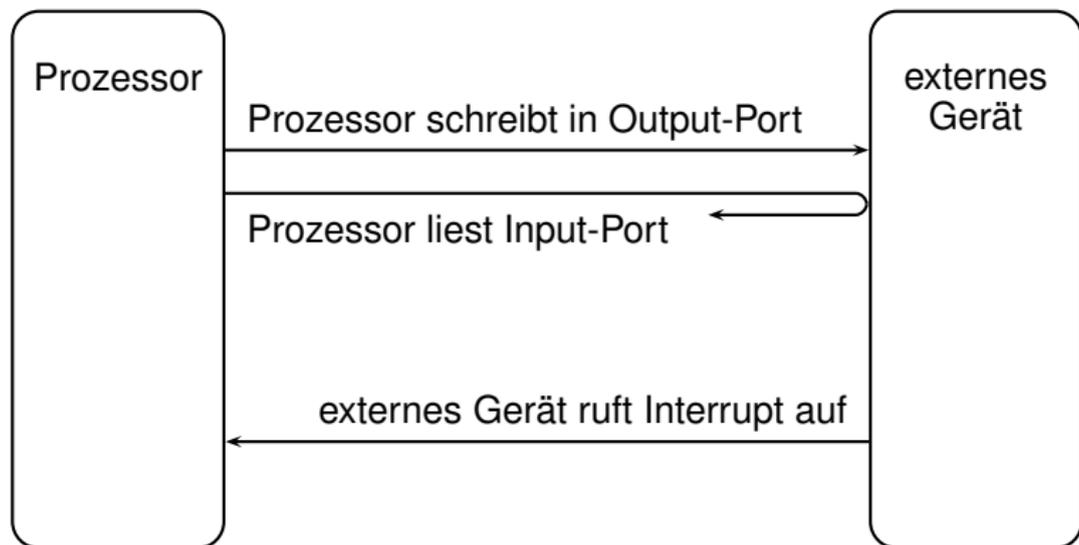
```
uint64_t x = 42;
```

```
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

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

```
...  
    „Dies ist ein Interrupt-Handler.“  
    Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen
```

```
ISR (TIMER0B_COMP_vect)
```

```
{  
  PORTD ^= 0x40;  
}
```

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: eingebaute Uhr

statt Zählschleife (`_delay_ms`):
Hauptprogramm kann
andere Dinge tun

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

```
...  
    „Dies ist ein Interrupt-Handler.“  
    Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen
```

```
ISR (TIMER0B_COMP_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

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



Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - ...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

4. Dezember 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - ...
- ...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

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

3 & 6
„bitweises Und“

$$\begin{array}{r} 0011 \\ \& 0110 \\ \hline 0010 \end{array} = 2$$

3 && 6 = 1 „logisches Und“

3 & 4

↑ ↗
„true“

$$\begin{array}{r} 0011 \\ \& 0100 \\ \hline 0000 \end{array} = 0$$

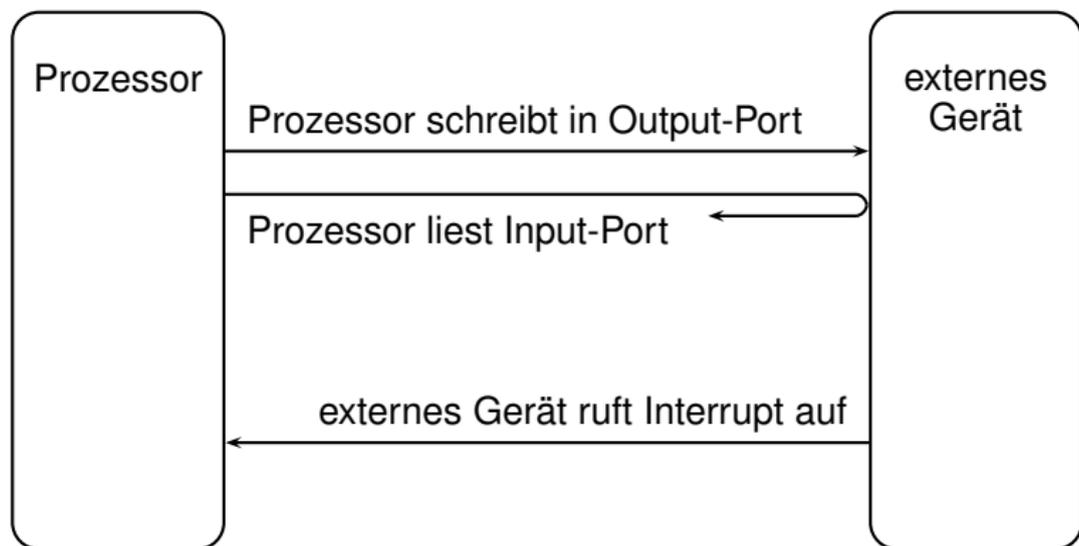
↑
„false“

3 && 4 = 1

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

4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;
```

```
while (PINC & 0x02 == 0)
```

```
    ; /* just wait */
```

Eingang verbunden mit 5 V → Bit ist 1.

Eingang verbunden mit 0 V → Bit ist 0.

Eingang verbunden mit gar nichts → ???

4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;
```

```
while (PINC & 0x02 == 0)
```

```
    ; /* just wait */
```

Eingang verbunden mit 5 V → Bit ist 1.

Eingang verbunden mit 0 V → Bit ist 0.

Eingang verbunden mit gar nichts → undefiniert!

4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;
```

```
while (PINC & 0x02 == 0)
```

```
    ; /* just wait */
```

Eingang verbunden mit 5 V → Bit ist 1.

Eingang verbunden mit 0 V → Bit ist 0.

Eingang verbunden mit gar nichts → undefiniert!

→ Pull-Up- und Pull-Down-Widerstände

4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;
```

```
while (PINC & 0x02 == 0)
```

```
    ; /* just wait */
```

Eingang verbunden mit 5 V → Bit ist 1.

Eingang verbunden mit 0 V → Bit ist 0.

Eingang verbunden mit gar nichts → undefiniert!

→ Pull-Up- und Pull-Down-Widerstände

Internen Pull-Up-Widerstand einschalten: `PORTC |= 0x02`

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>
```

```
...  
    „Dies ist ein Interrupt-Handler.“  
    Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen
```

```
ISR (TIMER0B_COMP_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

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



Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - ...
- ...

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
- I²C: MSB first
- USB: beides

4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

4.5.3 Datenübertragung

- RS-232 (serielle Schnittstelle): LSB first
- I²C: MSB first
- USB: beides

- Ethernet: LSB first
- TCP/IP (Internet): Big-Endian

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - ...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

11. Dezember 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - ...

...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

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);`

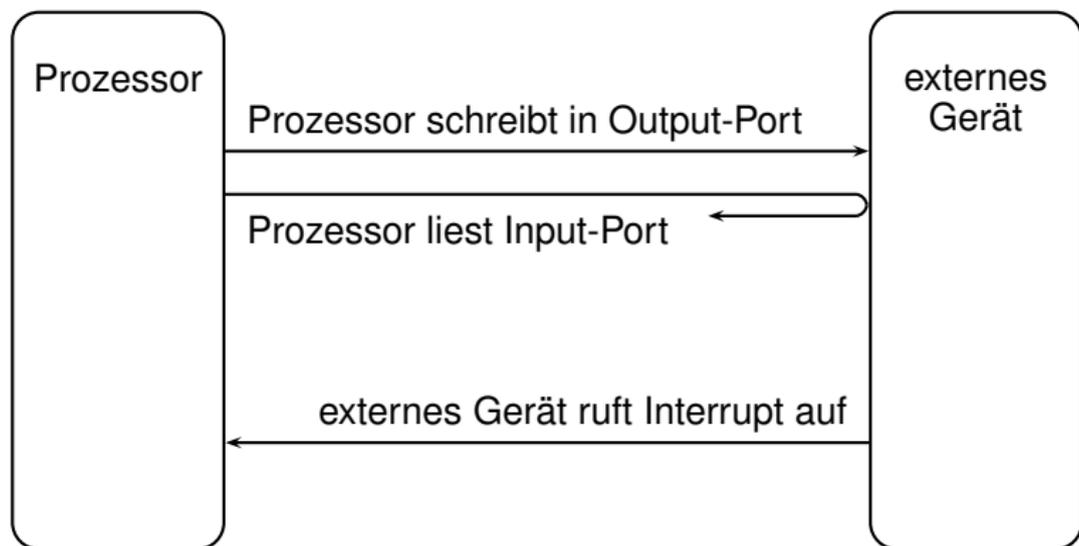
Bit Nr. 0 invertieren: `a ^= 1 << 0;`

Abfrage, ob Bit Nr. 1 gesetzt ist: `if (a & (1 << 1))`

4.2 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

4.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRC = 0xfd;
```

```
while (PINC & 0x02 == 0)
```

```
    ; /* just wait */
```

Eingang verbunden mit 5 V → Bit ist 1.

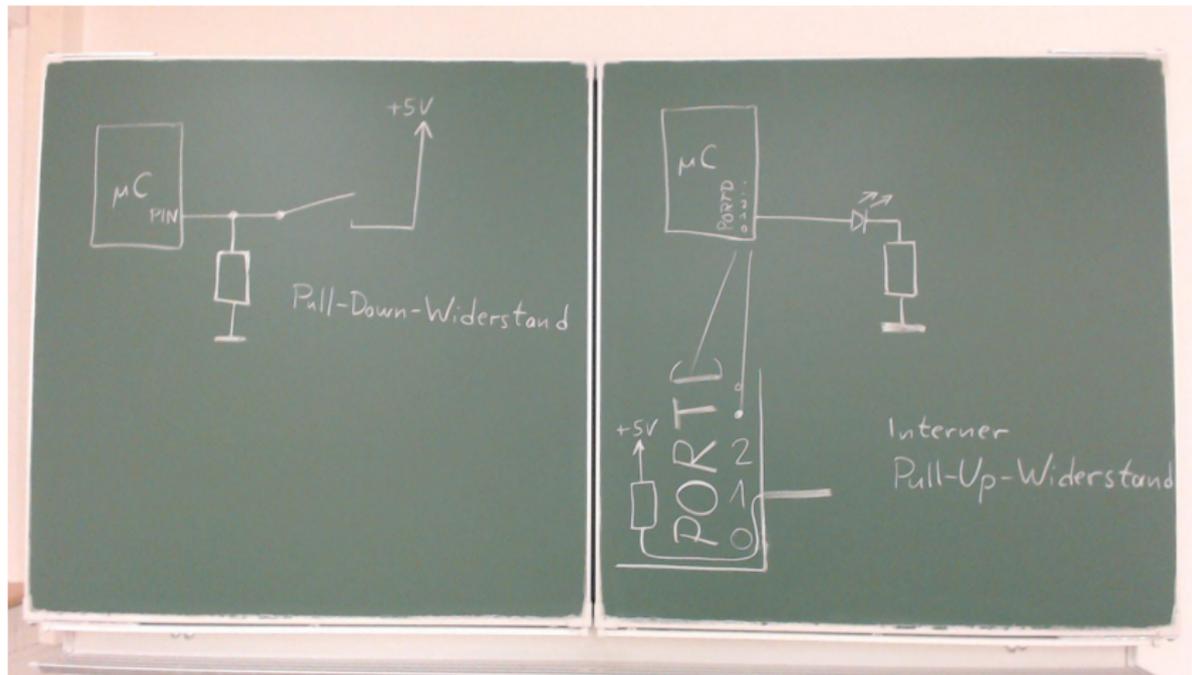
Eingang verbunden mit 0 V → Bit ist 0.

Eingang verbunden mit gar nichts → undefiniert!

→ Pull-Up- und Pull-Down-Widerstände

Internen Pull-Up-Widerstand einschalten: `PORTC |= 0x02`

4.2 I/O-Ports



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>
```

```
...  
    „Dies ist ein Interrupt-Handler.“  
    Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen
```

```
ISR (TIMER0B_COMP_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

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



4.5 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
- 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
- I²C: MSB first
- USB: beides

- Ethernet: LSB first
- TCP/IP (Internet): Big-Endian

4.6 Speicherausrichtung – Alignment

```
#include <stdint.h>
```

```
uint8_t a;  
uint16_t b;  
uint8_t c;
```

4.6 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

4.6 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

4.6 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

4.6 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;
```

4.6 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;
```

4.6 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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - 5.2 Rekursion
 - ...

...

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

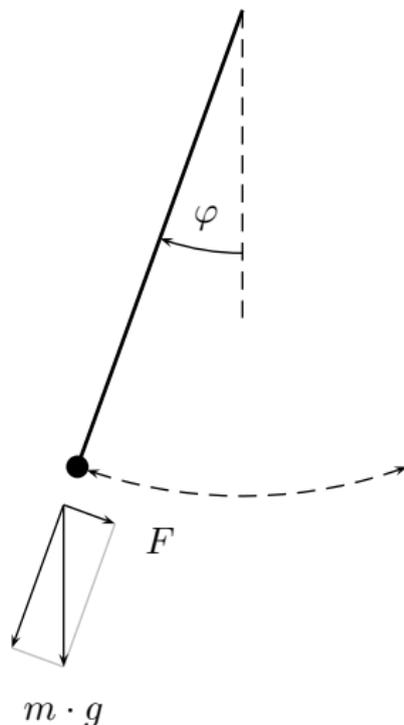
$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polynomzugverfahren

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```

Praktikumsaufgabe: Basketball



5.1 Differentialgleichungen

$$F = \sin \varphi \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

$$\sin \varphi \cdot g = a = l \cdot \alpha$$

Länge des Fadens \nearrow
Winkelbeschleunigung \nwarrow

$$\alpha = \omega'(t)$$

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = \frac{g}{l} \sin \varphi$$

$$\approx \frac{g}{l} \varphi \quad (\text{Kleinwinkel-naherung})$$

Winkelgeschwindigkeit



$$\frac{F}{m \cdot g} = \sin \varphi$$

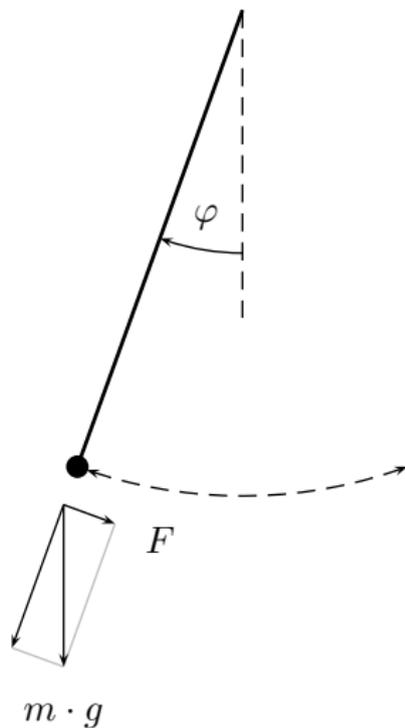
5.1 Differentialgleichungen

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
→ Kleinwinkelnäherung
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren
→ numerische Fehler

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```



5.2 Rekursion

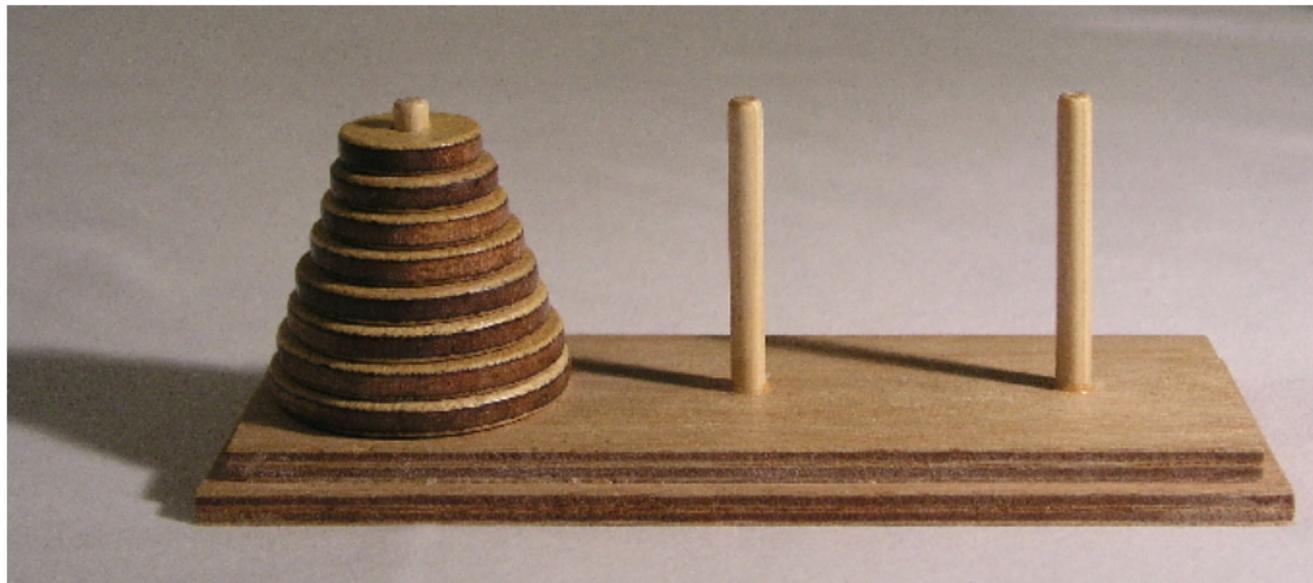
Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion:

Aussage gilt für $n = 1$
Schluß von $n - 1$ auf n } Aussage gilt für alle $n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

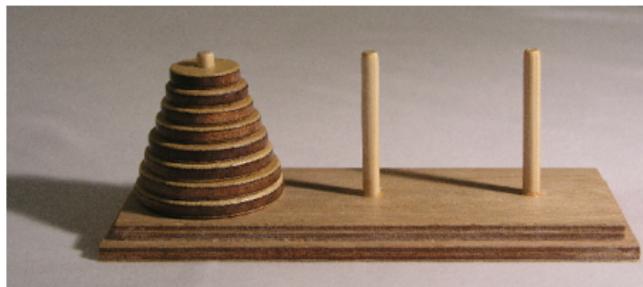


5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.

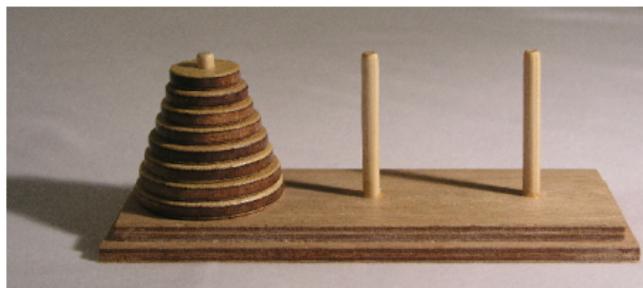


5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz



5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

```
void move (int from, int to, int disks)
{
    if (disks == 1)
        move_one_disk (from, to);
    else
    {
        int help = 0 + 1 + 2 - from - to;
        move (from, help, disks - 1);
        move (from, to, 1);
        move (help, to, disks - 1);
    }
}
```

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
 - 4.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 4.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - 5.2 Rekursion
 - ...
- ...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

18. Dezember 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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 **Speicherausrichtung – Alignment**
- 5 Algorithmen**
 - 5.1 **Differentialgleichungen**
 - 5.2 **Rekursion**
 - 5.3 **Aufwandsabschätzungen**

...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

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))`

4.2 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 */
```

Fehler!

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

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 */
```

== hat Vorrang vor &

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

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    == hat Vorrang vor &  
    ; /* just wait */                               Herstellerspezifisch!
```

Eingang verbunden mit 5 V → Bit ist 1.

Eingang verbunden mit 0 V → Bit ist 0.

Eingang verbunden mit gar nichts → undefiniert!

→ Pull-Up- und Pull-Down-Widerstände

Internen Pull-Up-Widerstand einschalten: `PORTC |= 0x02`

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>
```

```
...
```

```
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 -std=c99 -Wall -Os -mmcu=atmega328p blink-3.c -E
```

4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -std=c99 -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 -std=c99 -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 -std=c99 -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

4.4 volatile-Variable

Was ist eigentlich PORTD?

```
avr-gcc -std=c99 -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 -std=c99 -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 -std=c99 -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.

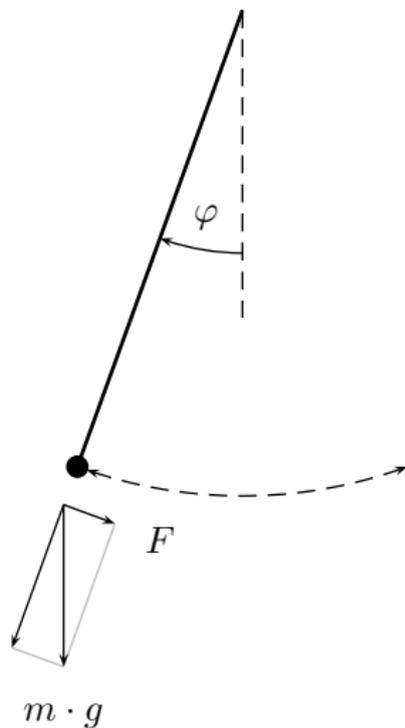
5.1 Differentialgleichungen

$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

$$\omega'(t) = -\frac{g}{l} \cdot \sin \varphi(t)$$

- Von Hand (analytisch):
Lösung raten (Ansatz), Parameter berechnen
→ Kleinwinkelnäherung
- Mit Computer (numerisch):
Eulersches Polygonzugverfahren
→ numerische Fehler

```
phi += dt * omega;  
omega += - dt * g / l * sin (phi);
```



5.2 Rekursion

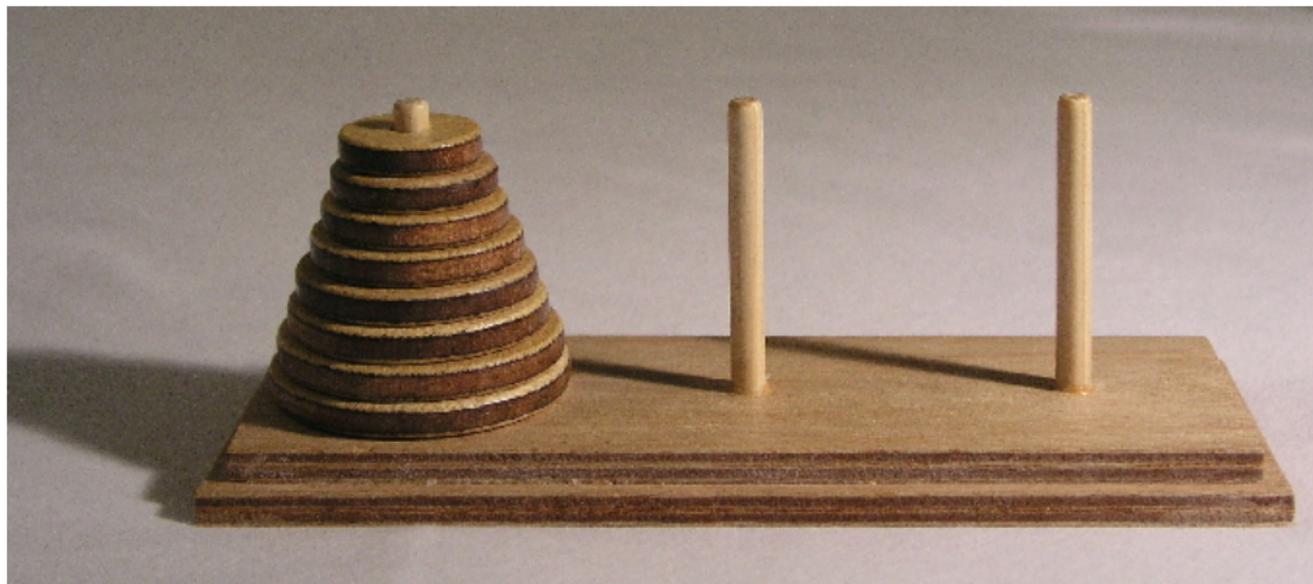
Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion:

Aussage gilt für $n = 1$
Schluß von $n - 1$ auf n } Aussage gilt für alle $n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

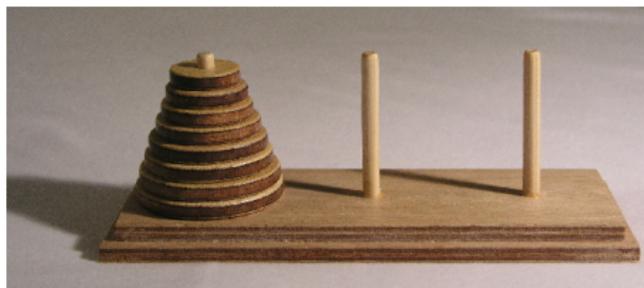


5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.

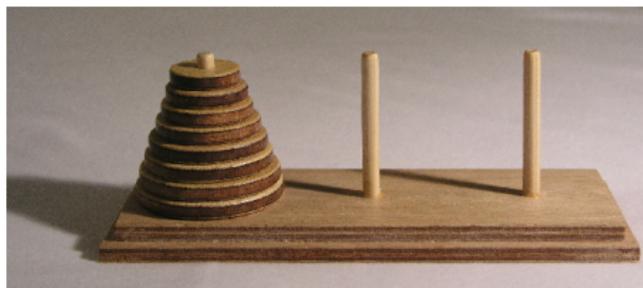


5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz



5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

```
void move (int from, int to, int disks)
{
    if (disks == 1)
        move_one_disk (from, to);
    else
    {
        int help = 0 + 1 + 2 - from - to;
        move (from, help, disks - 1);
        move (from, to, 1);
        move (help, to, disks - 1);
    }
}
```

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

32 Scheiben:

```
$ time ./hanoi-9a
...
real    0m32,712s
user    0m32,708s
sys     0m0,000s
```

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

32 Scheiben:

```
$ time ./hanoi-9a
...
real    0m32,712s
user    0m32,708s
sys     0m0,000s
```

→ etwas über 1 Minute für 64 Scheiben

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

32 Scheiben:

```
$ time ./hanoi-9a
...
real    0m32,712s
user    0m32,708s
sys     0m0,000s
```

~~→ etwas über 1 Minute für 64 Scheiben~~

Für jede zusätzliche Scheibe verdoppelt sich die Rechenzeit!

→ $\frac{32,712 \text{ s} \cdot 2^{32}}{3600 \cdot 24 \cdot 365,25} \approx 4452 \text{ Jahre}$
für 64 Scheiben

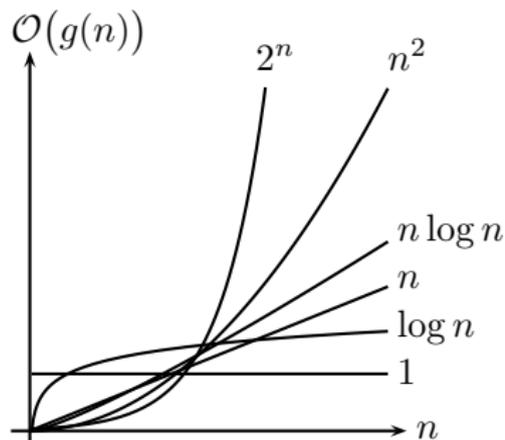
5.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Für jede zusätzliche Scheibe verdoppelt sich die Rechenzeit!

$$\rightarrow \frac{32,712 \text{ s} \cdot 2^{32}}{3600 \cdot 24 \cdot 365,25} \approx 4452 \text{ Jahre}$$

für 64 Scheiben



n : Eingabedaten

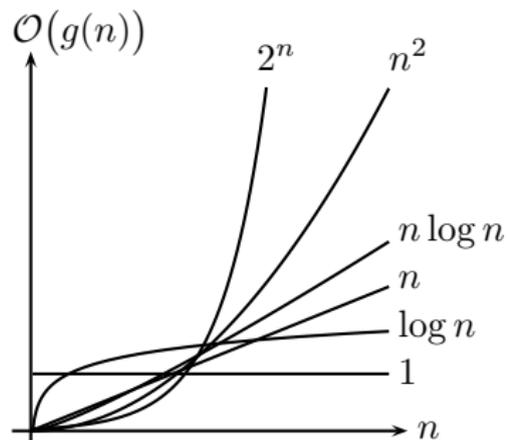
$g(n)$: Rechenzeit

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(?)$



n : Eingabedaten

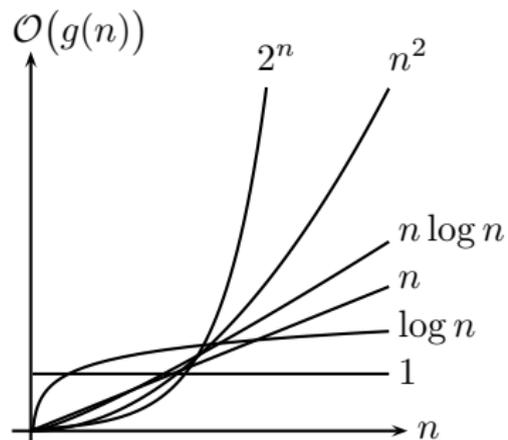
$g(n)$: Rechenzeit

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(?)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$



n : Eingabedaten

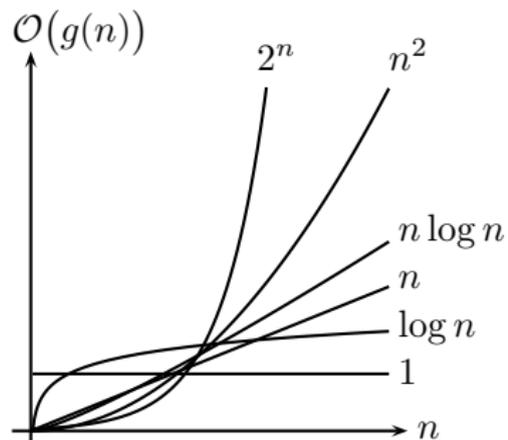
$g(n)$: Rechenzeit

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$



n : Eingabedaten

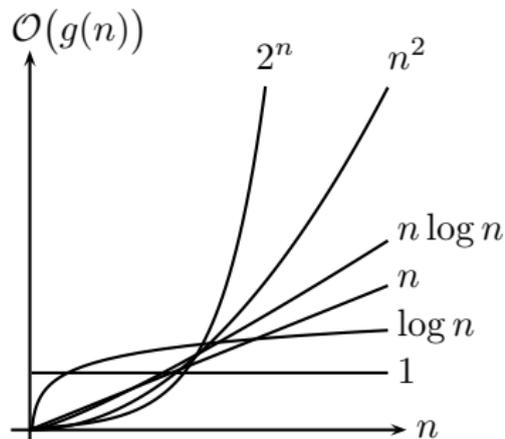
$g(n)$: Rechenzeit

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

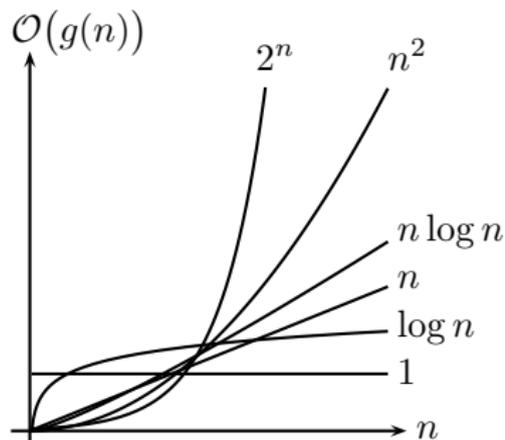
x Schleifen $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

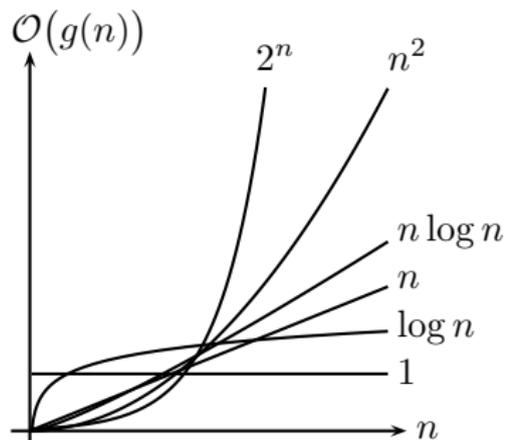
x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - 5.2 Rekursion
 - 5.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 6 Objektorientierte Programmierung
- 7 Datenstrukturen

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

8. Januar 2018

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 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** Speicherausrichtung – Alignment
- 5 Algorithmen**
 - 5.1** Differentialgleichungen
 - 5.2** Rekursion
 - 5.3** **Aufwandsabschätzungen**

...

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)

4.1.1 Zahlensysteme

Oktal- und Hexadezimal-Zahlen lassen sich ziffernweise in Binär-Zahlen umrechnen:

000	0	0000	0	1000	8
001	1	0001	1	1001	9
010	2	0010	2	1010	A
011	3	0011	3	1011	B
100	4	0100	4	1100	C
101	5	0101	5	1101	D
110	6	0110	6	1110	E
111	7	0111	7	1111	F

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))`

4.2 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 */
```

Fehler!

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

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 */
```

== hat Vorrang vor &

Herstellerspezifisch!

DDR = Data Direction Register

Bit = 1 für Output-Port

Bit = 0 für Input-Port

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

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?

```
avr-gcc -std=c99 -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

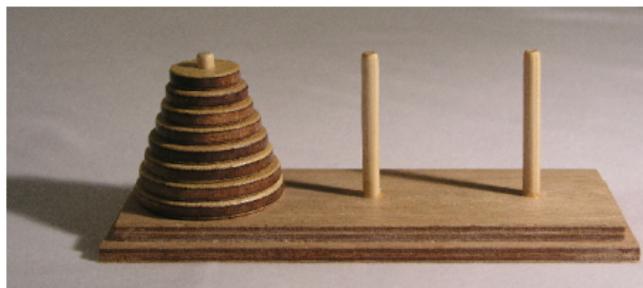
→ PORTA = PORTB = PORTC = PORTD = 0 ist eine schlechte Idee.

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz



5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

```
void move (int from, int to, int disks)
{
    if (disks == 1)
        move_one_disk (from, to);
    else
    {
        int help = 0 + 1 + 2 - from - to;
        move (from, help, disks - 1);
        move (from, to, 1);
        move (help, to, disks - 1);
    }
}
```

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

32 Scheiben:

```
$ time ./hanoi-9a
...
real    0m32,712s
user    0m32,708s
sys     0m0,000s
```

→ etwas über 1 Minute für 64 Scheiben

5.2 Rekursion

Vollständige Induktion: $\left. \begin{array}{l} \text{Aussage gilt für } n = 1 \\ \text{Schluß von } n - 1 \text{ auf } n \end{array} \right\} \text{ Aussage gilt für alle } n \in \mathbb{N}$

Türme von Hanoi

- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

32 Scheiben:

```
$ time ./hanoi-9a
...
real    0m32,712s
user    0m32,708s
sys     0m0,000s
```

~~→ etwas über 1 Minute für 64 Scheiben~~

Für jede zusätzliche Scheibe verdoppelt sich die Rechenzeit!

→ $\frac{32,712 \text{ s} \cdot 2^{32}}{3600 \cdot 24 \cdot 365,25} \approx 4452 \text{ Jahre}$
für 64 Scheiben

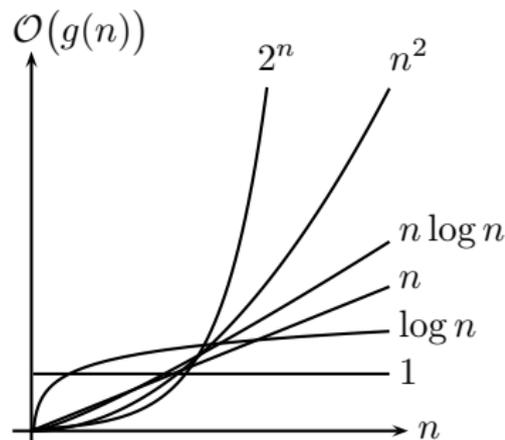
5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Für jede zusätzliche Scheibe verdoppelt sich die Rechenzeit!

$$\rightarrow \frac{32,712 \text{ s} \cdot 2^{32}}{3600 \cdot 24 \cdot 365,25} \approx 4452 \text{ Jahre}$$

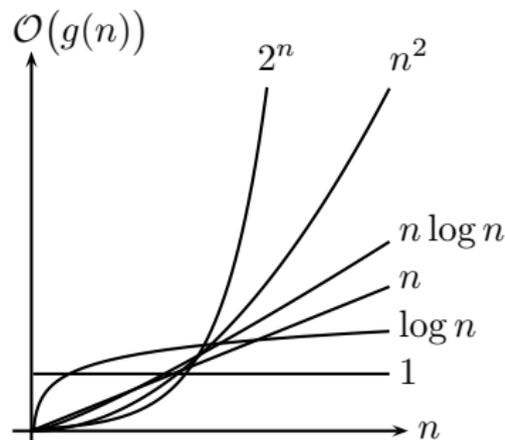
für 64 Scheiben



n : Eingabedaten
 $g(n)$: Rechenzeit

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

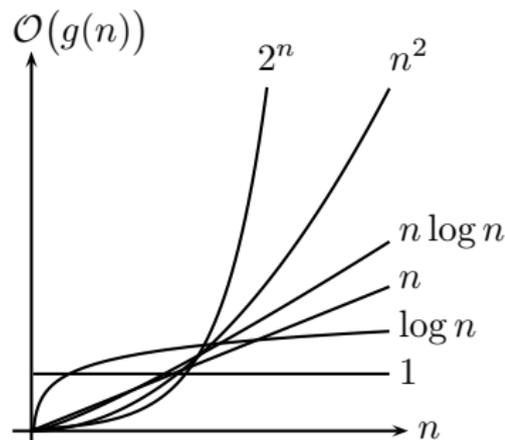
Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

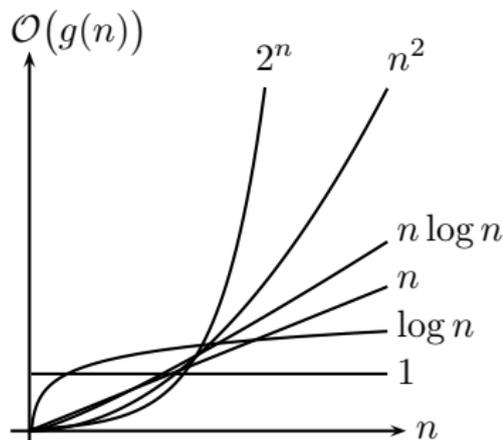
Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

5.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abrechnen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

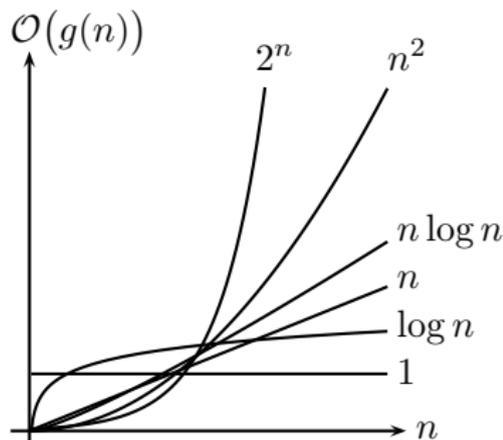
Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

5.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abrechnen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort



n : Eingabedaten
 $g(n)$: Rechenzeit

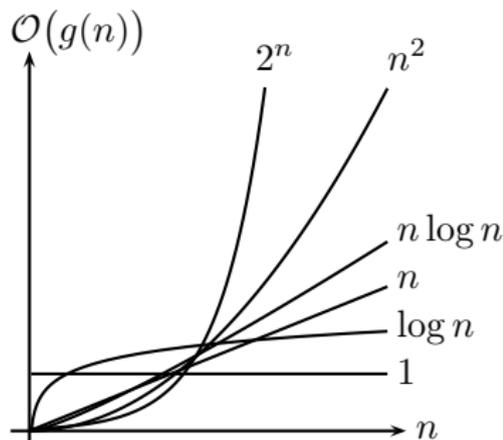
Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

5.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abrechnen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort: $\mathcal{O}(n \log n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

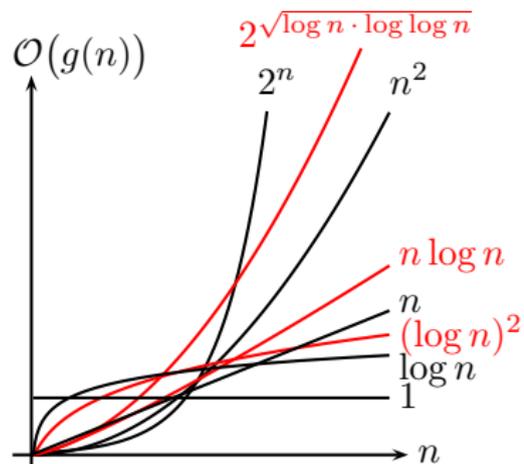
Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abbrechen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort: $\mathcal{O}(n \log n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

RSA: Schlüsselerzeugung (Berechnung von d): $\mathcal{O}((\log n)^2)$,

Ver- und Entschlüsselung (Exponentiation): $\mathcal{O}(n \log n)$,

Verschlüsselung brechen (Primfaktorzerlegung): $\mathcal{O}(2^{\sqrt{\log n \cdot \log \log n}})$

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

4 Hardwarenahe Programmierung

5 Algorithmen

5.1 Differentialgleichungen

5.2 Rekursion

5.3 **Aufwandsabschätzungen**

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 **Dynamische Speicherverwaltung**

6.1 **Konzepte und Ziele**

6.2 **Beispiel: Zahlen und Buchstaben**

6.3 **Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)**

...

7 Datenstrukturen

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs

```
char *name[] = { "Anna", "Berthold", "Caesar" };
```

...

~~name[3] = "Dieter";~~

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

```
#include <stdlib.h>
```

```
...
```

```
char **name = malloc (3 * sizeof (char *));  
    /* Speicherplatz für 3 Zeiger anfordern */
```

```
...
```

```
free (name)  
    /* Speicherplatz freigeben */
```

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern

- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- Was die Funktion bewirkt, hängt vom Typ des Objekts ab
- Realisierung über endlose **if**-Ketten

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern

- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- ~~Was die Funktion bewirkt~~ Welche Funktion aufgerufen wird, hängt vom Typ des Objekts ab: *virtuelle Methode*
- Realisierung über ~~endlose if-Ketten~~ Zeiger, die im Objekt gespeichert sind (Genaugenommen: Tabelle von Zeigern)

→ **kommt demnächst**

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- *Methoden* und *virtuelle Methoden*

- Zeiger auf verschiedene Strukturen mit einem gemeinsamen Anteil von Datenfeldern
→ „verwandte“ *Objekte, Klassen* von Objekten
- Struktur, die *nur* den gemeinsamen Anteil enthält
→ „Vorfahr“, *Basisklasse, Vererbung*
- Zeiger auf die Basisklasse dürfen auf Objekte der *abgeleiteten Klasse* zeigen
→ *Polymorphie*

6 Objektorientierte Programmierung

6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben

```
typedef struct
{
    int type;
} t_base;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    int content;
} t_integer;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    char *content;
} t_string;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
} t_base;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
    int content;  
} t_integer;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
    char *content;  
} t_string;
```

```
t_integer i = { 1, 42 };
```

```
t_string s = { 2, "Hello,_world!" };
```

```
t_base *object[] = { (t_base *) &i, (t_base *) &s };
```


explizite

Typumwandlung

6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)

```
#include <gtk/gtk.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
```

```
{  
    gtk_init (&argc, &argv);  
    GtkWidget *window = gtk_window_new (GTK_WINDOW_TOPLEVEL);  
    gtk_window_set_title (GTK_WINDOW (window), "Hello");  
    g_signal_connect (window, "destroy", G_CALLBACK (gtk_main_quit), NULL);  
    GtkWidget *vbox = gtk_box_new (GTK_ORIENTATION_VERTICAL, 5);  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (window), vbox);  
    gtk_container_set_border_width (GTK_CONTAINER (vbox), 10);  
    GtkWidget *label = gtk_label_new ("Hello, _world!");  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (vbox), label);  
    GtkWidget *button = gtk_button_new_with_label ("Quit");  
    g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (gtk_main_quit), NULL);  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (vbox), button);  
    gtk_widget_show (button);  
    gtk_widget_show (label);  
    gtk_widget_show (vbox);  
    gtk_widget_show (window);  
    gtk_main ();  
    return 0;  
}
```



**Praktikumsversuch:
Objektorientiertes Zeichenprogramm**

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
- 6 Objektorientierte Programmierung
 - 6.0 Dynamische Speicherverwaltung
 - 6.1 Konzepte und Ziele
 - 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben
 - 6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)
 - 6.4 Unions
 - 6.5 Virtuelle Methoden
 - 6.6 Einführung in C++
- 7 Datenstrukturen

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

15. Januar 2018

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
 - 5.1 Differentialgleichungen
 - 5.2 Rekursion
 - 5.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 6 **Objektorientierte Programmierung**
 - 6.0 **Dynamische Speicherverwaltung**
 - 6.1 **Konzepte und Ziele**
 - 6.2 **Beispiel: Zahlen und Buchstaben**
 - 6.3 **Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)**
 - ...
- 7 **Datenstrukturen**

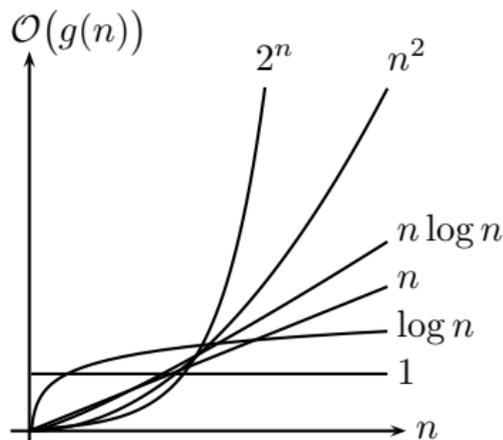
5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$

Für jede zusätzliche Scheibe verdoppelt sich die Rechenzeit!

$$\rightarrow \frac{32,712 \text{ s} \cdot 2^{32}}{3600 \cdot 24 \cdot 365,25} \approx 4452 \text{ Jahre}$$

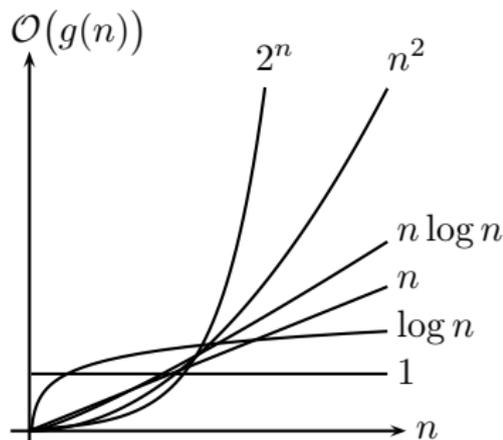
für 64 Scheiben



n : Eingabedaten
 $g(n)$: Rechenzeit

5.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abrechnen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort: $\mathcal{O}(n \log n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

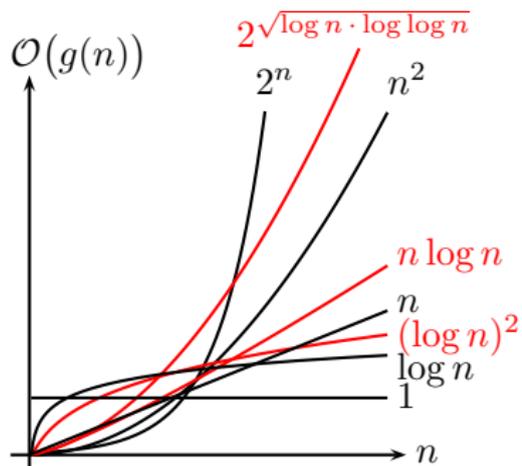
Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

5.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

- Türme von Hanoi: $\mathcal{O}(2^n)$
- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ... mit Schummeln: $\mathcal{O}(1)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen:
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abbrechen, falls schon sortiert
→ Bubblesort: $\mathcal{O}(n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$
- Rekursiv sortieren
→ Quicksort: $\mathcal{O}(n \log n)$ bis $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

RSA: Schlüsselerzeugung (Berechnung von d): $\mathcal{O}((\log n)^2)$,

Ver- und Entschlüsselung (Exponentiation): $\mathcal{O}(n \log n)$,

Verschlüsselung brechen (Primfaktorzerlegung): $\mathcal{O}(2^{\sqrt{\log n \cdot \log \log n}})$

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs

```
char *name[] = { "Anna", "Berthold", "Caesar" };
```

...

~~name[3] = "Dieter";~~

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

```
#include <stdlib.h>
```

```
...
```

```
char **name = malloc (3 * sizeof (char *));  
    /* Speicherplatz für 3 Zeiger anfordern */
```

```
...
```

```
free (name)  
    /* Speicherplatz freigeben */
```

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern

- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- Was die Funktion bewirkt, hängt vom Typ des Objekts ab
- Realisierung über endlose **if**-Ketten

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern

- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- ~~Was die Funktion bewirkt~~ Welche Funktion aufgerufen wird, hängt vom Typ des Objekts ab: *virtuelle Methode*
- Realisierung über ~~endlose if-Ketten~~ Zeiger, die im Objekt gespeichert sind (Genaugenommen: Tabelle von Zeigern)

→ **kommt gleich**

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- *Methoden* und *virtuelle Methoden*

- Zeiger auf verschiedene Strukturen mit einem gemeinsamen Anteil von Datenfeldern
→ „verwandte“ *Objekte, Klassen* von Objekten
- Struktur, die *nur* den gemeinsamen Anteil enthält
→ „Vorfahr“, *Basisklasse, Vererbung*
- Zeiger auf die Basisklasse dürfen auf Objekte der *abgeleiteten Klasse* zeigen
→ *Polymorphie*

6 Objektorientierte Programmierung

6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben

```
typedef struct  
{  
    int type;  
} t_base;
```

```
typedef struct  
{  
    int type;  
    int content;  
} t_integer;
```

```
typedef struct  
{  
    int type;  
    char *content;  
} t_string;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
} t_base;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
    int content;  
} t_integer;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
    char *content;  
} t_string;
```

```
t_integer i = { 1, 42 };
```

```
t_string s = { 2, "Hello,_world!" };
```

```
t_base *object[] = { (t_base *) &i, (t_base *) &s };
```


explizite

Typumwandlung

6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)

```
#include <gtk/gtk.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
```

```
{  
    gtk_init (&argc, &argv);  
    GtkWidget *window = gtk_window_new (GTK_WINDOW_TOPLEVEL);  
    gtk_window_set_title (GTK_WINDOW (window), "Hello");  
    g_signal_connect (window, "destroy", G_CALLBACK (gtk_main_quit), NULL);  
    GtkWidget *vbox = gtk_box_new (GTK_ORIENTATION_VERTICAL, 5);  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (window), vbox);  
    gtk_container_set_border_width (GTK_CONTAINER (vbox), 10);  
    GtkWidget *label = gtk_label_new ("Hello, _world!");  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (vbox), label);  
    GtkWidget *button = gtk_button_new_with_label ("Quit");  
    g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (gtk_main_quit), NULL);  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (vbox), button);  
    gtk_widget_show (button);  
    gtk_widget_show (label);  
    gtk_widget_show (vbox);  
    gtk_widget_show (window);  
    gtk_main ();  
    return 0;  
}
```



**Praktikumsversuch:
Objektorientiertes Zeichenprogramm**

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
- 6 Objektorientierte Programmierung
 - 6.0 Dynamische Speicherverwaltung
 - 6.1 Konzepte und Ziele
 - 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben
 - 6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)
 - 6.4 Unions
 - 6.5 Virtuelle Methoden
 - 6.6 Einführung in C++
- 7 Datenstrukturen

6.4 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

```
typedef union
```

```
{  
    int8_t i;  
    uint8_t u;  
} num8_t;
```

```
int main (void)
```

```
{  
    num8_t test;  
    test.i = -1;  
    printf ("%d\n", test.u);  
    return 0;  
}
```

6.4 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

```
typedef union
```

```
{  
    char s[8];  
    uint64_t x;  
} num_char_t;
```

```
int main (void)
```

```
{  
    num_char_t test = { "Hello!" };  
    printf ("%lx\n", test.x);  
    return 0;  
}
```

6.4 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

typedef union

```
{
  t_base base;
  t_integer integer;
  t_string string;
} t_object;
```

```
typedef struct
{
  int type;
} t_base;
```

```
typedef struct
{
  int type;
  int content;
} t_integer;
```

```
typedef struct
{
  int type;
  char *content;
} t_string;
```

```
if (this->base.type == T_INTEGER)
  printf ("Integer:_%d\n", this->integer.content);
else if (this->base.type == T_STRING)
  printf ("String:_%s\n", this->string.content);
```

6.5 Virtuelle Methoden

```
void print_object (t_object *this)
```

```
{  
  if (this->base.type == T_INTEGER)  
    printf ("Integer:_%d\n", this->integer.content);  
  else if (this->base.type == T_STRING)  
    printf ("String:_%s\n", this->string.content);  
}
```

if-Kette:
wird unübersichtlich

```
void print_integer (t_object *this)
```

```
{  
  printf ("Integer:_%d\n", this->integer.content);  
}
```



Zeiger auf Funktionen

```
void print_string (t_object *this)
```

```
{  
  printf ("String:_%s\n", this->string.content);  
}
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion

```
typedef struct
```

```
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    int content;  
} t_integer;
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger

```
t_object *new_integer (int i)
{
    t_object *p = malloc (sizeof (t_integer));
    p->integer.print = print_integer;
    p->integer.content = i;
    return p;
}
```

```
typedef struct
{
    void (* print) (union t_object *this);
    int content;
} t_integer;
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger
- Aufruf: „automatisch“ die richtige Funktion

```
for (int i = 0; object[i]; i++)  
    object[i]—>base.print (object[i]);
```

```
typedef struct
```

```
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    int content;  
} t_integer;
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger
- Aufruf: „automatisch“ die richtige Funktion
- in größeren Projekten:
Objekt enthält Zeiger auf Tabelle von Funktionen

```
typedef struct  
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    int content;  
} t_integer;
```

6.6 Einführung in C++

```
typedef struct
```

```
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
} t_base;
```

```
typedef struct
```

```
{  
    void (* print) (...);  
    int content;  
} t_integer;
```

```
typedef struct
```

```
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    char *content;  
} t_string;
```

6.6 Einführung in C++

```
struct TBase  
{  
    virtual void print (void);  
};
```

```
struct TInteger: public TBase  
{  
    virtual void print (void);  
    int content;  
};
```

```
struct TString: public TBase  
{  
    virtual void print (void);  
    char *content;  
};
```

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
- 6 Objektorientierte Programmierung
 - 6.0 Dynamische Speicherverwaltung
 - 6.1 Konzepte und Ziele
 - 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben
 - 6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)
 - 6.4 Unions
 - 6.5 Virtuelle Methoden
 - 6.6 Einführung in C++
- 7 Datenstrukturen

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

22. Januar 2018

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
- 6 Objektorientierte Programmierung
 - 6.0 Dynamische Speicherverwaltung
 - 6.1 Konzepte und Ziele
 - 6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben
 - 6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)
 - 6.4 Unions
 - 6.5 Virtuelle Methoden
 - 6.6 Einführung in C++
- 7 Datenstrukturen

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs

```
char *name[] = { "Anna", "Berthold", "Caesar" };
```

...

~~name[3] = "Dieter";~~

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

```
#include <stdlib.h>
```

```
...
```

```
char **name = malloc (3 * sizeof (char *));  
/* Speicherplatz für 3 Zeiger anfordern */
```

```
...
```

```
free (name)  
/* Speicherplatz freigeben */
```

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Array: feste Anzahl von Elementen desselben Typs (z. B. 3 ganze Zahlen)
- Dynamisches Array: variable Anzahl von Elementen desselben Typs
- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern

- Funktionen, die mit dem Objekt arbeiten: *Methoden*
- Was die Funktion bewirkt, hängt vom Typ des Objekts ab
- Realisierung über endlose **if**-Ketten
- ~~Was die Funktion bewirkt~~ Welche Funktion aufgerufen wird, hängt vom Typ des Objekts ab: *virtuelle Methode*
- Realisierung über ~~endlose if-Ketten~~ Zeiger, die im Objekt gespeichert sind (Genaugenommen: Tabelle von Zeigern)

6 Objektorientierte Programmierung

6.1 Konzepte und Ziele

- Problem: Elemente unterschiedlichen Typs
- Lösung: den Typ des Elements zusätzlich speichern
- *Methoden* und *virtuelle Methoden*

- Zeiger auf verschiedene Strukturen mit einem gemeinsamen Anteil von Datenfeldern
→ „verwandte“ *Objekte, Klassen* von Objekten
- Struktur, die *nur* den gemeinsamen Anteil enthält
→ „Vorfahr“, *Basisklasse, Vererbung*
- Zeiger auf die Basisklasse dürfen auf Objekte der *abgeleiteten Klasse* zeigen
→ *Polymorphie*

6 Objektorientierte Programmierung

6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben

```
typedef struct
{
    int type;
} t_base;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    int content;
} t_integer;
```

```
typedef struct
{
    int type;
    char *content;
} t_string;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
} t_base;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
    int content;  
} t_integer;
```

typedef struct

```
{  
    int type;  
    char *content;  
} t_string;
```

```
t_integer i = { 1, 42 };
```

```
t_string s = { 2, "Hello,_world!" };
```

```
t_base *object[] = { (t_base *) &i, (t_base *) &s };
```


explizite

Typumwandlung

6.3 Beispiel: Graphische Benutzeroberfläche (GUI)

```
#include <gtk/gtk.h>
```

```
int main (int argc, char **argv)
```

```
{  
    gtk_init (&argc, &argv);  
    GtkWidget *window = gtk_window_new (GTK_WINDOW_TOPLEVEL);  
    gtk_window_set_title (GTK_WINDOW (window), "Hello");  
    g_signal_connect (window, "destroy", G_CALLBACK (gtk_main_quit), NULL);  
    GtkWidget *vbox = gtk_box_new (GTK_ORIENTATION_VERTICAL, 5);  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (window), vbox);  
    gtk_container_set_border_width (GTK_CONTAINER (vbox), 10);  
    GtkWidget *label = gtk_label_new ("Hello, _world!");  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (vbox), label);  
    GtkWidget *button = gtk_button_new_with_label ("Quit");  
    g_signal_connect (button, "clicked", G_CALLBACK (gtk_main_quit), NULL);  
    gtk_container_add (GTK_CONTAINER (vbox), button);  
    gtk_widget_show (button);  
    gtk_widget_show (label);  
    gtk_widget_show (vbox);  
    gtk_widget_show (window);  
    gtk_main ();  
    return 0;  
}
```



**Praktikumsversuch:
Objektorientiertes Zeichenprogramm**

6.4 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

```
typedef union
```

```
{  
    int8_t i;  
    uint8_t u;  
} num8_t;
```

```
int main (void)
```

```
{  
    num8_t test;  
    test.i = -1;  
    printf ("%d\n", test.u);  
    return 0;  
}
```

6.4 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

```
typedef union
```

```
{  
    char s[8];  
    uint64_t x;  
} num_char_t;
```

```
int main (void)
```

```
{  
    num_char_t test = { "Hello!" };  
    printf ("%lx\n", test.x);  
    return 0;  
}
```

6.4 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

typedef union

```
{
  t_base base;
  t_integer integer;
  t_string string;
} t_object;
```

```
typedef struct
{
  int type;
} t_base;
```

```
typedef struct
{
  int type;
  int content;
} t_integer;
```

```
typedef struct
{
  int type;
  char *content;
} t_string;
```

```
if (this->base.type == T_INTEGER)
  printf ("Integer:_%d\n", this->integer.content);
else if (this->base.type == T_STRING)
  printf ("String:_%s\n", this->string.content);
```

6.5 Virtuelle Methoden

```
void print_object (t_object *this)
```

```
{  
  if (this->base.type == T_INTEGER)  
    printf ("Integer:_%d\n", this->integer.content);  
  else if (this->base.type == T_STRING)  
    printf ("String:_%s\n", this->string.content);  
}
```

if-Kette:
wird unübersichtlich

```
void print_integer (t_object *this)
```

```
{  
  printf ("Integer:_%d\n", this->integer.content);  
}
```



Zeiger auf Funktionen

```
void print_string (t_object *this)
```

```
{  
  printf ("String:_%s\n", this->string.content);  
}
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion

```
typedef struct
```

```
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    int content;  
} t_integer;
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger

```
t_object *new_integer (int i)
{
    t_object *p = malloc (sizeof (t_integer));
    p->integer.print = print_integer;
    p->integer.content = i;
    return p;
}
```

```
typedef struct
{
    void (* print) (union t_object *this);
    int content;
} t_integer;
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```


das, worauf print zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger
- Aufruf: „automatisch“ die richtige Funktion

```
for (int i = 0; object[i]; i++)  
    object[i]—>base.print (object[i]);
```

```
typedef struct  
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    int content;  
} t_integer;
```

6.5 Virtuelle Methoden

Zeiger auf Funktionen

```
void (* print) (t_object *this);
```

das, worauf **print** zeigt,
ist eine Funktion

- Objekt enthält Zeiger auf Funktion
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger
- Aufruf: „automatisch“ die richtige Funktion
- in größeren Projekten:
Objekt enthält Zeiger auf Tabelle von Funktionen

```
typedef struct  
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    int content;  
} t_integer;
```

6.6 Einführung in C++

```
typedef struct  
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
} t_base;
```

```
typedef struct  
{  
    void (* print) (...);  
    int content;  
} t_integer;
```

```
typedef struct  
{  
    void (* print) (union t_object *this);  
    char *content;  
} t_string;
```

6.6 Einführung in C++

```
struct TBase  
{  
    virtual void print (void);  
};
```

```
struct TInteger: public TBase  
{  
    virtual void print (void);  
    int content;  
};
```

```
struct TString: public TBase  
{  
    virtual void print (void);  
    char *content;  
};
```

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung**
- 2 Einführung in C**
- 3 Bibliotheken**
- 4 Hardwarenahe Programmierung**
- 5 Algorithmen**
- 6 Objektorientierte Programmierung**
 - 6.4 Unions**
 - 6.5 Virtuelle Methoden**
 - 6.6 Einführung in C++**
- 7 Datenstrukturen**
 - 7.1 Stack und FIFO**
 - 7.2 Verkettete Listen**
 - 7.3 Bäume**

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Im letzten Praktikumsversuch:

- Array nur zum Teil benutzt
- Variable speichert genutzte Länge
- Elemente hinten anfügen oder entfernen

→ Stack

- hinten anfügen/entfernen: $\mathcal{O}(1)$
- vorne oder in der Mitte einfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

Auch möglich:

- Array nur zum Teil benutzt
- 2 Variable speichern genutzte Länge (ringförmig)
- Elemente hinten anfügen oder vorne entfernen

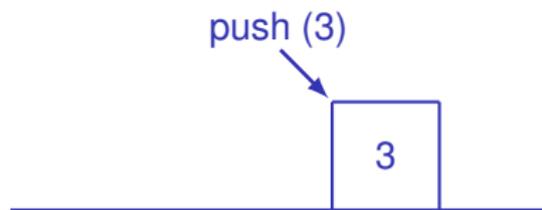
→ FIFO

- vorne oder hinten anfügen oder entfernen: $\mathcal{O}(1)$
- in der Mitte einfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

7 Datenstrukturen

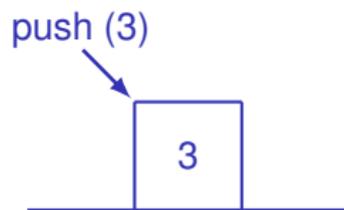
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

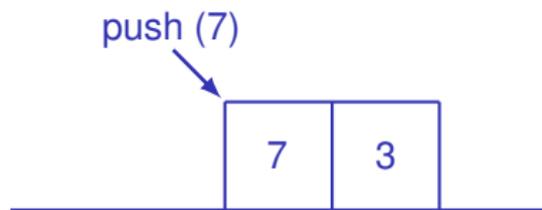


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

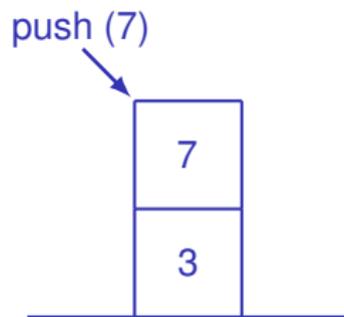
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

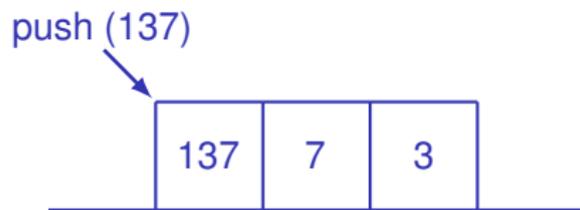


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

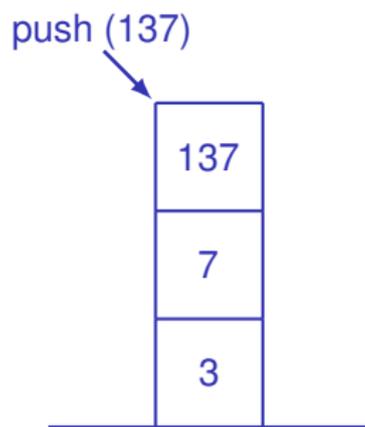
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

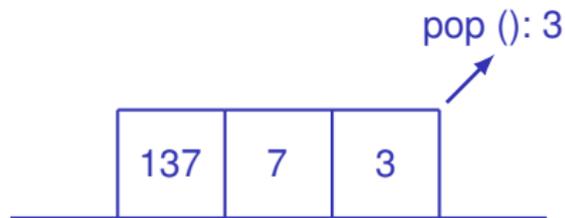


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

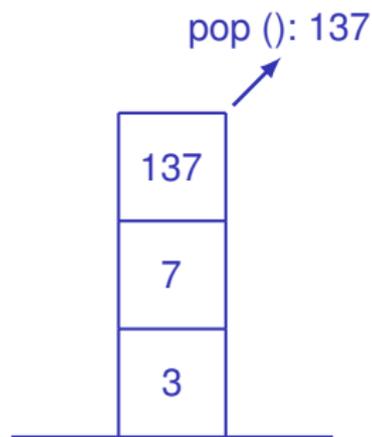
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

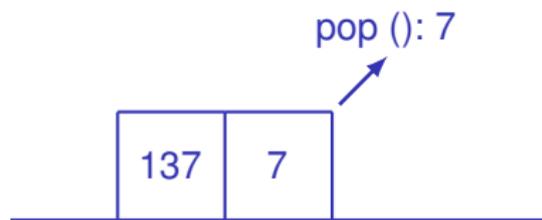


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

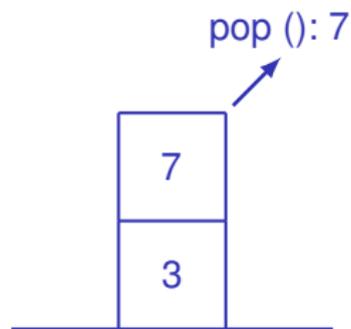
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

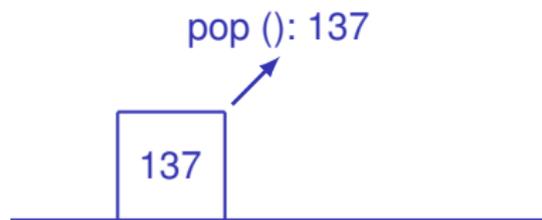


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

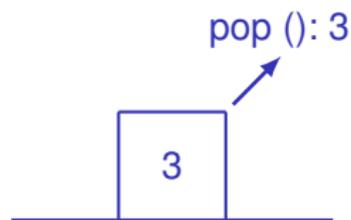
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

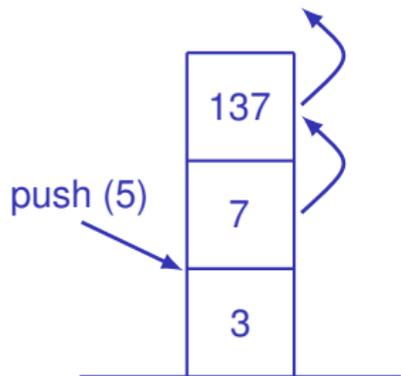


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

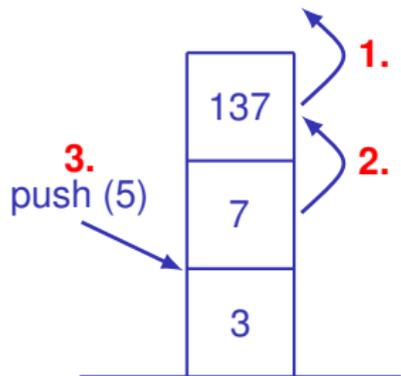
Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen



7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

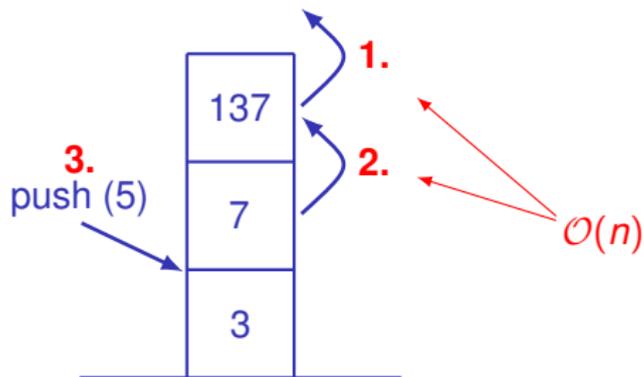
Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen



7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

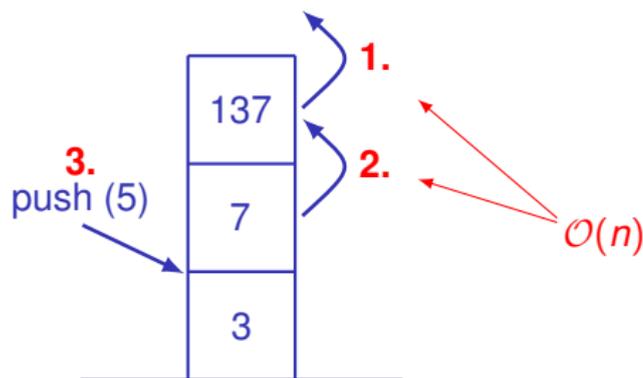
Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen



7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen

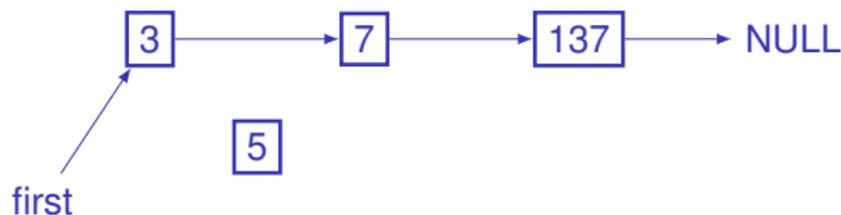


In Array (Stack, FIFO) ...

- einfügen: $\mathcal{O}(n)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- geschickt suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen

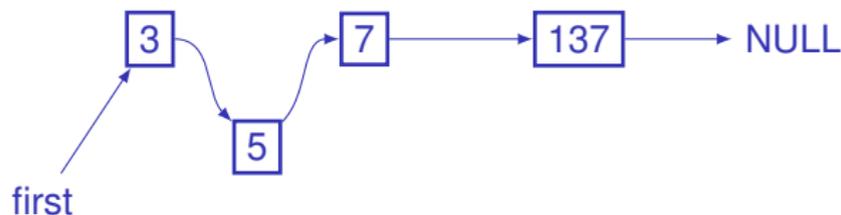


- Jeder Datensatz enthält einen Zeiger auf das nächste Element.
- Beim letzten Element zeigt der Zeiger auf **NULL**.
- Eine Variable zeigt auf das erste Element.
- Wenn die Liste leer ist, zeigt die Variable auf **NULL**.

→ (einfach) **verkettete Liste**

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen



- Jeder Datensatz enthält einen Zeiger auf das nächste Element.
- Beim letzten Element zeigt der Zeiger auf **NULL**.
- Eine Variable zeigt auf das erste Element.
- Wenn die Liste leer ist, zeigt die Variable auf **NULL**.

→ (einfach) **verkettete Liste**

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen

In Array (Stack, FIFO) ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(n)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(1)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- geschickt suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

In (einfach) verkettete/r Liste ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(1)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(n)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ~~geschickt~~ suchen: $\mathcal{O}(n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen

In Array (Stack, FIFO) ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(n)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(1)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- geschickt suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

In (einfach) verkettete/r Liste ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(1)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(n)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ~~geschickt~~ suchen: $\mathcal{O}(n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

In (ausbalancierten) Bäumen ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(\log n)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(\log n)$
- suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 $\mathcal{O}(n \log n)$

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 6 Objektorientierte Programmierung
- 7 Datenstrukturen
 - 7.1 Stack und FIFO
 - 7.2 Verkettete Listen
 - 7.3 Bäume

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

29. Januar 2018

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Hardwarenahe Programmierung
- 5 Algorithmen
- 6 Objektorientierte Programmierung
- 7 Datenstrukturen
 - 7.1 Stack und FIFO
 - 7.2 Verkettete Listen
 - 7.3 Bäume

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Im letzten Praktikumsversuch:

- Array nur zum Teil benutzt
- Variable speichert genutzte Länge
- Elemente hinten anfügen oder entfernen

→ Stack

- hinten anfügen/entfernen: $\mathcal{O}(1)$
- vorne oder in der Mitte einfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

Auch möglich:

- Array nur zum Teil benutzt
- 2 Variable speichern genutzte Länge (ringförmig)
- Elemente hinten anfügen oder vorne entfernen

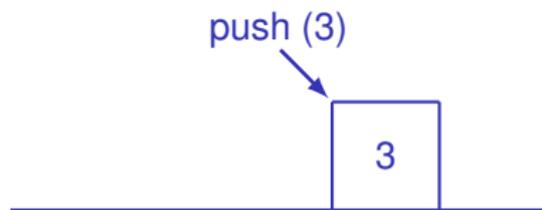
→ FIFO

- vorne oder hinten anfügen oder entfernen: $\mathcal{O}(1)$
- in der Mitte einfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

7 Datenstrukturen

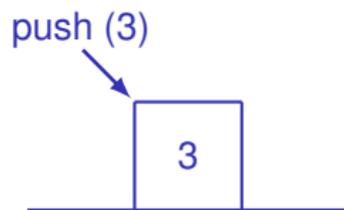
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

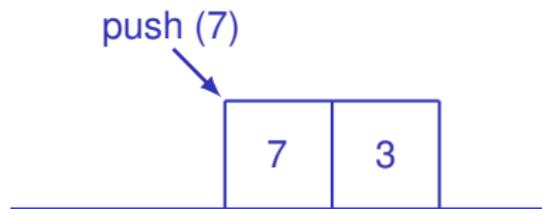


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

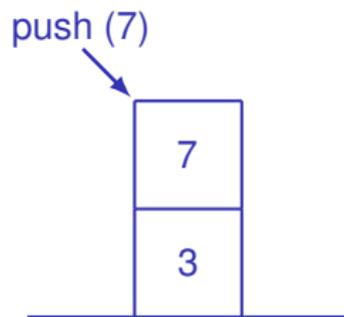
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

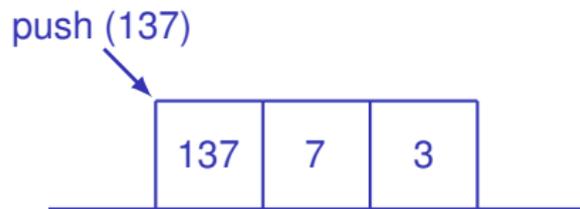


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

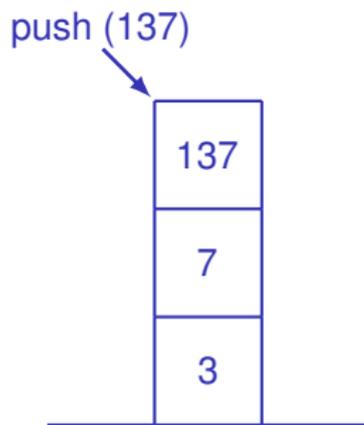
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“



LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

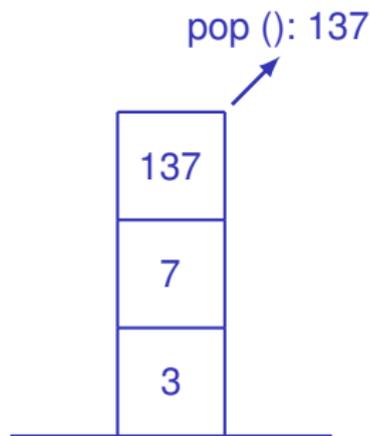
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

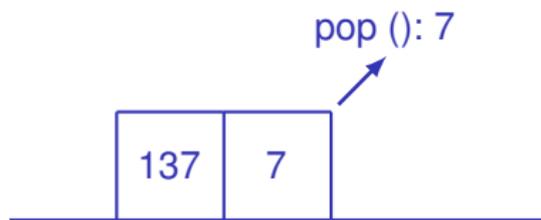


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

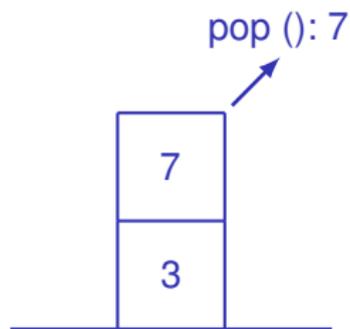
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

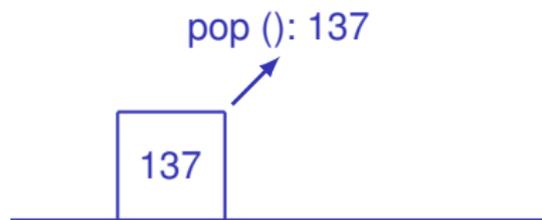


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

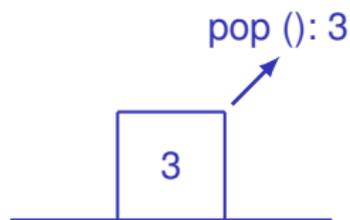
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

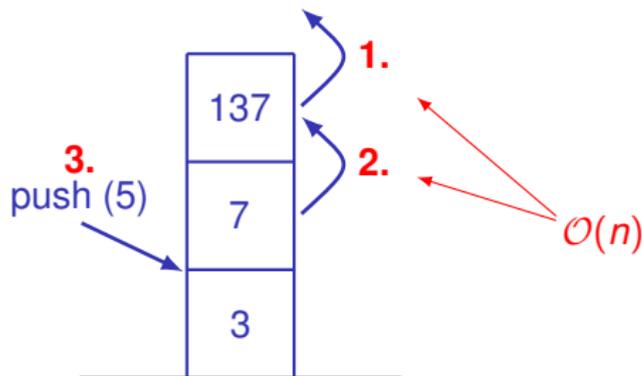


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen

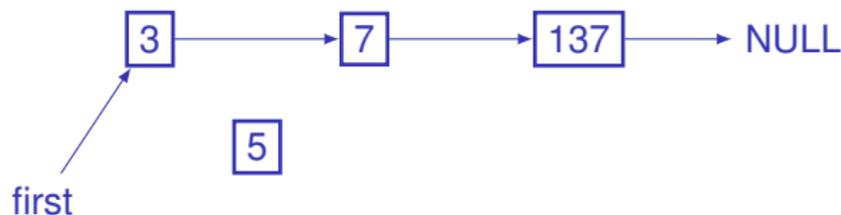


In Array (Stack, FIFO) ...

- einfügen: $\mathcal{O}(n)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- geschickt suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen

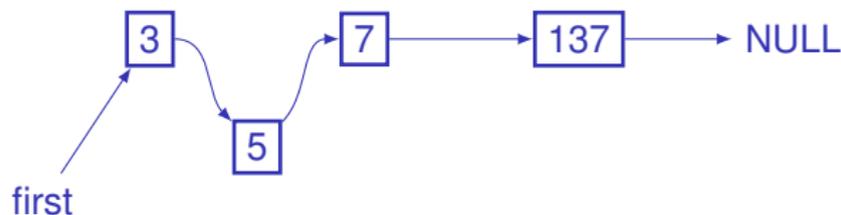


- Jeder Datensatz enthält einen Zeiger auf das nächste Element.
- Beim letzten Element zeigt der Zeiger auf **NULL**.
- Eine Variable zeigt auf das erste Element.
- Wenn die Liste leer ist, zeigt die Variable auf **NULL**.

→ (einfach) **verkettete Liste**

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen



- Jeder Datensatz enthält einen Zeiger auf das nächste Element.
- Beim letzten Element zeigt der Zeiger auf **NULL**.
- Eine Variable zeigt auf das erste Element.
- Wenn die Liste leer ist, zeigt die Variable auf **NULL**.

→ (einfach) **verkettete Liste**

7 Datenstrukturen

7.2 Verkettete Listen

In Array (Stack, FIFO) ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(n)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(1)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- geschickt suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

In (einfach) verkettete/r Liste ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(1)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(n)$
- suchen: $\mathcal{O}(n)$
- ~~geschickt~~ suchen: $\mathcal{O}(n)$
- beim Einfügen sortieren:
 ~~$\mathcal{O}(n \log n)$~~ $\mathcal{O}(n^2)$

In (ausbalancierten) Bäumen ...

- in der Mitte einfügen: $\mathcal{O}(\log n)$
- wahlfreier Zugriff: $\mathcal{O}(\log n)$
- suchen: $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
 $\mathcal{O}(n \log n)$

7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

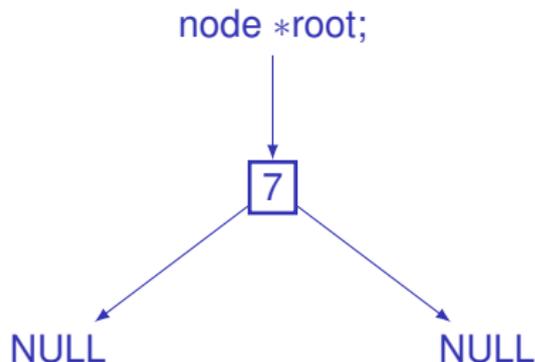
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```

```
node *root;
```

7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

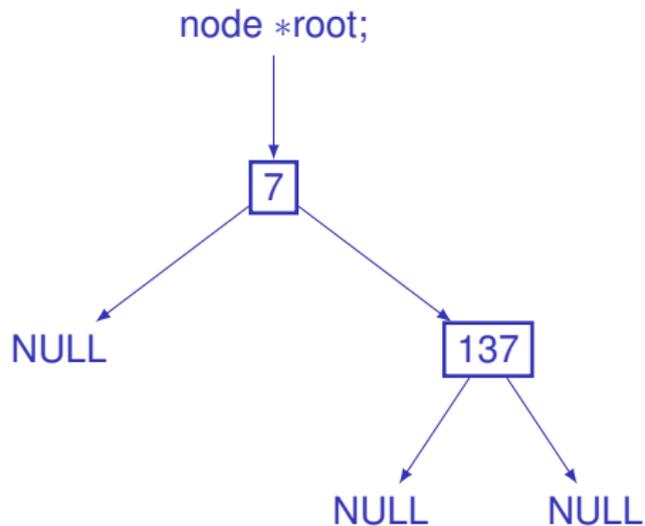
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

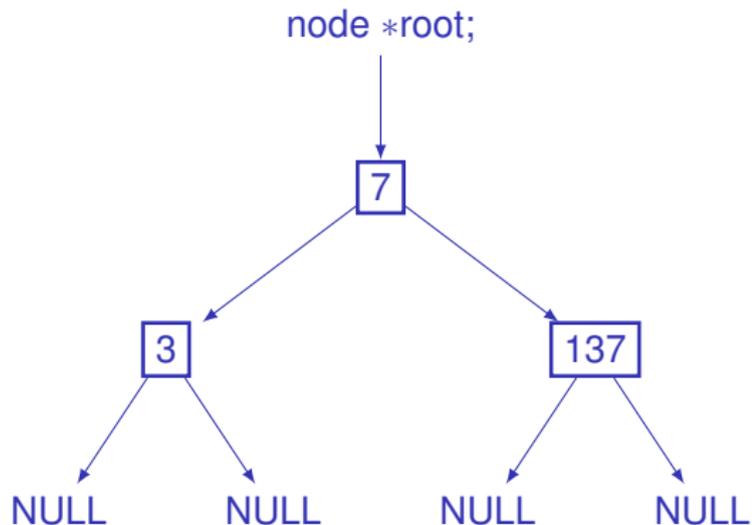
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

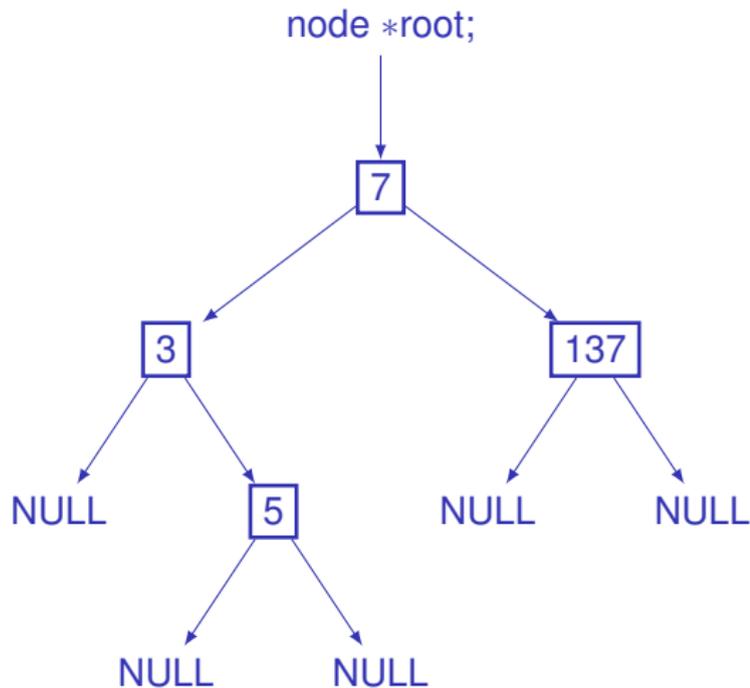
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```

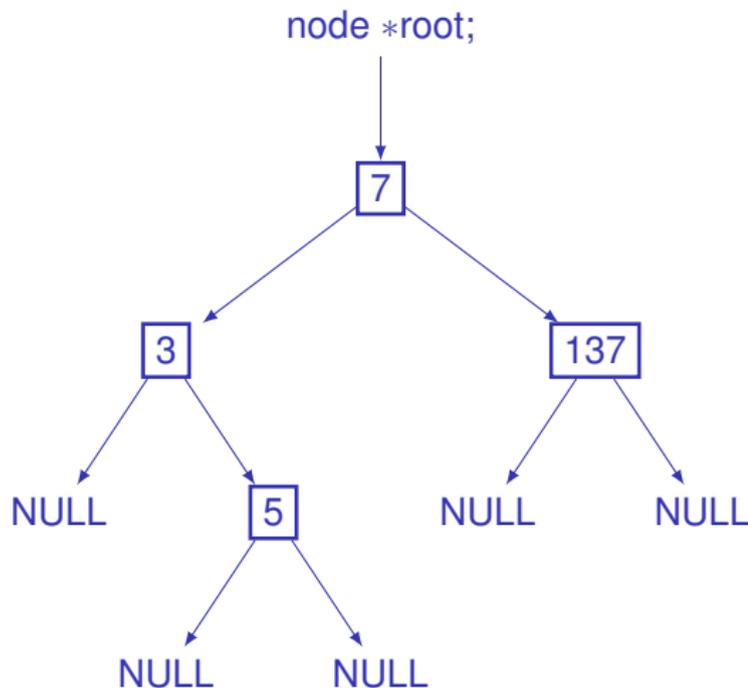


7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

```
typedef struct node
{
    int content;
    struct node *left, *right;
} node;
```

- Einfügen: rekursiv, $\mathcal{O}(\log n)$
- Suchen: rekursiv, $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
rekursiv, $\mathcal{O}(n \log n)$

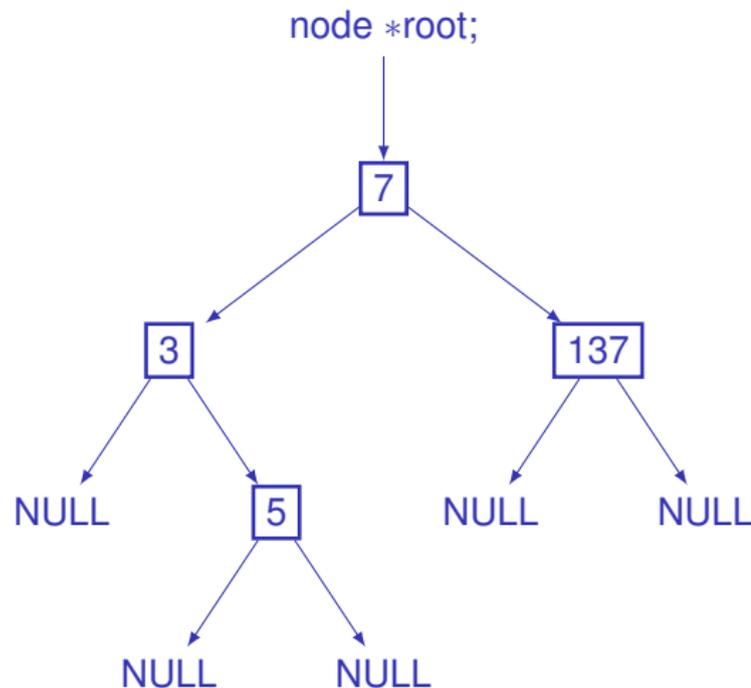


7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

```
typedef struct node
```

```
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



- Einfügen: rekursiv, $\mathcal{O}(\log n)$
- Suchen: rekursiv, $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
rekursiv, $\mathcal{O}(n \log n)$
- **Worst Case: $\mathcal{O}(n^2)$**
vorher bereits sortiert
→ balancierte Bäume
Anwendung: Datenbanken

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 6 Objektorientierte Programmierung
- 7 Datenstrukturen
 - 7.1 Stack und FIFO
 - 7.2 Verkettete Listen
 - 7.3 Bäume

*Viel Erfolg
bei der Klausur!*