

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

10. Oktober 2016

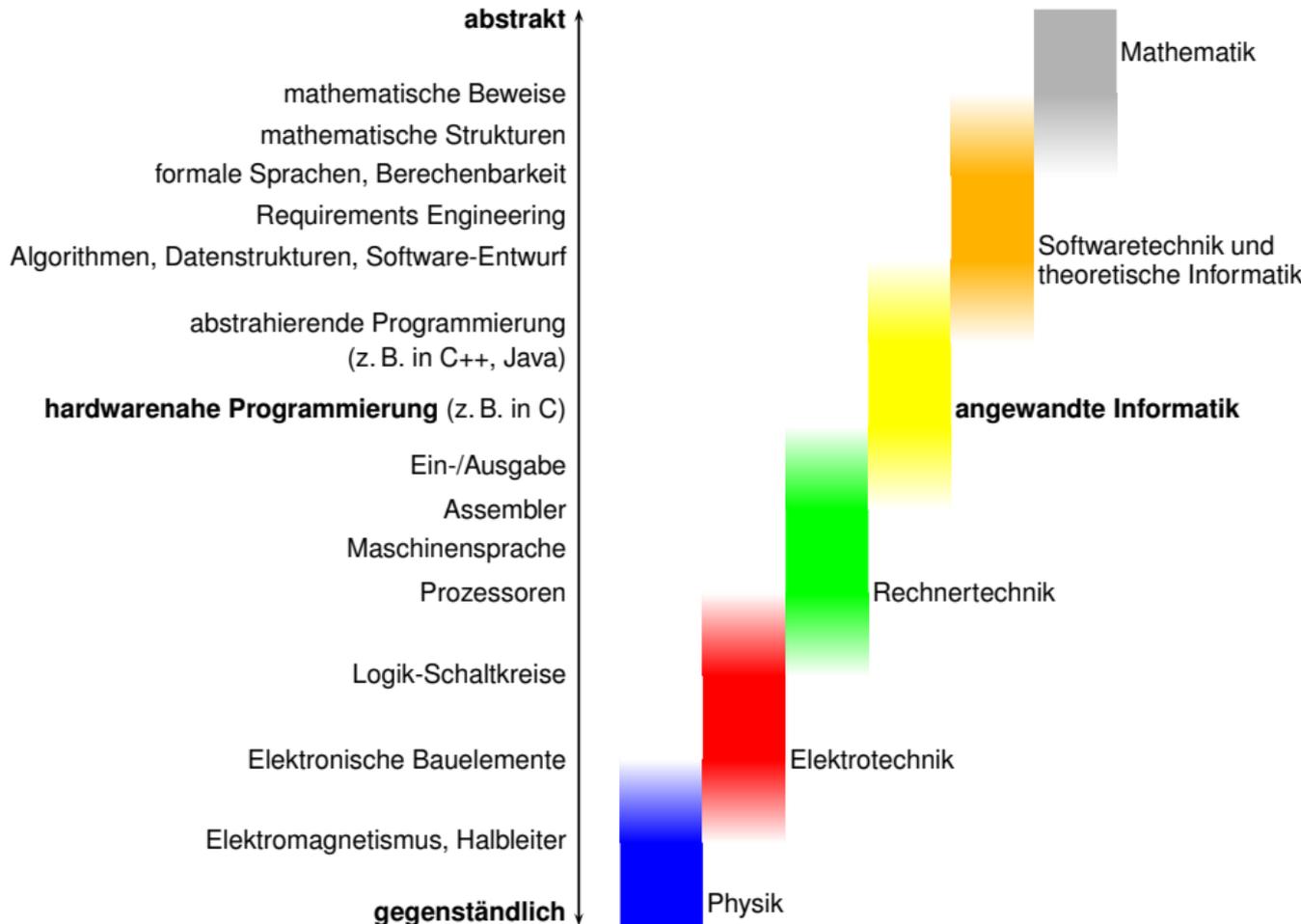
Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

rerum naturalium = der natürlichen Dinge (lat.)

10. Oktober 2015



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“

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

1.1 Was ist angewandte Informatik?

1.2 Programmierung in C

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 Seiteneffekte

2.8 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);
```

2.7 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

2.7 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

```
    return 0;
```

```
}
```

2.7 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

2.7 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

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

2.7 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
```

```
$
```

2.7 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

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

- printf() ist eine Funktion.

2.7 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)

2.7 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

2.7 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: `,`

2.7 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

2.7 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

2.7 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);
```

2.7 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++);
```

2.7 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++));
```

```
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++));
```

2.8 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++));
```

2.8 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

1 Einführung

1.1 Was ist angewandte Informatik?

1.2 Programmierung in C

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 Seiteneffekte

2.8 Strukturierte Programmierung

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

...

3 Bibliotheken

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

17. Oktober 2016

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

1.1 Was ist angewandte Informatik / hardwarenahe Programmierung?

1.2 Programmierung in C

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 Seiteneffekte

2.8 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

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 Seiteneffekte

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    "\n";
```

```
    return 0;
```

```
}
```

← Ausdruck als Anweisung: Wert wird ignoriert

2.7 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
```

```
$
```

2.7 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

2.7 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++));
```

2.8 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

1 Einführung

1.1 Was ist angewandte Informatik / hardwarenahe Programmierung?

1.2 Programmierung in C

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 Seiteneffekte

2.8 Strukturierte Programmierung

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

...

3 Bibliotheken

...

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

1.1 Was ist angewandte Informatik / hardwarenahe Programmierung?

1.2 Programmierung in C

2 Einführung in C

...

2.7 Seiteneffekte

2.8 Strukturierte Programmierung

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

...

2.9 Funktionen

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

```
int answer (void)
```

```
{  
    return 42;  
}
```

```
void foo (void)
```

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

```
int main (void)
```

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

2.9 Funktionen

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

```
int answer (void)
```

```
{  
    return 42;  
}
```

```
void foo (void)
```

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

```
int main (void)
```

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

- Funktionsdeklaration:
Typ Name (Parameterliste)
{
 Anweisungen
}

2.9 Funktionen

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

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

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

- Funktionsdeklaration:
Typ Name (Parameterliste)
{
 Anweisungen
}

2.9 Funktionen

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

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

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

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

2.9 Funktionen

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

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

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

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

2.9 Funktionen

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

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

```
void foo (void)
```

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

```
int main (void)
```

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

2.10 Zeiger

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

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

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

```
int main (void)
```

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

2.10 Zeiger

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

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

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

- *a ist eine **int**.

```
int main (void)
```

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

2.10 Zeiger

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

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

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

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

```
int main (void)
```

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

2.10 Zeiger

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

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

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

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

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)`

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.7 Seiteneffekte

2.8 Strukturierte Programmierung

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

24. Oktober 2016

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.7 Seiteneffekte

2.8 Strukturierte Programmierung

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

...

...

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
}
- 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 kann ignoriert werden.

2.9 Funktionen

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

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

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

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

2.9 Funktionen

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

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

```
void foo (void)
```

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

```
int main (void)
```

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

2.10 Zeiger

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

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

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

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

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

```
int main (void)
```

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

- unärer Operator `&`: Adresse

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable.

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

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

2.11 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.11 Arrays und Strings

```
#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";
```

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

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```



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

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;
```

```
}
```



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

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;
```

```
}
```

```
...
```

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

```
...
```

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

%d	dezimal	%c	Zeichen
%x	hexadezimal	%s	String

2.12 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;
}
```

2.12 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;
}
```

2.12 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;
}
```

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

2.12 Parameter des Hauptprogramms

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

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

```
{
```

```
    printf ("argc = %d\n", argc);
```

```
    int i = 0;
```

```
    while (*argv)
```

```
        printf ("argv[%d] = \"%s\"\n", i++, *argv++);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

2.13 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;
```

```
}
```

2.13 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;
```

```
}
```

2.13 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;
```

```
}
```

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.7 Seiteneffekte

2.8 Strukturierte Programmierung

2.9 Funktionen

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

31. Oktober 2016

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

...

2.10 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.10 Arrays und Strings

Ein Zeiger zeigt auf eine Variable und deren Nachbarn.

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

```
int main (void)
```

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

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

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    int i = 0;
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    int i = 0;
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```



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

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```



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

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

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

2.10 Arrays und Strings

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    while (*p)
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

```
...
```

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

```
...
```

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

%d	dezimal	%c	Zeichen
%x	hexadezimal	%s	String

2.11 Parameter des Hauptprogramms

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

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

2.11 Parameter des Hauptprogramms

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

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

2.11 Parameter des Hauptprogramms

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

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

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

2.11 Parameter des Hauptprogramms

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

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

2.12 String-Operationen

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

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.12 String-Operationen

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

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

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

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

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

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

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.12 String-Operationen

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

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

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

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

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.13 Strukturen

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

```
typedef struct
```

```
{
```

```
    char day, month;
```

```
    int year;
```

```
}
```

```
date;
```

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    return 0;
```

```
}
```

2.13 Strukturen

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

```
typedef struct
```

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

```
date;
```

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

```
{  
    (*d).day = 30;  
    (*d).month = 10;  
    (*d).year = 2014;  
}
```

```
int main (void)
```

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

2.13 Strukturen

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

```
typedef struct
```

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

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

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

foo->bar ist Abkürzung für (*foo).bar

```
int main (void)
```

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

2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{  
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");  
    if (f)  
    {  
        fprintf (f, "Hello,_world!\n");  
        fclose (f);  
    }  
    return 0;  
}
```

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

2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

```
    if (f)
```

```
    {
```

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

```
        fclose (f);
```

```
    }
```

```
    else
```

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

```
    return 0;
```

```
}
```

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

2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

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

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

2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (!f)
        error (1, errno, "cannot_open_file");
    fprintf (f, "Hello, world!\n");
    fclose (f);
    return 0;
}
```

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

↑
hier: 1
auch üblich: `errno`

2.14 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (!f)
        error (1, errno, "cannot_open_file");
    fprintf (f, "Hello, world!\n");
    fclose (f);
    return 0;
}
```

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

2 Einführung in C

Sprachelemente weitgehend komplett

Es fehlen:

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

→ werden eingeführt, wenn wir sie brauchen

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

→ werden eingeführt, wenn wir sie brauchen, oder:

→ Literatur

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

- Praxiserfahrung

→ Praktikum: nur Einstieg

→ selbständig arbeiten

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

...

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

`#include`

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

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

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

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

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

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

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

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

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

- Kein Semikolon!

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

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

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

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

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

#include: Text einbinden

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

#define VIER 4: Text ersetzen lassen – Konstante definieren

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

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

Funktion wird „anderswo“ definiert

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

Funktion wird „anderswo“ definiert

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

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

Funktion wird „anderswo“ definiert

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

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

Funktion wird „anderswo“ definiert

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

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

Funktion wird „anderswo“ definiert

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

- Include-Dateien:

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

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

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

- Compiler-Aufruf:

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
void draw (void)
```

```
{
```

```
  ...
```

```
}
```

```
...
```

```
glutDisplayFunc (draw);
```

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

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

```
{
```

```
    ...
```

```
}
```

```
...
```

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

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

```
{  
  ...  
}
```

gedrückte Taste Mausposition

```
...
```

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

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

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.10 Zeiger

2.11 Arrays und Strings

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

7. November 2016

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

4.2 Rekursion

...

5 Hardwarenahe Programmierung

...

2.14 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;
```

```
}
```

2.14 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;  
}
```

2.14 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;  
}
```

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
```

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

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

```
    fclose (f);
```

```
    return 0;
```

```
}
```

2.15 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.

2.15 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>`

2.15 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>`

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (!f)
        error (1, errno, "cannot_open_file");
    fprintf (f, "Hello, world!\n");
    fclose (f);
    return 0;
}
```

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

↑
hier: 1
auch üblich: `errno`

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

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

```
int main (void)
```

```
{
    FILE *f = fopen ("fhello.txt", "w");
    if (!f)
        error (1, errno, "cannot_open_file");
    fprintf (f, "Hello, world!\n");
    fclose (f);
    return 0;
}
```

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

2 Einführung in C

Sprachelemente weitgehend komplett

Es fehlen:

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

→ werden eingeführt, wenn wir sie brauchen

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

→ werden eingeführt, wenn wir sie brauchen, oder:

→ Literatur

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

- Praxiserfahrung

→ Praktikum: nur Einstieg

→ selbständig arbeiten

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

3.1 Der Präprozessor

```
#define DEBUG
```

```
...
```

```
#ifdef DEBUG
```

```
    printf ("x=_%d,y=_%d\n", x, y);
```

```
#endif
```

Bedingte Compilierung: **#ifdef**, **#ifndef**, **#if**, **#elif**, **#else**, **#endif**

- Prüfung, ob Symbol definiert ist
- keine Prüfung, wofür das Symbol steht
- Anwendung: Verschiedene Versionen desselben Programms

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

Bedingte Compilierung: **#ifndef**, **#ifndef**, **#if**, **#elif**, **#else**, **#endif**

- Anwendung: Verschiedene Versionen desselben Programms
- Anwendung: Include-Datei nur einmal auswerten

```
#ifndef DATE_H  
#define DATE_H
```

```
typedef struct
```

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

```
#endif
```

3 Bibliotheken

3.2 Bibliotheken einbinden

Inhalt der Header-Datei: externe Deklarationen

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

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

Funktion wird „anderswo“ definiert

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

- Include-Dateien:

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

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

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

- Compiler-Aufruf:

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

```
void draw (void)
```

```
{
```

```
  ...
```

```
}
```

```
...
```

```
glutDisplayFunc (draw);
```

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

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

```
{
```

```
  ...
```

```
}
```

```
...
```

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

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

3.3 Bibliothek verwenden (Beispiel: OpenGL)

Selbst geschriebene Funktion übergeben: *Callback*

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

```
{  
  ...  
}
```

gedrückte Taste Mausposition

```
...
```

```
glutKeyboardFunc (key_handler);
```

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

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

4.2 Rekursion

...

5 Hardwarenahe Programmierung

...

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 philosophy

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 philosophy
```

```
%.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

4 Algorithmen

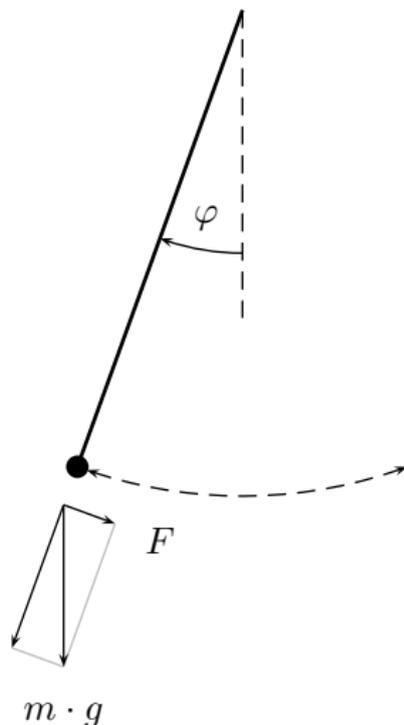
4.1 Differentialgleichungen

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

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

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

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



4 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

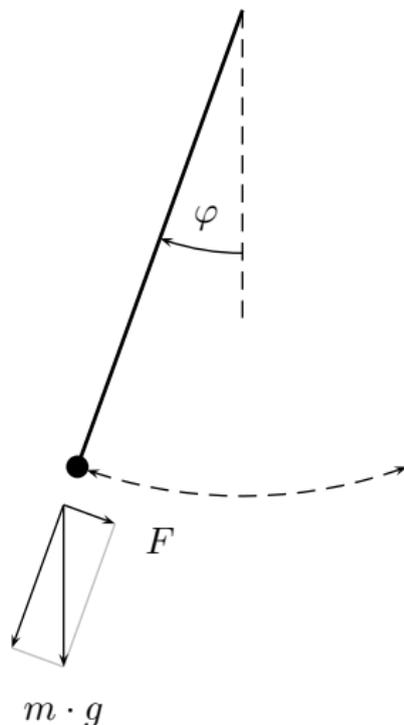
$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

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

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

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

Praktikumsaufgabe: Basketball



Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

...

2.12 Parameter des Hauptprogramms

2.13 String-Operationen

2.14 Strukturen

2.15 Dateien und Fehlerbehandlung

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

3.2 Bibliotheken einbinden

3.3 Bibliotheken verwenden

3.4 Projekt organisieren: make

4 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

4.2 Rekursion

...

5 Hardwarenahe Programmierung

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

14. November 2016

Hardwarenahe Programmierung

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 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

4.2 Rekursion

4.3 Aufwandsabschätzungen

...

5 Hardwarenahe Programmierung

...

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

3.1 Der Präprozessor

```
#define DEBUG
```

```
...
```

```
#ifdef DEBUG
```

```
    printf ("x=_%d,y=_%d\n", x, y);
```

```
#endif
```

Bedingte Compilierung: **#ifdef**, **#ifndef**, **#if**, **#elif**, **#else**, **#endif**

- Prüfung, ob Symbol definiert ist
- keine Prüfung, wofür das Symbol steht
- Anwendung: Verschiedene Versionen desselben Programms

3 Bibliotheken

3.1 Der Präprozessor

Bedingte Compilierung: **#ifndef**, **#ifndef**, **#if**, **#elif**, **#else**, **#endif**

- Anwendung: Verschiedene Versionen desselben Programms
- Anwendung: Include-Datei nur einmal auswerten

```
#ifndef DATE_H  
#define DATE_H
```

```
typedef struct
```

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

```
#endif
```

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 philosophy

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 philosophy
```

```
%.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

4 Algorithmen

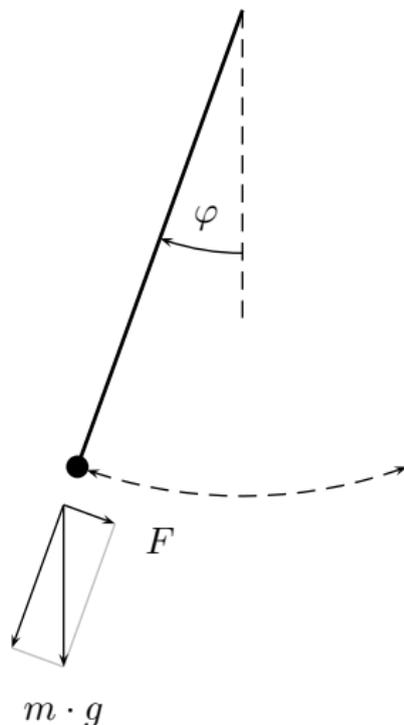
4.1 Differentialgleichungen

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

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

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

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



4 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

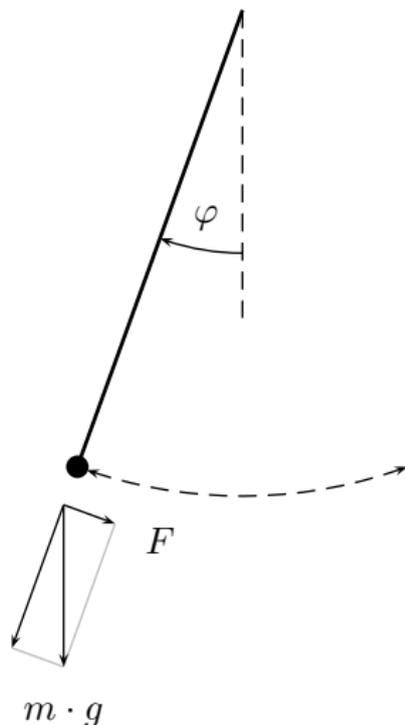
$$\varphi'(t) = \omega(t)$$

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

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

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

Praktikumsaufgabe: Basketball



Hardwarenahe Programmierung

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 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

4.2 Rekursion

4.3 Aufwandsabschätzungen

...

5 Hardwarenahe Programmierung

...

4.2 Rekursion

Vollständige Induktion:

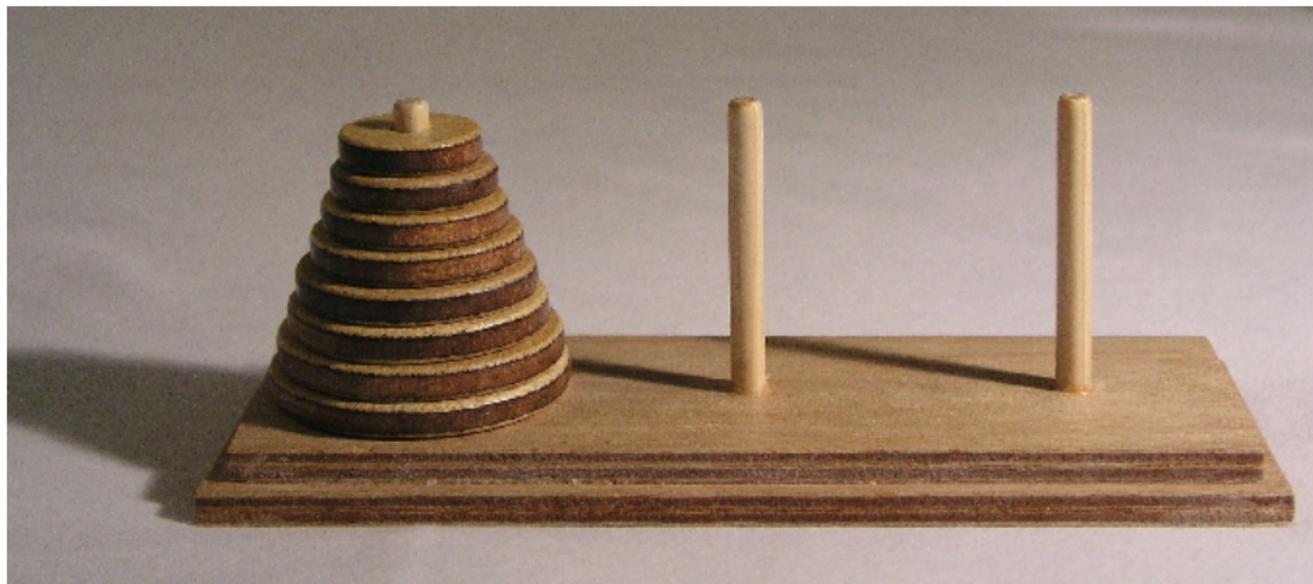
Aussage gilt für $n = 1$
Schluß von $n - 1$ auf n } Aussage gilt für alle $n \in \mathbb{N}$

4.2 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

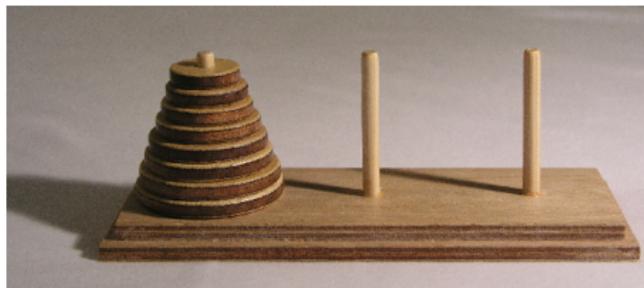


4.2 Rekursion

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.

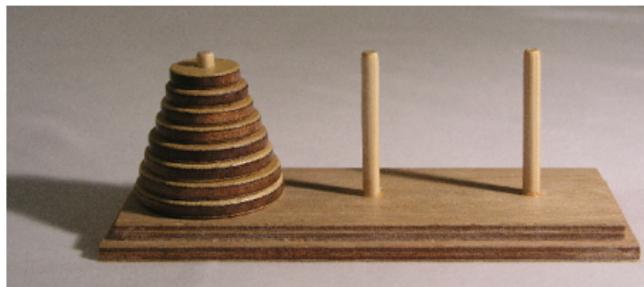


4.2 Rekursion

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



4.2 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);
    }
}
```

4.3 **Aufwandsabschätzungen**

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen

4.3 **Aufwandsabschätzungen**

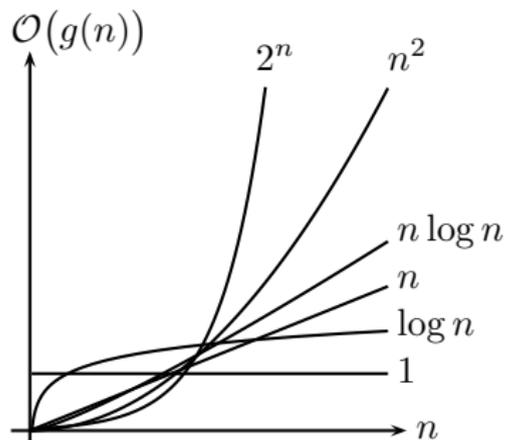
Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen
- Minimum an den Anfang tauschen,
nächstes Minimum suchen
→ Selectionsort

4.3 Aufwandsabschätzungen

Beispiel: Sortieralgorithmen

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



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Hardwarenahe Programmierung

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 Algorithmen

4.1 Differentialgleichungen

4.2 Rekursion

4.3 **Aufwandsabschätzungen**

...

5 Hardwarenahe Programmierung

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

21. November 2016

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
 - 4.1 Differentialgleichungen
 - 4.2 Rekursion
 - 4.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 **Bit-Operationen**
 - 5.2 **I/O-Ports**
 - 5.3 Interrupts
 - ...
- 6 Objektorientierte Programmierung
- ...

4.2 Rekursion

Vollständige Induktion:

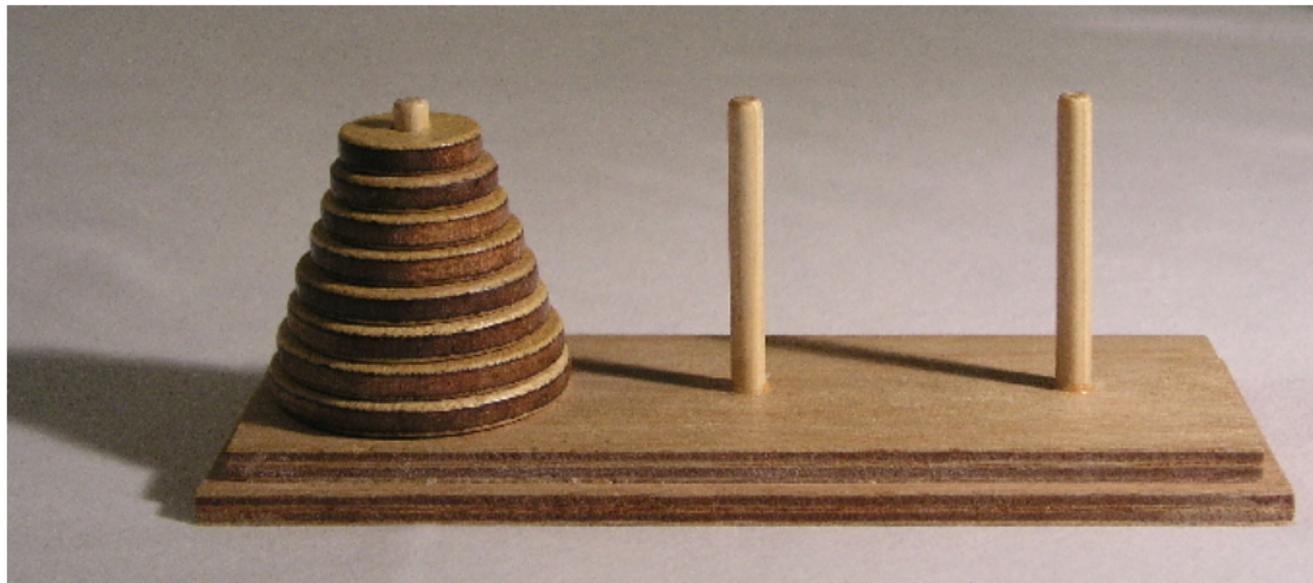
Aussage gilt für $n = 1$
Schluß von $n - 1$ auf n } Aussage gilt für alle $n \in \mathbb{N}$

4.2 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

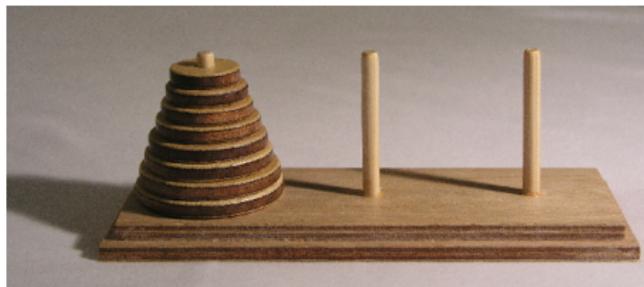


4.2 Rekursion

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.

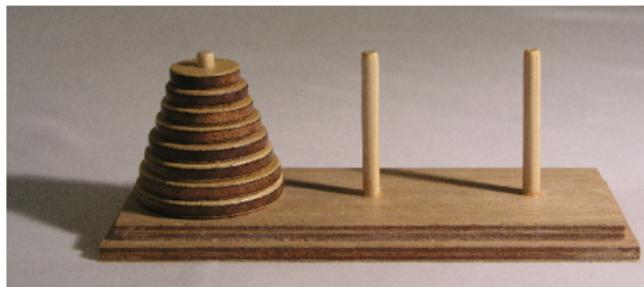


4.2 Rekursion

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



4.2 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);
    }
}
```

4.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen

4.3 **Aufwandsabschätzungen** – Komplexitätsanalyse

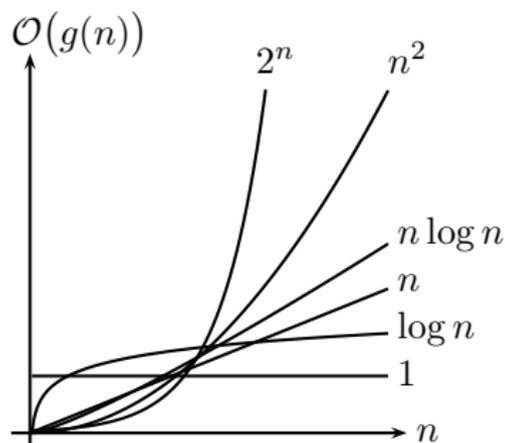
Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen
- Minimum an den Anfang tauschen,
nächstes Minimum suchen
→ Selectionsort

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

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



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

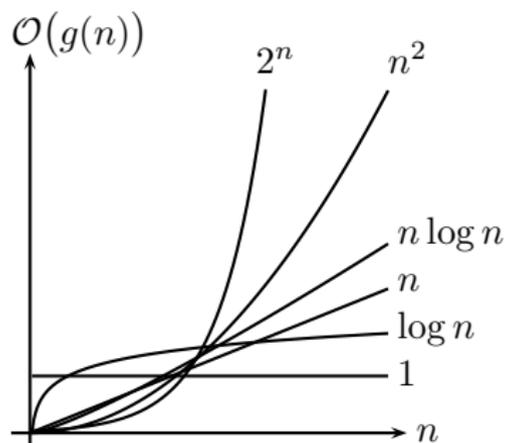
Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abbrechen, falls schon sortiert
→ Bubblesort



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

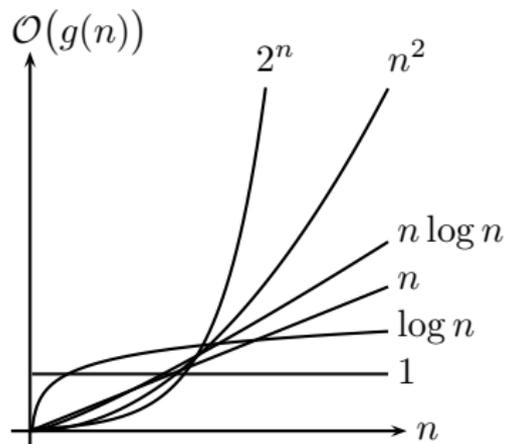
Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- 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 $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

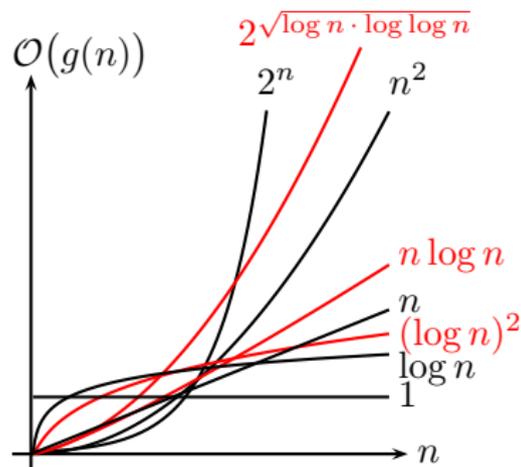
Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- 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 $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
 - 4.1 Differentialgleichungen
 - 4.2 Rekursion
 - 4.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 **Bit-Operationen**
 - 5.2 **I/O-Ports**
 - 5.3 Interrupts
 - ...
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

5 Hardwarenahe Programmierung

5.1 Bit-Operationen

5.1.1 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)

5.1.1 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

5.1.2 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))`

5.1.2 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>
```

```
...
```

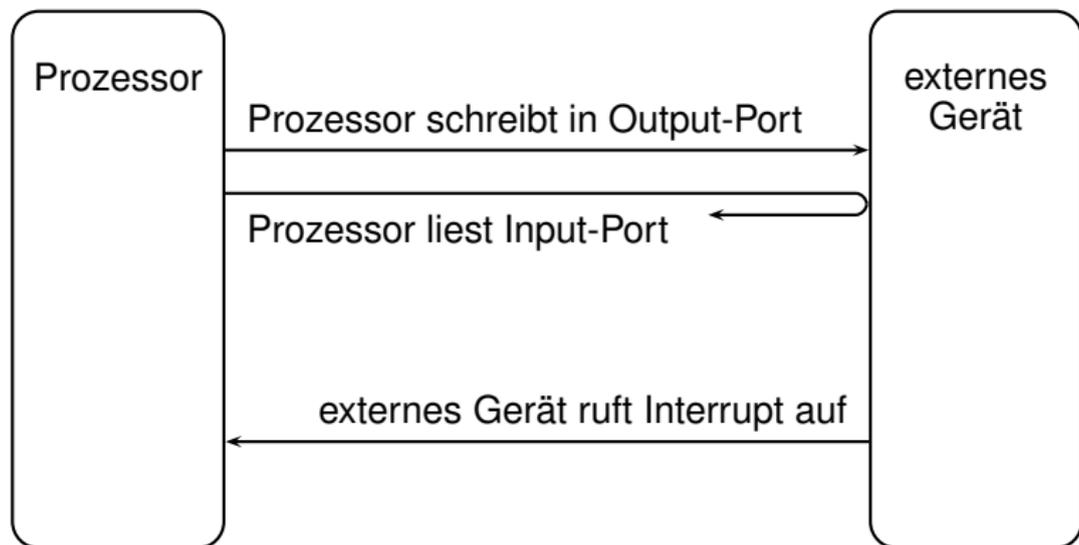
```
uint64_t x = 42;
```

```
printf ("Die_Antwort_lautet:_%%" PRIu64 "\n", x);
```

5.2 I/O-Ports

5.3 Interrupts

Kommunikation mit externen Geräten



5.2 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

5.2 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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
 - 4.1 Differentialgleichungen
 - 4.2 Rekursion
 - 4.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 5 **Hardwarenahe Programmierung**
 - 5.1 **Bit-Operationen**
 - 5.2 **I/O-Ports**
 - 5.3 **Interrupts**
 - ...
- 6 **Objektorientierte Programmierung**
- ...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

28. November 2016

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

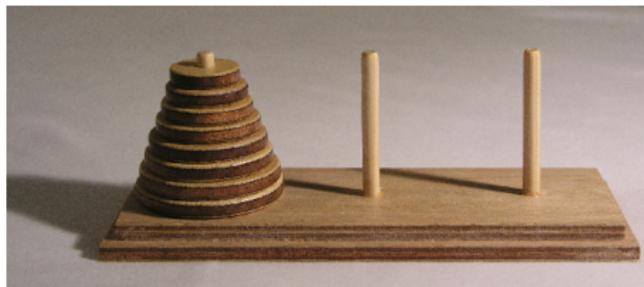
- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
 - 4.1 Differentialgleichungen
 - 4.2 Rekursion
 - 4.3 **Aufwandsabschätzungen**
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 **Interrupts**
 - ...
- 6 Objektorientierte Programmierung
- ...

4.2 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



4.2 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

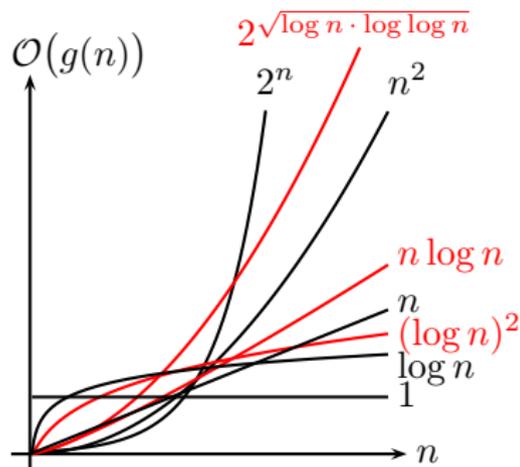
- 64 Scheiben, 3 Plätze, immer 1 Scheibe verschieben
- Ziel: Turm verschieben
- Es dürfen nur kleinere Scheiben auf größeren liegen.
- $n = 1$ Scheibe: fertig
- Wenn $n - 1$ Scheiben verschiebbar: schiebe $n - 1$ Scheiben auf Hilfsplatz, verschiebe die darunterliegende, hole $n - 1$ Scheiben von Hilfsplatz

```
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);
    }
}
```

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- 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 $\rightarrow \mathcal{O}(n^x)$

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

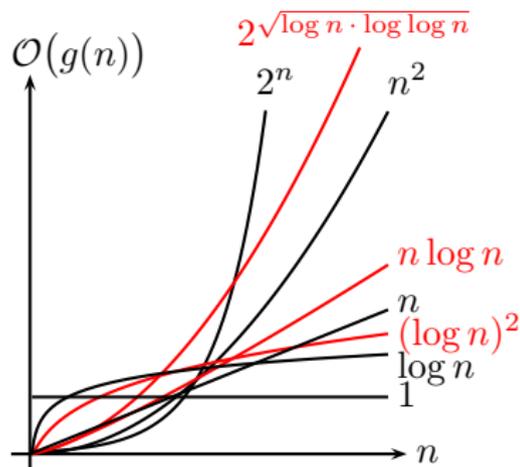
Ver- und Entschlüsselung (Exponentiation): $\mathcal{O}(n \log n)$,

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

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- Minimum an den Anfang tauschen, nächstes Minimum suchen
→ Selectionsort: $\mathcal{O}(n^2)$
- Während Minimumsuche prüfen und abbrechen, falls schon sortiert
→ Bubblesort



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

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

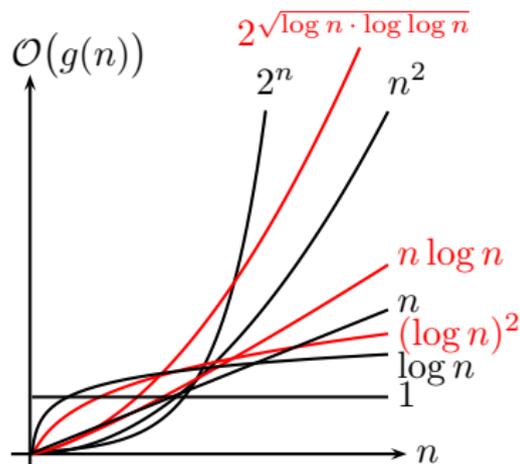
Ver- und Entschlüsselung (Exponentiation): $\mathcal{O}(n \log n)$,

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

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- 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 $\mathcal{O}(n^2)$



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

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

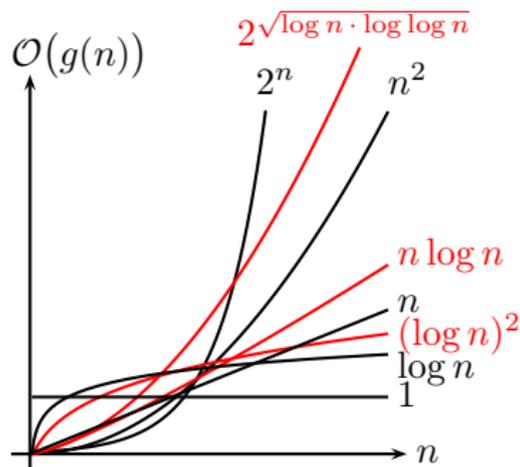
Ver- und Entschlüsselung (Exponentiation): $\mathcal{O}(n \log n)$,

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

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

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



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Faustregel:

Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

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

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

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

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- 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 $\mathcal{O}(n^2)$

Faustregel:

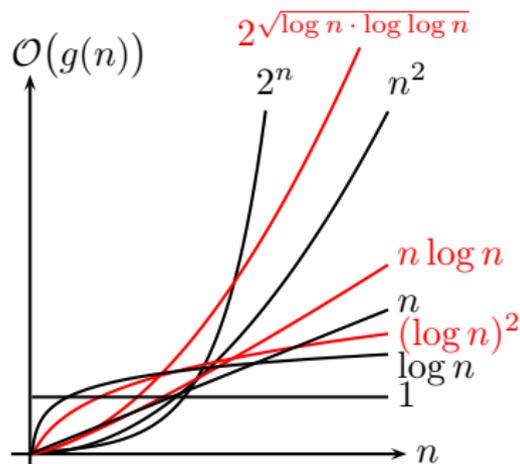
Schachtelung der Schleifen zählen

x Schleifen → $\mathcal{O}(n^x)$

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

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

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



n : Eingabedaten

$g(n)$: Rechenzeit

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
 - 4.1 Differentialgleichungen
 - 4.2 Rekursion
 - 4.3 Aufwandsabschätzungen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - ...
- 6 Objektorientierte Programmierung
- ...

5 Hardwarenahe Programmierung

5.1 Bit-Operationen

5.1.1 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)

5.1.1 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

5.1.2 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))`

5.1.2 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);
```

5.1.2 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);
```

d: dezimal, mit Vorzeichen

u: dezimal, ohne Vorzeichen

x: hexadezimal, ohne Vorzeichen



5.1.2 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:_%%" PRlu64 "\n", x);
```

d: dezimal, mit Vorzeichen

u: dezimal, ohne Vorzeichen

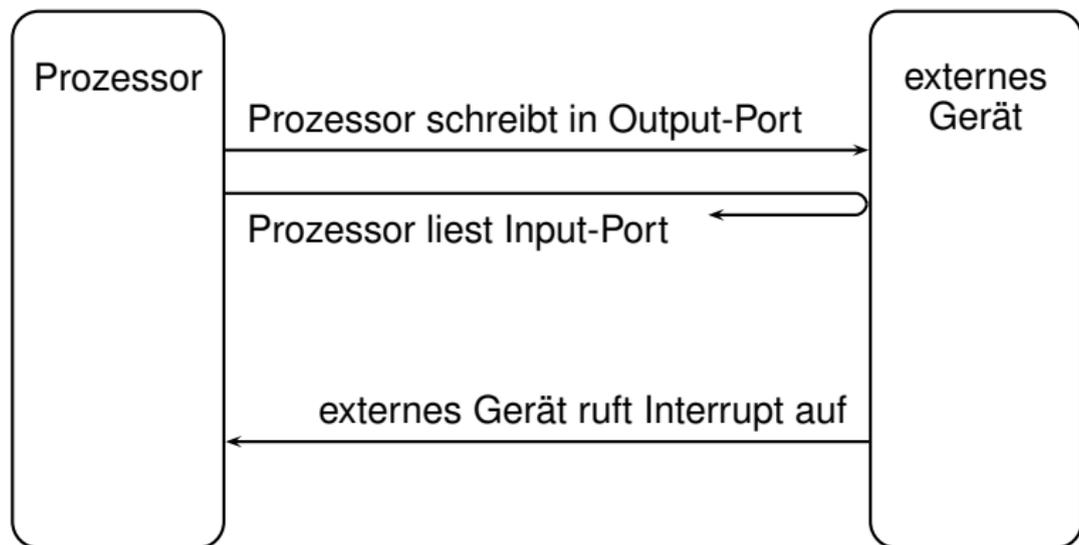
x: hexadezimal, ohne Vorzeichen

C-String-Konstante zusammenfügen
durch Hintereinanderschreiben

5.2 I/O-Ports

5.3 Interrupts

Kommunikation mit externen Geräten



5.2 I/O-Ports

In Output-Port schreiben = Aktoren ansteuern

Beispiel: LED

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

```
...
```

```
DDRD = 0x70;    binär: 0111 0000
```

```
PORTD = 0x40;   binär: 0100 0000
```

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

5.2 I/O-Ports

Programm `blink.c` compilieren:

```
$ avr-gcc -Wall -Os -c -mmcu=atmega328p blink.c \  
-o blink.elf
```

ausführbare Datei in Speicherabbild umwandeln:

```
$ avr-objcopy -O ihex blink.elf blink.hex
```

auf Mikro-Controller aufspielen („herunterladen“):

```
$ avrdude -P /dev/ttyACM0 -c arduino -p m16 \  
-U flash:w:blink.hex
```

5.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRD = 0xfd;           binär: 1111 1101
```

```
while ((PIND & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

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

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

5.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRD = 0xfd;           binär: 1111 1101
```

```
while ((PIND & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

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

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

5.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: Taster

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

```
...  
    „Dies ist ein Interrupt-Handler.“  
    Interrupt-Vektor 0 darauf zeigen lassen
```

```
ISR (INT0_vect)  
{  
    PORTD ^= 0x40;  
}
```

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

5.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: eingebaute Uhr

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

```
...
```

```
ISR (TIMER0_COMP_vect)
```

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

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `TCCR0`, `TIMSK`

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable
 - 5.5 Software-Interrupts
 - 5.6 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 5.7 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

5. Dezember 2016

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
 - 4.1 Differentialgleichungen
 - 4.2 Rekursion
 - 4.3 Aufwandsabschätzungen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable

...

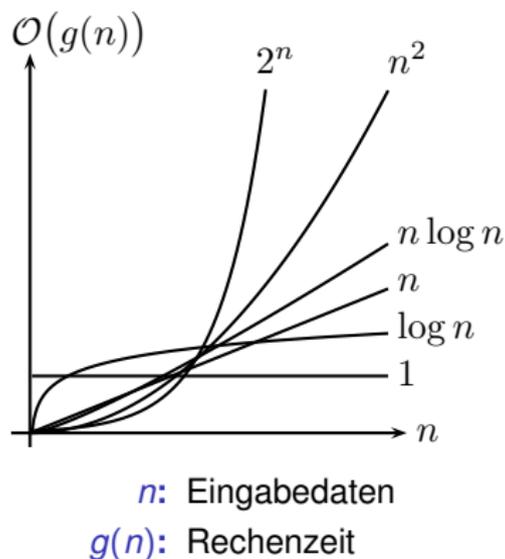
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

4.3 Aufwandsabschätzungen – Komplexitätsanalyse

Beispiel: Sortieralgorithmen

- Minimum suchen: $\mathcal{O}(n)$
- 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 $\mathcal{O}(n^2)$



5 Hardwarenahe Programmierung

5.1 Bit-Operationen

5.1.1 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)

5.1.1 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

5.1.2 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))`

5.1.2 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:_% " PRlu64 "\n", x);
```

d: dezimal, mit Vorzeichen

u: dezimal, ohne Vorzeichen

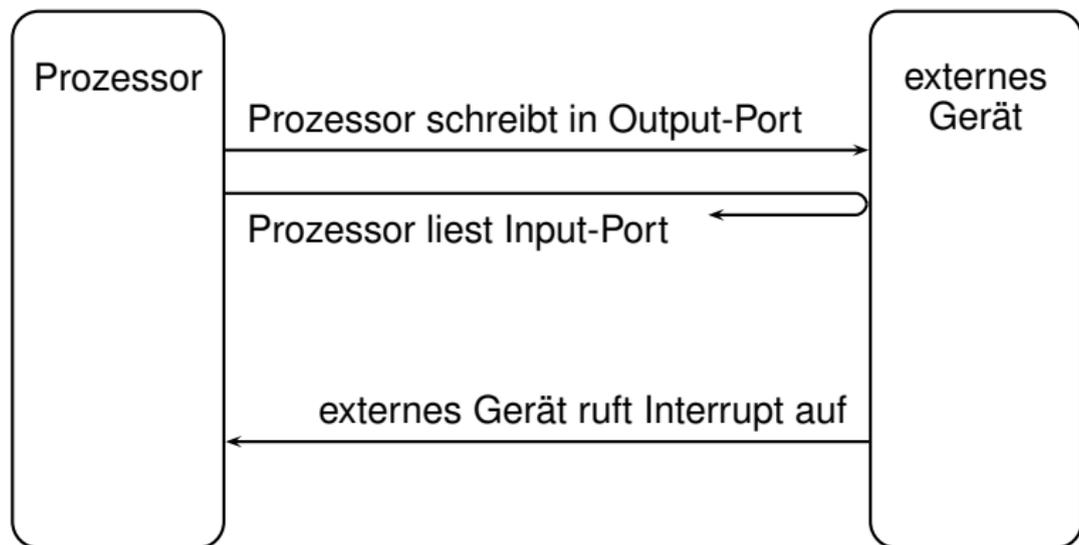
x: hexadezimal, ohne Vorzeichen

C-String-Konstante zusammenfügen
durch Hintereinanderschreiben

5.2 I/O-Ports

5.3 Interrupts

Kommunikation mit externen Geräten



5.2 I/O-Ports

In Output-Port schreiben = Aktoren ansteuern

Beispiel: LED

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

```
...
```

```
DDRD = 0x70;    binär: 0111 0000
```

```
PORTD = 0x40;   binär: 0100 0000
```

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

5.2 I/O-Ports

Programm `blink.c` compilieren:

```
$ avr-gcc -Wall -Os -c -mmcu=atmega328p blink.c \  
-o blink.elf
```

ausführbare Datei in Speicherabbild umwandeln:

```
$ avr-objcopy -O ihex blink.elf blink.hex
```

auf Mikro-Controller aufspielen („herunterladen“):

```
$ avrdude -P /dev/ttyACM0 -c arduino -p m16 \  
-U flash:w:blink.hex
```

5.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRD = 0xfd;           binär: 1111 1101
```

```
while ((PIND & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

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

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

5.2 I/O-Ports

Aus Input-Port lesen = Sensoren abfragen

Beispiel: Taster

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

```
...
```

```
DDRD = 0xfd;          binär: 1111 1101
```

```
while ((PIND & 0x02) == 0) binär: 0000 0010
```

```
    ; /* just wait */ ← Busy Waiting
```

Herstellerspezifisch!

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

Praktikumsaufgabe: Druckknopfampel

5.3 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;  
}
```

```
  PORTD ^= 0x40;
```

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `TCCR0B`, `TIMSK0`

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

5.3 Interrupts

Externes Gerät ruft (per Stromsignal) Unterprogramm auf
Zeiger hinterlegen: „Interrupt-Vektor“

Beispiel: eingebaute Uhr

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

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

„Dies ist ein Interrupt-Handler.“

Interrupt-Vektor darauf zeigen lassen

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

Herstellerspezifisch!

Initialisierung über spezielle Ports: `TCCR0B`, `TIMSK0`

Details: siehe Datenblatt und Schaltplan

5.3 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

5.4 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;
```

```
}
```

5.4 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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable
 - 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 5.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.
Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 Konzept

Eine Zahl geht über mehrere Speicherzellen.
Beispiel: 16-Bit-Zahl in 2 8-Bit-Speicherzellen

Welche Bits liegen wo?

$$1027 = 1024 + 2 + 1 = 0000\ 0100\ 0000\ 0011_2 = 0403_{16}$$

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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“

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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“

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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!**

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.2 Dateiformate

Audio-Formate: Reihenfolge der Bytes in 16- und 32-Bit-Zahlen

- RIFF-WAVE-Dateien (.wav): Little-Endian
- Au-Dateien (.au): Big-Endian

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.2 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.2 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.2 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.3 Datenübertragung

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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.3 Datenübertragung

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

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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable
 - 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 5.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

12. Dezember 2016

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable
 - 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 5.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

5.1 Bit-Operationen

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen: $a |= 1 \ll 3;$ $a |= 0x08;$
Bit Nr. 4 auf 0 setzen: $a \&= \sim(1 \ll 4);$ $a \&= \sim 0x10;$
Bit Nr. 0 invertieren: $a \wedge= 1 \ll 0;$ $a \wedge= 0x01;$

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

5.4 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;
```

```
}
```

5.4 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



5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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!**

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.1 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.2 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

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.5.3 Datenübertragung

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

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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable
 - 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 5.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

5.6 Speicherausrichtung – Alignment

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

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

5.6 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

5.6 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

5.6 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

5.6 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;
```

5.6 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;
```

5.6 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

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
 - 5.1 Bit-Operationen
 - 5.2 I/O-Ports
 - 5.3 Interrupts
 - 5.4 volatile-Variable
 - 5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness
 - 5.6 Speicherausrichtung – Alignment
- 6 Objektorientierte Programmierung

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 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 Einführung in C++

...

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

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)

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

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*

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

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 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 Einführung in C++

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

19. Dezember 2016

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

4 Algorithmen

5 Hardwarenahe Programmierung

...

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.6 Speicherausrichtung – Alignment

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

6.1 Konzepte und Ziele

6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben

6.3 Unions

6.4 Beispiel: graphische Benutzeroberfläche (GUI)

6.5 Einführung in C++

...

5.1 Bit-Operationen

Numerierung der Bits: von rechts ab 0

Bit Nr. 3 auf 1 setzen: $a |= 1 \ll 3;$ $a |= 0x08;$
Bit Nr. 4 auf 0 setzen: $a \&= \sim(1 \ll 4);$ $a \&= \sim 0x10;$
Bit Nr. 0 invertieren: $a \wedge= 1 \ll 0;$ $a \wedge= 0x01;$

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

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→ $127 + 1 = -128$

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

16-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint16_t`

→ Zahlenwerte von `0x0000` bis `0xffff` = 0 bis 65535

→ $65535 + 1 = 0$

`uint8_t`

0 bis 255

$255 + 1 = 0$

16-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int16_t`

`0xffff` = 65535 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

`int8_t`

`0xff` = 255 = -1

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→ $32767 + 1 = -32768$

Literatur: <http://xkcd.com/571/>

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt `0x90a3`?

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt `0x90a3`?

Antwort: Das kommt darauf an. ;-)

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt `0x90a3`?

Antwort: Das kommt darauf an. ;-)

als <code>int8_t</code> :	-93	(nur unteres Byte, Little-Endian)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur unteres Byte, Little-Endian)
als <code>int16_t</code> :	-28509	
als <code>uint16_t</code> :	37027	
<code>int32_t</code> oder größer:	37027	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

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**: Dateiformate, Datenübertragung

5.6 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

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

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)

→ nächstes Jahr

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

typedef struct

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

typedef struct

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

typedef struct

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

typedef union

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

6.3 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

typedef union

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

6.3 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

typedef union

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

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 Objektorientierte Programmierung

6.4 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;  
}
```



Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

1 Einführung

2 Einführung in C

3 Bibliotheken

4 Algorithmen

5 Hardwarenahe Programmierung

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

5.5 Byte-Reihenfolge – Endianness

5.6 Speicherausrichtung – Alignment

6 Objektorientierte Programmierung

6.0 Dynamische Speicherverwaltung

6.1 Konzepte und Ziele

6.2 Beispiel: Zahlen und Buchstaben

6.3 Unions

6.4 Beispiel: graphische Benutzeroberfläche (GUI)

6.5 Einführung in C++

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

SPECIAL

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

2. Januar 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

SPECIAL

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

U.2 Lizenzmodelle

U.3 Beispiel-Lizenzen

U.4 Fazit

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

X.2 Puffer-Überläufe

X.3 Return-Oriented Programming

X.4 Fazit

U Software und Urheberrecht

U.0 Vorab: Dies ist keine Rechtsdienstleistung!

§ 2 RDG: Begriff der Rechtsdienstleistung

(1) Rechtsdienstleistung ist jede Tätigkeit in **konkreten** fremden Angelegenheiten, sobald sie eine rechtliche Prüfung des **Einzelfalls** erfordert.

Quelle: <http://www.gesetze-im-internet.de/rdg/>

Konkreter Fall:

- Konkretes Programm unter Lizenz A
- Konkrete Bibliothek unter Lizenz B
- Beratung: Paßt das zusammen?

→ Rechtsdienstleistung

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

- Grundlage: Urheberrecht (\approx Copyright)
„Wer Software schreibt, entscheidet, was damit geschehen darf.“
- anderen etwas erlauben: Lizenz
- „gar keine Lizenz“ = alles verboten



U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

- Grundlage: Urheberrecht (\approx Copyright)
„Wer Software schreibt, entscheidet, was damit geschehen darf.“
- anderen etwas erlauben: Lizenz
- „gar keine Lizenz“ = alles verboten



Lizenzmodelle

kommerziell

nichtkommerziell

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

- Grundlage: Urheberrecht (\approx Copyright)
„Wer Software schreibt, entscheidet, was damit geschehen darf.“
- anderen etwas erlauben: Lizenz
- „gar keine Lizenz“ = alles verboten



Lizenzmodelle

	proprietär	frei
kommerziell		
nichtkommerziell		

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

- Grundlage: Urheberrecht (\approx Copyright)
„Wer Software schreibt, entscheidet, was damit geschehen darf.“
- anderen etwas erlauben: Lizenz
- „gar keine Lizenz“ = alles verboten



Lizenzmodelle	proprietär	frei	
		freizügig	Copyleft
kommerziell			
nichtkommerziell			

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

- Grundlage: Urheberrecht (\approx Copyright)
„Wer Software schreibt, entscheidet, was damit geschehen darf.“
- anderen etwas erlauben: Lizenz
- „gar keine Lizenz“ = alles verboten



Lizenzmodelle	proprietär	frei	
		freizügig	Copyleft
kommerziell			
nichtkommerziell			

U Software und Urheberrecht

U.2 Lizenzmodelle

- Freie Software darf man
 0. benutzen,
 1. studieren und anpassen,
 2. weitergeben,
 3. weiterentwickeln und veröffentlichen.

← Quelltext erforderlich!

4 Grundfreiheiten – <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw>



U Software und Urheberrecht

U.2 Lizenzmodelle

- Freie Software darf man
 0. benutzen,
 1. studieren und anpassen,
 2. weitergeben,
 3. weiterentwickeln und veröffentlichen.

4 Grundfreiheiten – <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw>

- Open Source: i. w. dasselbe in 10 Kriterien
Motivation: technisch statt philosophisch

Definition: <http://www.opensource.org/docs/osd>



← Quelltext erforderlich!



U Software und Urheberrecht

U.2 Lizenzmodelle

- Freie Software
 - Copyleft:
Weitergabe nur unter **gleichen Bedingungen** erlaubt
—> Umwandlung in proprietäre Software nicht erlaubt
 - freizügig:
Weitergabe auch unter anderen Bedingungen erlaubt
—> **Umwandlung** in Copyleft- oder proprietäre Software erlaubt
 - Teil-Copyleft:
Linken mit proprietärer Software erlaubt

U Software und Urheberrecht

U.2 Lizenzmodelle

- Proprietäre Software / Closed Source
Gegenteil von freier Software / Open Source
 - Benutzen, Weitergeben und/oder Veröffentlichen erfordert individuelle Erlaubnis des Rechteinhabers
 - Studieren, Anpassen und/oder Weiterentwickeln nur dem Rechteinhaber erlaubt **und/oder möglich (Quelltext erforderlich!)**

U Software und Urheberrecht

U.3 Beispiel-Lizenzen

Generell: Gewährleistungsausschluß

Freie Software / Open Source

- strenges Copyleft: GNU GPL, GNU FDL, CC BY-SA
- Teil-Copyleft: GNU LGPL, Mozilla-Lizenz, Microsoft Public License
- freizügig: Modifizierte BSD-Lizenz, Apache-Lizenz, CC BY, CC0, Public Domain

<http://www.gnu.org/licenses/license-list>

U Software und Urheberrecht

U.3 Beispiel-Lizenzen

Generell: Gewährleistungsausschluß

Proprietäre Software

- Lizenz i. d. R. für jedes Programm anders

U Software und Urheberrecht

U.3 Beispiel-Lizenzen

Generell: Gewährleistungsausschluß

Proprietäre Software

- Lizenz i. d. R. für jedes Programm anders
- „Normales“ Beispiel (Dezember 2016):
Adobe Personal Computer Software License Agreement
<http://get.adobe.com/reader/otherversions>

U Software und Urheberrecht

U.3 Beispiel-Lizenzen

Generell: Gewährleistungsausschluß

Proprietäre Software

- Lizenz i. d. R. für jedes Programm anders
- „Normales“ Beispiel (Dezember 2016):
Adobe Personal Computer Software License Agreement
<http://get.adobe.com/reader/otherversions>

Verwenden nur auf PCs erlaubt

Weitergeben nicht erlaubt

Screenshots nicht erlaubt

U Software und Urheberrecht

U.3 Beispiel-Lizenzen

Generell: Gewährleistungsausschluß

Proprietäre Software

- Lizenz i. d. R. für jedes Programm anders
- „Normales“ Beispiel (Dezember 2016):
Adobe Personal Computer Software License Agreement
<http://get.adobe.com/reader/otherversions>

Verwenden nur auf PCs erlaubt

Weitergeben nicht erlaubt

Screenshots nicht erlaubt

Die Software darf jederzeit mit Adobe und Dritten kommunizieren,
zusätzliche Software installieren und Befehle von außen ausführen.

U Software und Urheberrecht

U.4 Fazit

- Generell: Vor Benutzung Lizenz lesen, durch Anwalt prüfen lassen
- „gar keine Lizenz“ = alles verboten

Bearbeitung, Weitergabe und Mitverwendung

- nicht erlaubt oder nicht möglich → proprietäre Software / Closed Source
- erlaubt → freie Software / Open Source
 - bei Mitverwendung Lizenz übernehmen → Copyleft
 - Lizenz umwandelbar → freizügig
- davon unabhängig: kommerziell / nichtkommerziell

Lizenz für Material zu dieser Lehrveranstaltung

- Vortragsfolien, Skript usw.: Copyleft
- Beispiel-Programme: freizügig

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

SPECIAL

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

U.2 Lizenzmodelle

U.3 Beispiel-Lizenzen

U.4 Fazit

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

X.2 Puffer-Überläufe

X.3 Return-Oriented Programming

X.4 Fazit

X Exploits

X.0 Vorab: Dies ist keine Einladung, anderer Leute Systeme anzugreifen!

Ziel dieser Lehrveranstaltung ist es, die Methoden der Angreifer zu **verstehen**, um sich und andere dagegen **schützen** zu können, nicht hingegen, dieselben Methoden gegen Dritte einzusetzen.

https://de.wikipedia.org/wiki/Informationssicherheit#Strafrechtliche_Aspekte:

Jegliches rechtswidrige Verändern, Löschen, Unterdrücken oder Unbrauchbar-Machen fremder Daten erfüllt den Tatbestand nach § 303a StGB (Datenveränderung). In besonders schweren Fällen ist dies auch nach § 303b I Nr. 1 StGB („Computersabotage“) strafbar und wird mit Haftstrafe von bis zu fünf Jahren oder Geldstrafe bestraft. [...]

Das Ausspähen von Daten (§ 202a StGB), also die Erlangung des Zugangs zu fremden Daten, die hiergegen besonders geschützt sind, wird mit Haftstrafe bis zu drei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft. [...]

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

- falsche Benutzung von `printf()`:
`printf (buffer);` statt `printf ("%s", buffer);`
 - *Formatstring-Angriff*
 - Auslesen des CPU-Stacks

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

- falsche Benutzung von `printf()`:
`printf ("Your_name,please:");`
`gets (name_buffer);`
`printf ("Hello,");`
`printf (name_buffer);`
`printf ("!\n");`

```
$ ./server-0
Your name, please: %016llx %016llx %016llx %016llx
                    %016llx %016llx %016llx %016llx
Hello, 0000000004007c7 00007fdb2ced2df0 0000000004007c7
        00007fdb2d0f3007 20786c6c36313025 6373316870216948
        00007fdb2cbd0068 0000007265746570!
Your password, please:
```

← **geheime Daten** →

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

- falsche Benutzung von `printf()`:
`printf (buffer);` statt `printf ("%s", buffer);`
→ *Formatstring-Angriff*
→ Auslesen des CPU-Stacks
- fehlende Prüfung auf Sonderzeichen beim Verarbeiten von Daten
(z. B. *SQL Injection* – siehe <http://xkcd.com/327/>)
→ Einschleusen von Befehlen an Programme
- *Puffer-Überlauf (Buffer Overflow)* beim Einlesen von Daten
(z. B. mit `gets()`)
→ Überschreiben der Rücksprungadresse
→ Einschleusen von eigenem Code

X Exploits

X.2 Puffer-Überläufe

Schadcode in Eingabe schreiben

Rücksprungadresse überschreiben, zum Schadcode springen

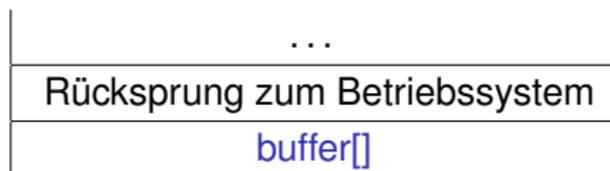
```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
    char buffer[20];  
    printf ("Your name, please: ");  
    gets (buffer);  
    printf ("Hello, %s!\n", buffer);  
    return 0;  
}
```

CPU-Stack

vor Aufruf von `gets()`



X Exploits

X.2 Puffer-Überläufe

Schadcode in Eingabe schreiben

Rücksprungadresse überschreiben, zum Schadcode springen

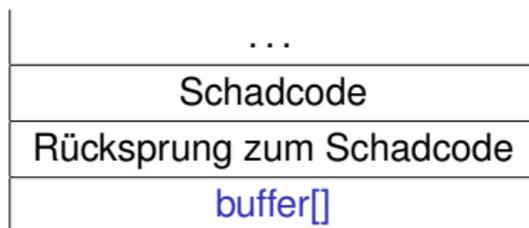
```
#include <stdio.h>
```

```
int main (void)
```

```
{  
  char buffer[20];  
  printf ("Your_name,please:_");  
  gets (buffer);  
  printf ("Hello,_%s!\n", buffer);  
  return 0;  
}
```

CPU-Stack

nach Aufruf von `gets()`



X Exploits

X.3 Return-Oriented Programming

Schadcode aus Fragmenten des Programms (*Gadgets*) zusammensetzen
Rücksprungadresse überschreiben, zu den Gadgets springen

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

```
int main (void)
```

```
{  
    char buffer[20];  
    printf ("Your_name,please:_");  
    gets (buffer);  
    printf ("Hello,_%s!\n", buffer);  
    return 0;  
}
```

CPU-Stack

nach Aufruf von `gets()`

...
Rücksprung zu Gadget 4
Rücksprung zu Gadget 3
Rücksprung zu Gadget 2
Rücksprung zu Gadget 1
buffer[]

X Exploits

X.4 Fazit

Sauber programmieren!

- **Niemals Eingabedaten ungeprüft verwenden!**
(z. B. als ersten Parameter von `printf()`
oder als Bestandteil von SQL-Befehlen)
- **Niemals Pufferüberläufe ermöglichen!**
(z. B. durch Verwendung von `gets()`)

X Exploits

X.4 Fazit

Sauber programmieren!

- **Niemals Eingabedaten ungeprüft verwenden!**
(z. B. als ersten Parameter von `printf()`
oder als Bestandteil von SQL-Befehlen)
- **Niemals Pufferüberläufe ermöglichen!**
(z. B. durch Verwendung von `gets()`)
- **Niemals die Systeme anderer Menschen angreifen!**
Computer-Angriffe sind Straftaten.

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

SPECIAL

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

U.2 Lizenzmodelle

U.3 Beispiel-Lizenzen

U.4 Fazit

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

X.2 Puffer-Überläufe

X.3 Return-Oriented Programming

X.4 Fazit

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

SPECIAL

U Software und Urheberrecht

U.1 Überblick

U.2 Lizenzmodelle

U.3 Beispiel-Lizenzen

U.4 Fazit

X Exploits

X.1 Einfache Angriffe

X.2 Puffer-Überläufe

X.3 Return-Oriented Programming

X.4 Fazit

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

9. Januar 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

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

...

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

8-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint8_t`

→ Zahlenwerte von `0x00` bis `0xff` = 0 bis 255

→ $255 + 1 = 0$

8-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int8_t`

`0xff` = 255 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→ $127 + 1 = -128$

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Speicher ist begrenzt!

→ feste Anzahl von Bits

16-Bit-Zahlen ohne Vorzeichen: `uint16_t`

→ Zahlenwerte von `0x0000` bis `0xffff` = 0 bis 65535

→ $65535 + 1 = 0$

`uint8_t`

0 bis 255

$255 + 1 = 0$

16-Bit-Zahlen mit Vorzeichen: `int16_t`

`0xffff` = 65535 ist die „natürliche“ Schreibweise für -1 .

→ Zweierkomplement

`int8_t`

`0xff` = 255 = -1

Oberstes Bit = 1: negativ

Oberstes Bit = 0: positiv

→ $32767 + 1 = -32768$

Literatur: <http://xkcd.com/571/>

5.4^{1/2} Binärdarstellung von Zahlen

Frage: Für welche Zahl steht der Speicherinhalt `0x90a3`?

Antwort: Das kommt darauf an. ;-)

als <code>int8_t</code> :	-93	(nur unteres Byte, Little-Endian)
als <code>uint8_t</code> :	163	(nur unteres Byte, Little-Endian)
als <code>int16_t</code> :	-28509	
als <code>uint16_t</code> :	37027	
<code>int32_t</code> oder größer:	37027	(zusätzliche Bytes mit Nullen aufgefüllt)

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

typedef struct

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

typedef struct

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

typedef struct

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

typedef union

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

6.3 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

typedef union

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

6.3 Unions

Variable teilen sich denselben Speicherplatz.

typedef union

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

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);
```

6.4 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**

6.5 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
- Konstruktor initialisiert diesen Zeiger
- Aufruf: „automatisch“ die richtige Funktion
- in größeren Projekten:
Objekt enthält Zeiger auf Tabelle von Funktionen

6 Objektorientierte Programmierung

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 Objektorientierte Programmierung

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

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

...

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 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Im letzten Praktikumsversuch:

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

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Im letzten Praktikumsversuch:

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

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

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
anfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

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 anfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

Auch möglich:

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

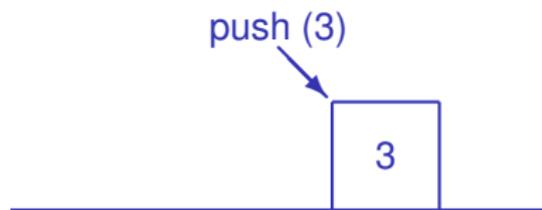
→ FIFO

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

7 Datenstrukturen

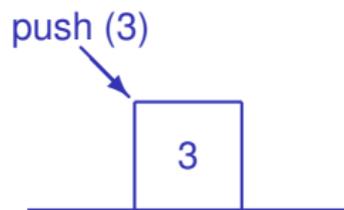
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

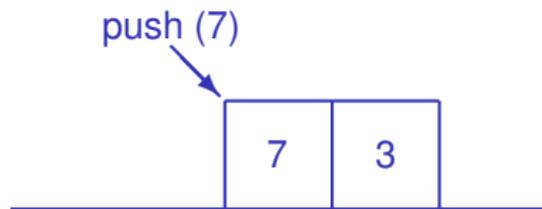


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

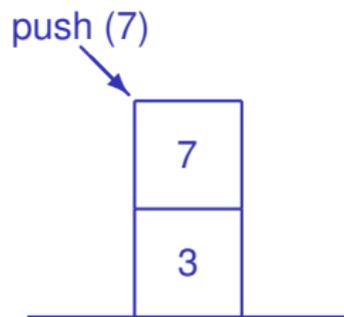
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

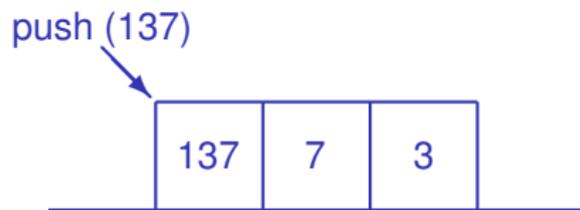


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

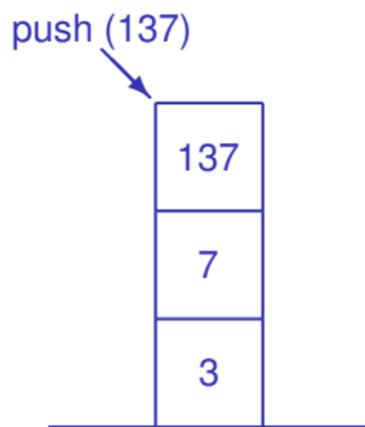
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

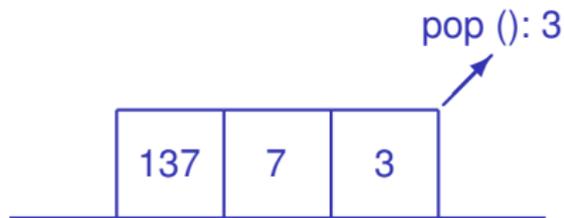


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

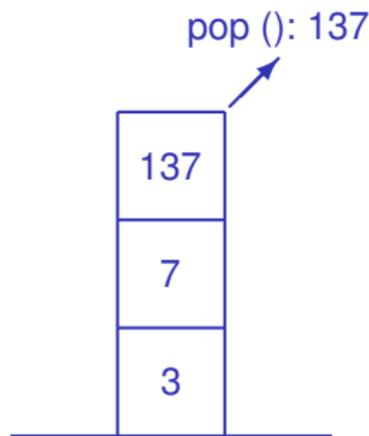
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

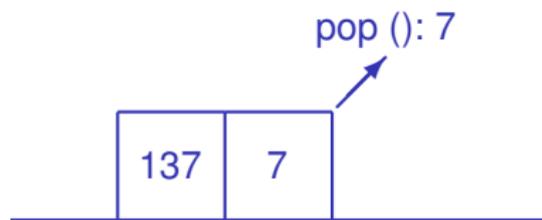


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

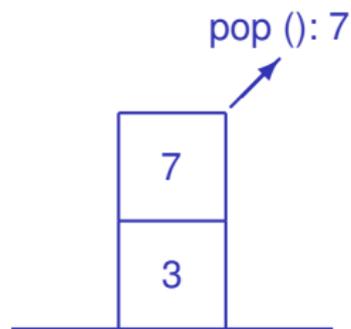
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

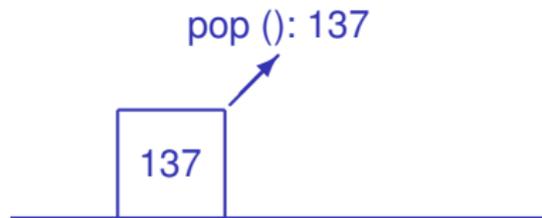


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

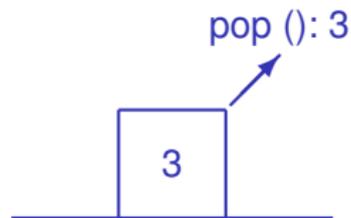
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“



LIFO = Stack = Stapel

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

...

...

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

Prof. Dr. rer. nat. Peter Gerwinski

16. Januar 2017

Angewandte Informatik

Hardwarenahe Programmierung

- 1 Einführung
- 2 Einführung in C
- 3 Bibliotheken
- 4 Algorithmen
- 5 Hardwarenahe Programmierung
- 6 Objektorientierte Programmierung
 - ...
 - 6.5 Virtuelle Methoden
 - 6.6 Einführung in C++
- 7 Datenstrukturen
 - 7.1 Stack und FIFO
 - ...

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

6 Objektorientierte Programmierung

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 Objektorientierte Programmierung

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;  
};
```

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 anfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

Auch möglich:

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

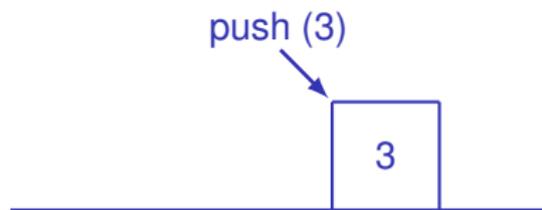
→ FIFO

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

7 Datenstrukturen

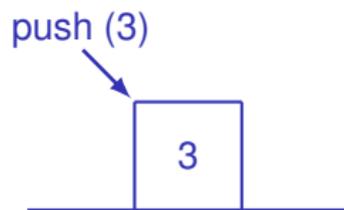
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

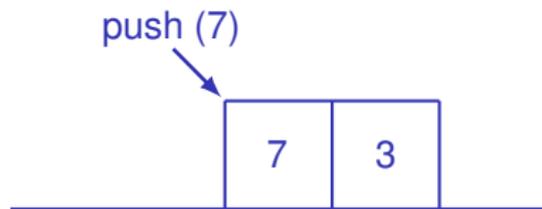


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

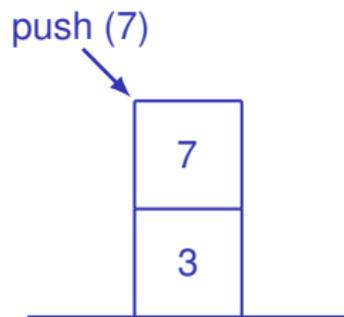
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

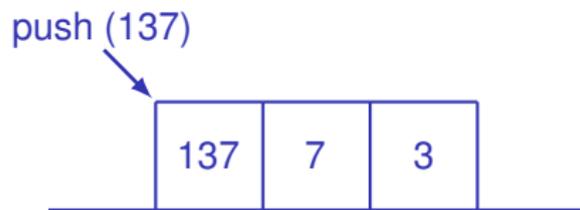


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

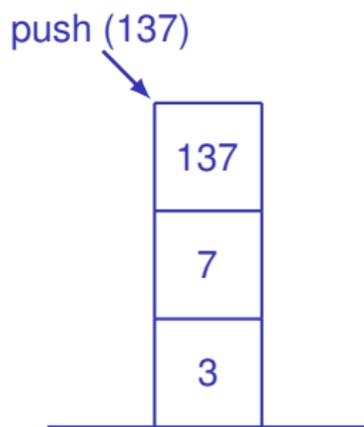
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“



LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

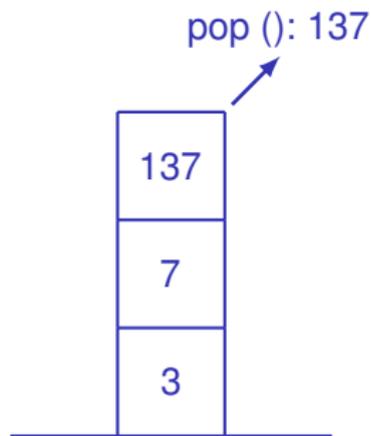
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

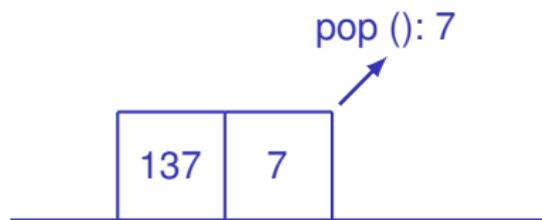


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

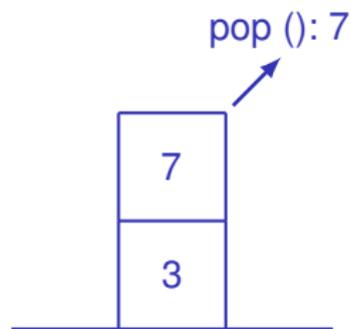
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

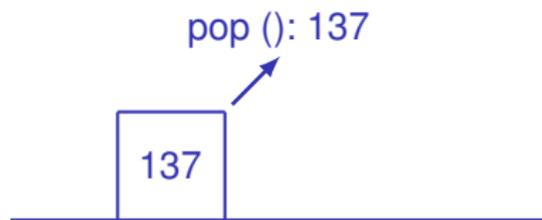


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

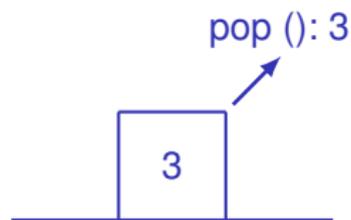
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

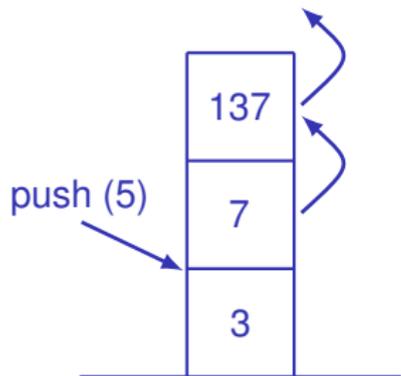


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

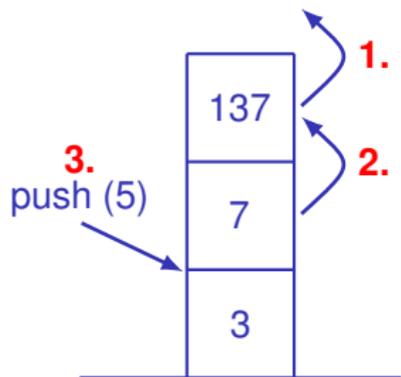
Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen



7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

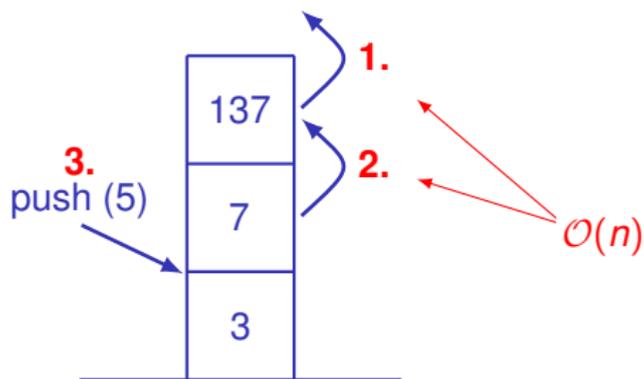
Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen



7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

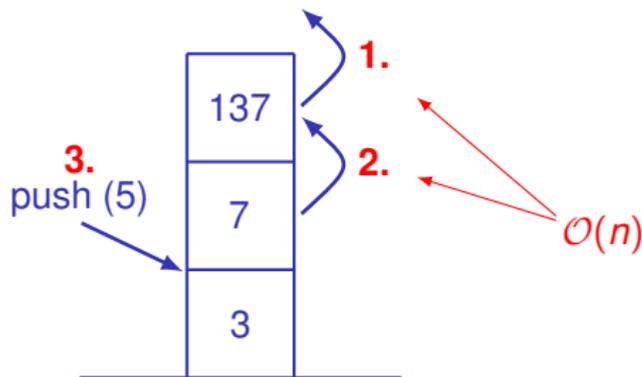
Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen



7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen

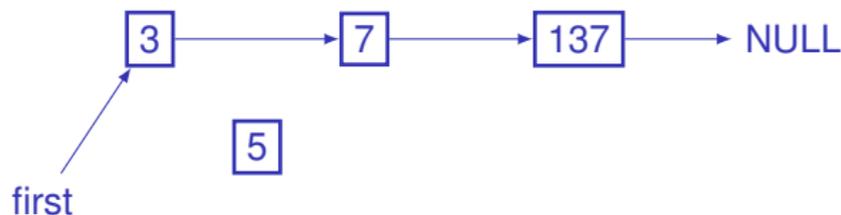


In Array (Stack, FIFO) ...

- 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

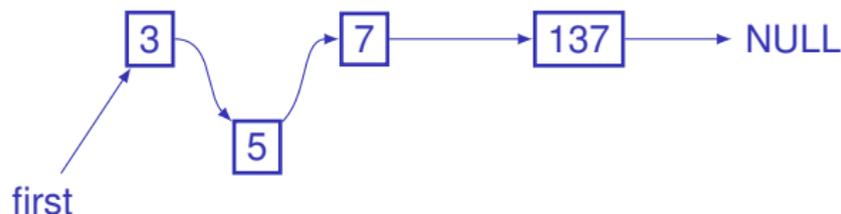


- Jeder Datensatz enthält einen Zeiger auf das nächste Element.
- Beim letzten Element zeigt der Zeiger auf **NULL**.
- Eine Variable zeigt auf das erste Element.
- Wenn die Liste leer ist, zeigt die Variable auf **NULL**.

→ (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) ...

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

In (einfach) verkettete/r Liste ...

- einfügen: $\mathcal{O}(1)$
- 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) ...

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

In (einfach) verkettete/r Liste ...

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

In (ausbalancierten) Bäumen ...

- einfügen: $\mathcal{O}(\log n)$
- 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

23. Januar 2017

Angewandte Informatik

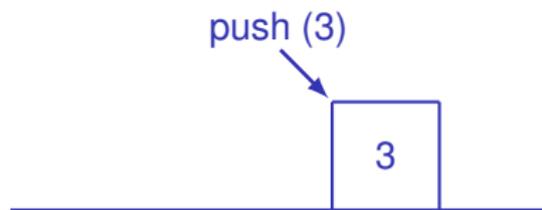
Hardwarenahe Programmierung

- 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

7 Datenstrukturen

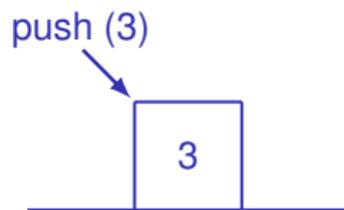
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

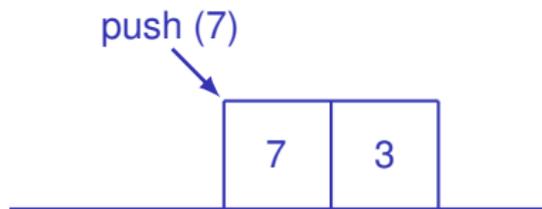


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

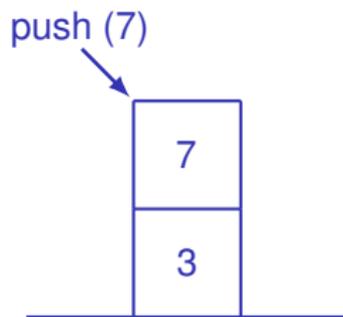
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“



LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

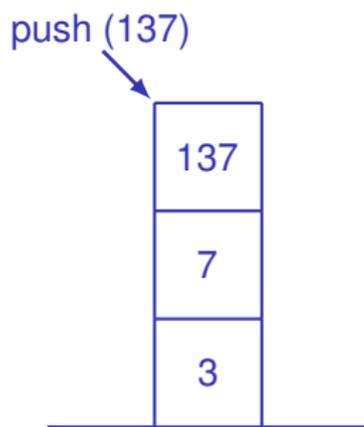
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“



LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

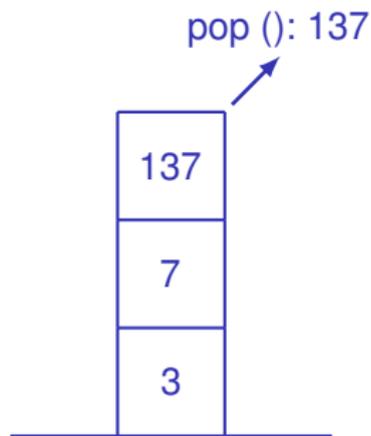
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

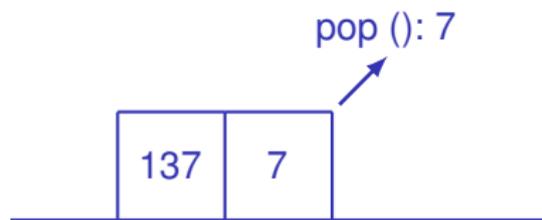


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

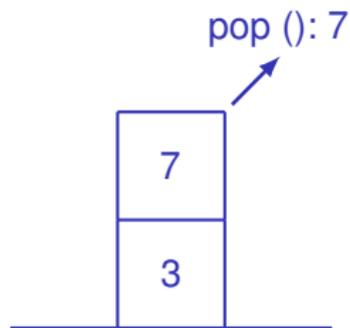
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“

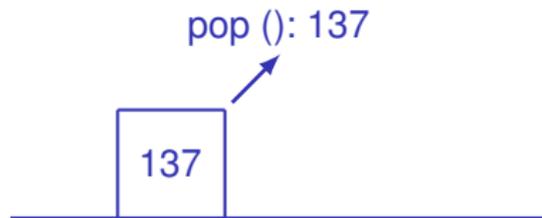


LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

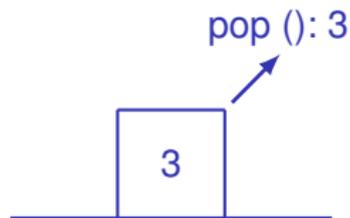
7.1 Stack und FIFO

„First In – First Out“



FIFO = Queue = Reihe

„Last In – First Out“



LIFO = Stack = Stapel

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

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 anfügen/entfernen: $\mathcal{O}(n)$

Auch möglich:

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

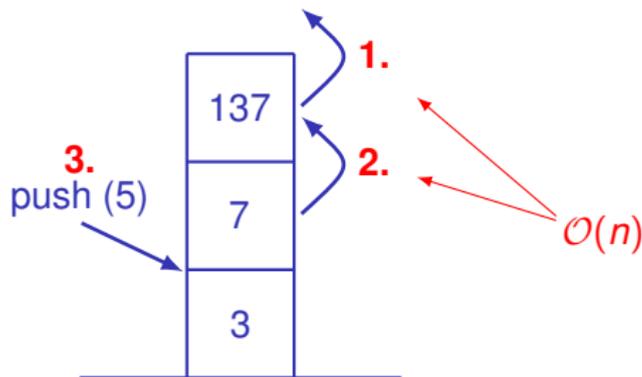
→ FIFO

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

7 Datenstrukturen

7.1 Stack und FIFO

Array (Stack, FIFO):
in der Mitte einfügen

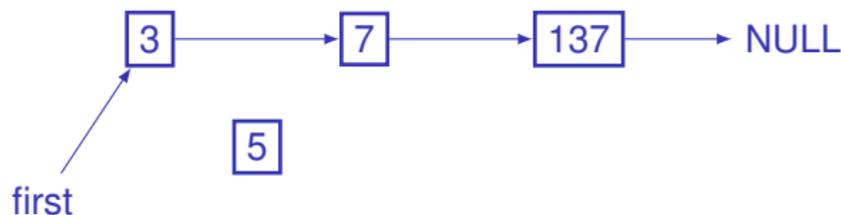


In Array (Stack, FIFO) ...

- 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

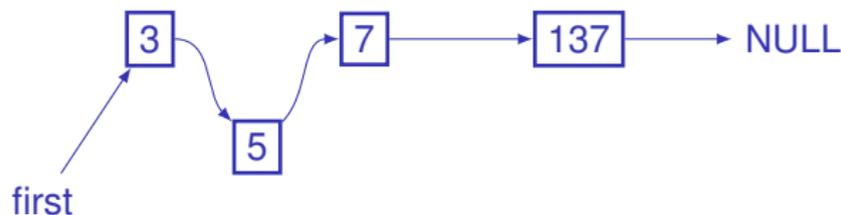


- Jeder Datensatz enthält einen Zeiger auf das nächste Element.
- Beim letzten Element zeigt der Zeiger auf **NULL**.
- Eine Variable zeigt auf das erste Element.
- Wenn die Liste leer ist, zeigt die Variable auf **NULL**.

→ (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) ...

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

In (einfach) verkettete/r Liste ...

- einfügen: $\mathcal{O}(1)$
- 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) ...

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

In (einfach) verkettete/r Liste ...

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

In (ausbalancierten) Bäumen ...

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

7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

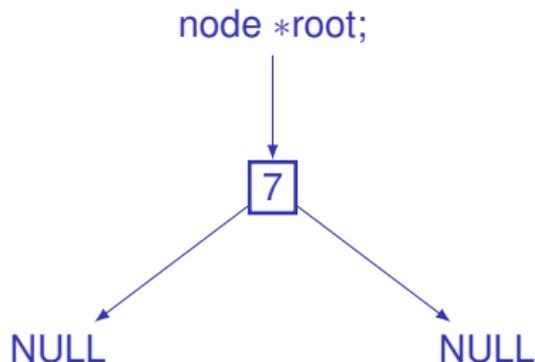
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```

```
node *root;
```

7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

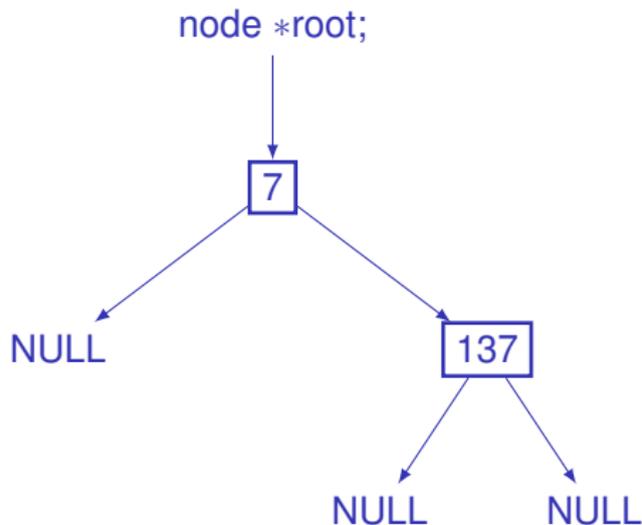
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

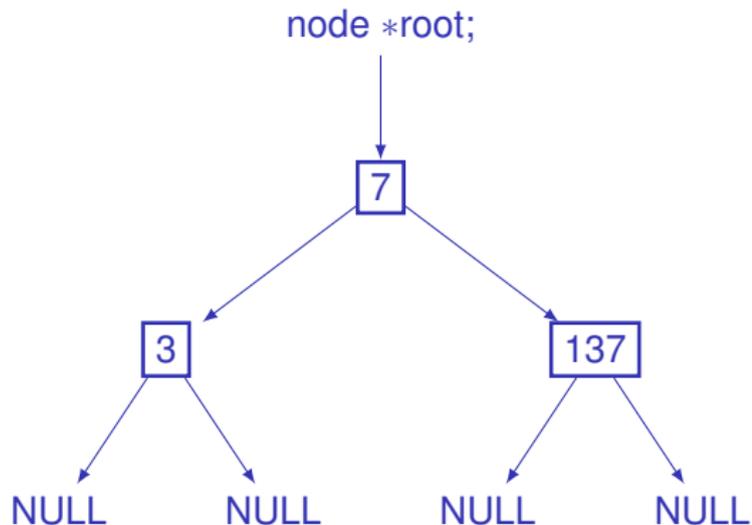
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

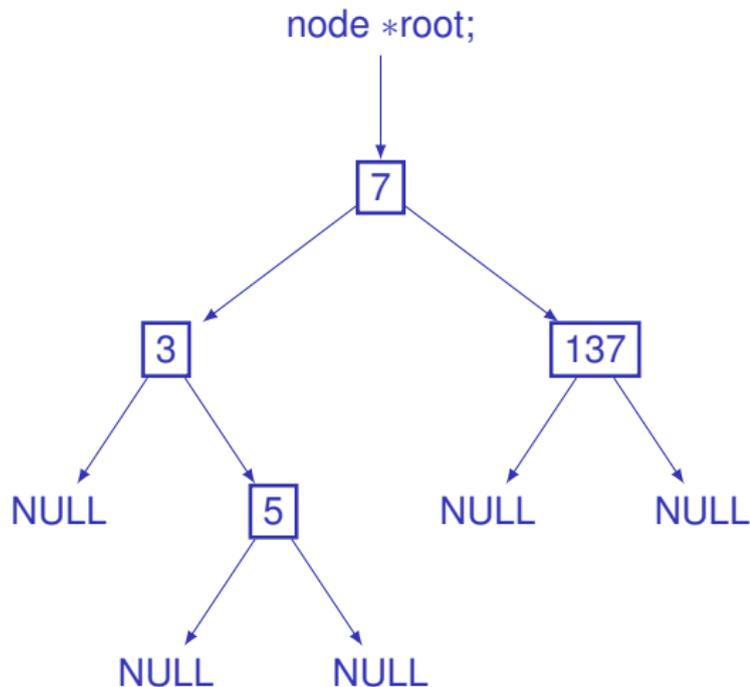
```
typedef struct node  
{  
    int content;  
    struct node *left, *right;  
} node;
```



7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

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

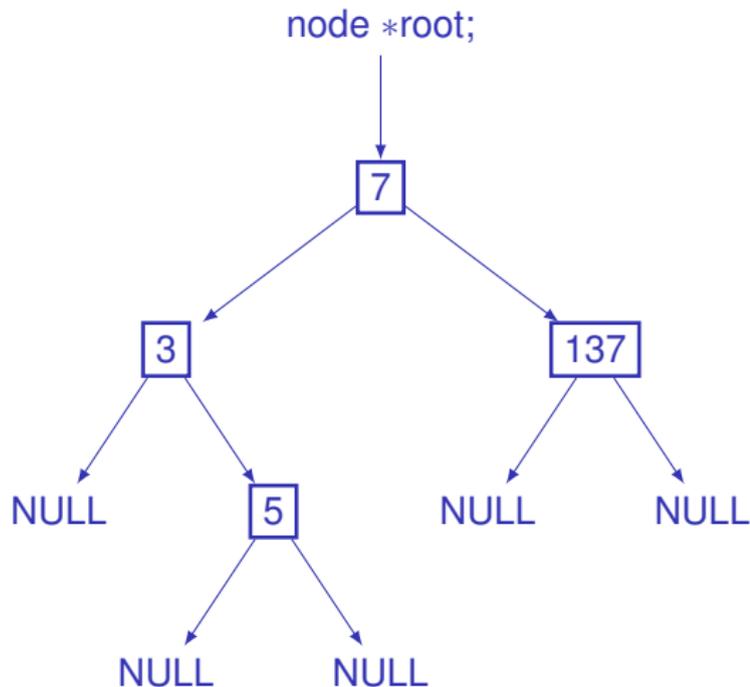


7 Datenstrukturen

7.3 Bäume

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

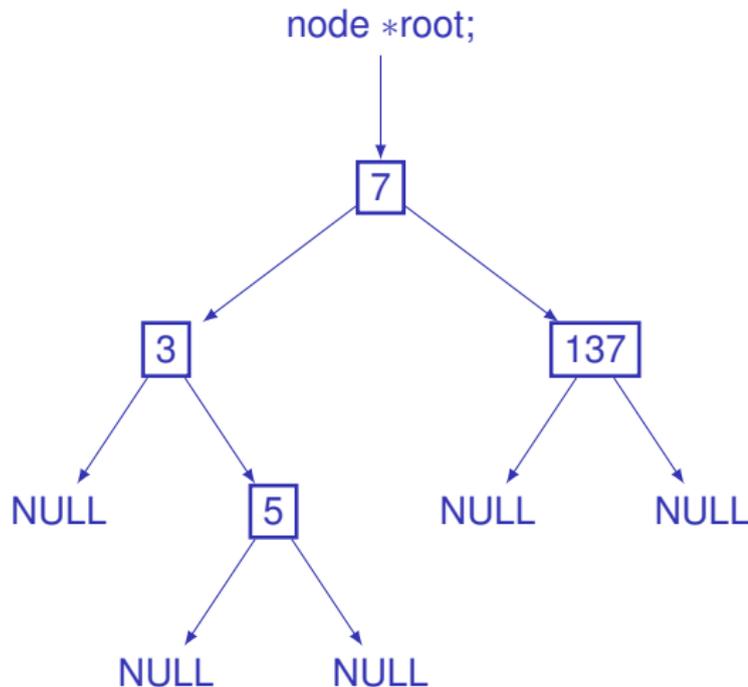
- Einfügen: rekursiv, $\mathcal{O}(\log n)$
- Suchen: rekursiv, $\mathcal{O}(\log n)$
- beim Einfügen sortieren:
rekursiv, $\mathcal{O}(n \log n)$



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

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