Übungen zu Betriebssysteme

Einführung in die Programmiersprache C

Sommersemester 2023

Henriette Hofmeier, Manuel Vögele, Benedict Herzog, Timo Hönig

Bochum Operating Systems and System Software Group (BOSS)

Faculty of Computer Science

RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

Agenda

Die Programmiersprache C

Was ist C?

- C ist alt (1970er)
- C ist stabil (Versionen: C89, C99, C11/C18)
- C ist eine hardwarenahe Hochsprache
- C ist imperativ und prozedural
- C ist typisiert aber nicht typsicher
- C schützt den Programmierer nicht
  - → manuelle Speicherverwaltung
  - → keine Checks auf Programmierfehler
  - → keine Checks der Speicherzugriffe

Die Programmiersprache C

Was ist C?

- C ist alt (1970er)
- C ist stabil (Versionen: C89, C99, C11/C18)
- C ist eine hardwarenahe Hochsprache
- C ist imperativ und prozedural
- C ist typisiert aber nicht typsicher
- C schützt den Programmierer nicht
  - → manuelle Speicherverwaltung
  - → keine Checks auf Programmierfehler
  - → keine Checks der Speicherzugriffe

Warum C?

- Laufzeiteffizienz
- Platzeffizienz
- Systemnähe
- Portabilität

Die Programmiersprache C

Was ist C?

- C ist alt (1970er)
- C ist stabil (Versionen: C89, C99, C11/C18)
- C ist eine hardwarenahe Hochsprache
- C ist imperativ und prozedural
- C ist typisiert aber nicht typsicher
- C schützt den Programmierer nicht
  - → manuelle Speicherverwaltung
  - → keine Checks auf Programmierfehler
  - → keine Checks der Speicherzugriffe

Warum C?

- Laufzeiteffizienz
- Platzeffizienz
- Systemnähe
- Portabilität

Warum kein C?

- Fehleranfälligkeit
- Umständlichkeit
- *Alte* Programmiersprachenkonzepte

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

void greet_user(void) {
  printf("Hello World!\n");
}


int main(int argc, char *argv[]) {
  greet_user();
  return 0;
}
```

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

void greet_user(void) {
  printf("Hello World!\n");
}

int main(int argc, char *argv[]) {
  greet_user();
  return 0;
}
```

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

void greet_user(void) {
  printf("Hello World!\n");
}


int main(int argc, char *argv[]) {
  greet_user();
  return 0;
}
```

Funktions**definition**

Funktions**aufruf**

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

void greet_user(void) {
  printf("Hello World!\n");
}


int main(int argc, char *argv[]) {
  greet_user();
  return 0;
}
```

C Library (`libc`) einbinden

`libc` Funktion zur Ausgabe aufrufen

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

void greet_user(void) {
  printf("Hello World!\n");
}


int main(int argc, char *argv[]) {
  greet_user();
  return 0;
}
```

Programm mit dem Exitcode 0 beenden

Hello World!

```c
#include <stdio.h>

void greet_user(void) {
  printf("Hello World!\n");
}


int main(int argc, char *argv[]) {
  greet_user();
  return 0;
}
```

```
user@host:~$ gcc hello.c -o hello
user@host:~$ ./hello
             Hello World!
user@host:~$ ...
```

Datentypen in C

Primitive Datentypen

- Leerer Datentyp

  `void`

- Booleans (seit C99)

  `_Bool`, `bool`

- Zeichen (8-Bit Zahlen in ASCII-Code)

  `char`

Datentypen in C

Primitive Datentypen

- Leerer Datentyp

  `void`
- Booleans (seit C99)

  `_Bool`, `bool`
- Zeichen (8-Bit Zahlen in ASCII-Code)

  `char`
- Ganzzahlen

  `char`, `short`, `int`, `long`, `long long`
- Gleitkommazahlen

  `float`, `double`, `long double`

```c
#include <stdbool.h>

int main(void) {

  bool b = true;
  char c = 'A';
  int i = 0x2A;
  unsigned int u = 42;
  float f = -1.23f;
}
```

Datentypen in C

Primitive Datentypen

- Leerer Datentyp

  `void`
- Booleans (seit C99)

  `_Bool`, `bool`
- Zeichen (8-Bit Zahlen in ASCII-Code)

  `char`
- Ganzzahlen

  `char`, `short`, `int`, `long`, `long long`
- Gleitkommazahlen

  `float`, `double`, `long double`

```c
#include <stdbool.h>

int main(void) {

  bool b = true;
  char c = 'A';
  int i = 0x2A;
  unsigned int u = 42;
  float f = -1.23f;
}
```

Zusätzlich: Typ-Modifier `signed` (Default), `unsigned` und `const`

Datentypen in C - Größe und Wertebereich

- Datentypgröße (und damit der Wertebereich) ist plattformabhängig
- Größe zur Compilezeit ermittelbar: `sizeof(int)` oder `sizeof(<var>)`
  Rückgabewert `sizeof`: `size_t`

	Java	C-Standard	gcc (x86-32)	gcc (x86-64)
`char`	16	≥ 8	8	8
`short`	16	≥ 16	16	16
`int`	32	≥ 16	32	32
`long`	64	≥ 32	32	64
`long long`	–	≥ 64	64	64

Datentypen in C - Größe und Wertebereich

- Datentypgröße (und damit der Wertebereich) ist plattformabhängig
- Größe zur Compilezeit ermittelbar: `sizeof(int)` oder `sizeof(<var>)`
  Rückgabewert `sizeof`: `size_t`

	Java	C-Standard	gcc (x86-32)	gcc (x86-64)
`char`	16	≥ 8	8	8
`short`	16	≥ 16	16	16
`int`	32	≥ 16	32	32
`long`	64	≥ 32	32	64
`long long`	–	≥ 64	64	64

- Außerdem gilt:
  - `char` $\leq$ `short` $\leq$ `int` $\leq$ `long` $\leq$ `long long`
  - `float` $\leq$ `double` $\leq$ `long double`
- Wertebereich:

$$\begin{aligned} \texttt{unsigned}: \quad & 0 \quad \rightarrow \quad +(2^{Bits} - 1) \\ \texttt{signed}: \quad & -(2^{Bits-1}) \quad \rightarrow \quad +(2^{Bits-1} - 1) \end{aligned}$$

Datentypen in C - Felder

Arrays

- Felder von Daten gleichen Typs
- 0 indiziert
- Falls Größe zur Compilezeit ermittelbar: `sizeof()`

! Keine Längenprüfung beim Zugriff!

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  int numbers[4] = {1,2,3,4};
  int numbers2[2]; // uninit.
  numbers2[0] = 23;
  numbers2[1] = 42;

  char string[] = "Hallo Welt";
  printf("%c\n", string[6]); // 'W'
  string[6] = 'B';
  printf("%c\n", string[6]); // 'B'
}
```

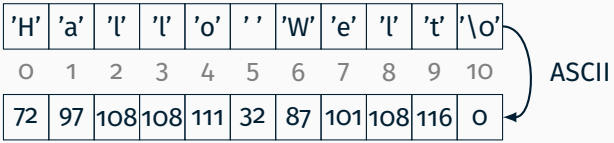
Datentypen in C - Felder

Arrays

- Felder von Daten gleichen Typs
- 0 indiziert
- Falls Größe zur Compilezeit ermittelbar: `sizeof()`
- ! Keine Längenprüfung beim Zugriff!

Strings

- Array aus `char`s
- Terminiert mit `'\0'`




```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  int numbers[4] = {1,2,3,4};
  int numbers2[2]; // uninit.
  numbers2[0] = 23;
  numbers2[1] = 42;

  char string[] = "Hallo Welt";
  printf("%c\n", string[6]); // 'W'
  string[6] = 'B';
  printf("%c\n", string[6]); // 'B'
}
```

Datentypen in C - Strukturen

Strukturen

- fassen Daten verschiedenen Typs zusammen
- ähnlich zu Klassen – nur ohne Methoden

```c
struct date {
  int year;
  int month;
  int day;
};

typedef struct date date_t;

int main(void) {
  struct date today = {2022, 2, 2};

  // day jew. implizit genullt
  date_t tomorrow = {2022, 2};
  date_t yesterday = {
    .year = 2022,
    .month = 2
  };

  tomorrow.day = today.day + 1;
  yesterday.day = today.day - 1;
}
```

Datentypen in C - Strukturen

Strukturen

- fassen Daten verschiedenen Typs zusammen
- ähnlich zu Klassen – nur ohne Methoden

Typ-Aliase

- alternativer Name für einen Typ
- z.B.: `stddef.h`:
  `typedef long unsigned int size_t`
  (nur gültig für x86-64!)
- praktisch z.B. für Strukturen

```c
struct date {
  int year;
  int month;
  int day;
};

typedef struct date date_t;

int main(void) {
  struct date today = {2022, 2, 2};

  // day jew. implizit genullt
  date_t tomorrow = {2022, 2};
  date_t yesterday = {
    .year = 2022,
    .month = 2
  };

  tomorrow.day = today.day + 1;
  yesterday.day = today.day - 1;
}
```

Arithmetische Operatoren in C

alle Ganz-/Fließkommazahlen

`+`	Addition
`-`	Subtraktion
`*`	Multiplikation
`/`	Division
unäres `-`	negatives Vorzeichen (z.B. `-a`)
unäres `+`	positives Vorzeichen (z.B. `+3`)

```c
int main(void) {
  // Integerdivison
  int a = 51 / 5;  // a = 10
  int c = (a + 5 - (-3) / 10) * 10;

  int d = 1;

  // Präinkrement/-dekrement
  // (erst Änderung, dann Wert)
  int e = ++d1; // e = 2, d1 = 2

  d = 1;

  // Postinkrement/-dekrement
  // (erst Wert, dann Änderung)
  int h = d1++; // h = 1, d1 = 2
}
```

Arithmetische Operatoren in C

alle Ganz-/Fließkommazahlen

`+`	Addition
`-`	Subtraktion
`*`	Multiplikation
`/`	Division
unäres `-`	negatives Vorzeichen (z.B. `-a`)
unäres `+`	positives Vorzeichen (z.B. `+3`)

nur Ganzzahlen

`%`	Modulo (Rest bei Division)
`++`	Inkrement um 1
`--`	Dekrement um 1

abgekürzte Zuweisung

`a <op>= b;` entspricht `a = a <op> b;`

```c
int main(void) {
  // Integerdivison
  int a = 51 / 5;  // a = 10
  int c = (a + 5 - (-3) / 10) * 10;

  int d = 1;

  // Präinkrement/-dekrement
  // (erst Änderung, dann Wert)
  int e = ++d1; // e = 2, d1 = 2

  d = 1;

  // Postinkrement/-dekrement
  // (erst Wert, dann Änderung)
  int h = d1++; // h = 1, d1 = 2
}
```

Logische Operatoren in C

Logische Operatoren

`&&`	Konjunktion (log. ”und“)
`||`	Disjunktion (log. ”oder“)
`!`	Negation (log. ”nicht“)

- Ergebnis und Operanden sind vom Typ `int`

Operanden:

0	→	falsch
≠ 0	→	wahr

Ergebnis:

falsch	→	0
wahr	→	1

- Auswertung endet sobald Ergebnis feststeht (*Lazy Evaluation*)

```c
#include <stdbool.h>

int main(void) {
  bool a = true;
  int b = 0;        // false

  bool c = a && b; // false

  // (a && b) wird nicht
  // ausgewertet
  int g = 42 || (a && b);
}
```

Bitoperatoren in C

Bitoperatoren

`&`	bitweises ”und“
`|`	bitweises ”oder“
`^`	bitweises ”exklusiv-oder“
`~`	bitweises ”nicht“
`<<`	bitweises Schieben (links)
`>>`	bitweises Schieben (rechts)

```c
int main(void) {
  int a = 0x10;
  int b = 0x01;

  int c = a | b;   // c = 0x11
  int d = a & b;   // d = 0

  unsigned g = (1 << 2); // g = 4
}
```

Vergleichsoperatoren in C

Vergleichsoperatoren

`<`	kleiner
`<=`	kleiner gleich
`>`	größer
`>=`	größer gleich
`==`	gleich
`!=`	ungleich

- Ergebnis ist vom Typ `int`
  - wahr → 1
  - falsch → 0

```c
int main(void) {
  int a = 42;
  int b = 23;

  if(a < b)  { /* ... */ } // false
  if(b >= a) { /* ... */ } // false
  if(a == b) { /* ... */ } // false
  if(a != b) { /* ... */ } // true
}
```

Kontrollstrukturen - Bedingte Ausführung

```
if(<condition>) {
  // <condition> wahr
} else {
  // <condition> unwahr
}
```

```
if(<cond>) {
  // <cond> wahr
} else if(<cond2>) {
  // <cond> unwahr und
  // <cond2> wahr
} else {
  // <cond> und
  // <cond2> unwahr
}
```

```
switch(<value>) {
  case 0:  /* ... */ break;
  case 1:  /* ... */
  case 2:  /* ... */ break;
  default: /* ... */ break;
}
```

- Die Bearbeitung bei `switch`-Anweisungen muss explizit mit `break` beendet werden
  $\rightarrow$ ansonsten *fall through* in den nächsten `case`

Kontrollstrukturen - Schleifen

```
while(<condition>) {
  /* ... */
}
```

```
while(42) {
  /* ... */
}
```

```
do {
  /* ... */
} while(<condition>);
```

```
do {
  /* ... */
} while(a > 0);
```

```
for(<init>; <cond>; <inc>) {
  /* ... */
}
```

```
for(int i = 0; i < 10; ++i) {
  /* ... */
}
```

- `break` verlässt die (innerste) Schleife
- `continue` beginnt direkt nächsten Schleifendurchlauf

Einschub: Portable Programme

- Entwicklung portabler Programme durch Verwendung definierter Schnittstellen

ANSI C11

- Normierung des Sprachumfangs der Programmiersprache C
- Standard-Bibliotheksfunktionen, z. B. `printf`, `malloc`

Einschub: Portable Programme

- Entwicklung portabler Programme durch Verwendung definierter Schnittstellen

ANSI C11

- Normierung des Sprachumfangs der Programmiersprache C
- Standard-Bibliotheksfunktionen, z. B. `printf`, `malloc`

Single UNIX Specification, Version 4 (SUSv4)

- Standardisierung der Betriebssystemschnittstelle
- Wird von verschiedenen Betriebssystemen implementiert:
  - Solaris, HP/UX, AIX *(SUSv3)*
  - Mac OS X *(SUSv3)*
  - ... und natürlich Linux *(SUSv4, aber nicht offiziell zertifiziert)*

Einschub: Übersetzen von C Programmen

- Übersetzen einer Quelldatei mit `gcc`:
  `gcc <flags> -o <output> input [input...]`

- Flags:

`-o`	setze Name der Ausgabedatei
`-std=c11`	benutze Version C11 des ANSI C-Standards
`-pedantic`	akzeptiere nur ANSI-C11-konformen Quellcode
`-D_XOPEN_SOURCE=700`	erlaube nur SUSv4-konforme Betriebssystemaufrufe
`-Wall`	aktiviere zusätzliche Warnungen
`-Werror`	behandle Warnungen wie Fehler
`-g`	erzeuge Debug-Symbole in der ausführbaren Datei (praktisch zum debuggen – ggf. sehr große Programme)

- Beispiel:

```
user@host:~$ gcc -std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror -o test test.c
user@host:~$ ./test
```

Einschub: Anforderungen an abgegeben Lösungen

- C-Sprachumfang konform zu ANSI C11
- Betriebssystemschnittstelle konform zu SUSv4
- **warnungs-** und **fehlerfrei** in der BS-VM mit folgenden `gcc`-Optionen übersetzen:
  `-std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror`

Einschub: Anforderungen an abgegeben Lösungen

- C-Sprachumfang konform zu ANSI C11
- Betriebssystemschnittstelle konform zu SUSv4
- **warnungs-** und **fehlerfrei** in der BS-VM mit folgenden `gcc`-Optionen übersetzen:
  `-std=c11 -pedantic -D_XOPEN_SOURCE=700 -Wall -Werror`
- Später: **Korrekte** Fehlerbehandlung
- Später: Soweit möglich keine (modul-)globalen Variablen
- Siehe Korrekturrichtlinien (siehe Moodle)

Agenda

Zeigerkonzept in C

Zeiger

- enthält die **Adresse** einer anderen Variable
- `*` im Typ zeigt Zeigertyp an
- Syntax: `type *name`
  → Zeiger mit Namen `name` der auf Variable vom Typ `type` zeigt

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  int a = 42;

  // b zeigt auf a
  int *b = &a;

  // lese a (über b)
  printf("%d\n", *b);

  // lese a direkt
  printf("%d\n", a);

  // schreibe a (über b)
  *b = 23;
  printf("%d\n", *b);
  printf("%d\n", a);

  // schreibe a (direkt)
  a = 42;
  printf("%d\n", *b);
  printf("%d\n", a);
}
```

Zeigerkonzept in C

Zeiger

- enthält die **Adresse** einer anderen Variable
- `*` im Typ zeigt Zeigertyp an
- Syntax: `type *name`
  → Zeiger mit Namen `name` der auf Variable vom Typ `type` zeigt

Adressoperator &

- liefert die Adresse einer Variablen

Dereferenzierungsoperator *

- kann nur auf Zeiger angewendet werden
- greift auf die Variable zu, auf die der Zeiger zeigt

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  int a = 42;

  // b zeigt auf a
  int *b = &a;

  // lese a (über b)
  printf("%d\n", *b);

  // lese a direkt
  printf("%d\n", a);

  // schreibe a (über b)
  *b = 23;
  printf("%d\n", *b);
  printf("%d\n", a);

  // schreibe a (direkt)
  a = 42;
  printf("%d\n", *b);
  printf("%d\n", a);
}
```

Zeigerkonzept in C

Mehrfachbelegung

- ein * kann bedeuten:
  - Multiplikation
  - Zeigertypdefinition
  - Zeigerdereferenzierung
- ein & kann bedeuten:
  - bitweises ”und“
  - Adressoperator

```c
int main(void) {
  int a = 42;

  // Zeigerdefinition
  int *b;

  // Adressoperator
  b = &a;

  // Multiplikation
  int x = a * 3;

  // bitweises und
  int y = a & 3;

  // Dereferenzierung
  *b = 23;
}
```

Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  node_t *list_head = NULL;

  node_t node0 = { .data = 42,   .next = NULL };
  node_t node1 = { .data = 1337, .next = &node0 };
  node_t node2 = { .data = -23,  .next = &node1 };

  list_head = &node2;

// [...]
```

Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  node_t *list_head = NULL;

  node_t node0 = { .data = 42,   .next = NULL };
  node_t node1 = { .data = 1337, .next = &node0 };
  node_t node2 = { .data = -23,  .next = &node1 };

  list_head = &node2;

// [...]
```

Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

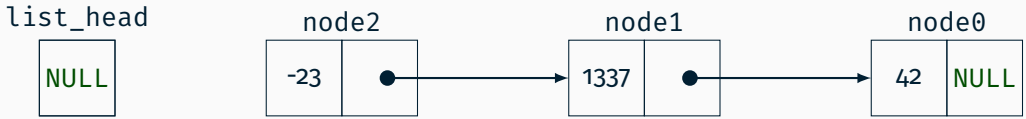
```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  node_t *list_head = NULL;

  node_t node0 = { .data = 42,   .next = NULL };
  node_t node1 = { .data = 1337, .next = &node0 };
  node_t node2 = { .data = -23,  .next = &node1 };

  list_head = &node2;

// [...]
```

Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

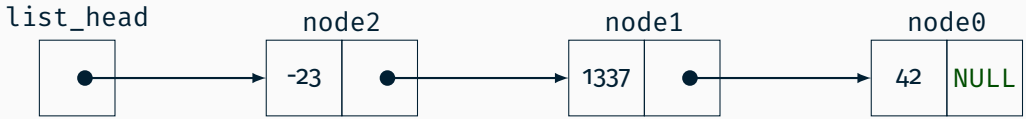
```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  node_t *list_head = NULL;

  node_t node0 = { .data = 42,   .next = NULL };
  node_t node1 = { .data = 1337, .next = &node0 };
  node_t node2 = { .data = -23,  .next = &node1 };

  list_head = &node2;

// [...]
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

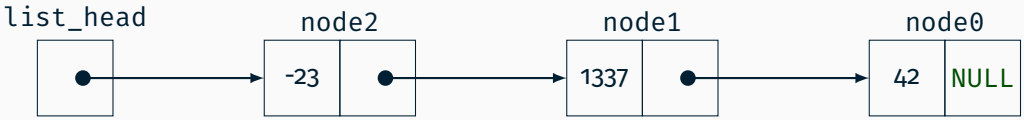
```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  node_t *list_head = NULL;

  node_t node0 = { .data = 42,   .next = NULL };
  node_t node1 = { .data = 1337, .next = &node0 };
  node_t node2 = { .data = -23,  .next = &node1 };

  list_head = &node2;

// [...]
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

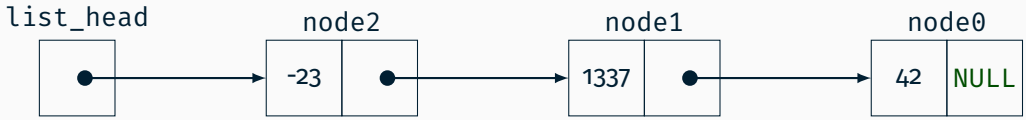
```c
// [...]

  // node2: -23
  printf("%d\n", (*list_head).data);
  printf("%d\n", list_head->data);

  // node1: 1337
  printf("%d\n", (*(*list_head).next).data);
  printf("%d\n", list_head->next->data);

// [...]
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

```c
// [...]

  // node2: -23
  printf("%d\n", (*list_head).data);
  printf("%d\n", list_head->data);

  // node1: 1337
  printf("%d\n", (*(*list_head).next).data);
  printf("%d\n", list_head->next->data);

// [...]
```

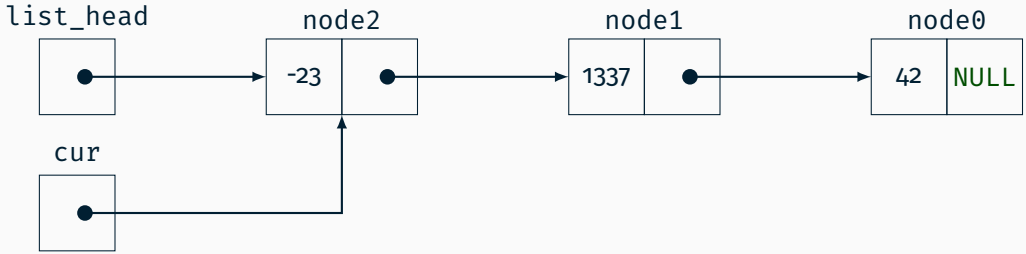


- `->` ist die lesbarere Form von `(*var).`

Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

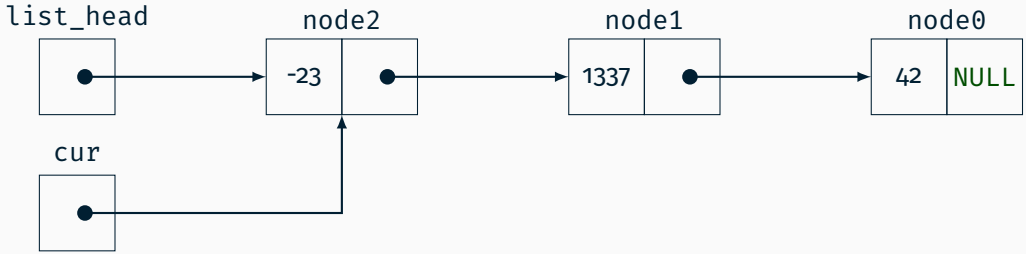
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

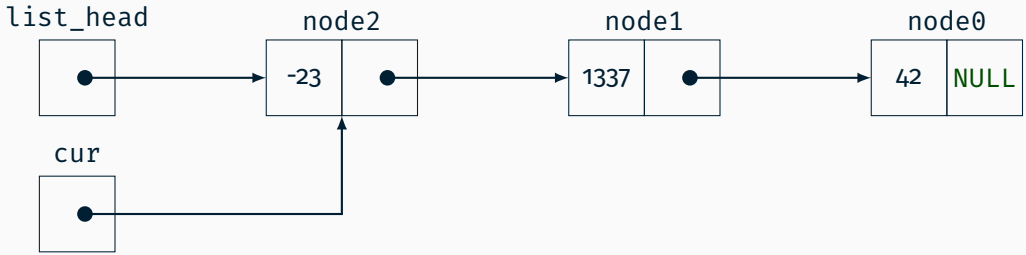
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

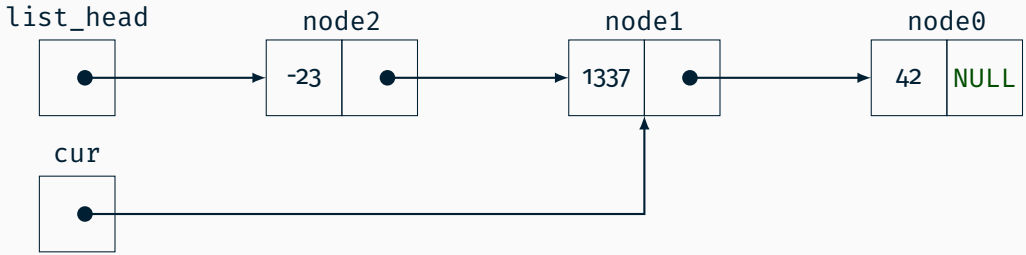
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

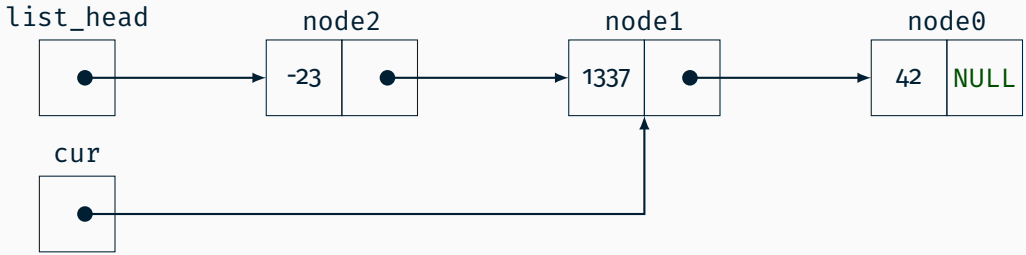
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

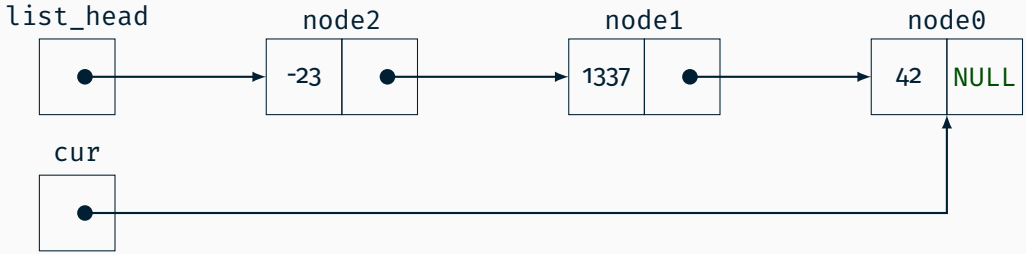
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

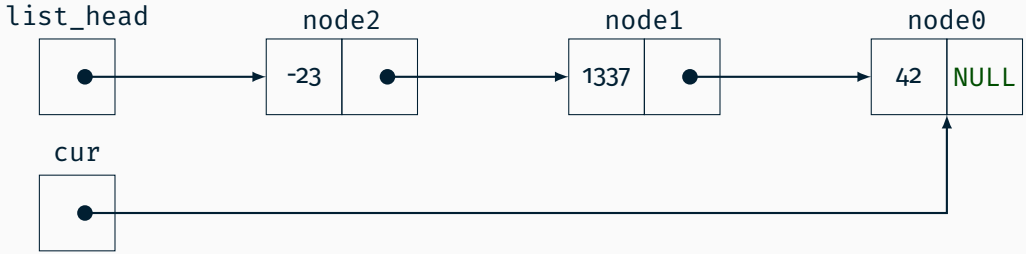
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

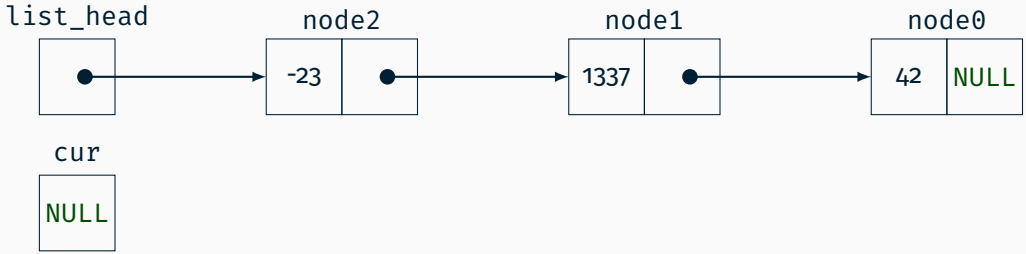
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

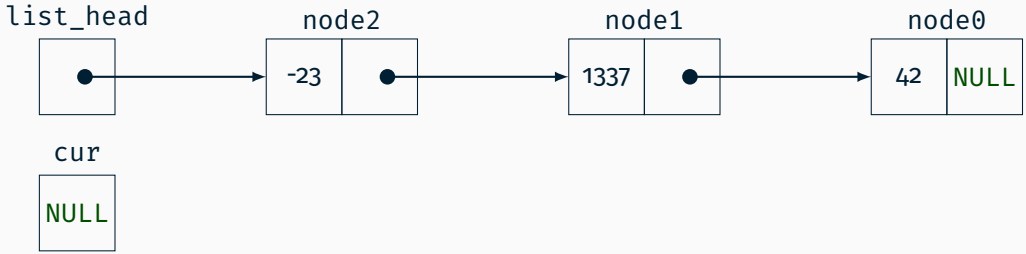
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

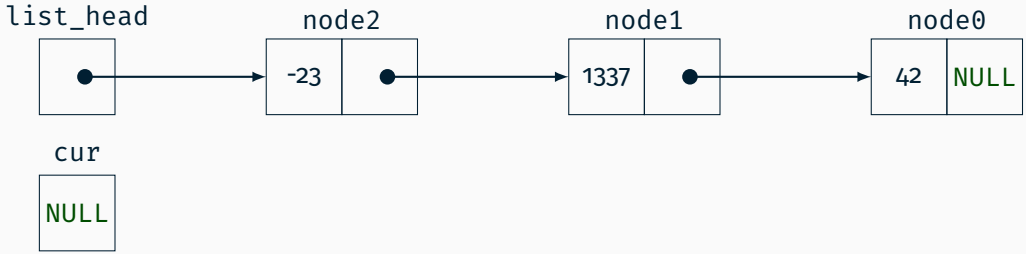
```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Zeigerkonzept in C - Anwendungsbeispiel

```c
typedef struct ListNode {
  int data;
  struct ListNode *next;
} node_t;
```

```c
// [...]

  node_t *cur = list_head;
  while(cur != NULL) {
    printf("%d\n", cur->data);
    cur = cur->next;
  }
  printf("fertig\n");
} // end main
```



Funktionen

- Elementare Bausteine für die Modularisierung
- Unterscheidung zwischen
  - Funktions**deklaration**
    → Schnittstelle (Parameter, Name, Rückgabewert)
  - Funktions**definition**
    → Implementierung
  - Funktionen müssen vor Verwendung deklariert sein
  - Def. und Dekl. können gemeinsam erfolgen

```
// Funktionsdeklaration
// (Parameternamen optional)
float func1(int);
float func2(int a);

// Funktionsdekl. und -definition
// (keine Parameter)
void func3(void) {
  // [...]
}

int main(void) {
  float f1 = func1(2);
  float f2 = func2(2);
  func3();
}

// Funktionsdefinition
float func1(int a) {/* ... */}

// Funktionsdefinition
float func2(int a) {/* ... */}
```

Funktionen

- Elementare Bausteine für die Modularisierung
- Unterscheidung zwischen
  - Funktions**deklaration**
    → Schnittstelle (Parameter, Name, Rückgabewert)
  - Funktions**definition**
    → Implementierung
  - Funktionen müssen vor Verwendung deklariert sein
  - Def. und Dekl. können gemeinsam erfolgen
- *Offene* Definition (leere Parameterliste)
  - erlaubt Aufruf mit beliebigen Parametern
    → i.d.R. schlechter Programmierstil!
  - `void` erzwingt parameterlose Funktion

```
// Funktionsdeklaration
// (Parameternamen optional)
float func1(int);
float func2(int a);

// Funktionsdekl. und -definition
// (keine Parameter)
void func3(void) {
  // [...]
}

int main(void) {
  float f1 = func1(2);
  float f2 = func2(2);
  func3();
}

// Funktionsdefinition
float func1(int a) {/* ... */}

// Funktionsdefinition
float func2(int a) {/* ... */}
```

Funktionen - Aufrufsemantik

- Funktionsaufrufe sind *call by value*

Call by Value

```
void swap(int x, int y) {
  int tmp = y;
  y = x;
  x = tmp;
}

int main(void) {
  int a = 42;
  int b = 1337;

  // a = 42; b = 1337
  swap(a, b);
  // a = 42; b = 1337
}
```

Funktionen - Aufrufsemantik

- Funktionsaufrufe sind *call by value*
- *call by reference* kann mit Zeigern nachgebaut werden

Call by Value

```c
void swap(int x, int y) {
  int tmp = y;
  y = x;
  x = tmp;
}

int main(void) {
  int a = 42;
  int b = 1337;

  // a = 42; b = 1337
  swap(a, b);
  // a = 42; b = 1337
}
```

Call by Reference

```c
void swap(int* x, int* y) {
  int tmp = *y;
  *y = *x;
  *x = tmp;
}

int main(void) {
  int a = 42;
  int b = 1337;

  // a = 42; b = 1337
  swap(&a, &b);
  // a = 1337; b = 42
}
```

Formatierte Ausgabe in C

- Ausgabe durch `printf()`
- `printf()` erwartet Formatstring und Variablen
  - Formatstring: String mit Platzhaltern
  - Platzhalter: Enthalten Formatierungsanweisungen
  - Variablen: Werden gemäß der Platzhalter eingefügt

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  printf("char: %c", 'A');
  // --> "char: A"

  printf("%s %s!", "Hello", "World");
  // --> "Hello World!"

  printf("pi ist genau %i", 3);
  // --> "pi ist genau 3"

  printf("pi ist %.2f", 3.1415);
  // --> "pi ist 3.14"

  int tmp;
  printf("address of tmp: %p", &tmp);
  // --> "adress of tmp: 0x7ff...

  int a[256];
  size_t len = sizeof(a);
  printf("a ist %zu bytes", len);
  // --> "a ist 1024 bytes"
}
```

Formatierte Ausgabe in C

- Ausgabe durch `printf()`
- `printf()` erwartet Formatstring und Variablen
  - Formatstring: String mit Platzhaltern
  - Platzhalter: Enthalten Formatierungsanweisungen
  - Variablen: Werden gemäß der Platzhalter eingefügt
- Platzhalter
  - `%c` ein Zeichen
  - `%s` eine `'\0'`-terminierte Zeichenkette
  - `%i` einen `int`-Wert; mit führenden `0`en: `%05i`
  - `%u` einen `unsigned int`-Wert
  - `%x` einen `unsigned int`-Wert als Hex
  - `%p` Zeiger
  - `%f` Gleitkomma-Wert; mit 2 Nachkommastellen: `%.2f`
- Längenmodifikatoren

  `hh`/`h` für `char`/`short` (`%hu` für `unsigned short`)

  `l`/`ll` für `long`/`long long` (`%li` für `long`)

  `z` für `size_t`

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  printf("char: %c", 'A');
  // --> "char: A"

  printf("%s %s!", "Hello", "World");
  // --> "Hello World!"

  printf("pi ist genau %i", 3);
  // --> "pi ist genau 3"

  printf("pi ist %.2f", 3.1415);
  // --> "pi ist 3.14"

  int tmp;
  printf("address of tmp: %p", &tmp);
  // --> "adress of tmp: 0x7ff...

  int a[256];
  size_t len = sizeof(a);
  printf("a ist %zu bytes", len);
  // --> "a ist 1024 bytes"
}
```

Speicherverwaltung

Statische Allokation

- globale Variablen
- lokale `static` Variablen

→ Bedarf bekannt zur Compilezeit

→ Lebensdauer: Programmausführung

```c
#include <stdio.h>

int g = 23; // globale Variable

int f(void) {
  // lokale auto Variable (Stack)
  // ('auto' ist optional)
  /* auto */ int a = 42;
  return a++;
}

int f2(void) {
  // lokale static Variable
  static int a = 42;
  return a++;
}

int main(void) {
  printf("%d, %d, %d", g, f(), f2());
  // --> 23, 42, 42

  printf("%d, %d, %d", g, f(), f2());
  // --> 23, 42, 43 (!!)
}
```

Speicherverwaltung

Statische Allokation

- globale Variablen
- lokale `static` Variablen

→ Bedarf bekannt zur Compilezeit

→ Lebensdauer: Programmausführung

Dynamische Allokation → Laufzeit

- lokale `auto`-Variablen (Stack)
  - → Bedarf bekannt zur Laufzeit
  - → Lebensdauer: Funktion
- explizit angeforderter Speicher (Heap)
  - → Bedarf bekannt zur Laufzeit
  - → Lebensdauer: explizit
  - → `malloc()`, `free()`

```c
#include <stdio.h>

int g = 23; // globale Variable

int f(void) {
  // lokale auto Variable (Stack)
  // ('auto' ist optional)
  /* auto */ int a = 42;
  return a++;
}

int f2(void) {
  // lokale static Variable
  static int a = 42;
  return a++;
}

int main(void) {
  printf("%d, %d, %d", g, f(), f2());
  // --> 23, 42, 42

  printf("%d, %d, %d", g, f(), f2());
  // --> 23, 42, 43 (!!)
}
```

Dynamische Speicherverwaltung

`void *malloc(size_t size)`

- Anforderung von `size` Bytes
- Rückgabe: Zeiger auf Speicher
- Fehlerfall: Rückgabe von `NULL`
- Speicher ist nicht initialisiert!

`void free(void *mem)`

- Rückgabe des Speichers
- kein Rückgabewert

```c
#include <stdlib.h>

typedef struct date {
  int day;
  int month;
  int year;
} date_t;

int main(void) {
  date_t *t = malloc(sizeof(date_t));
  if(t == NULL) {
    // Fehlerbehandlung
  }

  // ...

  free(t);
}
```

Dynamische Speicherverwaltung

`void *malloc(size_t size)`

- Anforderung von `size` Bytes
- Rückgabe: Zeiger auf Speicher
- Fehlerfall: Rückgabe von `NULL`
- Speicher ist nicht initialisiert!

`void free(void *mem)`

- Rückgabe des Speichers
- kein Rückgabewert

Achtung

- genau ein mal `free()`
  → *double free* oder Speicherleck
- kein Nutzen nach `free()`
  → *use after free*

```c
#include <stdlib.h>

typedef struct date {
  int day;
  int month;
  int year;
} date_t;

int main(void) {
  date_t *t = malloc(sizeof(date_t));
  if(t == NULL) {
    // Fehlerbehandlung
  }

  // ...

  free(t);
}
```

Dynamische Speicherverwaltung

`void *memset(void *mem, int val, size_t n)`

- initialisiert ersten n bytes von `mem` mit dem Byte `val`

`void *calloc(size_t nmemb, size_t size)`

- allokiert Speicher für `nmemb` Elemente der Größe `size`
- initialisiert den Speicher mit 0
- Fehlerfall: Rückgabe von `NULL`

`void *realloc(void *mem, size_t size)`

- allokiert `size` Bytes
- kopiert Inhalte von `mem` (soweit möglich)
- gibt `mem` frei
- Fehlerfall: Rückgabe von `NULL`; `mem` nicht `gefree()`ed

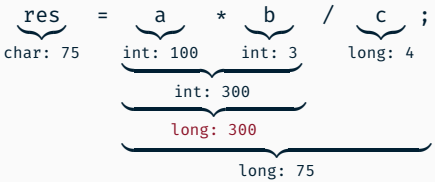
```c
#include <stdlib.h>
#include <string.h>

int main(void) {
  int *a = malloc(100 * sizeof(int));
  int *b = calloc(100, sizeof(int));
  if(a == NULL || b == NULL) {
    // Fehlerbehandlung
  }
  memset(a, 0, 100 * sizeof(int));
  // a und b mit 0 initialisiert

  // ...

  // 100 Elemente sind zu wenig
  a = realloc(a, 150 * sizeof(int));
  if(a == NULL) {
    // Fehlerbehandlung
  }

  // ...

  free(a); free(b);
}
```

Agenda

Typumwandlungen

- Operationen werden mit der größten beteiligten Größe, **mind.** jedoch `int`, berechnet
  - `short` und `char` werden implizit erweitert
  - Ergebnis wird auf den Zieldatentyp abgeschnitten/erweitert
- Fließkommaoperationen werden **mindestens** mit `double` berechnet
- Fließkommatypen gelten als *größer* als Ganzzahltypen
- `unsigned`-Typen gelten als größer als `signed`-Typen

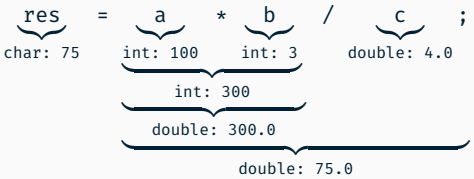
```
char a = 100, b = 3; // 1 Byte [-128;127]
char res;            // 1 Byte [-128;127]
long c = 4;          // 8 Byte ...
```



Typumwandlungen

- Operationen werden mit der größten beteiligten Größe, **mind.** jedoch `int`, berechnet
  - `short` und `char` werden implizit erweitert
  - Ergebnis wird auf den Zieldatentyp abgeschnitten/erweitert
- Fließkommaoperationen werden **mindestens** mit `double` berechnet
- Fließkommatypen gelten als *größer* als Ganzzahltypen
- `unsigned`-Typen gelten als größer als `signed`-Typen

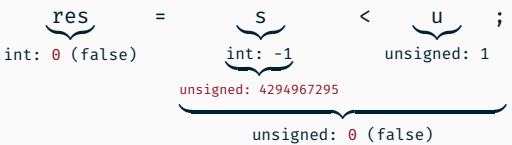
```
char a = 100, b = 3; // 1 Byte [-128;127]
char res;            // 1 Byte [-128;127]
float c = 4.0f;      // ...
```



Typumwandlungen

- Operationen werden mit der größten beteiligten Größe, **mind.** jedoch `int`, berechnet
  - `short` und `char` werden implizit erweitert
  - Ergebnis wird auf den Zieldatentyp abgeschnitten/erweitert
- Fließkommaoperationen werden **mindestens** mit `double` berechnet
- Fließkommatypen gelten als *größer* als Ganzzahltypen
- `unsigned`-Typen gelten als größer als `signed`-Typen

```
int s = -1, res;      // 4 Byte [-2147483648;2147483647]
unsigned u = 1;       // 4 Byte [0;4294967295]
```



Typumwandlungen

- Operanden können gezielt in einen anderen Typen umgewandelt werden (`<type>`)
- Keine Laufzeitüberprüfung – der Compiler macht einfach!

```
int s = -1, res;      // 4 Byte [-2147483648;2147483647]
unsigned u = 1;       // 4 Byte [0;4294967295]

   res     =   s   < (int) u;
int: 1 (true)  int: -1     int: 1
               int: 1 (true)
```

Zeiger und Arrays

Arrays

- Arrays sind Zeiger auf erstes Element
  - `*` und `[]` geht beides
  - können anderen Zeigern zugewiesen werden
  - können als Zeiger übergeben werden
  - Arrays werden *by-reference* übergeben
- Unterschied zu *klassischen* Zeigern
  - Zeiger nicht explizit gespeichert
    → Compiler fügt Adresse ein
  - &-Operator ergibt wieder den Zeiger
  - `sizeof()` gibt Arraygröße statt Zeigergröße zurück

```c
#include <stdio.h>

int f(int *i) {
  return *i;
}

int main(void) {
  int a[4] = {1, 2, 3, 4};
  printf("%d", a[0]); // --> 1
  printf("%d", *a);   // --> 1

  int *b = a;
  printf("%d", *b);   // --> 1

  printf("%d", f(a)); // --> 1
  printf("%d", f(b)); // --> 1

  printf("%p", a);  // 0x7f...9af0
  printf("%p", b);  // 0x7f...9af0

  printf("%p", &a); // 0x7f...9af0
  printf("%p", &b); // 0x7f...9ae8
}
```

Zeiger und Funktionen

Funktionszeiger

- Zeiger auf Funktionen
- Syntax:
  `<ret type> (*<name>)(<param types>)`

Typische Anwendungsbeispiele

- als Übergabeparameter an Funktionen
- als Feld in Strukturen

→ z.B. Vergleichsfunktion für Sortierungsfunktion

→ z.B. Callback-Fkt. für Ereignisse (`onKeyPress()`)

→ z.B. Startfunktion für Threads

```c
#include <stdio.h>

void mylog(void (*f)(char *), char *msg) {
  print_timestamp();
  f(msg);
}

void error(char *msg) {
  set_color(RED);
  printf("ERROR: %s\n", msg);
  reset_color();
}

void info(char *msg) {
  printf("INFO: %s\n", msg);
}

int main(void) {
  mylog(info, "app started");
  // --> "<time>: INFO: app started"
  mylog(&error, "error code 42");
  // --> "<time>: ERROR: error code 42"
}
```

Zeiger und constness

- `const int*`
  - ein Zeiger auf einen konstanten `int`-Wert
    → Wert nicht veränderbar
- `int* const`
  - ein konstanter Zeiger auf einen `int`-Wert
    → Zeiger nicht veränderbar

```
int main(void) {
  int a = 42, b = 23;

  const int* p1 = &a;
  int* const p2 = &a;

  // *p1 = 43; !! Comilerfehler !!
  p1 = &b;

  *p2 = 23; // a --> 23
  // p2 = &b; !! Compilerfehler !!
}
```

Zeigerarithmetik

Zeigerarithmetik

- Mit Zeigern kann man rechnen
- Verhalten hängt von der Größe des Ziels ab

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  // Zeiger auf 32bit (4 Byte) Ganzzahl
  int *ptr1 = /* ... */;
  printf("%p", ptr1);     // 0x1000
  printf("%p", ptr1 + 1); // 0x1004 (1*4Byte)
  printf("%p", ptr1 + 5); // 0x1014 (5*4Byte)

  // Zeiger auf 64bit (8 Byte) Ganzzahl
  long *ptr2 = /* ... */;
  printf("%p", ptr2);     // 0x1000
  printf("%p", ptr2 + 1); // 0x1008 (1*8Byte)
  printf("%p", ptr2 + 5); // 0x1028 (5*8Byte)
```

Zeigerarithmetik

Zeigerarithmetik

- Mit Zeigern kann man rechnen
- Verhalten hängt von der Größe des Ziels ab
- Array-Zugriff per [ ] äquivalent

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  // Zeiger auf 32bit (4 Byte) Ganzzahl
  int *ptr1 = /* ... */;
  printf("%p", ptr1);     // 0x1000
  printf("%p", ptr1 + 1); // 0x1004 (1*4Byte)
  printf("%p", ptr1 + 5); // 0x1014 (5*4Byte)

  // Zeiger auf 64bit (8 Byte) Ganzzahl
  long *ptr2 = /* ... */;
  printf("%p", ptr2);     // 0x1000
  printf("%p", ptr2 + 1); // 0x1008 (1*8Byte)
  printf("%p", ptr2 + 5); // 0x1028 (5*8Byte)


  int a[4] = {1,2,3,4};
  int *b = a;
  printf("%p|%i", &a[1], a[1]); // 0x1004|2
  printf("%p|%i", &b[1], b[1]); // 0x1004|2
  printf("%p|%i", a+1, *(a+1)); // 0x1004|2
}
```

Zeigerarithmetik

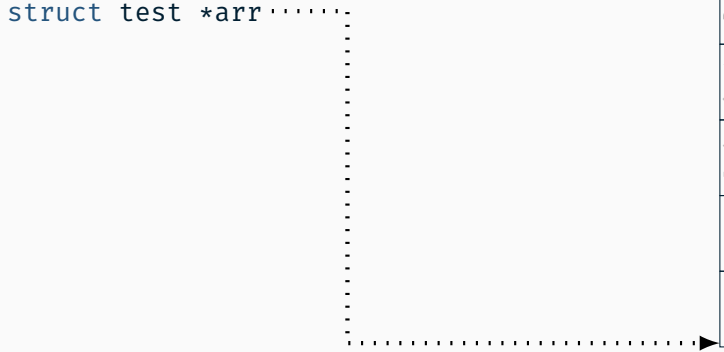
Zeigerarithmetik

- funktioniert mit beliebigen Strukturen
- Zeiger können auch auf Zeiger zeigen

```c
#include <stdio.h>

typedef struct date {
  int year;
  int month;
  int day;
} date_t;

int main(void) {
  date_t *ptr = /* ... */;
  date_t **ptrptr = &ptr;

  printf("%p", ptr);     // 0x1000
  printf("%p", ptr + 1); // 0x100c

  // Annahme: 64-bit System
  printf("%p", ptrptr);     // 0x2000
  printf("%p", ptrptr + 1); // 0x2008
}
```

Zeigerarithmetik – Beispiel

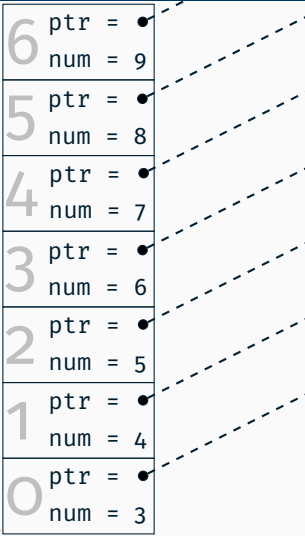
```c
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```



Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```

```
struct test *arr
          &arr[0]
```



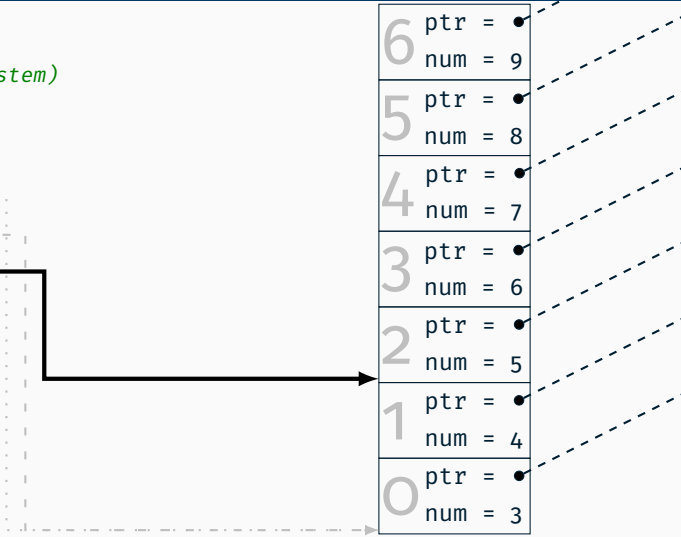
Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```

Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```

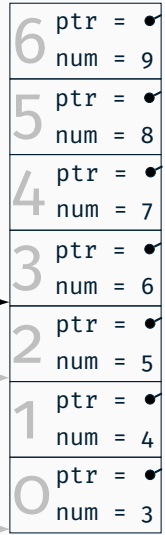
```
struct test *arr
        &arr[0]
        &arr[2]
        arr + 3
```



Zeigerarithmetik – Beispiel

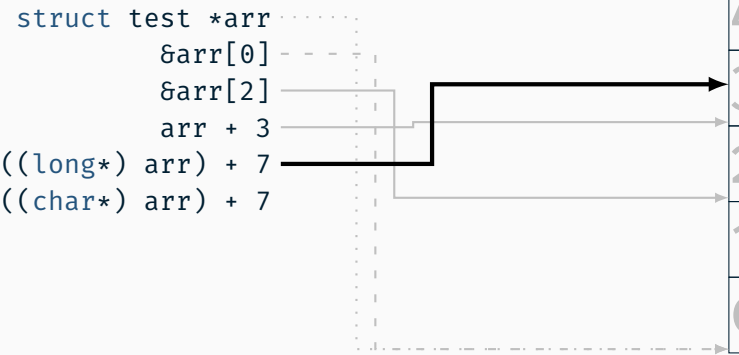
```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```

```
struct test *arr
          &arr[0]
          &arr[2]
          arr + 3
((long*) arr) + 7
```



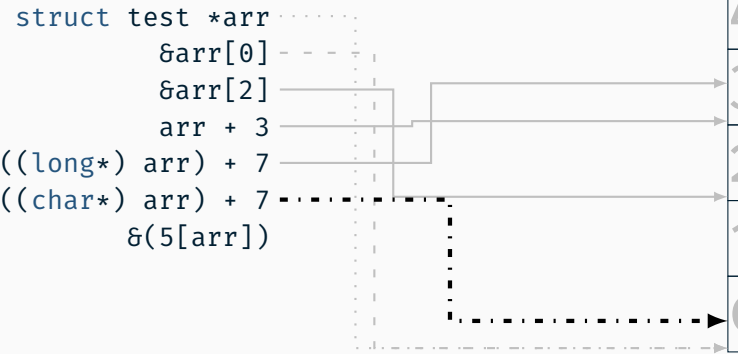
Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```



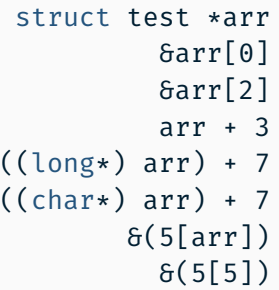
Zeigerarithmetik – Beispiel

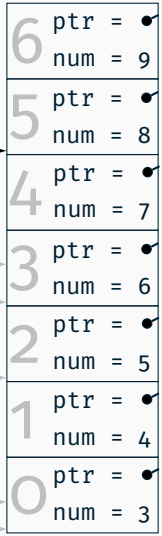
```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```



Zeigerarithmetik – Beispiel

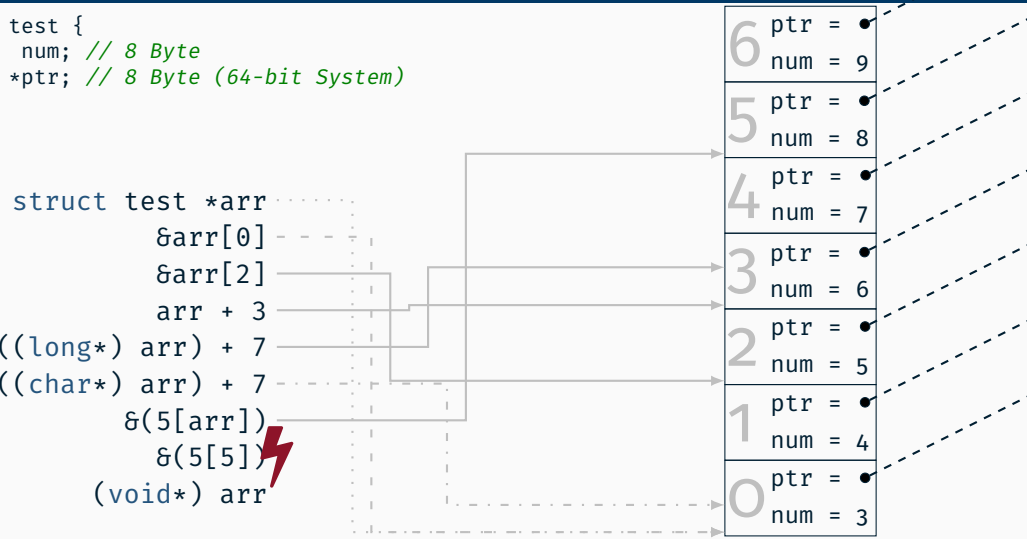
```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```





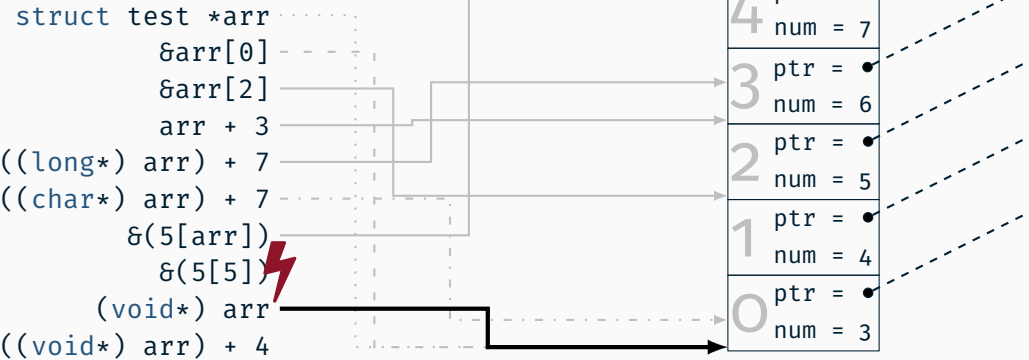
Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```



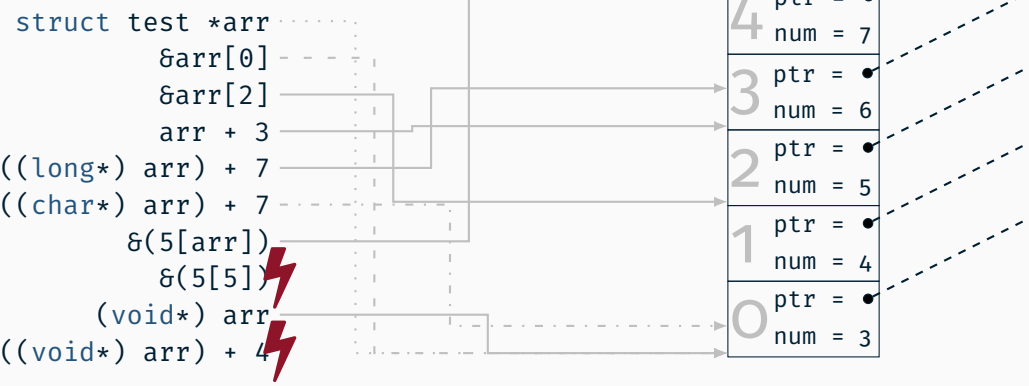
Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```



Zeigerarithmetik – Beispiel

```
struct test {
  long  num; // 8 Byte
  void *ptr; // 8 Byte (64-bit System)
}
```



Zeichenketten

- **Recap:** String sind `'\0'`-terminierte `char`-Arrays
- Umgang mit Strings ist umständlich

falsch - nicht nachmachen

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  char s1[] = "test";
  char s2[] = "test";

  /* !! Häufige Fehler !! */

  // vergl. Zeiger nicht String!
  if(s1 == s2) {
    printf("gleich\n");
  } else {
    printf("ungleich\n");
  }
  // --> ungleich

  // kopiert Zeiger nicht String!
  char *cpy = s2;

  // Zeigeraddition nicht def.!
  // Compilerfehler
  char *new = s1 + s2;
}
```

Zeichenketten

- **Recap:** String sind `'\0'`-terminierte `char`-Arrays
- Umgang mit Strings ist umständlich
- Strings vergleichen:
  - in Schleife jedes Zeichen vergleichen
  - Schleife beenden sobald ein `'\0'` auftritt
- String kopieren:
  - Länge des Strings bestimmen
  - neuen Speicher anlegen (Stack o. `malloc()`)
  - jedes Zeichen kopieren
- String konkatenieren:
  - Länge beider Strings bestimmen
  - neuen Speicher anlegen (Stack o. `malloc()`)
  - jedes Zeichen des ersten Strings kopieren
  - jedes Zeichen des zweiten Strings kopieren

falsch - nicht nachmachen

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  char s1[] = "test";
  char s2[] = "test";

  /* !! Häufige Fehler !! */

  // vergl. Zeiger nicht String!
  if(s1 == s2) {
    printf("gleich\n");
  } else {
    printf("ungleich\n");
  }
  // --> ungleich

  // kopiert Zeiger nicht String!
  char *cpy = s2;

  // Zeigeraddition nicht def.!
  // Compilerfehler
  char *new = s1 + s2;
}
```

Zeichenketten

- Stringoperationen mittels `libc`-Funktionen
  - Länge: `size_t strlen(const char*)`
  - Vergleich: `int strcmp(const char*, const char*)`
  - Anhängen: `char* strcat(char*, const char*)`
  - Kopieren: `char* strcpy(char*, const char*)`
- Arbeiten zeichenweise bis `'\0'`

  → Sicherstellen das genügend Speicher vorhanden ist!

Zeichenketten

- Stringoperationen mittels `libc`-Funktionen
  - Länge: `size_t strlen(const char*)`
  - Vergleich: `int strcmp(const char*, const char*)`
  - Anhängen: `char* strcat(char*, const char*)`
  - Kopieren: `char* strcpy(char*, const char*)`
- Arbeiten zeichenweise bis `'\0'`

  → Sicherstellen das genügend Speicher vorhanden ist!
- Varianten mit Längenbegrenzung:
  - Vergleich: `int strncmp(const char*, const char*, size_t)`
  - Kopieren: `char* strncpy(char*, const char*, size_t)`
  - Anhängen: `char* strncat(char*, const char*, size_t)`

Zeichenketten

- Stringoperationen mittels `libc`-Funktionen
  - Länge: `size_t strlen(const char*)`
  - Vergleich: `int strcmp(const char*, const char*)`
  - Anhängen: `char* strcat(char*, const char*)`
  - Kopieren: `char* strcpy(char*, const char*)`
- Arbeiten zeichenweise bis `'\0'`

  → Sicherstellen das genügend Speicher vorhanden ist!
- Varianten mit Längenbegrenzung:
  - Vergleich: `int strncmp(const char*, const char*, size_t)`
  - Kopieren: `char* strncpy(char*, const char*, size_t)`
  - Anhängen: `char* strncat(char*, const char*, size_t)`

strcpy/strncpy & strcat/strncat vermeiden!

`strcpy, strcat:` Schreiben ggf. über Zielarray raus

`strncpy,strncat:` Behandlung der Längenbeschränkung unlogisch

Zeichenketten (besser) formatieren

```
int snprintf(char *str, size_t size, const char *format, ...);
```

- Sichere Benutzung durch `size`
- Sinnvolle Behandlung bei Längenbeschr.
  → immer `'\0'` terminiert
- Längenbeschränkung erkennbar
  → Rückgabewert $\geq$ `size`

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  char s[64];
  char *fmt = "pi ist %.2f (als int: %d)";

  int ret = snprintf(s, 64, fmt, 3.1415, 3);
  if(ret >= 64) {
    printf("String truncated!\n");
    printf("%d chars omitted\n", ret-63);
  }

  printf("%s\n", s);
  // "pi ist 3.14 (als int: 3)"
}
```

Zeichenketten (besser) formatieren

```
int snprintf(char *str, size_t size, const char *format, ...);
```

- Sichere Benutzung durch `size`
- Sinnvolle Behandlung bei Längenbeschr.
  → immer `'\0'` terminiert
- Längenbeschränkung erkennbar
  → Rückgabewert $\geq$ `size`
- **Achtung:** Formatstring darf nicht „von außen“ kommen
  → gilt auch für `printf()`!

```c
#include <stdio.h>

int main(void) {
  char s[64];
  char *fmt = "pi ist %.2f (als int: %d)";

  int ret = snprintf(s, 64, fmt, 3.1415, 3);
  if(ret >= 64) {
    printf("String truncated!\n");
    printf("%d chars omitted\n", ret-63);
  }

  printf("%s\n", s);
  // "pi ist 3.14 (als int: 3)"
}
```