

10 Wertaustausch zwischen Funktionen

Mechanismus	Aufrufer → Funktion	Funktion → Aufrufer
Parameter	ja	mit Hilfe von Zeigern
Funktionswert	nein	ja
globale Variablen	ja	ja

■ Verwendung globaler Variablen?

- ◆ Variablen, die von vielen Funktionen verwendet werden und/oder oft als Parameter übergeben werden müssten
 - Menge der Funktionen muss überschaubar bleiben
→ Zugriff auf Modul begrenzen (globale static-Variablen)
 - **sonst sehr schlechter Programmierstil**
- ◆ Variablen, die keiner Funktion als Variable oder Parameter fest zugeordnet werden können
 - Modul suchen, dem die Variable zugeordnet werden kann!!!
- ◆ Variablen, deren Lebensdauer nicht beschränkt sein darf, die aber nicht in `main()` deklariert werden sollen
 - in zugehöriger Funktion lokal-*static* definieren

11 Getrennte Übersetzung von Programmteilen — Beispiel

■ Hauptprogramm (Datei `fplot.c`)

```
#include "trig.h"
#define INTERVALL 0.01

/*
 * Funktionswerte ausgeben
 */
int main(void)
{
    char c;
    double i;

    printf("Funktion (Sin, Cos, Tan, cOt)? ");
    scanf("%x", &c);

    switch (c) {
        ...
        case 'T':
            for (i=-PI/2; i < PI/2; i+=INTERVALL)
                printf("%lf %lf\n", i, tan(i));
            break;
        ...
    }
}
```

11 Getrennte Übersetzung — Beispiel (2)

■ Header-Datei (Datei `trig.h`)

```
#include <stdio.h>
#define PI 3.1415926535897932
double tan(double), cot(double);
double cos(double), sin(double);
```

11 Getrennte Übersetzung — Beispiel (3)

■ Trigonometrische Funktionen (Datei `trigfunc.c`)

```
#include "trig.h"

double tan(double x) {
    return(sin(x)/cos(x));
}

double cot(double x) {
    return(cos(x)/sin(x));
}

double cos(double x) {
    return(sin(PI/2-x));
}

...

```

11 Getrennte Übersetzung — Beispiel (4)

■ Trigonometrische Funktionen — Fortsetzung (Datei `trigfunc.c`)

```

...
double sin (double x)
{
    double summe;
    double x_quadrat;
    double rest;
    int k;

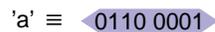
    k = 0;
    summe = 0.0;
    rest = x;
    x_quadrat = x*x;

    while ( fabs(rest) > 1e-9 ) {
        summe += rest;
        k += 2;
        rest *= -x_quadrat/(k*(k+1));
    }
    return(summe);
}
    
```

Zeiger(-Variablen)

1 Einordnung

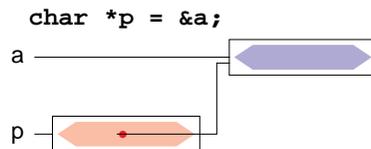
■ **Konstante:**
Bezeichnung für einen Wert



■ **Variable:**
Bezeichnung eines Datenobjekts



■ **Zeiger-Variable (Pointer):**
Bezeichnung einer Referenz auf ein Datenobjekt



2 Überblick

- Eine Zeigervariable (**pointer**) enthält als Wert die Adresse einer anderen Variablen
 - ↳ *der Zeiger verweist auf die Variable*
- Über diese Adresse kann man **indirekt** auf die Variable zugreifen
- Daraus resultiert die große Bedeutung von Zeigern in C
 - ↳ Funktionen können ihre Argumente verändern (**call-by-reference**)
 - ↳ dynamische Speicherverwaltung
 - ↳ effizientere Programme
- Aber auch Nachteile!
 - ↳ Programmstruktur wird unübersichtlicher (welche Funktion kann auf welche Variable zugreifen?)
 - ↳ häufigste Fehlerquelle bei C-Programmen

3 Definition von Zeigervariablen

■ Syntax:

```

Typ *Name ;
    
```

▲ Beispiele

```

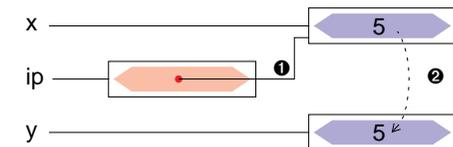
int x = 5;

int *ip;

int y;

ip = &x; ①

y = *ip; ②
    
```



4 Adressoperatoren

- ▲ **Adressoperator &**
&x der unäre Adress-Operator liefert eine Referenz auf den Inhalt der Variablen (des Objekts) **x**
- ▲ **Verweisoperator ***
x** der unäre Verweisoperator ** ermöglicht den Zugriff auf den Inhalt der Variablen (des Objekts), auf die der Zeiger **x** verweist

5 Zeiger als Funktionsargumente

- Parameter werden in C *by-value* übergeben
- die aufgerufene Funktion kann den aktuellen Parameter beim Aufrufer nicht verändern
- auch Zeiger werden *by-value* übergeben, d. h. die Funktion erhält lediglich eine Kopie des Adressverweises
- über diesen Verweis kann die Funktion jedoch mit Hilfe des *****-Operators auf die zugehörige Variable zugreifen und sie verändern
 ➔ *call-by-reference*

5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

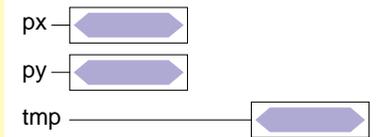
■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b);
}
```



```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px;
    *px = *py;
    *py = tmp;
}
```



5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

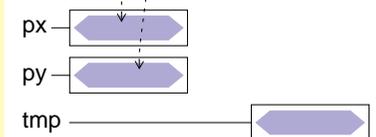
■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b); ❶
}
```



```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px;
    *px = *py;
    *py = tmp;
}
```



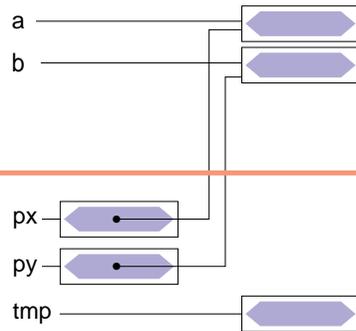
5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b);
}
```

```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px;
    *px = *py;
    *py = tmp;
}
```



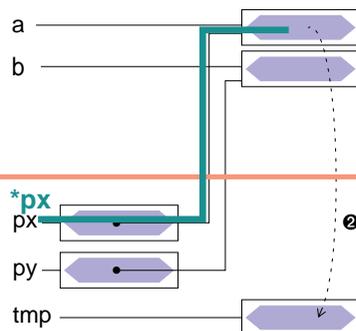
5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b); ①
}
```

```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px; ②
    *px = *py;
    *py = tmp;
}
```



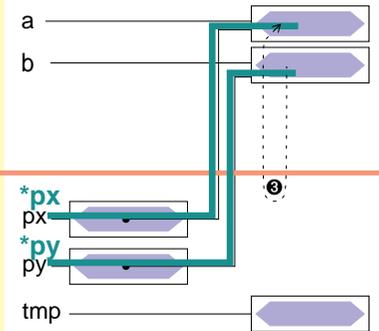
5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b); ①
}
```

```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px;
    *px = *py; ③
    *py = tmp;
}
```



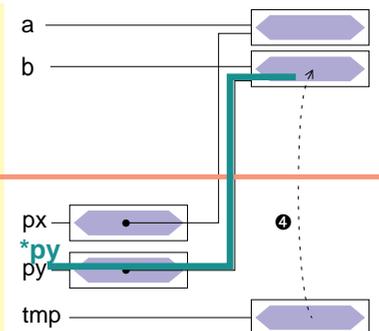
5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b); ①
}
```

```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px;
    *px = *py;
    *py = tmp; ④
}
```

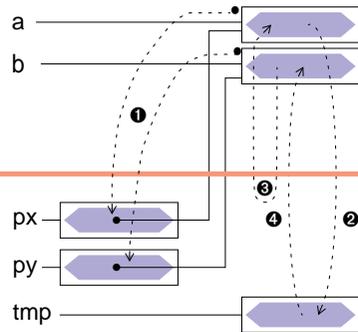


5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```
main(void) {
    int a, b;
    void swap (int *, int *);
    ...
    swap(&a, &b); ❶
}
```

```
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;
    tmp = *px; ❷
    *px = *py; ❸
    *py = tmp; ❹
}
```



6 Zeiger auf Strukturen

■ Konzept analog zu "Zeiger auf Variablen"

- Adresse einer Struktur mit &-Operator zu bestimmen
- Zeigerarithmetik berücksichtigt Strukturgröße

■ Beispiele

```
struct student stud1;
struct student *pstud;
pstud = &stud1; /* => pstud -> stud1 */
```

■ Besondere Bedeutung zum Aufbau verketteter Strukturen

6 Zeiger auf Strukturen (2)

■ Zugriff auf Strukturkomponenten über einen Zeiger

■ Bekannte Vorgehensweise

- *-Operator liefert die Struktur
- .-Operator zum Zugriff auf Komponente
- Operatorenvorrang beachten

```
(*pstud).best = 'n'; unleserlich!
```

■ Syntaktische Verschönerung

```
->-Operator
```

```
pstud->best = 'n';
```

7 Zusammenfassung

■ Variable

```
int a;
a — 5
```

■ Zeiger

```
int *p = &a;
a — 5
p — •
```

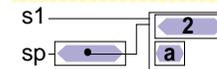
■ Struktur

```
struct s {int a; char c;};
struct s s1 = {2, 'a'};
```



■ Zeiger auf Struktur

```
struct s *sp = &s1;
```



Felder

1 Eindimensionale Felder

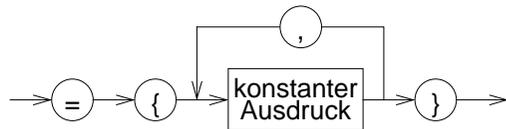
- eine Reihe von Daten desselben Typs kann zu einem **Feld** zusammengefasst werden
- bei der Definition wird die Anzahl der Feldelemente angegeben, die Anzahl ist konstant!
- der Zugriff auf die Elemente erfolgt durch **Indizierung**, beginnend bei Null
- Definition eines Feldes



- Beispiele:

```
int x[5];
double f[20];
```

2 Initialisierung eines Feldes



- Ein Feld kann durch eine Liste von konstanten Ausdrücken, die durch Komma getrennt sind, initialisiert werden

```
int prim[4] = {2, 3, 5, 7};
char name[5] = {'0', 't', 't', 'o', '\0'};
```

- wird die explizite Felddimensionierung weggelassen, so bestimmt die Zahl der Initialisierungskonstanten die Feldgröße

```
int prim[] = {2, 3, 5, 7};
char name[] = {'0', 't', 't', 'o', '\0'};
```

- werden zu wenig Initialisierungskonstanten angegeben, so werden die restlichen Elemente mit 0 initialisiert

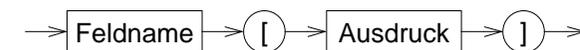
3 Initialisierung eines Feldes (2)

- Felder des Typs **char** können auch durch String-Konstanten initialisiert werden

```
char name1[5] = "Otto";
char name2[] = "Otto";
```

4 Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



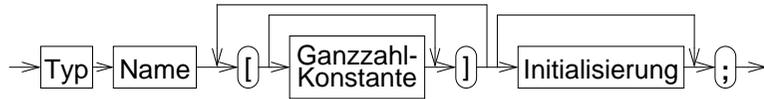
wobei: $0 \leq \text{Wert}(\text{Ausdruck}) < \text{Feldgröße}$

- Beispiele:

```
prim[0] == 2
prim[1] == 3
name[1] == 't'
name[4] == '\0'
```

5 Mehrdimensionale Felder

- neben eindimensionalen Felder kann man auch mehrdimensionale Felder vereinbaren
- Definition eines mehrdimensionalen Feldes



- Beispiel:
`int matrix[4][4];`

6 Zugriffe auf Feldelemente bei mehrdim. Feldern

- Indizierung:



wobei: $0 \leq A_i < \text{Größe der Dimension } i \text{ des Feldes}$
 $n = \text{Anzahl der Dimensionen des Feldes}$

- Beispiel:

```
int feld[5][8];
feld[2][3] = 10;
```

 ♦ ist äquivalent zu:

```
int feld[5][8];
int *f1;
f1 = (int*)feld;
f1[2*8 + 3] = 10;
```

7 Initialisierung eines mehrdimensionalen Feldes

- ein mehrdimensionales Feld kann - wie ein eindimensionales Feld - durch eine Liste von konstanten Werten, die durch Komma getrennt sind, initialisiert werden
- wird die explizite Felddimensionierung weggelassen, so bestimmt die Zahl der Initialisierungskonstanten die Größe des Feldes

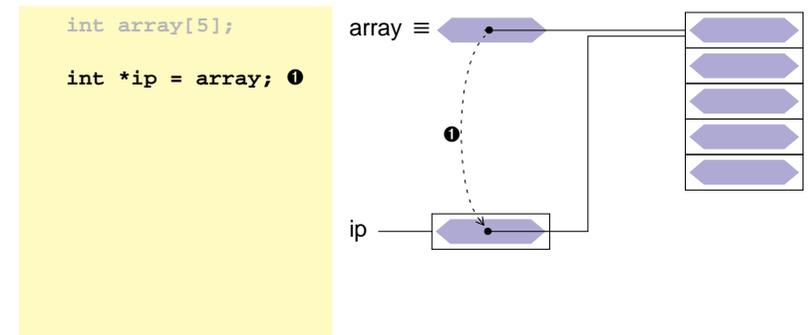
- Beispiel:

```
int feld[3][4] = {
    { 1, 3, 5, 7}, /* feld[0][0-3] */
    { 2, 4, 6   } /* feld[1][0-2] */
};
```

`feld[1][3]` und `feld[2][0-3]` werden in dem Beispiel mit 0 initialisiert!

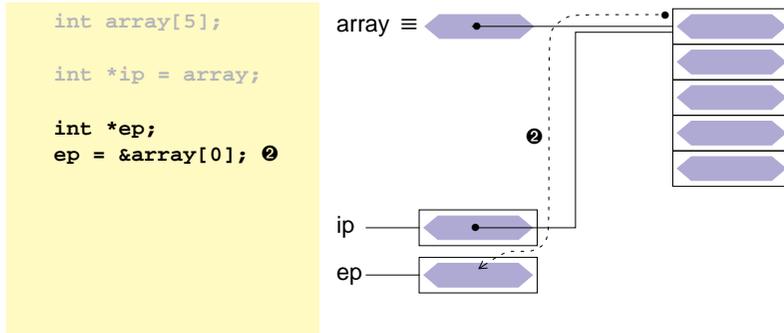
Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:



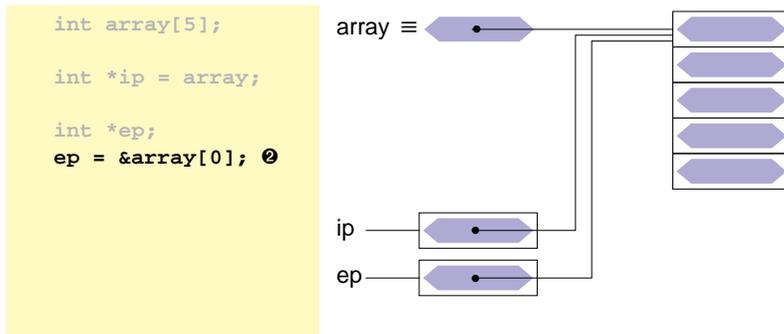
Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:



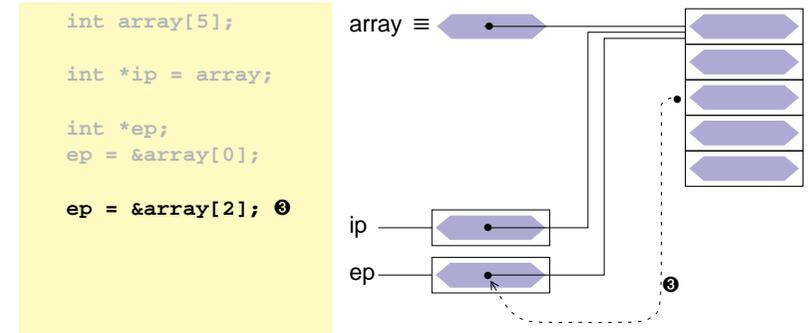
Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:



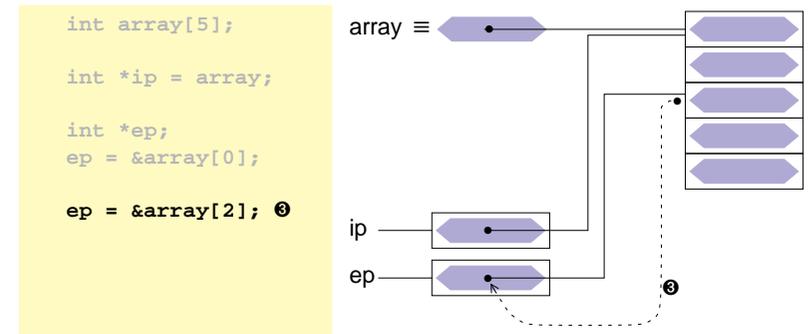
Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:



Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:



Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

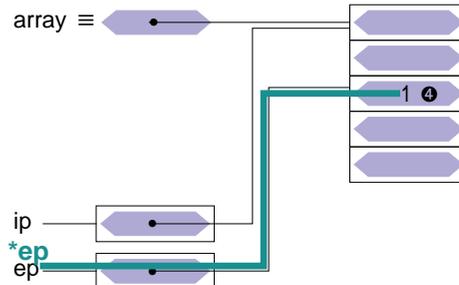
```
int array[5];

int *ip = array;

int *ep;
ep = &array[0];

ep = &array[2];

*ep = 1;
```



Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

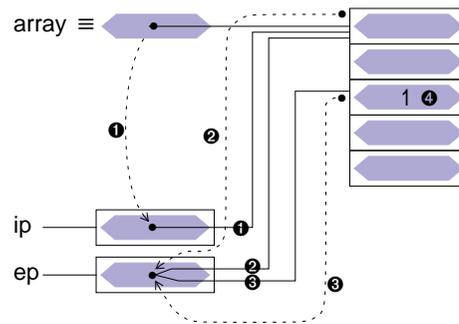
```
int array[5];

int *ip = array;

int *ep;
ep = &array[0];

ep = &array[2];

*ep = 1;
```

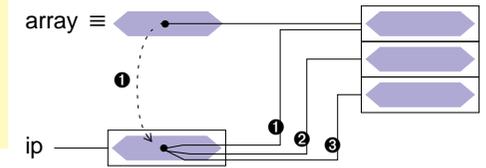


1 Arithmetik mit Adressen

- ++ -Operator: Inkrement = nächstes Objekt

```
int array[3];
int *ip = array;

ip++;
ip++;
```

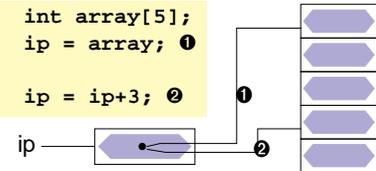


- -- -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

- +, - Addition und Subtraktion von Zeigern und ganzzahligen Werten. Dabei wird immer die Größe des Objekttyps berücksichtigt!

```
int array[5];
ip = array;

ip = ip+3;
```



!!! **Achtung:** Assoziativität der Operatoren beachten !!

2 Zeigerarithmetik und Felder

- Ein Feldname ist eine Konstante, für die Adresse des Feldanfangs
 - ↳ Feldname ist ein ganz normaler Zeiger
 - Operatoren für Zeiger anwendbar (*, [])
 - ↳ aber keine Variable → keine Modifikationen erlaubt
 - keine Zuweisung, kein ++, --, +=, ...

- es gilt:

```
int array[5]; /* → array ist Konstante für den Wert &array[0] */
int *ip = array; /* ≡ int *ip = &array[0] */
int *ep;

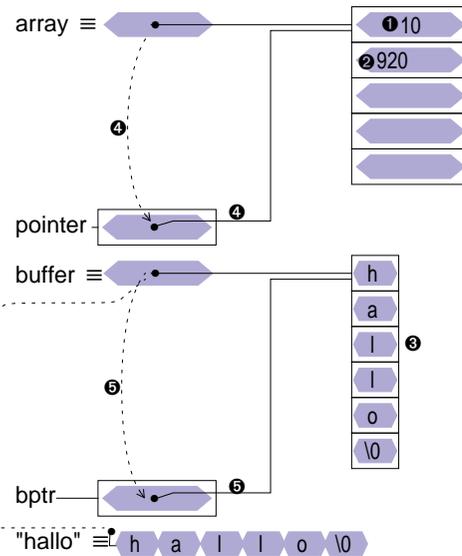
/* Folgende Zuweisungen sind äquivalent */
array[i] = 1;
ip[i] = 1;
*(ip+i) = 1; /* Vorrang! */
*(array+i) = 1;

ep = &array[i]; *ep = 1;
ep = array+i; *ep = 1;
```

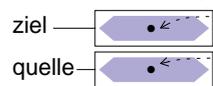
2 Zeigerarithmetik und Felder

```
int array[5];
int *pointer;
char buffer[6];
char *bptr;
```

```
1 array[0] = 10;
2 array[1] = 920;
3 strcpy(buffer, "hallo");
4 pointer = array;
5 bptr = buffer;
```



Formale Parameter der Funktion strcpy

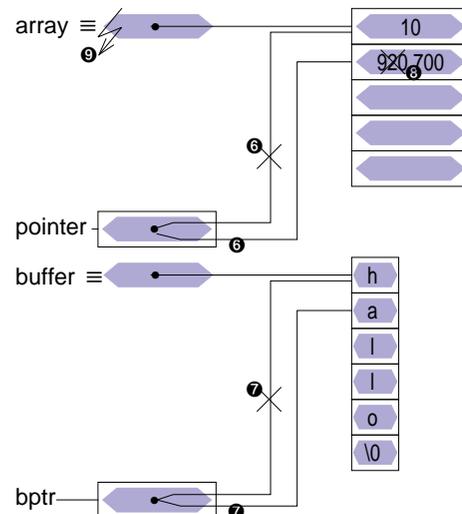


2 Zeigerarithmetik und Felder

```
int array[5];
int *pointer;
char buffer[6];
char *bptr;
```

```
1 array[0] = 10;
2 array[1] = 920;
3 strcpy(buffer, "hallo");
4 pointer = array;
5 bptr = buffer;
```

```
6 pointer++;
7 bptr++;
8 *pointer = 700;
9 array++;
```



Dynamische Speicherverwaltung

- Felder können (mit einer Ausnahme im C99-Standard) nur mit statischer Größe definiert werden
- Wird die Größe eines Feldes erst zur Laufzeit des Programm bekannt, kann der benötigte Speicherbereich dynamisch vom Betriebssystem angefordert werden: Funktion `malloc`
 - Ergebnis: Zeiger auf den Anfang des Speicherbereichs
 - Zeiger kann danach wie ein Feld verwendet werden (`[]`-Operator)

```
void *malloc(size_t size)
```

```
int *feld;
int groesse;
...
feld = (int *) malloc(groesse * sizeof(int));
if (feld == NULL) {
    perror("malloc feld");
    exit(1);
}
for (i=0; i<groesse; i++) { feld[i] = 8; }
```

Dynamische Speicherverwaltung (2)

- Dynamisch angeforderte Speicherbereiche können mit der `free`-Funktion wieder freigegeben werden

```
void free(void *ptr)
```

```
double *dfeld;
int groesse;
...
dfeld = (double *) malloc(groesse * sizeof(double));
...
free(dfeld);
```

- die Schnittstellen der Funktionen sind in in der include-Datei `stdlib.h` definiert
- ```
#include <stdlib.h>
```

## Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

- C enthält Regeln für eine automatische Konvertierung unterschiedlicher Typen in einem Ausdruck

Beispiel:

```
int i = 5;
float f = 0.2;
double d;
```

$d = (i * f);$  →float  
→double

- In manchen Fällen wird eine explizite Typumwandlung benötigt (vor allem zur Umwandlung von Zeigern)

◆ Syntax:

(Typ) Variable

Beispiele:

```
(int) a (int *) a
(float) b (char *) a
```

◆ Beispiel:

```
feld = (int *) malloc(groesse * sizeof(int));
```

malloc liefert Ergebnis vom Typ (void \*)  
cast-Operator macht daraus den Typ (int \*)

## sizeof-Operator

- In manchen Fällen ist es notwendig, die Größe (in Byte) einer Variablen oder Struktur zu ermitteln
  - ▶ z. B. zum Anfordern von Speicher für ein Feld (→ malloc)

■ Syntax:

`sizeof x` liefert die Größe des Objekts `x` in Bytes  
`sizeof (Typ)` liefert die Größe eines Objekts vom Typ `Typ` in Bytes

- Das Ergebnis ist vom Typ `size_t` ( $\equiv$  `int`) (`#include <stddef.h>`!)

■ Beispiel:

```
int a; size_t b;
b = sizeof a; /* => b = 2 oder b = 4 */
b = sizeof(double) /* => b = 8 */
```

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter

- ganze Felder können in C **nicht *by-value*** übergeben werden
- wird einer Funktion ein Feldname als Parameter übergeben, wird damit der Zeiger auf das erste Element "by value" übergeben
  - ▶ die Funktion kann über den formalen Parameter (=Kopie des Zeigers) in gleicher Weise wie der Aufrufer auf die Feldelemente zugreifen (und diese verändern!)
- bei der Deklaration des formalen Parameters wird die Feldgröße weggelassen
  - ▶ die Feldgröße ist automatisch durch den aktuellen Parameter gegeben
  - ▶ die Funktion kennt die Feldgröße damit nicht
  - ▶ ggf. ist die Feldgröße über einen weiteren `int`-Parameter der Funktion explizit mitzuteilen
  - ▶ die Länge von Zeichenketten in `char`-Feldern kann normalerweise durch Suche nach dem `\0`-Zeichen bestimmt werden

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (2)

- wird ein Feldparameter als `const` deklariert, können die Feldelemente innerhalb der Funktion nicht verändert werden
- Funktionsaufruf und Deklaration der formalen Parameter am Beispiel eines `int`-Feldes:

```
int a, b;
int feld[20];
func(a, feld, b);
...
int func(int p1, int p2[], int p3);
oder:
int func(int p1, int *p2, int p3);
```

- die Parameter-Deklarationen `int p2[]` und `int *p2` sind vollkommen äquivalent!

- ▶ im Unterschied zu einer Variablendefinition!!!
 

```
int f[] = {1, 2, 3}; /* initialisiertes Feld mit 3 Elementen */
int f1[]; /* ohne Initialisierung oder Dimension nicht erlaubt! */
int *p; /* Zeiger auf einen int */
```

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (3)

### ■ Beispiel 1: Bestimmung der Länge einer Zeichenkette (String)

```
int strlen(const char string[])
{
 int i=0;
 while (string[i] != '\0') ++i;
 return(i);
}
```

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (4)

### ■ Beispiel 2: Konkateniere Strings

```
void strcat(char to[], const char from[])
{
 int i=0, j=0;
 while (to[i] != '\0') i++;
 while ((to[i++] = from[j++]) != '\0')
 ;
}
```

#### ◆ Funktionsaufruf mit Feld-Parametern

- als aktueller Parameter beim Funktionsaufruf wird einfach der Feldname angegeben

```
char s1[50] = "text1";
char s2[] = "text2";
strcat(s1, s2); /* → s1= "text1text2" */
strcat(s1, "text3"); /* → s1= "text1text2text3" */
```

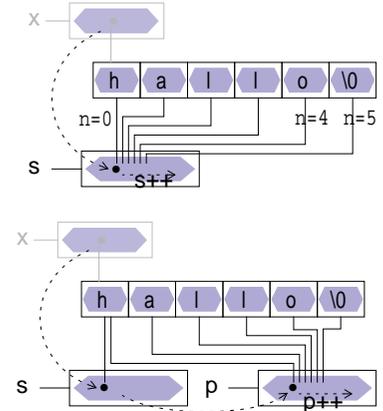
## Zeiger, Felder und Zeichenketten

- Zeichenketten sind Felder von Einzelzeichen (**char**), die in der internen Darstellung durch ein **'\0'**-Zeichen abgeschlossen sind

### ■ Beispiel: Länge eines Strings ermitteln — Aufruf **strlen(x)**;

```
/* 1. Version */
int strlen(const char *s)
{
 int n;
 for (n=0; *s != '\0'; s++)
 n++;
 return(n);
}
```

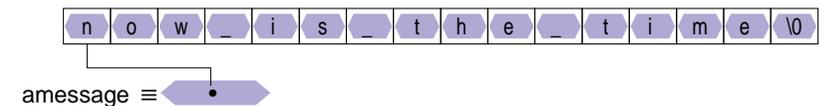
```
/* 2. Version */
int strlen(const char *s)
{
 char *p = s;
 while (*p != '\0')
 p++;
 return(p-s);
}
```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (2)

- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines char-Feldes verwendet, ist der Feldname ein konstanter Zeiger auf den Anfang der Zeichenkette

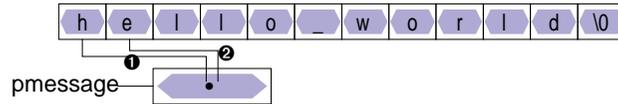
```
char amessage[] = "now is the time";
```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (3)

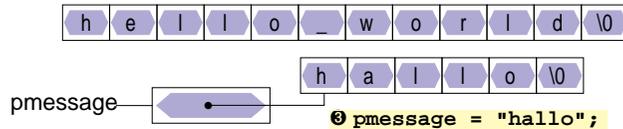
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines `char`-Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird

```
char *pmessage = "hello world";
```



```
pmessage++; ②
printf("%s", pmessage); /*gibt "ello world" aus*/
```

→ wird dieser Zeiger überschrieben, ist die Zeichenkette nicht mehr adressierbar!

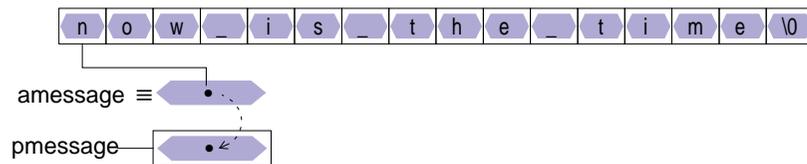


## Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

- die Zuweisung eines `char`-Zeigers oder einer Zeichenkette an einen `char`-Zeiger bewirkt kein Kopieren von Zeichenketten!

```
pmessage = amessage;
```

weist dem Zeiger `pmessage` lediglich die Adresse der Zeichenkette "now is the time" zu



- wird eine Zeichenkette als aktueller Parameter an eine Funktion übergeben, erhält diese eine Kopie des Zeigers

## Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

- Zeichenketten kopieren

```
/* 1. Version */
void strcpy(char to[], const char from[])
{
 int i=0;
 while ((to[i] = from[i]) != '\0')
 i++;
}

/* 2. Version */
void strcpy(char *to, const char *from)
{
 while ((*to = *from) != '\0')
 to++, from++;
}

/* 3. Version */
void strcpy(char *to, const char *from)
{
 while (*to++ = *from++)
 ;
}
```

## Zeiger, Felder und Zeichenketten (6)

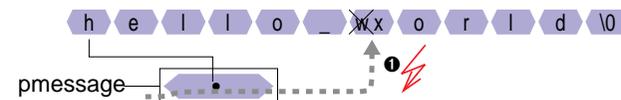
- in ANSI-C können Zeichenketten in nicht-modifizierbaren Speicherbereichen angelegt werden (je nach Compiler)

- Schreiben in Zeichenketten (Zuweisungen über dereferenzierte Zeiger) kann zu Programmabstürzen führen!

- Beispiel:

```
strcpy("zu ueberschreiben", "reinschreiben");
```

```
char *pmessage = "hello world";
```



```
pmessage[6] = 'x'; ① ⚡
```

aber! `char amessage[] = "hello world"; amessage[6] = 'x';` ok!

## Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden

- Deklaration

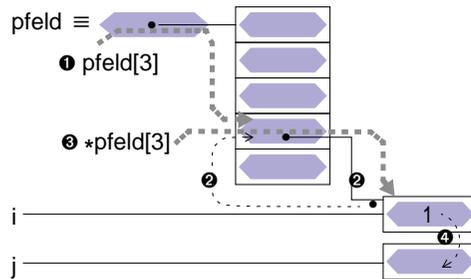
```
int *pfeld[5];
int i = 1;
int j;
```

- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

```
pfeld[3] = &i; ②
```

- Zugriffe auf das Objekt, auf das ein Zeiger des Feldes verweist

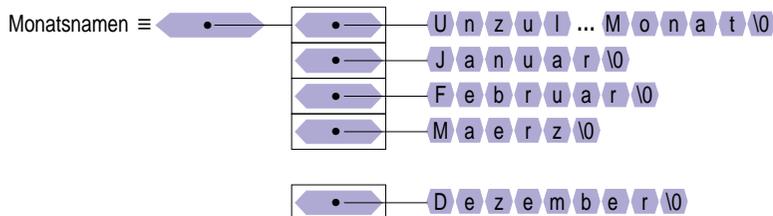
```
j = *pfeld[3]; ④
```



## Felder von Zeigern (2)

- Beispiel: Definition und Initialisierung eines Zeigerfeldes:

```
char *month_name(int n)
{
 static char *Monatsnamen[] = {
 "Unzulaessiger Monat",
 "Januar",
 ...
 "Dezember"
 };
 return ((n<0 || n>12) ?
 Monatsnamen[0] : Monatsnamen[n]);
}
```



## Argumente aus der Kommandozeile

- beim Aufruf eines Kommandos können normalerweise Argumente übergeben werden
- der Zugriff auf diese Argumente wird der Funktion **main()** durch zwei Aufrufparameter ermöglicht:

```
int
main (int argc, char *argv[])
{
 ...
}
```

oder

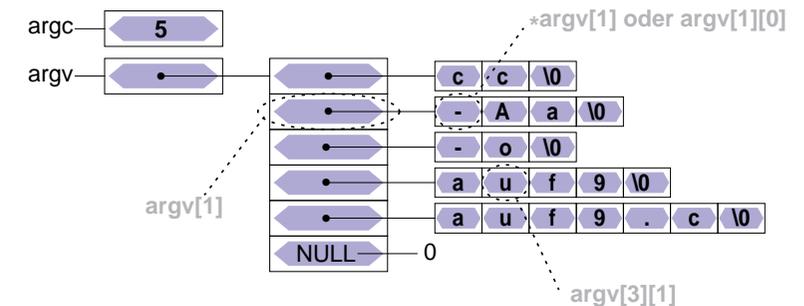
```
int
main (int argc, char **argv)
{
 ...
}
```

- der Parameter **argc** enthält die Anzahl der Argumente, mit denen das Programm aufgerufen wurde
- der Parameter **argv** ist ein Feld von Zeiger auf die einzelnen Argumente (Zeichenketten)
- der Kommandoname wird als erstes Argument übergeben (**argv[0]**)

## 1 Datenaufbau

Kommando: `cc -Aa -o auf9 auf9.c`

Datei cc.c: `main(int argc, char *argv[]) { ... }`



## 2 Zugriff — Beispiel: Ausgeben aller Argumente (1)

- das folgende Programmstück gibt alle Argumente der Kommandozeile aus (außer dem Kommandonamen)

```
int main (int argc, char *argv[])
{
 for (i=1; i<argc; i++) {
 printf("%s%c", argv[i],
 (i < argc-1) ? ' ': '\n');
 }
}
```

1. Version

## 2 Zugriff — Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

- das folgende Programmstück gibt alle Argumente der Kommandozeile aus (außer dem Kommandonamen)

```
int main (int argc, char **argv)
{
 while (--argc > 0) {
 argv++;
 printf("%s%c", *argv, (argc>1) ? ' ': '\n');
 }
}
```

2. Version

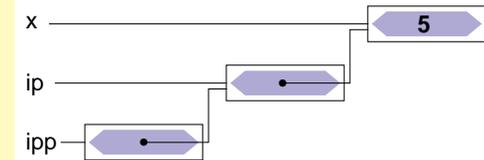
linksseitiger Operator:  
erst dekrementieren,  
dann while-Bedingung prüfen  
→ Schleife läuft für argc=4,3,2,1

## Zeiger auf Zeiger

- ein Zeiger kann auf eine Variable verweisen, die ihrerseits ein Zeiger ist

```
int x = 5;
int *ip = &x;

int **ipp = &ip;
/* → **ipp = 5 */
```



- wird vor allem bei der Parameterübergabe an Funktionen benötigt, wenn ein Zeiger "call bei reference" übergeben werden muss (z. B. swap-Funktion für Zeiger)

## Strukturen

- Beispiele

```
struct student {
 char nachname[25];
 char vorname[25];
 char gebdatum[11];
 int matrnr;
 short gruppe;
 char best;
};
```

```
struct komplex {
 double re;
 double im;
};
```

- Initialisierung
- Strukturen als Funktionsparameter
- Felder von Strukturen
- Zeiger auf Strukturen

## 1 Initialisieren von Strukturen

- Strukturen können — wie Variablen und Felder — bei der Definition initialisiert werden

- Beispiele

```
struct student stud1 = {
 "Meier", "Hans", "24.01.1970", 1533180, 5, 'n'
};

struct komplex c1 = {1.2, 0.8}, c2 = {0.5, 0.33};
```

### !!! Vorsicht

bei Zugriffen auf eine Struktur werden die Komponenten durch die Komponentennamen identifiziert,

**bei der Initialisierung jedoch nur durch die Postion**

- potentielle Fehlerquelle bei Änderungen der Strukturtyp-Deklaration

## 2 Strukturen als Funktionsparameter

- Strukturen können wie normale Variablen an Funktionen übergeben werden
  - ◆ Übergabesemantik: **call by value**
    - Funktion erhält eine Kopie der Struktur
    - auch wenn die Struktur ein Feld enthält, wird dieses komplett kopiert!
- !!! Unterschied zur direkten Übergabe eines Feldes

- Strukturen können auch Ergebnis einer Funktion sein
  - Möglichkeit mehrere Werte im Rückgabeparameter zu transportieren

- Beispiel

```
struct komplex komp_add(struct komplex x, struct komplex y) {
 struct komplex ergebnis;
 ergebnis.re = x.re + y.re;
 ergebnis.im = x.im + y.im;
 return(ergebnis);
}
```

## 3 Felder von Strukturen

- Von Strukturen können — wie von normale Datentypen — Felder gebildet werden

- Beispiel

```
struct student gruppe8[35];
int i;
for (i=0; i<35; i++) {
 printf("Nachname %d. Stud.: ", i);
 scanf("%s", gruppe8[i].nachname);
 ...
 gruppe8[i].gruppe = 8;

 if (gruppe8[i].matrnr < 1500000) {
 gruppe8[i].best = 'y';
 } else {
 gruppe8[i].best = 'n';
 }
}
```

## 4 Zeiger auf Felder von Strukturen

- Ergebnis der Addition/Subtraktion abhängig von Zeigertyp!

- Beispiel

```
struct student gruppe8[35];
struct student *gp1, *gp2;

gp1 = gruppe8; /* gp1 zeigt auf erstes Element des Arrays */
printf("Nachname des ersten Studenten: %s", gp1->nachname);

gp2 = gp1 + 1; /* gp2 zeigt auf zweite Element des Arrays */
printf("Nachname des zweiten Studenten: %s", gp2->nachname);

printf("Byte-Differenz: %d", (char*)gp2 - (char*)gp1);
```

## 5 Zusammenfassung

## ■ Variable

```
int a;
a — 5
```

## ■ Zeiger

```
int *p = &a;
a — 5
p — • —> a
```

## ■ Feld

```
int a[3];
a ≡ • —> [] [] []
```

## ■ Feld von Zeigern

```
int *p[3];
p ≡ • —> [•] [•] [•]
```

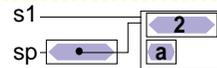
## ■ Struktur

```
struct s {int a; char c;};
struct s s1 = {2, 'a'};
```



## ■ Zeiger auf Struktur

```
struct s *sp = &s1;
```



## ■ Feld von Strukturen

```
struct s sa[3];
sa ≡ • —> [] [] []
```

## Ein-/Ausgabe

## ■ E-/A-Funktionalität nicht Teil der Programmiersprache

## ■ Realisierung durch "normale" Funktionen

- Bestandteil der Standard-Funktionsbibliothek
- einfache Programmierschnittstelle
- effizient
- portabel
- betriebssystemnah

## ■ Funktionsumfang

- Öffnen/Schließen von Dateien
- Lesen/Schreiben von Zeichen, Zeilen oder beliebigen Datenblöcken
- Formatierte Ein-/Ausgabe

## Zeiger auf Funktionen

## ■ Datentyp: Zeiger auf Funktion

◆ Variablendef.: `<Rückgabety> (*<Variablenname>) (<Parameter>);`

```
int (*fptr)(int, char*);

int test1(int a, char *s) { printf("1: %d %s\n", a, s); }
int test2(int a, char *s) { printf("2: %d %s\n", a, s); }

fptr = test1;

fptr(42, "hallo");

fptr = test2;

fptr(42, "hallo");
```

## 1 Standard Ein-/Ausgabe

## ■ Jedes C-Programm erhält beim Start automatisch 3 E-/A-Kanäle:

◆ `stdin` Standardeingabe

- normalerweise mit der Tastatur verbunden
- Dateiende (EOF) wird durch Eingabe von `CTRL-D` am Zeilenanfang signalisiert
- bei Programmaufruf in der Shell auf Datei umlenkbar  
`prog <eingabedatei`  
(bei Erreichen des Dateiendes wird EOF signalisiert)

◆ `stdout` Standardausgabe

- normalerweise mit dem Bildschirm (bzw. dem Fenster, in dem das Programm gestartet wurde) verbunden
- bei Programmaufruf in der Shell auf Datei umlenkbar  
`prog >ausgabedatei`

◆ `stderr` Ausgabekanal für Fehlermeldungen

- normalerweise ebenfalls mit Bildschirm verbunden

## 1 Standard Ein-/Ausgabe (2)

- Pipes
  - ◆ die Standardausgabe eines Programms kann mit der Standardeingabe eines anderen Programms verbunden werden
    - Aufruf
 

```
prog1 | prog2
```
- ! Die Umlenkung von Standard-E/A-Kanäle ist für die aufgerufenen Programme völlig unsichtbar
- automatische Pufferung
  - ◆ Eingabe von der Tastatur wird normalerweise vom Betriebssystem zeilenweise zwischengespeichert und erst bei einem **NEWLINE**-Zeichen (`'\n'`) an das Programm übergeben!

## 2 Öffnen und Schließen von Dateien

- Neben den Standard-E/A-Kanälen kann ein Programm selbst weitere E/A-Kanäle öffnen
  - Zugriff auf Dateien
- Öffnen eines E/A-Kanals
  - Funktion `fopen`:
 

```
#include <stdio.h>
FILE *fopen(char *name, char *mode);
```

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| <b>name</b> | Pfadname der zu öffnenden Datei           |
| <b>mode</b> | Art, wie die Datei geöffnet werden soll   |
| "r"         | zum Lesen                                 |
| "w"         | zum Schreiben                             |
| "a"         | append: Öffnen zum Schreiben am Dateiende |
| "rw"        | zum Lesen und Schreiben                   |
  - Ergebnis von `fopen`:  
Zeiger auf einen Datentyp `FILE`, der einen Dateikanal beschreibt  
im Fehlerfall wird ein `NULL`-Zeiger geliefert

## 2 Öffnen und Schließen von Dateien (2)

- Beispiel:

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
 FILE *eingabe;

 if (argv[1] == NULL) {
 fprintf(stderr, "keine Eingabedatei angegeben\n");
 exit(1); /* Programm abbrechen */
 }

 if ((eingabe = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
 perror(argv[1]); /* Fehlermeldung ausgeben */
 exit(1); /* Programm abbrechen */
 }

 ... /* Programm kann jetzt von eingabe lesen */
}
```

- Schließen eines E/A-Kanals

```
int fclose(FILE *fp)
```

- schließt E/A-Kanal `fp`

## 3 Zeichenweise Lesen und Schreiben

- Lesen eines einzelnen Zeichens
  - ◆ von der Standardeingabe
  - ◆ von einem Dateikanal

|                           |                                |
|---------------------------|--------------------------------|
| <pre>int getchar( )</pre> | <pre>int getc(FILE *fp )</pre> |
|---------------------------|--------------------------------|

  - lesen das nächste Zeichen
  - geben das gelesene Zeichen als `int`-Wert zurück
  - geben bei Eingabe von `CTRL-D` bzw. am Ende der Datei `EOF` als Ergebnis zurück
- Schreiben eines einzelnen Zeichens
  - ◆ auf die Standardausgabe
  - ◆ auf einen Dateikanal

|                               |                                       |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| <pre>int putchar(int c)</pre> | <pre>int putc(int c, FILE *fp )</pre> |
|-------------------------------|---------------------------------------|

  - schreiben das im Parameter `c` übergeben Zeichen
  - geben gleichzeitig das geschriebene Zeichen als Ergebnis zurück

### 3 Zeichenweise Lesen und Schreiben (2)

- Beispiel: copy-Programm, Aufruf: `copy Quelldatei Zieldatei`

```
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[]) {
 FILE *quelle, *ziel;
 int c;

 if (argc < 3) { /* Fehlermeldung, Abbruch */ }

 if ((quelle = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
 perror(argv[1]); /* Fehlermeldung ausgeben */
 exit(EXIT_FAILURE); /* Programm abbrechen */
 }

 if ((ziel = fopen(argv[2], "w")) == NULL) {
 /* Fehlermeldung, Abbruch */
 }

 while ((c = getc(quelle)) != EOF) {
 putc(c, ziel);
 }

 fclose(quelle);
 fclose(ziel);
}
```

Teil 1: Aufrufargumente  
auswerten

### 3 Zeilenweise Lesen und Schreiben

- Lesen einer Zeile von der Standardeingabe

```
char *fgets(char *s, int n, FILE *fp)
```

- liest Zeichen von Dateikanal `fp` in das Feld `s` bis entweder `n-1` Zeichen gelesen wurden oder `'\n'` oder `EOF` gelesen wurde
- `s` wird mit `'\0'` abgeschlossen (`'\n'` wird nicht entfernt)
- gibt bei `EOF` oder Fehler `NULL` zurück, sonst `s`
- für `fp` kann `stdin` eingesetzt werden, um von der Standardeingabe zu lesen

- Schreiben einer Zeile

```
int fputs(char *s, FILE *fp)
```

- schreibt die Zeichen im Feld `s` auf Dateikanal `fp`
- für `fp` kann auch `stdout` oder `stderr` eingesetzt werden
- als Ergebnis wird die Anzahl der geschriebenen Zeichen geliefert

### 4 Formatierte Ausgabe

- Bibliotheksfunktionen — Prototypen (Schnittstelle)

```
int printf(char *format, /* Parameter */ ...);
int fprintf(FILE *fp, char *format, /* Parameter */ ...);
int sprintf(char *s, char *format, /* Parameter */ ...);
int snprintf(char *s, int n, char *format, /* Parameter */ ...);
```

- Die statt ... angegebenen Parameter werden entsprechend der Angaben im `format`-String ausgegeben
  - bei `printf` auf der Standardausgabe
  - bei `fprintf` auf dem Dateikanal `fp` (für `fp` kann auch `stdout` oder `stderr` eingesetzt werden)
  - `sprintf` schreibt die Ausgabe in das `char`-Feld `s` (achtet dabei aber nicht auf das Feldende -> Pufferüberlauf möglich!)
  - `snprintf` arbeitet analog, schreibt aber maximal nur `n` Zeichen (`n` sollte natürlich nicht größer als die Feldgröße sein)

### 4 Formatierte Ausgabe (2)

- Zeichen im `format`-String können verschiedene Bedeutung haben
  - normale Zeichen: werden einfach auf die Ausgabe kopiert
  - Escape-Zeichen: z. B. `\n` oder `\t`, werden durch die entsprechenden Zeichen (hier Zeilenvorschub bzw. Tabulator) bei der Ausgabe ersetzt
  - Format-Anweisungen: beginnen mit `%`-Zeichen und beschreiben, wie der dazugehörige Parameter in der Liste nach dem `format`-String aufbereitet werden soll
- Format-Anweisungen
  - `%d, %i` `int` Parameter als Dezimalzahl ausgeben
  - `%f` `float` Parameter wird als Fließkommazahl (z. B. 271.456789) ausgegeben
  - `%e` `float` Parameter wird als Fließkommazahl in 10er-Potenz-Schreibweise (z. B. 2.714567e+02) ausgegeben
  - `%c` `char`-Parameter wird als einzelnes Zeichen ausgegeben
  - `%s` `char`-Feld wird ausgegeben, bis `'\0'` erreicht ist

## 5 Formatierte Eingabe

## ■ Bibliotheksfunktionen — Prototypen (Schnittstelle)

```
int scanf(char *format, /* Parameter */ ...);
int fscanf(FILE *fp, char *format, /* Parameter */ ...);
int sscanf(char *s, const char *format, /* Parameter */ ...);
```

- Die Funktionen lesen Zeichen von `stdin` (`scanf`), `fp` (`fscanf`) bzw. aus dem `char`-Feld `s`.
- `format` gibt an, welche Daten hiervon extrahiert und in welchen Datentyp konvertiert werden sollen
- Die folgenden Parameter sind Zeiger auf Variablen der passenden Datentypen (bzw. `char`-Felder bei Format `%s`), in die die Resultate eingetragen werden
- relativ komplexe Funktionalität, hier nur Kurzüberblick für Details siehe Manual-Seiten

## 5 Formatierte Eingabe (2)

- *White space* (Space, Tabulator oder Newline `\n`) bildet jeweils die Grenze zwischen Daten, die interpretiert werden
  - *white space* wird in beliebiger Menge einfach überlesen
  - Ausnahme: bei Format-Anweisung `%c` wird auch *white space* eingelesen
- Alle anderen Daten in der Eingabe müssen zum `format`-String passen oder die Interpretation der Eingabe wird abgebrochen
  - wenn im `format`-String normale Zeichen angegeben sind, müssen diese exakt so in der Eingabe auftauchen
  - wenn im `format`-String eine Format-Anweisung (`%...`) angegeben ist, muss in der Eingabe etwas hierauf passendes auftauchen
    - ➔ diese Daten werden dann in den entsprechenden Typ konvertiert und über den zugehörigen Zeiger-Parameter der Variablen zugewiesen
- Die `scanf`-Funktionen liefern als Ergebnis die Zahl der erfolgreich an die Parameter zugewiesenen Werte

## 5 Formatierte Eingabe (3)

|                                                  |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>%d</code>                                  | int                                                      | ■ nach % kann eine Zahl folgen, die die maximale Feldbreite angibt                                                                                                                                                                                   |
| <code>%hd</code>                                 | short                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <code>%ld</code>                                 | long int                                                 | <code>%3d</code> = 3 Ziffern lesen                                                                                                                                                                                                                   |
| <code>%lld</code>                                | long long int                                            | <code>%5c</code> = 5 char lesen (Parameter muss dann Zeiger auf char-Feld sein)                                                                                                                                                                      |
| <code>%f</code>                                  | float                                                    | ➤ <code>%5c</code> überträgt exakt 5 char (hängt aber kein <code>'\0'</code> an!)                                                                                                                                                                    |
| <code>%lf</code>                                 | double                                                   | ➤ <code>%5s</code> liest max. 5 char (bis white space) und hängt <code>'\0'</code> an                                                                                                                                                                |
| <code>%Lf</code>                                 | long double                                              |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| analog auch <code>%e</code> oder <code>%g</code> |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <br>                                             |                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <code>%c</code>                                  | char                                                     | ■ Beispiele:                                                                                                                                                                                                                                         |
| <code>%s</code>                                  | String, wird automatisch mit <code>'\0'</code> abgeschl. | <pre>int a, b, c, d, n; char s1[20]="XXXXXX", s2[20]; n = scanf("%d %2d %3d %5c %s %d",           &amp;a, &amp;b, &amp;c, s1, s2, &amp;d);</pre> <p>Eingabe: 12 1234567 sowas hmm<br/>Ergebnis: n=5, a=12, b=12, c=345<br/>s1="67 soX", s2="was"</p> |

## 6 Fehlerbehandlung

- Fast jeder Systemcall/Bibliotheksaufwurf kann fehlschlagen
  - ◆ Fehlerbehandlung unumgänglich!
- Vorgehensweise:
  - ◆ Rückgabewerte von Systemcalls/Bibliotheksaufrufen abfragen
  - ◆ Im Fehlerfall (meist durch Rückgabewert -1 angezeigt): Fehlercode steht in der globalen Variable `errno`
- Fehlermeldung kann mit der Funktion `perror` auf die Fehlerausgabe ausgegeben werden:

```
#include <errno.h>
void perror(const char *s);
```