

F Zeiger, Felder und Strukturen in C

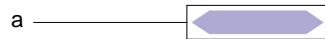
F.1 Zeiger(-Variablen)

1 Einordnung

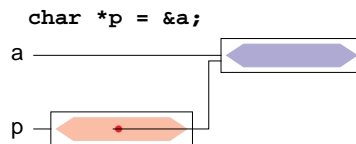
■ **Konstante:**
Bezeichnung für einen Wert



■ **Variable:**
Bezeichnung eines Datenobjekts



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



2 Überblick

- Eine Zeigervariable (**pointer**) enthält als Wert einen Verweis auf den Inhalt einer anderen Variablen
 - ↳ der Zeiger verweist auf die Variable
- Über diese Adresse kann man **indirekt** auf die andere 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

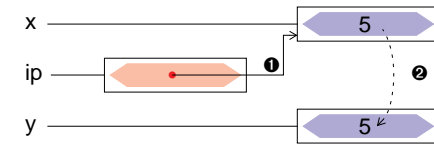
3 Definition von Zeigervariablen

■ Syntax:

```
Typ *Name ;
```

4 Beispiele

```
int x = 5;  
int *ip;  
int y;  
ip = &x; ❶  
y = *ip; ❷
```



5 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

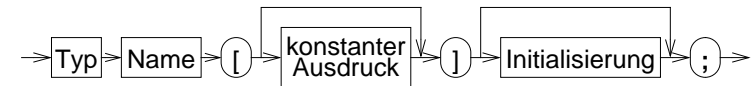
6 Zeiger als Funktionsargumente

- 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*

F.2 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];
```

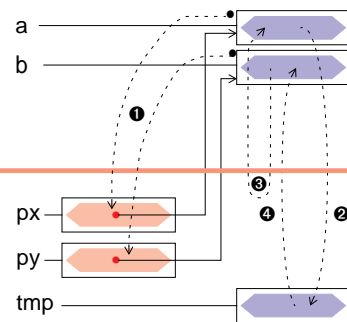
6 ... Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

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

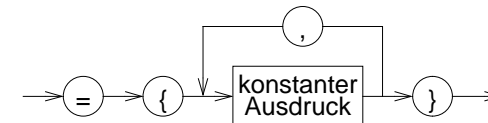
void swap (int *px, int *py)
{
    int tmp;

    tmp = *px; ②
    *px = *py; ③
    *py = tmp; ④
}
```



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



2 ... Initialisierung eines Feldes (2)

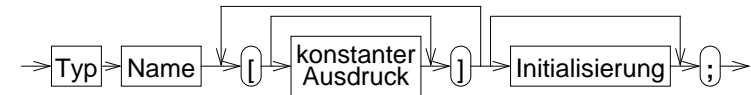
- Felder des Typs **char** können auch durch String-Konstanten initialisiert werden

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

4 Mehrdimensionale Felder

- neben eindimensionalen Felder kann man auch mehrdimensionale Felder vereinbaren
 - ◆ ihre Bedeutung in C ist gering

- Definition eines mehrdimensionalen Feldes

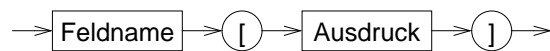


- Beispiel:

```
int matrix[4][4];
```

3 Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



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

- Beispiele:

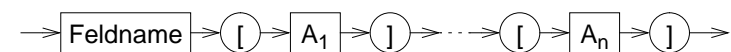
```
prim[0] == 2
prim[1] == 3
name[1] == 't'
name[4] == '\0'
```

- Beispiel Vektoraddition:

```
float v1[4], v2[4], sum[4];
int i;
...
for ( i=0; i < 4; i++ )
    sum[i] = v1[i] + v2[i];
for ( i=0; i < 4; i++ )
    printf("sum[%d] = %f\n", i, sum[i]);
```

5 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:

```
feld[2][3] = 10;
```

6 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

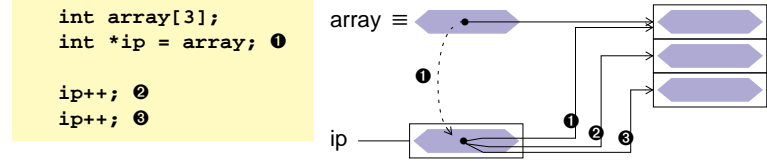
Beispiel:

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

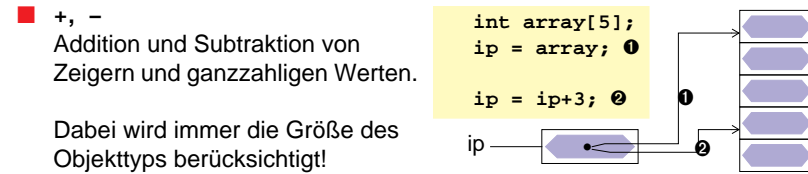
- `feld[1][3]` und `feld[2][0-3]` werden in dem Beispiel nicht initialisiert!

1 Arithmetik mit Adressen

- ++ -Operator:** Inkrement = nächstes Objekt



- -Operator:** Dekrement = vorheriges Objekt



!!! Achtung: Assoziativität der Operatoren beachten !!

F.3 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:

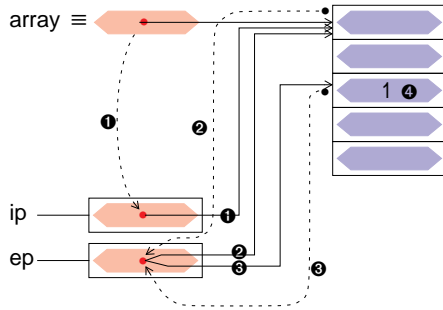
```
int array[5];

int *ip = array; ①

int *ep;
ep = &array[0]; ②

ep = &array[2]; ③

*ep = 1; ④
```



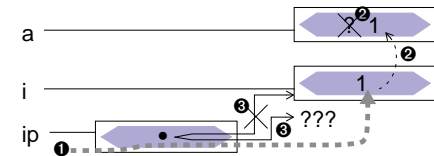
2 Vorrangregeln bei Operatoren

| Operatorklasse | Operatoren | Assoziativität |
|----------------|----------------------------------|-----------------------|
| primär | () Funktionsaufruf [] | von links nach rechts |
| unär | ! ~ ++ -- + - * & | von rechts nach links |
| multiplikativ | * / % | von links nach rechts |
| ... | | |

3 Beispiele

```
int a, i, *ip;
i = 1;
ip = &i;

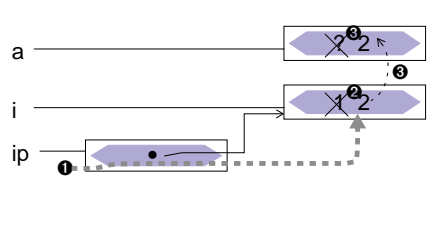
a = *ip++;
↳ (1) a = *ip++;
   ↳ (2) a = *ip++;
```



3 Beispiele (2)

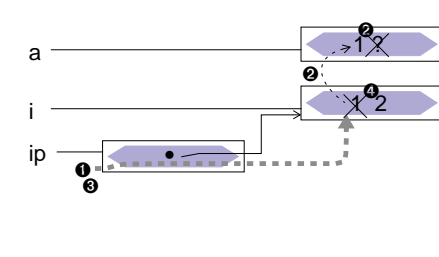
```
int a, i, *ip;
i = 1;
ip = &i;

a = ++*ip;
(1) a = ++*ip;
(2) a = ++*ip;
```



```
int a, i, *ip;
i = 1;
ip = &i;

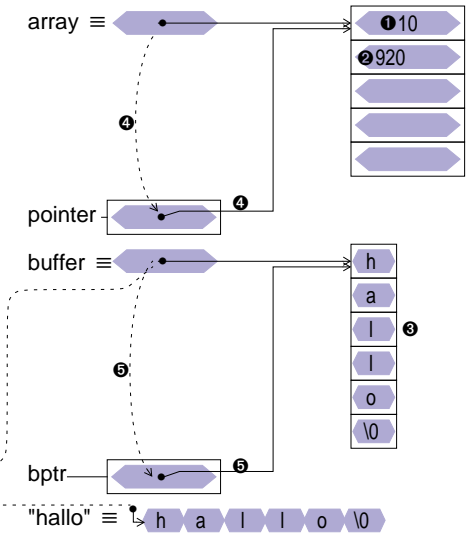
a = (*ip)++;
(1) a = (*ip)++;
(2) a = (*ip)++;
```



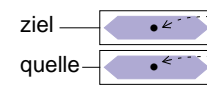
4 Zeigerarithmetik und Felder

```
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



4 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;

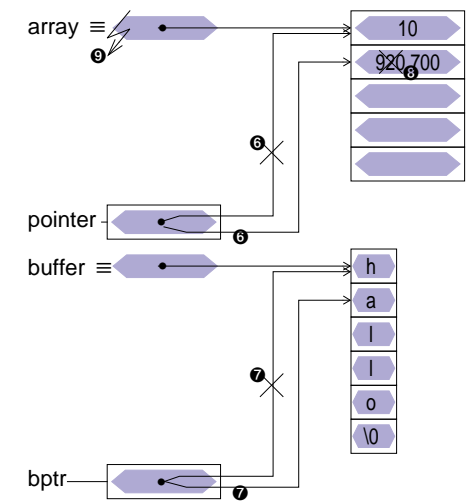
ep = &array[i]; *ep = 1;
ep = array+i; *ep = 1;
```

4 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++;
```



5 Vergleichsoperatoren und Adressen

- Neben den arithmetischen Operatoren lassen sich auch die Vergleichsoperatoren auf Zeiger (allgemein: Adressen) anwenden:

| | |
|----|----------------|
| < | kleiner |
| <= | kleiner gleich |
| > | größer |
| >= | größer gleich |
| == | gleich |
| != | ungleich |

F.21

F.4 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 und Dimension nicht erlaubt! */
 - `int *p;` /* Zeiger auf einen int */

F.23

F.4 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

F.22

F.5 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; }
...
```

F.24

F.5 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>

F.7 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 */
```

F.6 Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

- C enthält Regeln für eine automatische Konvertierung unterschiedlicher Typen in einem Ausdruck (vgl. Abschnitt D.5.10)

```
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 *)

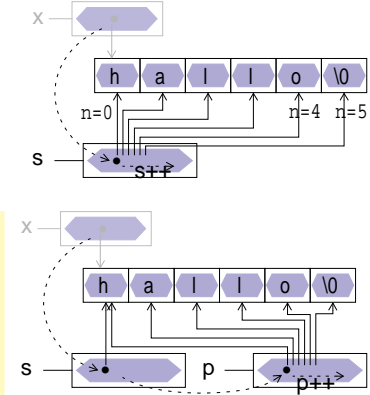
F.8 Zeiger, Felder und Zeichenketten

- 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)`;

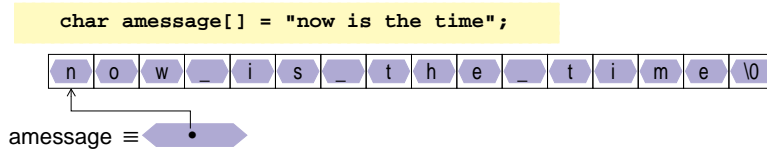
```
/* 1. Version */
int strlen(char *s)
{
    int n;
    for (n=0; *s != '\0'; s++)
        n++;
    return(n);
}
```

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



F.8 ... Zeiger, Felder und Zeichenketten (2)

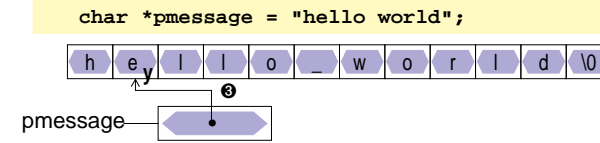
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines char-Feldes verwendet, ist der Feldname ein konstanter Zeiger auf den Anfang der Zeichenkette



- es wird ein Speicherbereich für 16 Bytes reserviert und die Zeichen werden in diesen Speicherbereich hineinkopiert
- amessage ist ein konstanter Zeiger auf den Anfang des Speicherbereichs und kann nicht verändert werden
- der Inhalt des Speicherbereichs kann aber modifiziert werden
amessage[0] = 'h';

F.8 ... Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

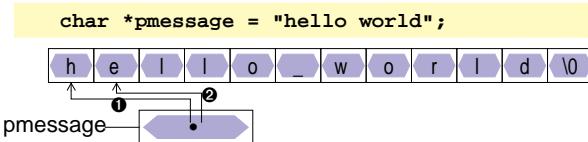
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines char-Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird



- ```
*pmessage = 'y'; ⚡
```
- der Speicherbereich von hello world darf aber nicht verändert werden
    - manche Compiler legen solche Zeichenketten in schreibgeschütztem Speicher an  
➔ Speicherschutzverletzung beim Zugriff
    - sonst funktioniert der Zugriff obwohl er nicht erlaubt ist  
➔ Programm funktioniert nur in manchen Umgebungen

## F.8 ... 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

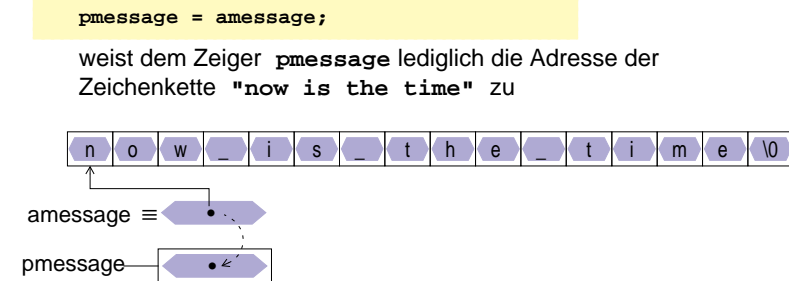


```
pmessage++; ⚡
printf("%s", pmessage); /* gibt "ello world" aus */
```

- es wird ein Speicherbereich für einen Zeiger reserviert (z. B. 4 Byte) und der Compiler legt die Zeichenkette hello world an irgendeiner Adresse im Speicher des Programms ab
- pmessage ist ein variabler Zeiger, der mit dieser Adresse initialisiert wird, aber jederzeit verändert werden darf  
pmessage++;

## F.8 ... Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

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



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

■ Zeichenketten kopieren

```

/* 1. Version */
void strcpy(char s[], t[])
{
 int i=0;
 while ((s[i] = t[i]) != '\0')
 i++;
}

/* 2. Version */
void strcpy(char *s, *t)
{
 while ((*s = *t) != '\0')
 s++, t++;
}

/* 3. Version */
void strcpy(char *s, *t)
{
 while (*s++ = *t++)
 ;
}

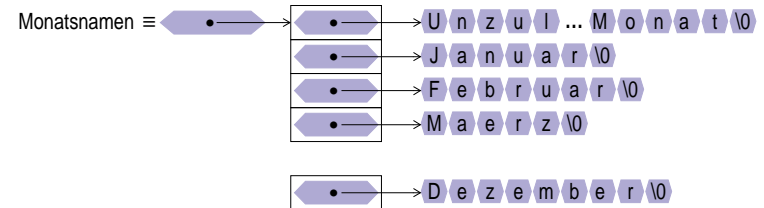
```

■ 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]);
}

```



F.9 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;

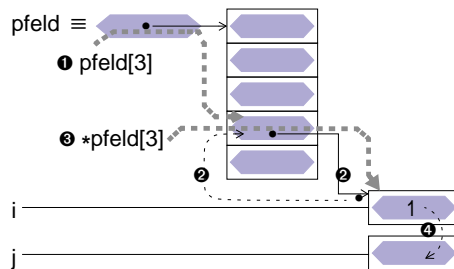
```

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

```

j = *pfeld[3];

```



F.10 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)
{
 ...
}

```

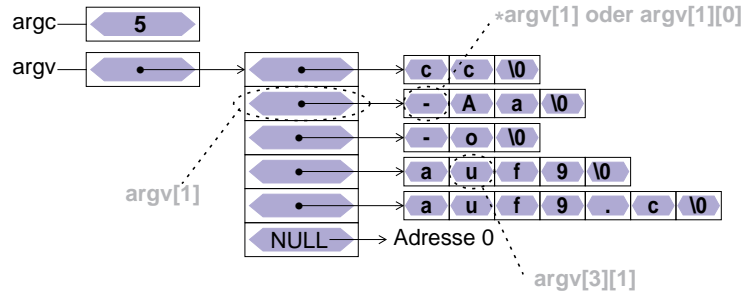
■ der Parameter **argc** enthält die Anzahl der Argumente, mit denen das Programm aufgerufen wurde

■ 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[]) {
...
}
```



SPIC

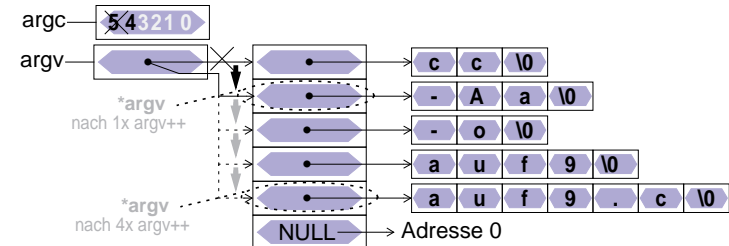
# 2 Zugriff Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

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');
 }
 ...
}
```

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

2. Version



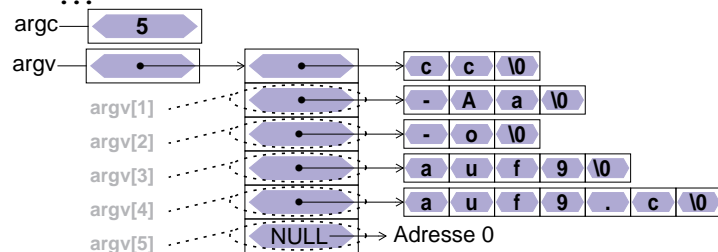
SPIC

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

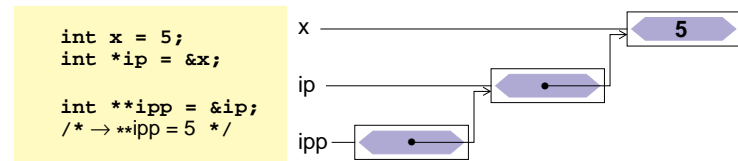
1. Version



SPIC

# F.11 Zeiger auf Zeiger

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



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

SPIC

- 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;

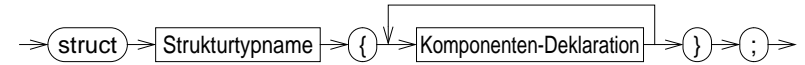
fptr(42, "hallo");

fptr = test2;

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

- Durch eine Strukturtyp-Deklaration wird dem Compiler der Aufbau einer Datenstruktur unter einem Namen bekanntgemacht
  - ➔ deklariert einen neuen Datentyp (wie `int` oder `float`)

- Syntax



- Strukturtypname

- ◆ beliebiger Bezeichner, kein Schlüsselwort
- ◆ kann in nachfolgenden Struktur-Definitionen verwendet werden

- Komponenten-Deklaration

- ◆ entspricht normaler Variablen-Definition, aber keine Initialisierung!
- ◆ in verschiedenen Strukturen dürfen die gleichen Komponentennamen verwendet werden (eigener Namensraum pro Strukturtyp)

## 1 Motivation

- Felder fassen Daten eines einheitlichen Typs zusammen
  - ungeeignet für gemeinsame Handhabung von Daten unterschiedlichen Typs
- Beispiel: Daten eines Studenten
  - Nachname `char nachname[25];`
  - Vorname `char vorname[25];`
  - Geburtsdatum `char gebdatum[11];`
  - Matrikelnummer `int matrnr;`
  - Übungsgruppennummer `short gruppe;`
  - Schein bestanden `char best;`
- Möglichkeiten der Repräsentation in einem Programm
  - ◆ einzelne Variablen ➔ sehr umständlich, keine "Abstraktion"
  - ◆ Datenstrukturen

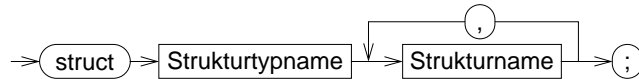
- Beispiele

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

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

### 3 Definition einer Struktur

- Die Definition einer Struktur entspricht einer Variablen-Definition
  - ◆ Name der Struktur zusammen mit dem Datentyp bekanntmachen
  - ◆ Speicherplatz anlegen
- Eine Struktur ist eine Variable, die ihre Komponentenvariablen umfasst
- Syntax



#### Beispiele

```
struct student stud1, stud2;
struct komplex c1, c2, c3;
```

- Strukturdeklaration und -definition können auch in einem Schritt vorgenommen werden

### 5 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 Position**

- ➔ potentielle Fehlerquelle bei Änderungen der Strukturtyp-Deklaration

### 4 Zugriff auf Strukturkomponenten

- .-Operator
  - $x.y$   $\equiv$  Zugriff auf die Komponente  $y$  der Struktur  $x$
  - $x.y$  verhält sich wie eine normale Variable vom Typ der Strukturkomponenten  $y$  der Struktur  $x$
- Beispiele

```
struct komplex c1, c2, c3;
...
c3.re = c1.re + c2.re;
c3.im = c1.im + c2.im;

struct student stud1;
...
if (stud1.matrnr < 1500000) {
 stud1.best = 'y';
}
```

### 6 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);
}
```

## 7 Zeiger auf Strukturen

- Konzept analog zu "Zeiger auf Variablen"
  - Adresse einer Struktur mit &-Operator zu bestimmen
  - Name eines Feldes von Strukturen = Zeiger auf erste Struktur im Feld
  - Zeigerarithmetik berücksichtigt Strukturgröße

- Beispiele

```
struct student stud1;
struct student gruppe8[35];
struct student *pstud;

pstud = &stud1; /* => pstud -> stud1 */
pstud = gruppe8; /* => pstud -> gruppe8[0] */
pstud++; /* => pstud -> gruppe8[1] */
pstud += 12; /* => pstud -> gruppe8[13] */
```

- Besondere Bedeutung zum Aufbau
  - ↳ rekursiver Strukturen

## 8 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';
 }
}
```

## 7 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';`

## 9 Strukturen in Strukturen

- Die Komponenten einer Struktur können wieder Strukturen sein
- Beispiel

```
struct name {
 char nachname[25];
 char vorname[25];
};

struct student {
 struct name name;
 char gebdatum[11];
 int matrnr;
 short gruppe;
 char best;
};

struct prof {
 struct name pname;
 char gebdatum[11];
 int lehrstuhlnr;
};

struct student stud1;
strcpy(stud1.name.nachname, "Meier");
if (stud1.name.nachname[0] == 'M') {
 ...
}
```

## 10 Rekursive Strukturen

- Strukturen in Strukturen sind erlaubt — aber
  - ◆ die Größe einer Struktur muss vom Compiler ausgerechnet werden können
    - Problem: eine Struktur enthält sich selbst

```
struct liste {
 struct student stud;
 struct liste rest;
};
```

**falsch!**

- ◆ die Größe eines Zeigers ist bekannt (meist 4 Byte)
  - eine Struktur kann einen Zeiger auf eine gleichartige Struktur enthalten

```
struct liste {
 struct student stud;
 struct liste *rest;
};
```

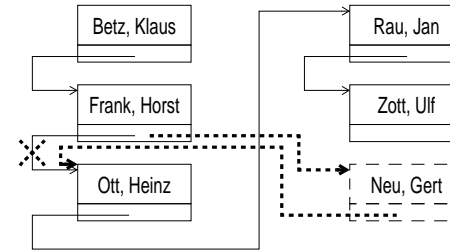
↳ Programmieren rekursiver Datenstrukturen

## 10 Rekursive Strukturen (3)

- Problem:
  - ◆ es sollen beliebig viele Studentendaten eingelesen werden und in sortierter Form im Programm verwaltet werden

Lösung 2: verkettete Liste von dynamisch angeforderten Strukturen

- Speicher für jeden Eintrag mit malloc() anfordern
- Einsortieren = richtige Position suchen + zwei Zeiger setzen

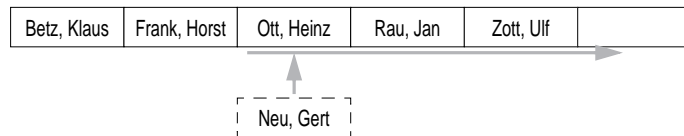


## 10 Rekursive Strukturen (2)

- Problem:
  - ◆ es sollen beliebig viele Studentendaten eingelesen werden und in sortierter Form im Programm verwaltet werden

Lösung 1: Feld

- wie groß machen? — und was, wenn es nicht reicht?
- Einsortieren = richtige Position suchen + Rest nach oben verschieben + eintragen



## 10 Rekursive Strukturen (4)

- Realisierung von Lösung 2 (Skizze):

```
struct eintrag {
 struct student stud;
 struct eintrag *naechster;
};
struct eintrag leer = { {"", ""}, NULL }; /* Leeres Listenelement */
struct eintrag *stud_liste; /* Zeiger auf Listen-Anfang */
struct eintrag *akt_eintrag; /* aktuell bearbeiteter Eintrag */
struct eintrag *einfuege_pos; /* Einfuegeposition */

int student_lesen(struct student *);
struct eintrag *suche_pos(struct eintrag *liste, struct eintrag *element);
/* erstes Listen-Element anfordern */
akt_eintrag = (struct eintrag *)malloc(sizeof (struct eintrag));
stud_liste = &leer; /* Listenanfang auf leeres Element setzen (vermeidet später
/* eine Sonderbehandlung für Listenanfang) */

while (student_lesen(&akt_eintrag->stud) != EOF) {
 /* Eintrag, hinter dem einzufügen ist suchen */
 einfuege_pos = suche_pos(stud_liste, akt_eintrag);
 /* akt_eintrag einfügen */
 akt_eintrag->naechster = einfuege_pos->naechster;
 einfuege_pos->naechster = akt_eintrag;
 /* nächstes Listen-Element anfordern */
 akt_eintrag = (struct eintrag *)malloc(sizeof (struct eintrag));
}
```

- In einer Struktur liegen die einzelnen Komponenten hintereinander, in einem Verbund liegen sie übereinander
  - ▶ die gleichen Speicherzellen können unterschiedlich angesprochen werden
  - ▶ Beispiel: ein int-Wert (4 Byte) und die einzelnen Bytes des int-Werts

```
union intbytes {
 int ivalue;
 char bvalue[4];
} u1;
...
u1.ivalue = 259000;
printf("Wert=%d, Byte0=%d, Byte1=%d, Byte2=%d, Byte3=%d\n",
 u1.ivalue, u1.bvalue[0], u1.bvalue[1], u1.bvalue[2], u1.bvalue[3]);
```

- Einsatz nur in sehr speziellen Fällen sinnvoll  
konkretes Wissen über die Speicherorganisation unbedingt erforderlich!

F.57

- Struktur mit Bitfeld kann ihrerseits Teil einer Union sein
  - ▶ Zugriff auf Register als Ganzes und auf die einzelnen Bits

```
union cregister {
 unsigned short all;
 struct bits {
 unsigned int protection : 1;
 unsigned int interrupt_mask : 3;
 unsigned int enable_read : 1;
 unsigned int enable_write : 1;
 unsigned int pedding : 2;
 unsigned int address : 8;
 };
};
```

- Adresse und Aufbau eines Registers steht üblicherweise in der Hardwarebeschreibung.

F.59

- Bitfelder sind Strukturkomponenten bei denen die Zahl der für die Speicherung verwendeten Bits festgelegt werden kann.
- Anwendung z. B. um auf einzelnen Bits eines Registers zuzugreifen

```
struct cregister {
 unsigned int protection : 1;
 unsigned int interrupt_mask : 3;
 unsigned int enable_read : 1;
 unsigned int enable_write : 1;
 unsigned int pedding : 2;
 unsigned int address : 8;
};
```

F.58

- Beispiel:
  - ▶ Adresse auf Register anlegen,  
Registerinhalt sichern  
Bits verändern  
Registerinhalt wieder herstellen

```
union cregister *creg;
unsigned short oldvale;
creg = (union cregister *)0x2400; /* Addr. aus Manual */
oldvalue = creg->all; /* Wert sichern */
creg->bits.protection = 0;
creg->bits.enable_read = 1;
creg->bits.address = 0x40;
...
creg->all = oldvalue; /* Wert restaurieren */
```

F.60

- Typedef erlaubt die Definition neuer Typen
  - neuer Typ kann danach wie die Standardtypen (int, char, ...) genutzt werden

■ Beispiele:

```
typedef int Laenge;
Laenge l = 5;
Laenge *pl; Laenge fl[20];
```

```
typedef struct student Student;
Student s; Student *ps1;
s.matrnr = 1234567; ps1 = &s; ps1->best = 'n';
```

```
typedef struct student *Studptr;
Studptr ps2;
ps2 = &s; ps2->best = 'n';
```

■ Beispiele:

```
#define max(a, b) ((a) < (b) ? (b) : (a))
...
x = max (n+m, y+z);
```

```
#define numeric(c) ((c) >= '0' && (c) <= '9')
...
c = getchar();
if numeric(c) { ...
```

- im Ersatztext Parameter unbedingt in ( ) klammern (sonst evtl. Probleme mit Operator-Vorrang im expandierten Text!)
- einige Sonderregeln im Umgang mit Zeichenketten (Kernighan und Ritchie schreiben dazu: *The details ... are described more precisely in the ANSI standard ... Some of the new rules ... are bizarre.*)

### 1 Parametrisierte Makros

- Präprozessor-Makros können mit Parametern versehen werden, die in den Ersatztext eingebaut werden
  - entspricht "optisch" einem Funktionsaufruf
  - Unterschied: Makro wird zur Übersetzungszeit expandiert, Funktionsaufruf erfolgt zur Laufzeit
  - parametrisierte Makros sind damit ähnlich zu inline-Funktionen (wie z. B. in C++)
  - ein Makro wird durch die `#define`-Anweisung definiert

■ Syntax:

```
#define Makroname(Par1, Par2, ...) Ersatztext
```

- Vorkommen von *Par1*, *Par2*, etc. im Ersatztext werden entsprechend eingesetzt

### 2 Deaktivieren von Makros

- Makros wirken ab der Zeile in der sie definiert wurden bis zum Ende der Datei - können aber auch wieder deaktiviert werden

■ Syntax:

```
#undef Makroname
```

- ab dieser Zeile unterbleibt Expansion des Makros