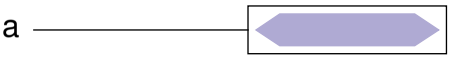
F Zeiger, Felder und Strukturen in C

F.1 Zeiger(-Variablen)

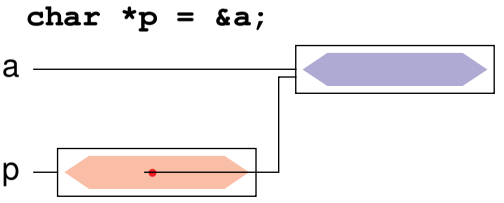
1 Einordnung

- **Konstante:**
  Bezeichnung für einen Wert

- **Variable:**
  Bezeichnung eines Datenobjekts



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



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

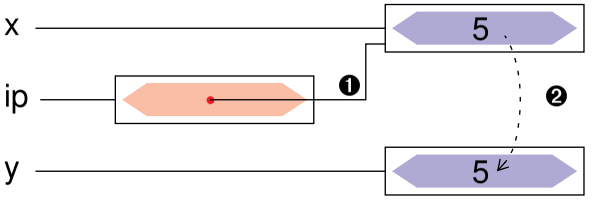
3 Definition von Zeigervariablen

- Syntax:

```
Typ *Name ;
```

4 Beispiele

```
int x = 5;

int *ip;

int y;

ip = &x; ❶

y = *ip; ❷
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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*

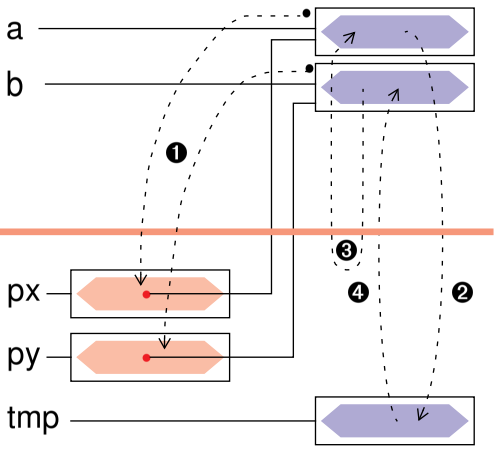
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

6 … 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

}
```

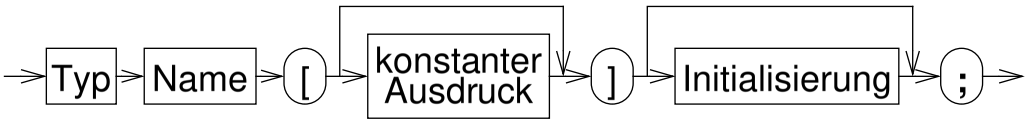


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

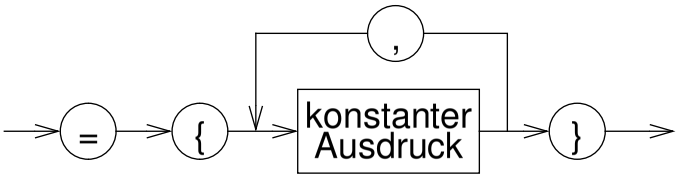


- Beispiele:

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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] = {'O', '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[] = {'O', 't', 't', 'o', '\0'};
```

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 … Initialisierung eines Feldes (2)

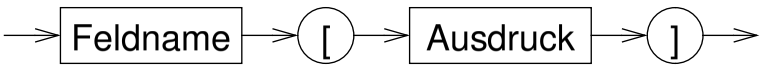
- Felder des Typs ***char*** können auch durch String-Konstanten initialisiert werden

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



wobei: 0 <= Wert(Ausdruck) < Feldgröße

- Beispiele:

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

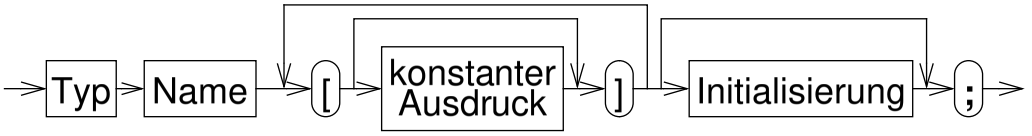
- Beispiel Vektoraddition:

```
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]);
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Mehrdimensionale Felder

- neben eindimensionalen Felder kann man auch mehrdimensionale Felder vereinbaren
  - ihre Bedeutung in C ist gering
- Definition eines mehrdimensionalen Feldes



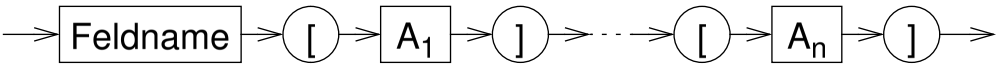
- Beispiel:

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Zugriffe auf Feldelemente bei mehrdim. Feldern

- Indizierung:



wobei: $0 <= A_i <$ Größe der Dimension i des Feldes
$n =$ Anzahl der Dimensionen des Feldes

- Beispiel:

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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] */
};
```

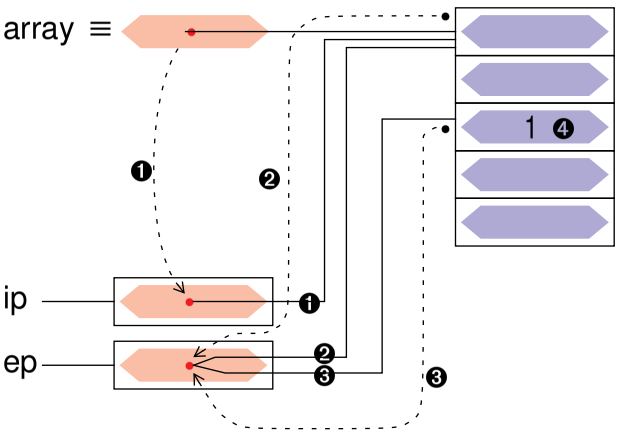
- `feld[1][3]` und `feld[2][0-3]` werden in dem Beispiel nicht initialisiert!

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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; ❶

int *ep;
ep = &array[0]; ❷

ep = &array[2]; ❸

*ep = 1; ❹
```

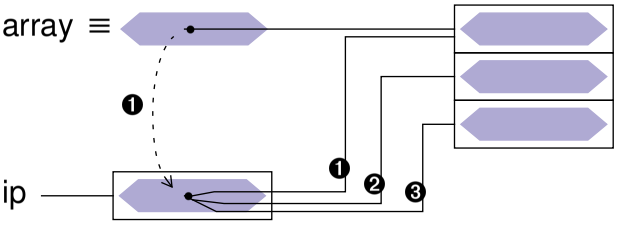


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Arithmetik mit Adressen

- ++ -Operator: Inkrement = nächstes Objekt

```
int array[3];
int *ip = array; ❶

ip++; ❷
ip++; ❸
```

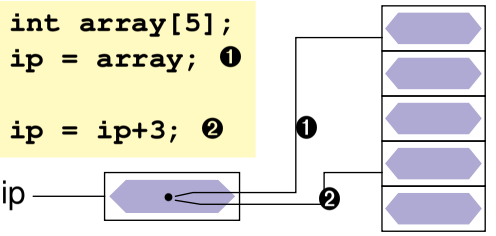


- -- -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

- **+, –**
  Addition und Subtraktion von Zeigern und ganzzahligen Werten.

  Dabei wird immer die Größe des Objekttyps berücksichtigt!

```
int array[5];
ip = array; ❶

ip = ip+3; ❷
```



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

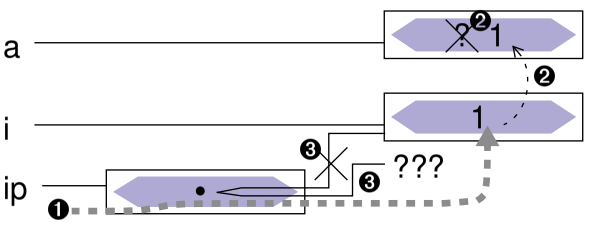
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

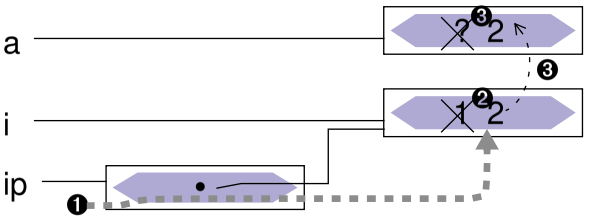
```
int a, i, *ip;
i = 1;
ip = &i;

a = *ip++;
(1) a = *ip++;
      ❷  ❶
(2) a = *ip++;
          ❸
```



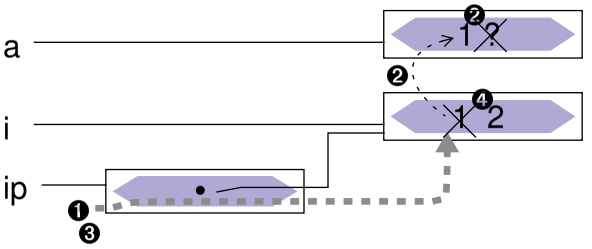
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

3 Beispiele (2)

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

a = ++*ip;
(1) a = ++*ip;
          ❶*ip
          ❷++ → *ip
(2) a = ++*ip;
          ❸
```




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

a = (*ip)++;
(1) a = (*ip)++;
      ❷      ❶
(2) a = (*ip)++;
      *ip❸
          ❹++ → *ip
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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 `++`, `--`, `+=`, …

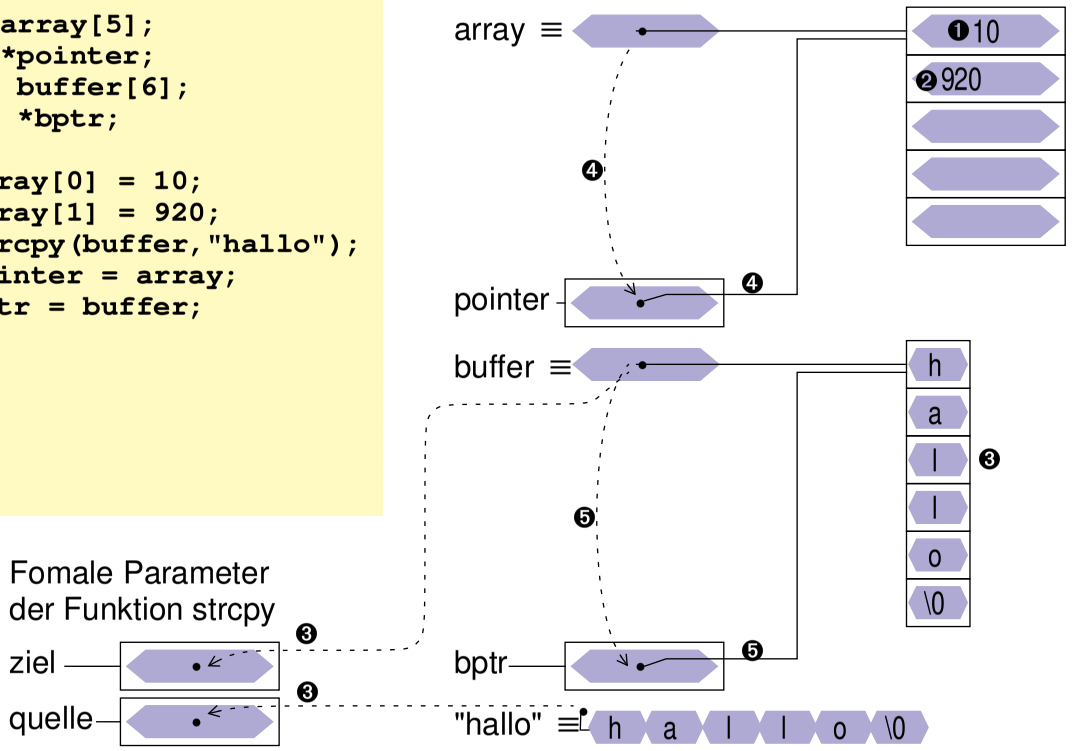
- es gilt:

```
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;
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Zeigerarithmetik und Felder

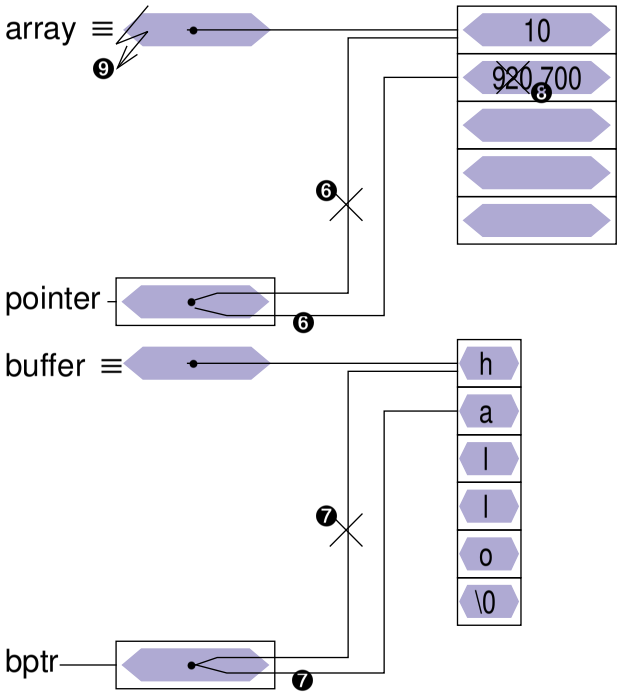
```
int array[5];
int *pointer;
char buffer[6];
char *bptr;

❶ array[0] = 10;
❷ array[1] = 920;
❸ strcpy(buffer,"hallo");
❹ pointer = array;
❺ bptr = buffer;
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Zeigerarithmetik und Felder

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

❶ array[0] = 10;
❷ array[1] = 920;
❸ strcpy(buffer,"hallo");
❹ pointer = array;
❺ bptr = buffer;

❻ pointer++;
❼ bptr++;
❽ *pointer = 700;

❾ array++;
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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!!!

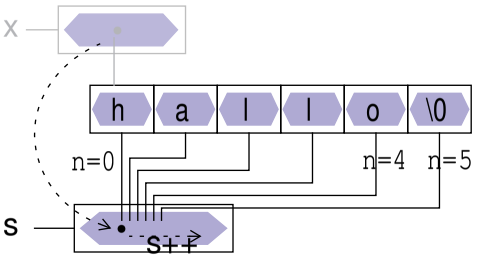
```
int f[] = {1, 2, 3}; /* initialisiertes Feld mit 3 Elementen */
int f1[];            /* ohne Initialisierung und Dimension nicht erlaubt! */
int *p;              /* Zeiger auf einen int */
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

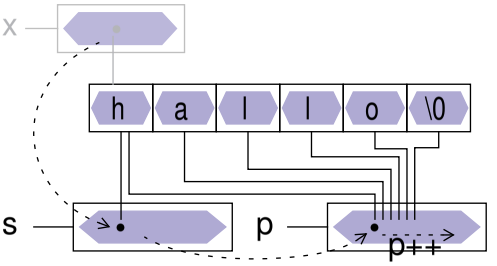
F.5 Zeiger, Felder und Zeichenketten

- 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);
}
```

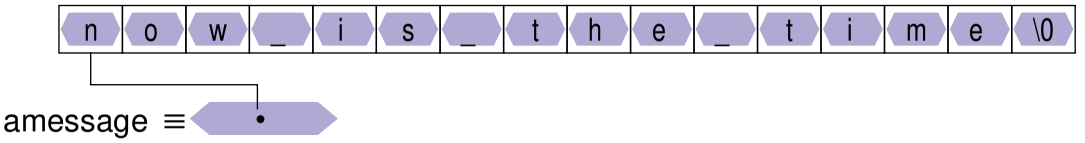


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.5 … 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";
```



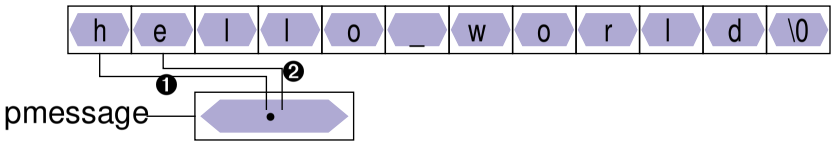
- ➤ es wird ein Speicherbereich für 16 Bytes reserviert und die Zeichen werden in diesen Speicherbereich hineinkopiert
- ➤ `amessage` ist ein konstanter Zeiger auf den Anfang des Speicherbereichs und kann nicht verändert werden
- ➤ der Inhalt des Speicherbereichs kann aber modifiziert werden
  `amessage[0]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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.5 … 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++; ❷
printf("%s", pmessage);  /*gibt "ello world" aus*/
```

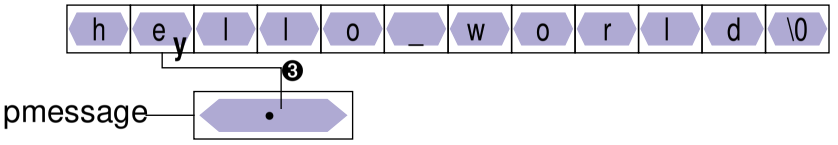
- ➤ es wird ein Speicherbereich für einen Zeiger reserviert (z. B. 4 Byte) und der Compiler legt die Zeichenkette `hello world` an irgendeiner Adresse im Speicher des Programms ab
- ➤ `pmessage` ist ein variabler Zeiger, der mit dieser Adresse initialisiert wird, aber jederzeit verändert werden darf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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.5 … 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

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




```
*pmessage = 'y'; ❸
```

➤ 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

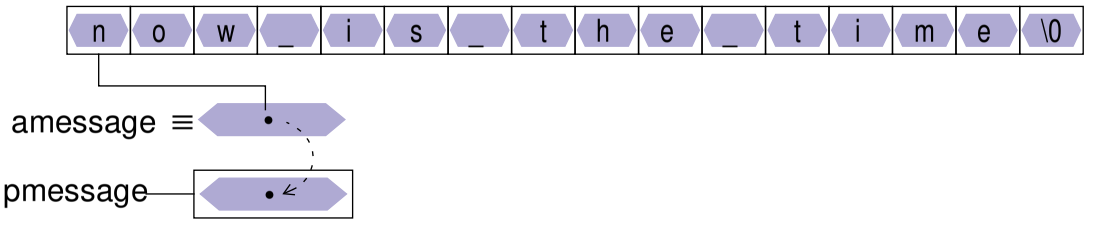
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.5 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

- 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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.5 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (6)

- 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++ )
          ;
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.6 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; }
...
```

cast-Operator

sizeof-Operator

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.6 Dynamische Speicherverwaltung (2)

- Dynamisch angeforderte Speicehrbereiche 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>

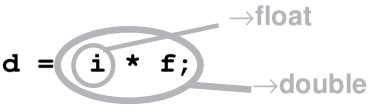
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.7 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;
```



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

    (Typ) Variable

  - Beispiele:

```
(int) a
(float) b
```

```
(int *) a
(char *) a
```

  - Beispiel:

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

malloc liefert Ergebnis vom Typ (void *)

cast-Operator macht daraus den Typ (int *)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.8 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` (≡ `int`) (`#include <stddef.h>`!)
- Beispiel:

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.9 Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration

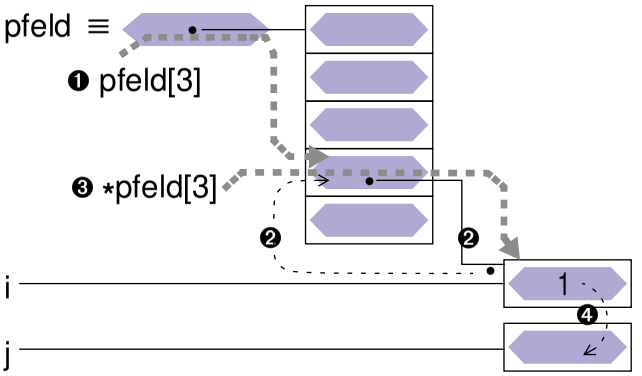
```
int *pfeld[5];
int i = 1
int j;
```

- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

```
pfeld[3] = &i; ❷
❶
```

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

```
j = *pfeld[3]; ❹
    ❶
  ❹ ❸
```

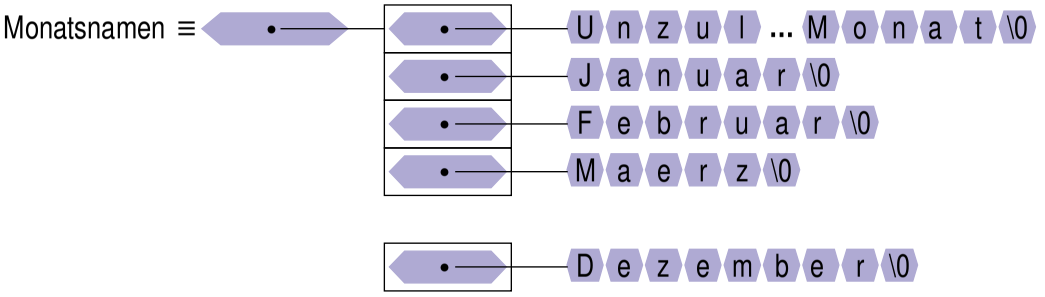


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.9 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] );
}
```



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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]`**)

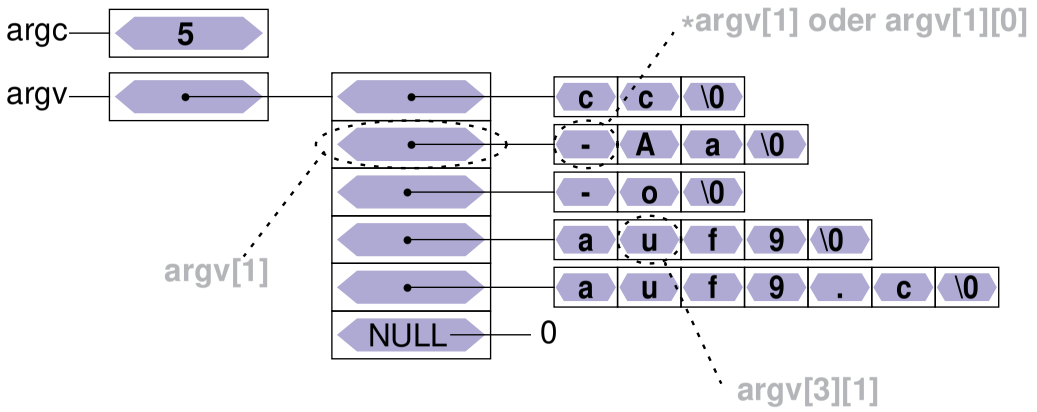
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Datenaufbau

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

Datei cc.c:

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



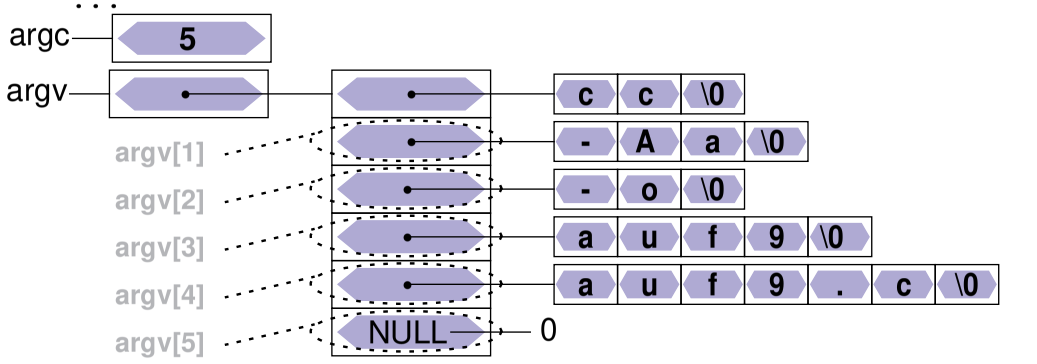
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Zugriff
Beispiel: Ausgeben aller Argumente (1)

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

1. Version

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



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

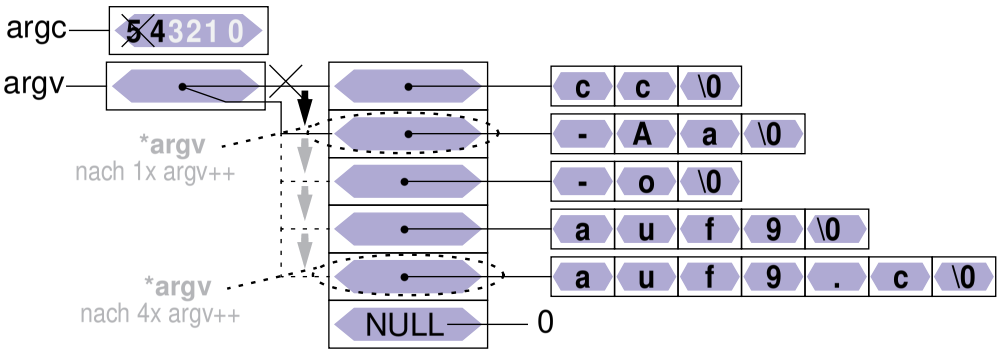
2 Zugriff
Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

- 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

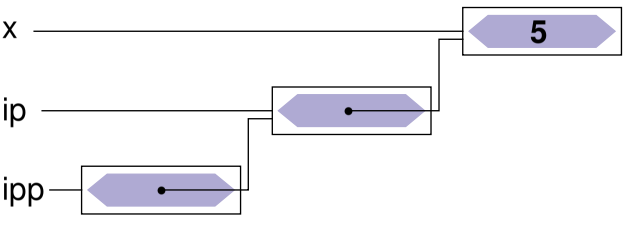


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.11 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)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.12Zeiger auf Funktionen

- Datentyp: Zeiger auf Funktion
  - Variablendef.: *<Rückgabetyp>* **(*** *<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");
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.13Strukturen

1 Motivation

- Felder fassen Daten eines einheitlichen Typs zusammen
  - ➤ ungeeignet für gemeinsame Handhabung von Daten unterschiedlichen Typs
- Beispiel: Daten eines Studenten

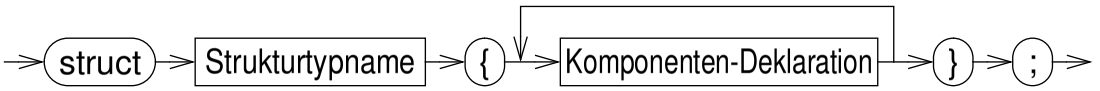
– Nachname	`char nachname[25];`
– Vorname	`char vorname[25];`
– Geburtsdatum	`char gebdatum[11];`
– Matrikelnummer	`int matrnr;`
– Übungsgruppennummer	`short gruppe;`
– Schein bestanden	`char best;`

- Möglichkeiten der Repräsentation in einem Programm
  - einzelne Variablen ➔ sehr umständlich, keine "Abstraktion"
  - Datenstrukturen

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Deklaration eines Strukturtyps

- 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)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Deklaration eines Strukturtyps (2)

- Beispiele

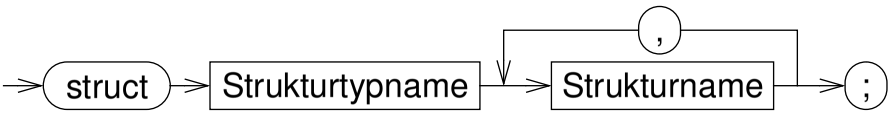
```
struct student {
    char nachname[25];
    char vorname[25];
    char gebdatum[11];
    int matrnr;
    short gruppe;
    char best;
};
```

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

4 Zugriff auf Strukturkomponenten

- `.`-Operator
  - ➤ `x.y` ≡ 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';
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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 Postion

➥ potentielle Fehlerquelle bei Änderungen der Strukturtyp-Deklaration

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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);
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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';
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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';
    }
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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') {
    …
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

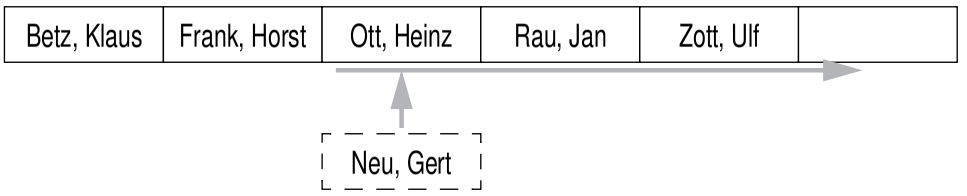
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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



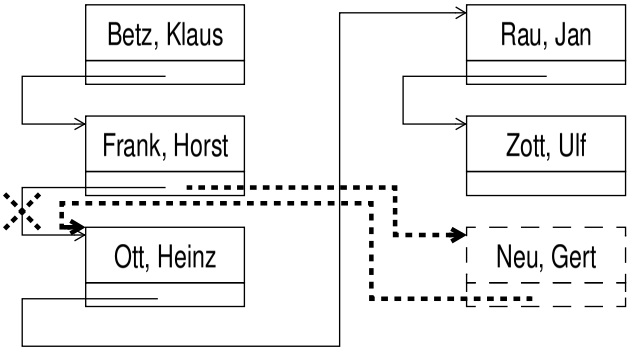
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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



Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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));
}
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.14 Verbundstrukturen — Unions

- 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!

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.15 Bitfelder

- 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;
};
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.15 Bitfelder (2)

- 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.

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.15 Bitfelder (3)

- 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 */
```


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.16 Typedef

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

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

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

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


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.17 Ergänzungen zum Präprozessor

1 Parametrierte 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
  - ➤ parametrierte 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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.17 Ergänzungen zum Präprozessor (2)

- 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.)

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

F.17 Ergänzungen zum Präprozessor (3)

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

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.