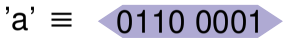
# F Zeiger, Felder und Strukturen in C

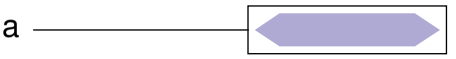
## F.1 Zeiger(-Variablen)

### 1 Einordnung

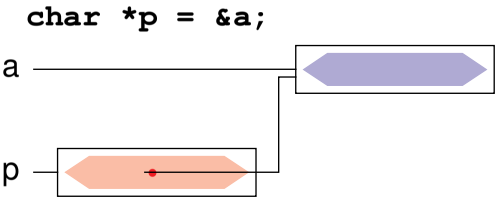
- **Konstante:**
  Bezeichnung für einen Wert




- **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.

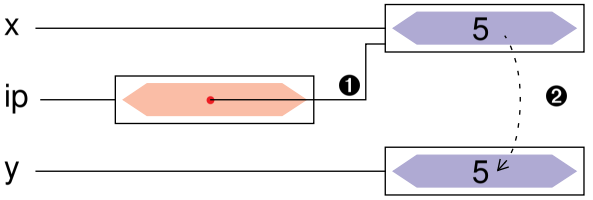
# 3 Definition von Zeigervariablen

- 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.

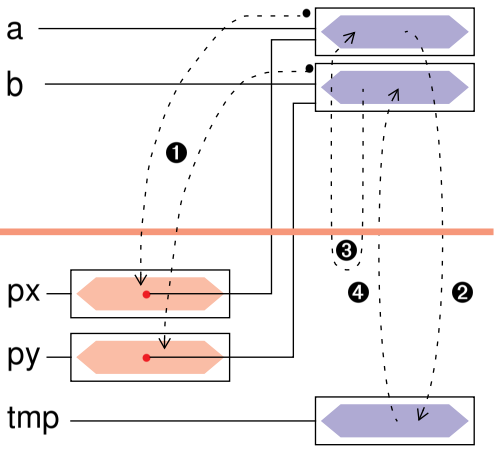


# 6 … Zeiger als Funktionsargumente (2)

- 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

}
```



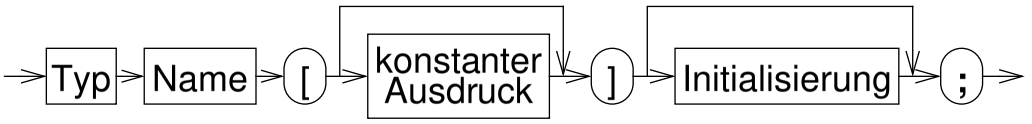


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 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



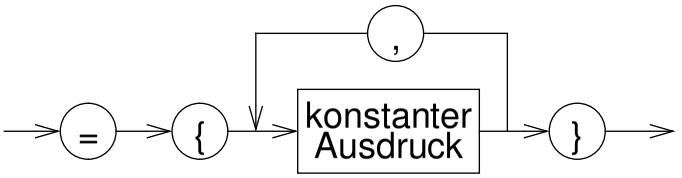

- Beispiele:

```
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

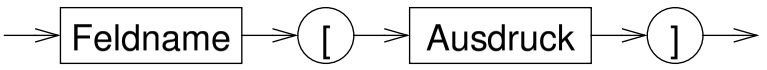
```
char name1[5] = "Otto";
char name2[] = "Otto";
```


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'
```

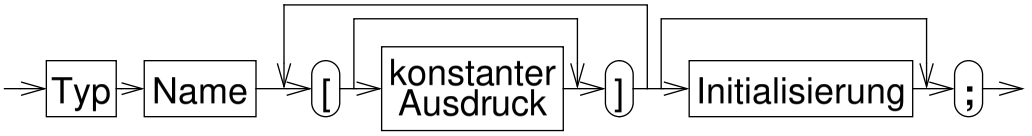
- Beispiel Vektoraddition:

```
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:

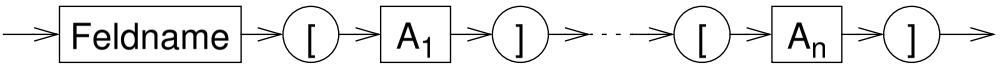
```
int matrix[4][4];
```


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!

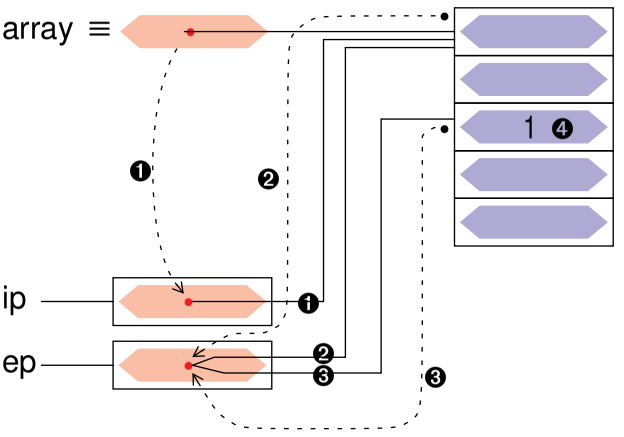

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.



# 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
```



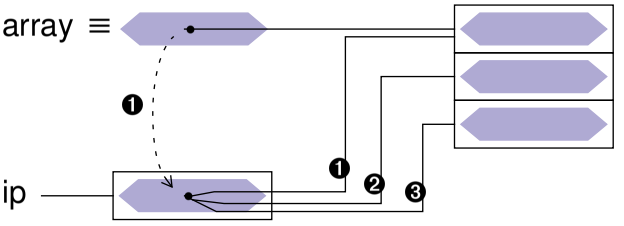


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 1 Arithmetik mit Adressen

- ++ -Operator: Inkrement = nächstes Objekt

```
int array[3];
int *ip = array; ❶

ip++; ❷
ip++; ❸
```

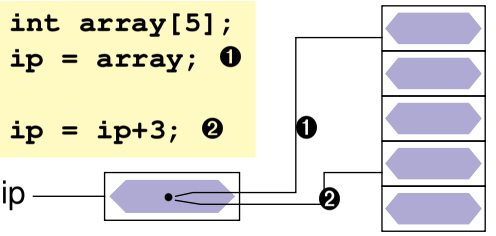



- -- -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

- **+, –**
  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.

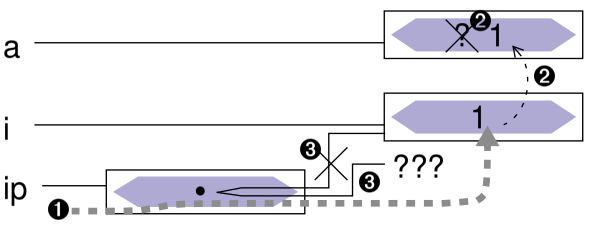


# 2 Vorrangregeln bei Operatoren

| 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
```

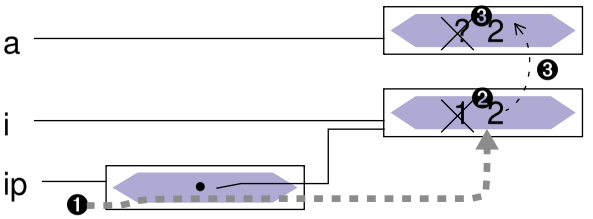




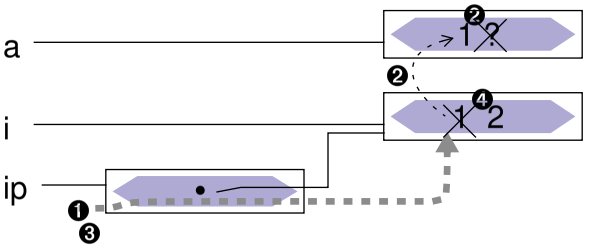
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 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 `++`, `--`, `+=`, …

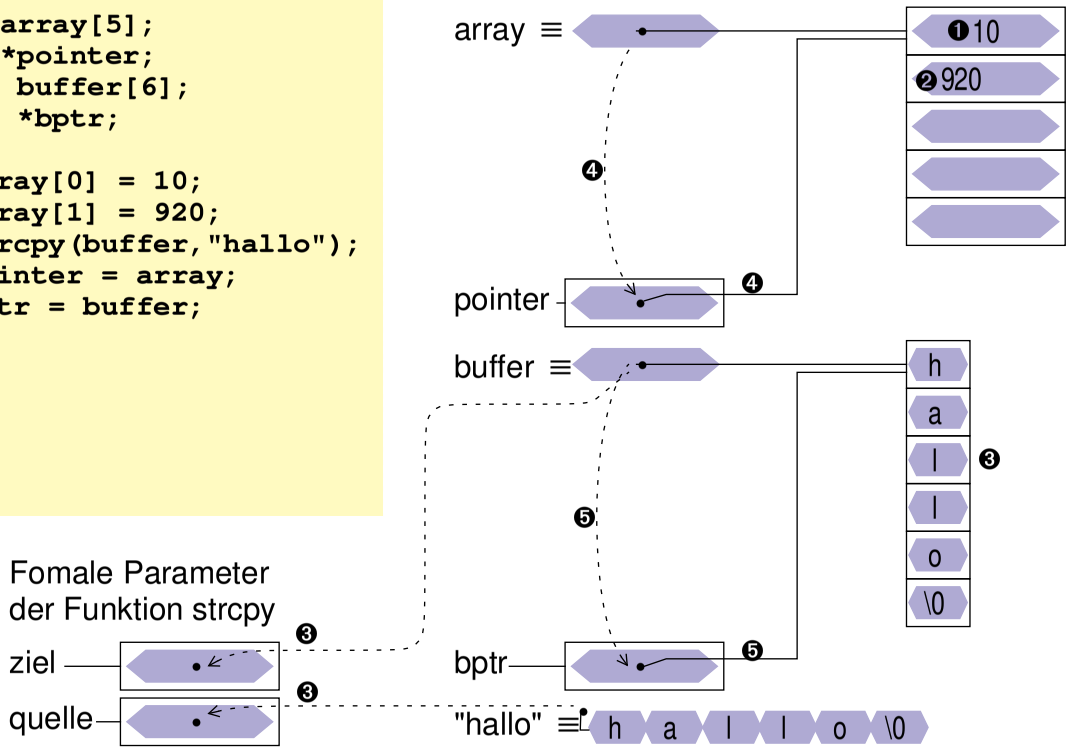
- es gilt:

```
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;
```



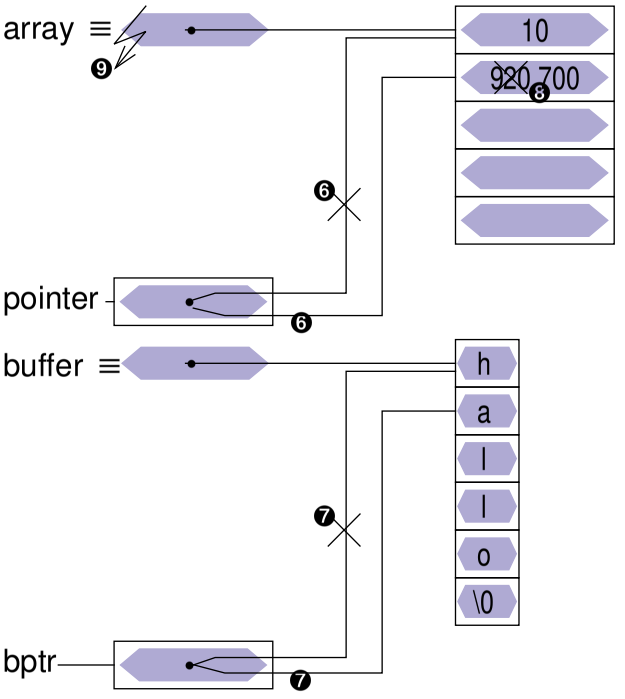


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.



# 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 */
```

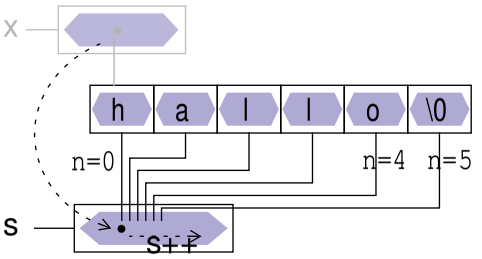

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.



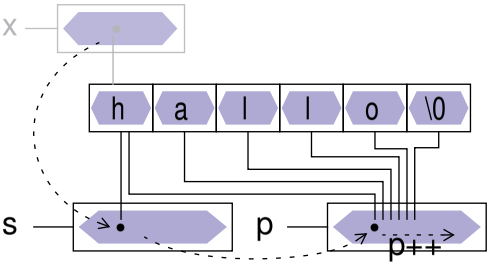
# F.5 Zeiger, Felder und Zeichenketten

- 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);
}
```



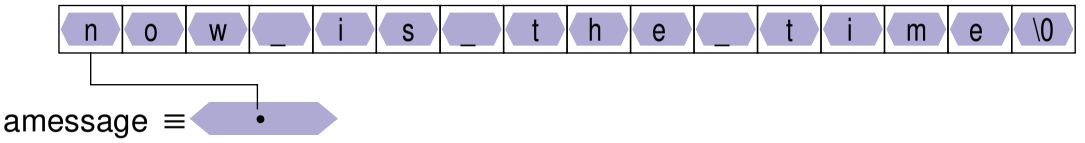


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 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';`

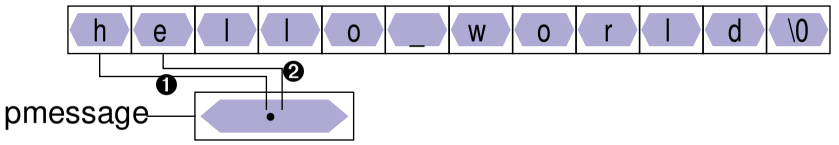

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.



# 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*/
```

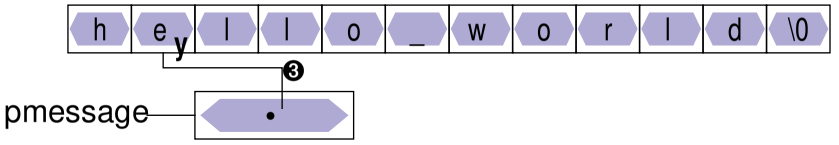
  - ➤ es wird ein Speicherbereich für einen Zeiger reserviert (z. B. 4 Byte) und der Compiler legt die Zeichenkette `hello world` an irgendeiner Adresse im Speicher des Programms ab
  - ➤ `pmessage` ist ein variabler Zeiger, der mit dieser Adresse initialisiert wird, aber jederzeit verändert werden darf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

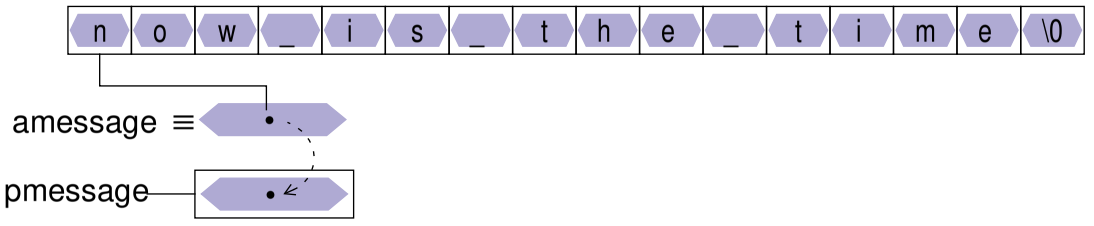


# F.5 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

- 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.

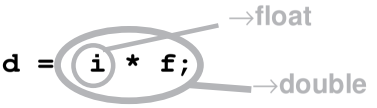


# F.7 Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

- 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.