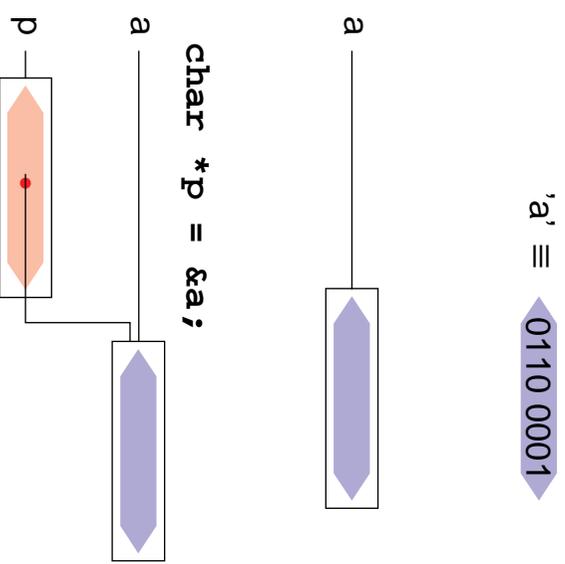


Zeiger(-Variablen)

8.1 Einordnung

- **Konstante:**
Bezeichnung für einen Wert
- **Variable:**
Bezeichnung für ein Datenobjekt
- **Zeiger-Variable (Pointer):**
Bezeichnung einer Referenz auf ein Datenobjekt



8.2 Überblick

- Eine Zeigervariable (**pointer**) enthält als Wert die Adresse einer anderen Variablen
 - ↳ *der Zeiger verweist auf die Variable*
- Über diese Adresse kann man **indirekt** auf die Variable zugreifen
- Daraus resultiert die große Bedeutung von Zeigern in C
 - ↳ Funktionen können (indirekt) ihre Aufrufparameter 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

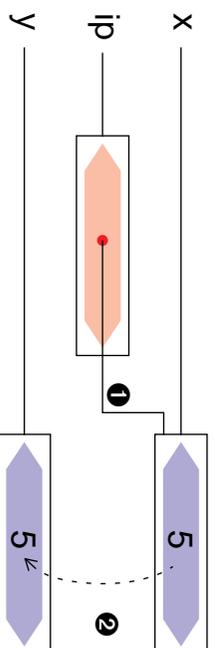
8.3 Definition von Zeigervariablen

■ Syntax:

Typ *Name ;

▲ Beispiele

```
int x = 5;
int *ip;
int y;
ip = &x; ①
y = *ip; ②
```



8.4 Adressoperatoren

■ Adressoperator &

&x der unäre Adress-Operator liefert eine Referenz auf den Inhalt der Variablen (des Objekts) **x**

■ Verweisoperator *

x** der unäre Verweisoperator ** ermöglicht den Zugriff auf den Inhalt der Variablen (des Objekts), auf die der Zeiger **x** verweist

★ Unterschied des Symbols *****

in einer Variablendefinition und in einem Ausdruck

- **int *ip;** ***** in einer Variablendefinition:
ip ist eine Variable vom Typ (**int ***),
eine Variable die auf ein Objekt vom Typ (**int**) verweist
- **y = *ip;** ***** als Operator in einem Ausdruck:
ip ist eine Variable, die auf ein Objekt vom Typ (**int**) verweist,
der Ausdruck ***ip** ermittelt den Inhalt dieses Objekts, also den **int**-Wert
➔ das Ergebnis des Ausdrucks ***ip** ist ein Wert vom Typ (**int**)

8.5 Zeiger als Funktionsargumente

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

8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

```

8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

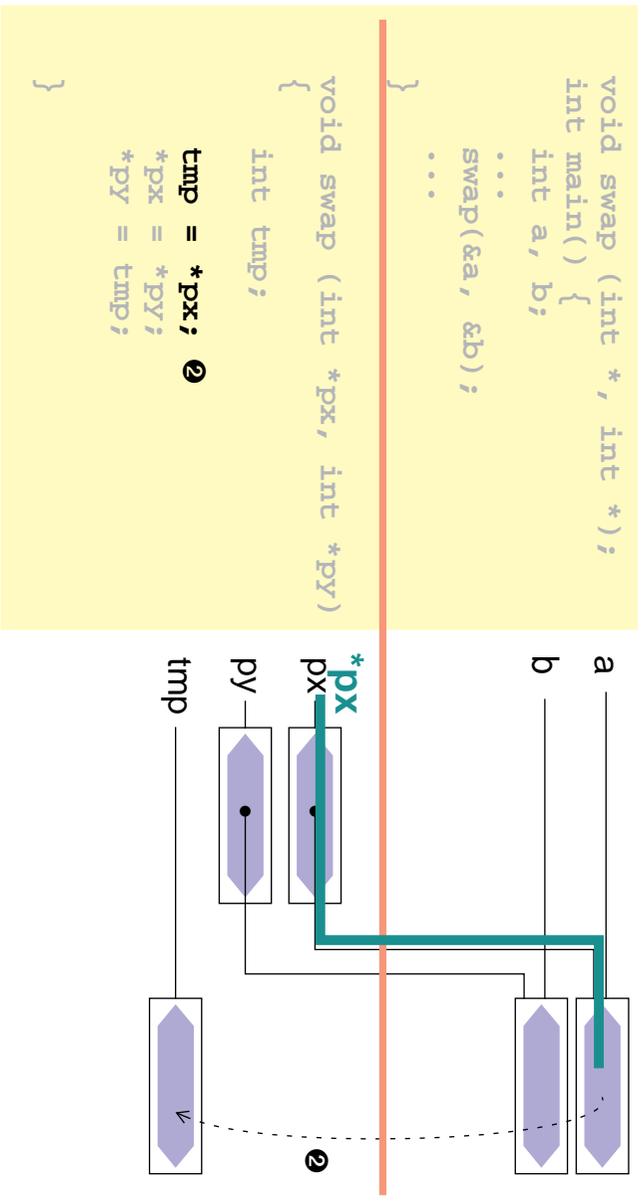
void swap (int *, int *);
int main() {
    int a, b;
    ...
    swap(&a, &b);
    ...
}

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

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

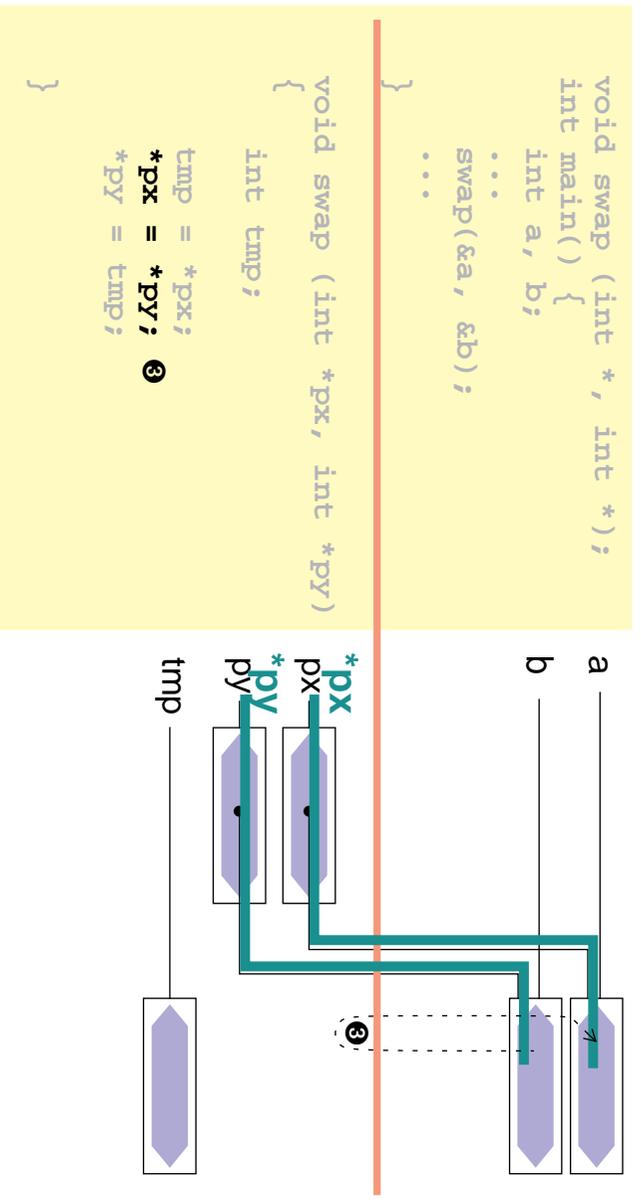
8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:



8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:



8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

8.6 Zeiger auf Strukturen

- Konzept analog zu "Zeiger auf Variablen"
 - Adresse einer Struktur mit &-Operator zu bestimmen

- Beispiele

```
struct person stud1;  
struct person *pstud;  
pstud = &stud1;           /* ⇒ pstud → stud1 */
```

- Besondere Bedeutung zum Aufbau verketteter Strukturen

8.6 Zeiger auf Strukturen (2)

- Zugriff auf Strukturkomponenten über einen Zeiger
- Bekannte Vorgehensweise
 - *-Operator liefert die Struktur
 - .-Operator zum Zugriff auf Komponente
 - Operatorenvorrang beachten

```
↳ (*pstud).alter = 21;
```

nicht so get leserrlich!

- Syntaktische Verschönerung

```
↳ ->-Operator
```

```
pstud->alter = 21;
```

8.7 Zusammenfassung

■ Variable

```
int a;  
a — 5
```

■ Zeiger

```
int *p = &a;  
a — 5  
p — ● — 5
```

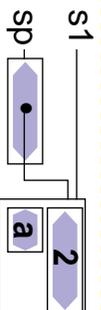
■ Struktur

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



■ Zeiger auf Struktur

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



Felder

9.1 Eindimensionale Felder

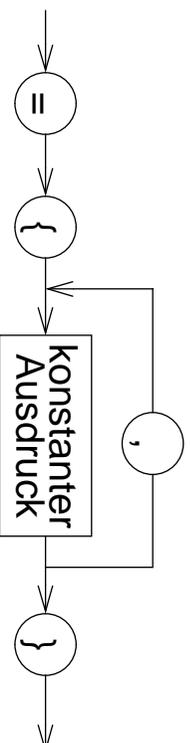
- eine Reihe von Daten desselben Typs kann zu einem **Feld** zusammengefasst werden
- bei der Definition wird die Größe des Felds angegeben
 - Größe muss eine Konstante sein
 - ab C99 bei lokalen Feldern auch zur Laufzeit berechnete Werte zulässig
- der Zugriff auf die Elemente erfolgt durch **Indizierung**, beginnend bei Null
- Definition eines Feldes



■ Beispiele:

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

9.2 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

## 9.3 Initialisierung eines Feldes (2)

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

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

## 9.4 Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



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

- Beispiele:

```

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

```

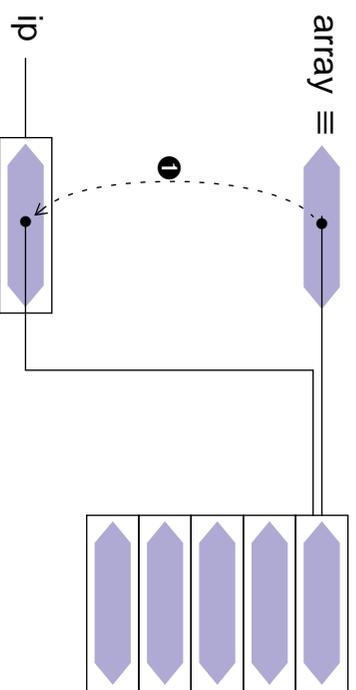
## Zeiger und Felder

- 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

```

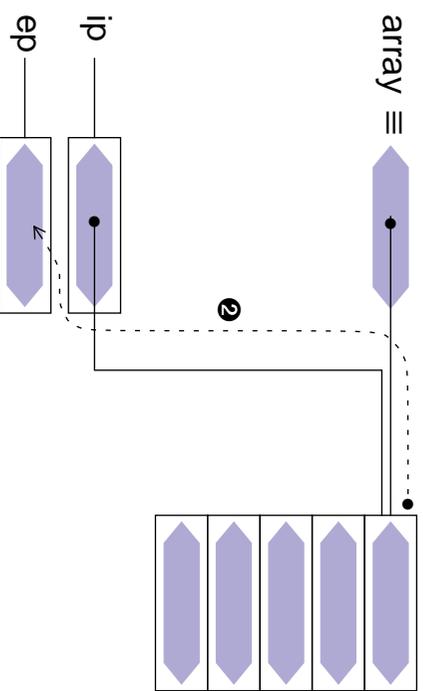


## Zeiger und Felder

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

- es gilt:

```
int array[5];
int *ip = array;
int *ep;
ep = &array[0]; ②
```

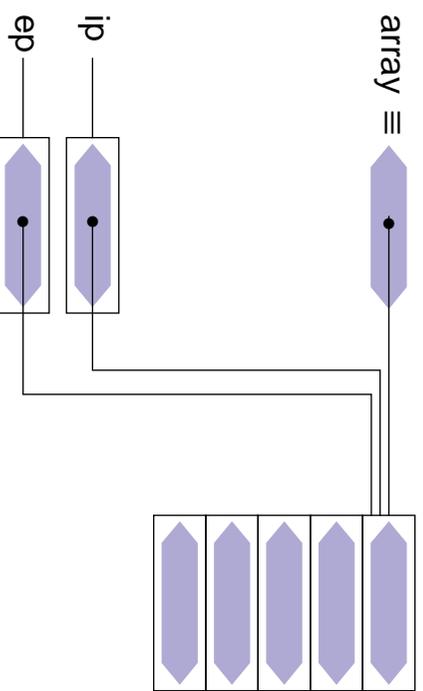


## Zeiger und Felder

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

- es gilt:

```
int array[5];
int *ip = array;
int *ep;
ep = &array[0]; ②
```

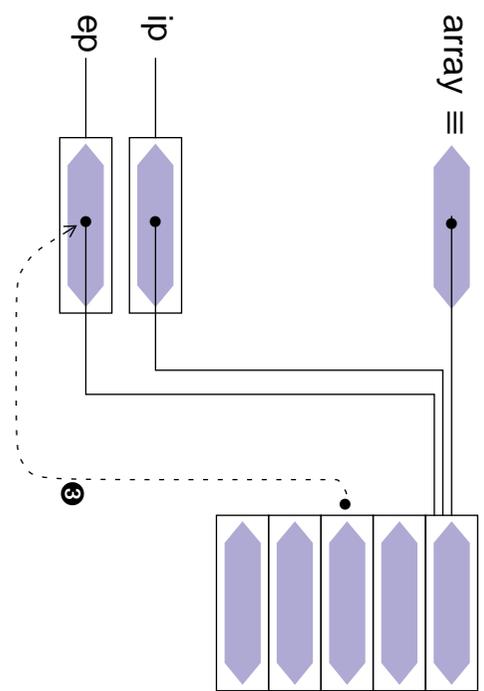


## Zeiger und Felder

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

- es gilt:

```
int array[5];
int *ip = array;
int *ep;
ep = &array[0];
ep = &array[2];
```

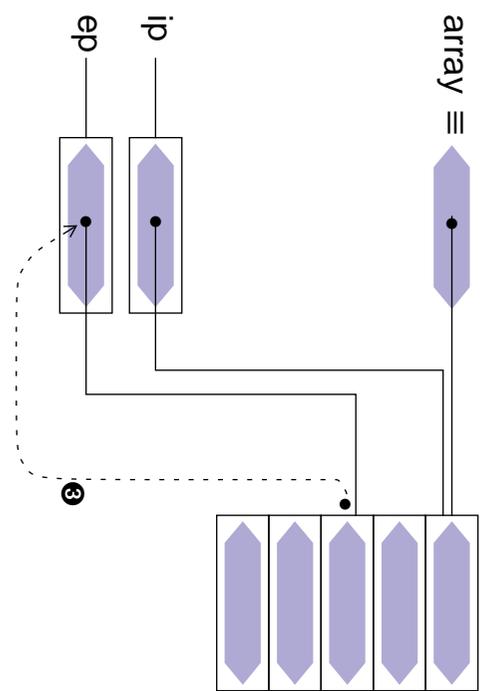


## Zeiger und Felder

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

- es gilt:

```
int array[5];
int *ip = array;
int *ep;
ep = &array[0];
ep = &array[2];
```

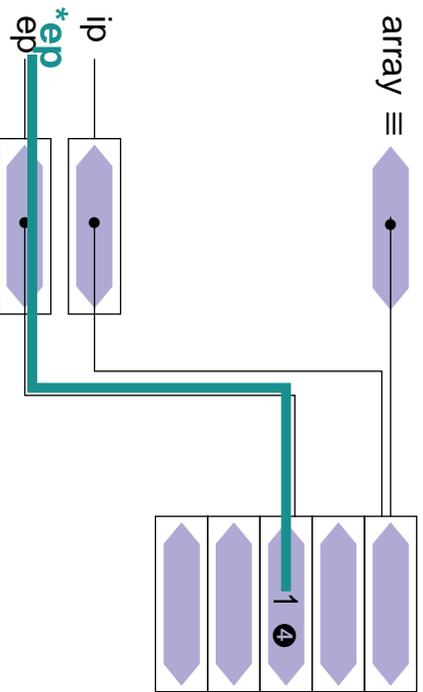


## Zeiger und Felder

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

- es gilt:

```
int array[5];
int *ip = array;
int *ep;
ep = &array[0];
ep = &array[2];
*ep = 1; ④
```

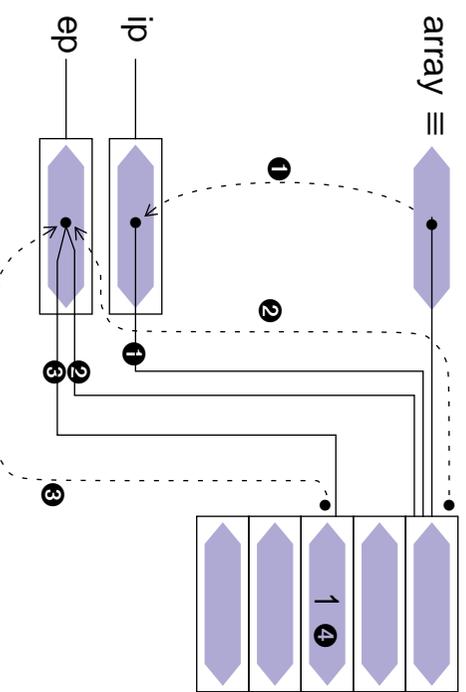


## Zeiger und Felder

- 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:

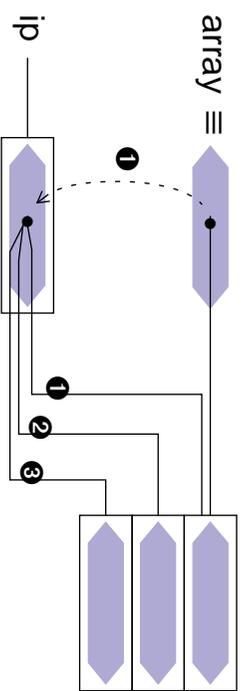
```
int array[5];
int *ip = array; ①
int *ep;
ep = &array[0]; ②
ep = &array[2]; ③
*ep = 1; ④
```



## 10.1.1 Arithmetik mit Adressen

- ++-Operator: Inkrement = nächstes Objekt

```
int array[3];
int *ip = array; ①
ip++; ②
ip++; ③
```

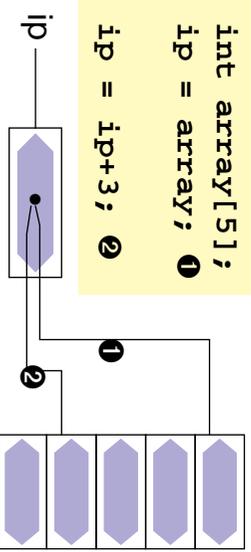


- -- -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

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

Dabei wird immer die Größe des  
Objektyps berücksichtigt!

```
int array[5];
ip = array; ①
ip = ip+3; ②
```



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

## 10.2.2 Zeigerarithmetik und Felder

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

- es gilt:

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

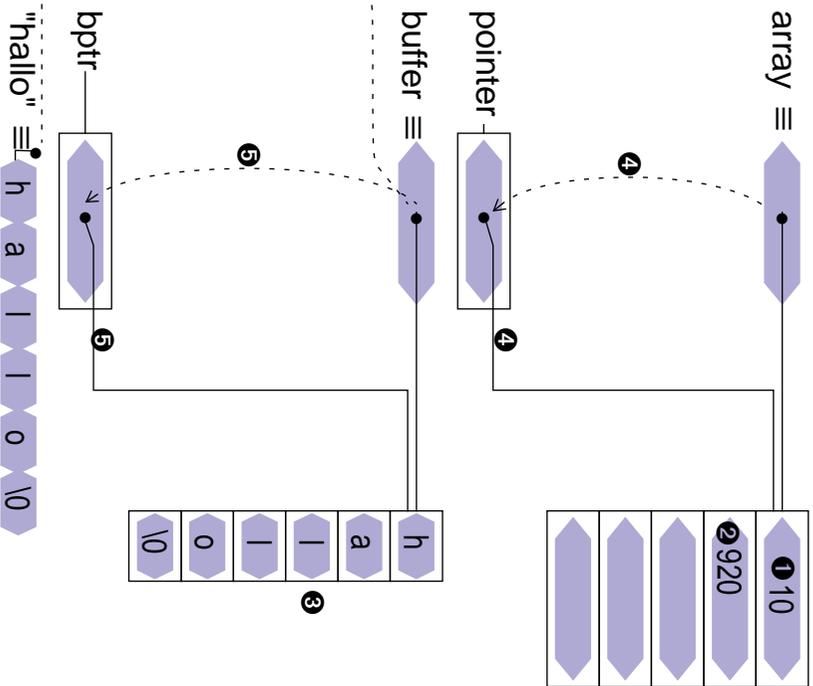
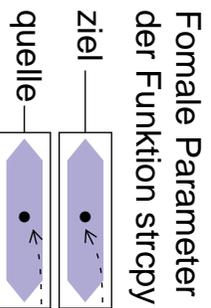
```
/* Folgende Zuweisungen sind äquivalent */
array[i] = 1;
ip[i] = 1;
(ip+i) = 1; / Vorrang ! */
*(array+i) = 1;
```

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

## 10.2.2 Zeigerarithmetik und Felder

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

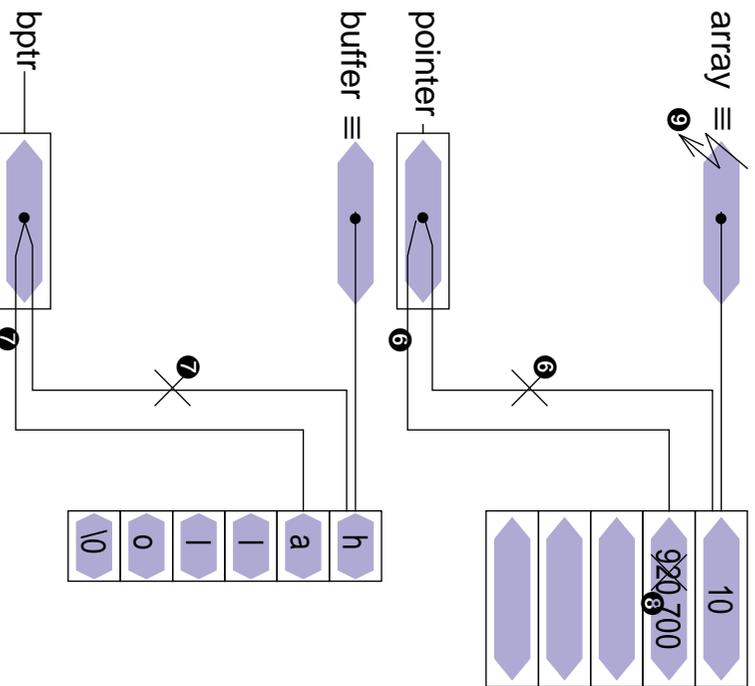
- 1 array[0] = 10;
- 2 array[1] = 920;
- 3 strcpy(buffer, "hallo");
- 4 pointer = array;
- 5 bptr = buffer;



## 10.2.2 Zeigerarithmetik und Felder

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

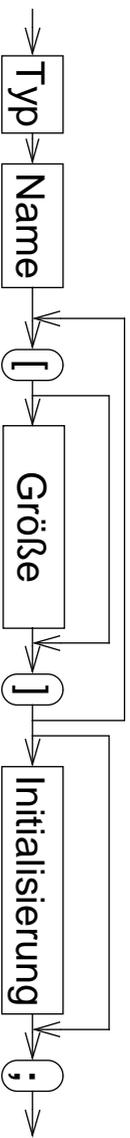
- 1 array[0] = 10;
- 2 array[1] = 920;
- 3 strcpy(buffer, "hallo");
- 4 pointer = array;
- 5 bptr = buffer;
- 6 pointer++;
- 7 bptr++;
- 8 \*pointer = 700;
- 9 array++;



### 10.3 Mehrdimensionale Felder

- neben eindimensionalen Felder kann man auch mehrdimensionale Felder vereinbaren

- Definition eines mehrdimensionalen Feldes



- Beispiel:

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

- Realisierung:

- ▶ in der internen Speicherung werden die Feldelemente zeilenweise hintereinander im Speicher abgelegt
- ▶ Felddefinition: `int f[2][2];`  
Ablage der Elemente: `f[0][0]`, `f[0][1]`, `f[1][0]`, `f[1][1]`  
`f` ist ein Zeiger auf `f[0][0]`

### 10.4 Zugriffe auf Feldelemente bei mehrdim. Feldern

- Indizierung:



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

- Beispiel:

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

- ◆ ist äquivalent zu:

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

## 10.5 Initialisierung eines mehrdimensionalen Feldes

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

- Beispiel:

```
int feld[3][4] = {
 { 1, 3, 5, 7 }, /* feld[0][0-3] */
 { 2, 4, 6 } /* feld[1][0-2] */
};
feld[1][3] und feld[2][0-3] werden in dem Beispiel mit 0 initialisiert!
```

## 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

## Dynamische Speicherverwaltung (2)

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

- `void free(void *ptr)`

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

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

## Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

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

Beispiel:

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

```
d = (i * f);
```



- 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));
```



## 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
sizeof (Typ)
```

liefert die Größe des Objekts x in Bytes

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

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter

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

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (2)

- wird ein Feldparameter als `const` deklariert, können die Feldelemente innerhalb der Funktion nicht verändert werden

- Funktionsaufruf und Deklaration der formalen Parameter am Beispiel eines `int`-Feldes:

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

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

► im Unterschied zu einer Variablendefinition

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

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (3)

- **Beispiel 1:** Bestimmung der Länge einer Zeichenkette (*String*)

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

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (4)

### ■ Beispiel 2: Konkateneriere Strings

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

#### ◆ Funktionsaufruf mit Feld-Parametern

- als aktueller Parameter beim Funktionsaufruf wird einfach der Feldname angegeben

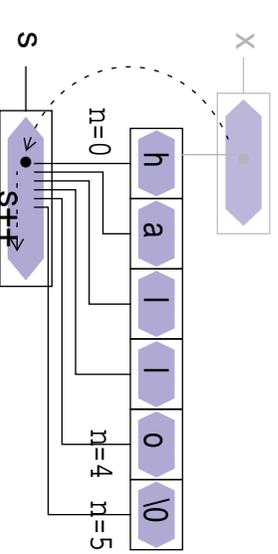
```
char s1[50] = "text1";
char s2[] = "text2";
strcat(s1, s2); /* → s1="text1text2" */
strcat(s1, "text3"); /* → s1="text1text2text3" */
```

## Zeiger, Felder und Zeichenketten

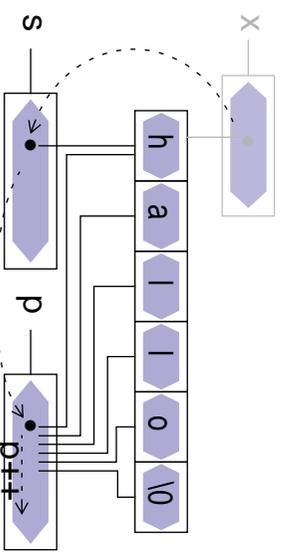
- Zeichenketten sind Felder von Einzelzeichen (char), die in der internen Darstellung durch ein '\0'-Zeichen abgeschlossen sind

- Beispiel: Länge eines Strings ermitteln — Aufruf `strlen(x)`;

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



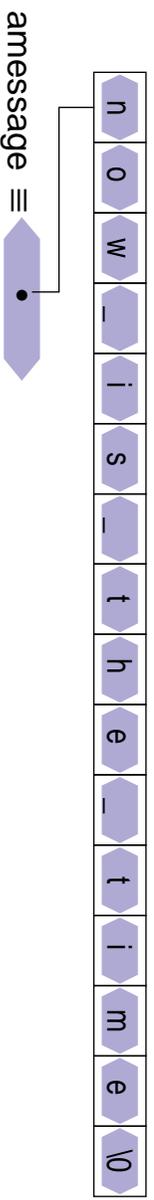
```
/* 2. Version */
int strlen(const char *s)
{
 char *p = s;
 while (*p != '\0')
 p++;
 return(p-s);
}
```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (2)

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

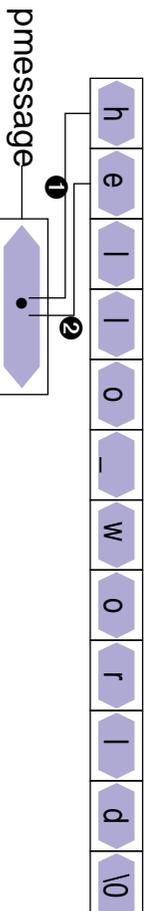
```
char amessage[] = "now is the time";
```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (3)

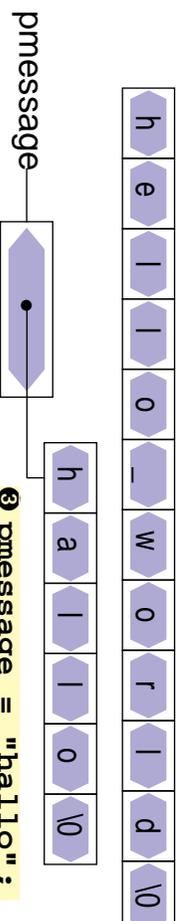
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines char-Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird

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



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

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

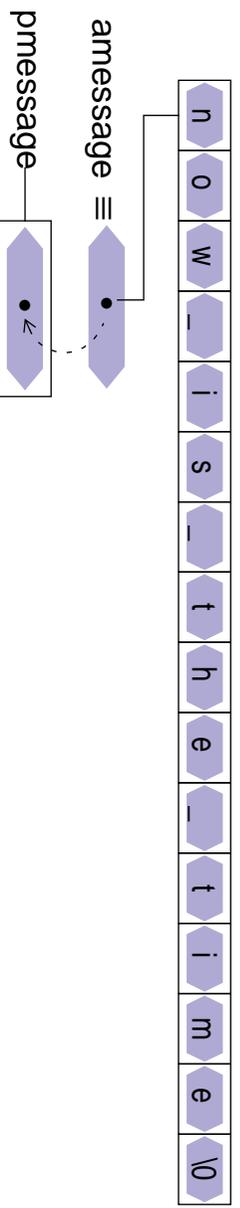


## Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

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

```
pmessage = amessage;
```

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



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

## Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

- Zeichenketten kopieren

```

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

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

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

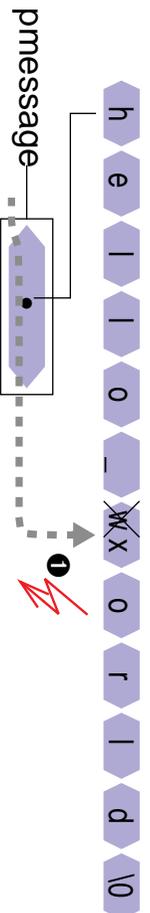
```

## Zeiger, Felder und Zeichenketten (6)

- in ANSI-C können Zeichenketten in nicht-modifizierbaren Speicherbereichen angelegt werden (je nach Compiler)
  - ↳ Schreiben in Zeichenketten (Zuweisungen über dereferenzierte Zeiger) kann zu Programmabstürzen führen!
- Beispiel:
 

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

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



```
pmessage[6] = 'x'; ❶ ⚡
```

**aber!**

```
char amessage[] = "hello world";
```

```
amessage[6] = 'x';
```

**ok!**

## Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration
 

```
int *pfeld[5];
int i = 1;
int j;
```
- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes
 

```
pfeld[3] = &i; ❶
```
- Zugriffe auf das Objekt, auf das ein Zeiger des Feldes verweist
 

```
j = *pfeld[3]; ❷
```

