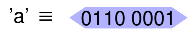
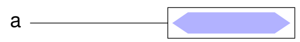
H Zeiger(-Variablen)

H.1 Einordnung

- **Konstante:**
  Bezeichnung für einen Wert

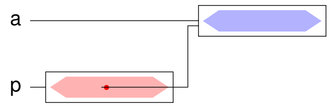


- **Variable:**
  Bezeichnung eines Datenobjekts



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

```
char *p = &a;
```



H.2 Überblick

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

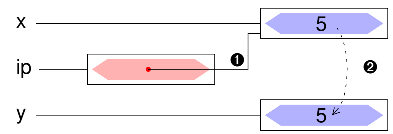
1 Definition von Zeigervariablen

- Syntax:

```
Typ *Name ;
```

2 Beispiele

```
int x = 5;

int *ip;

int y;

ip = &x; ❶

y = *ip; ❷
```



H.3 Adreßoperatoren

1 Adreßoperator `&`

`&x` der unäre Adreß-Operator liefert die Adresse der Variablen (des Objekts) `x`

2 Verweisoperator `*`

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

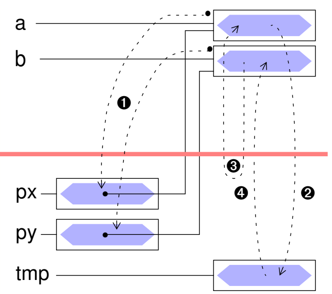
H.4 Zeiger als Funktionsargumente

- 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*

H.4 ... Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

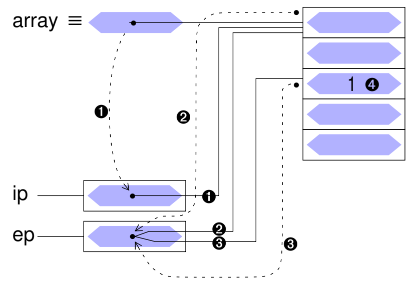
```
main(void) {
int a, b;
void swap (int *, int *);
...
swap(&a, &b); ❶
}

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

    tmp = *px; ❷
    *px = *py; ❸
    *py = tmp; ❹

}
```



H.5 Zeiger und Felder (1)

- 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:

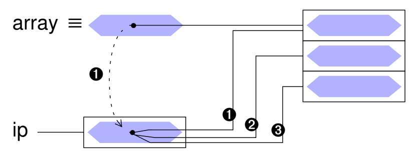
```
int array[5];

int *ip = array; ❶

int *ep;
ep = &array[0]; ❷

ep = &array[2]; ❸

*ep = 1; ❹
```



H.6 Arithmetik mit Adressen

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

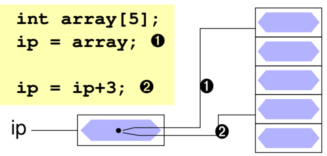
```
int array[3];
int *ip = array; ❶

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
```



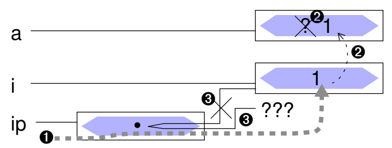
!!! **Achtung:** Assoziativität der Operatoren beachten !!

1 Vorrangregeln bei Operatoren

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

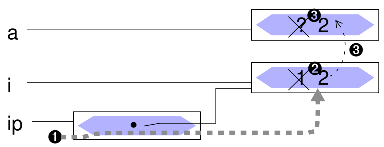
2 Beispiele

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

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

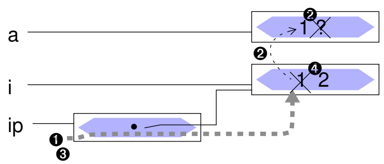


2 Beispiele (2)

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

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




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

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



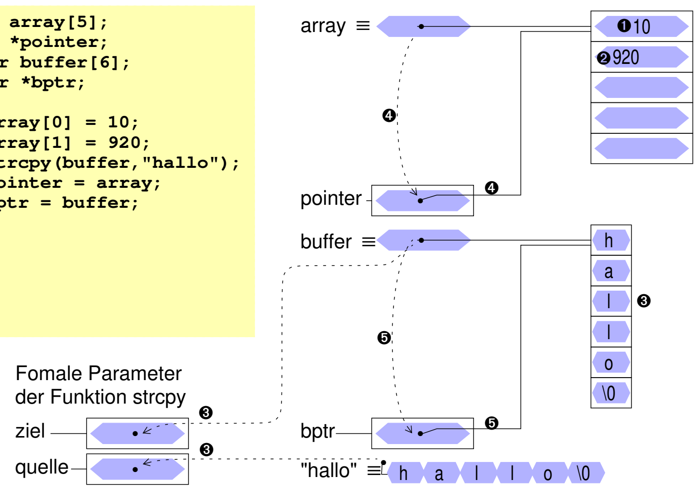
3 Zeigerarithmetik und Felder

- 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;
```

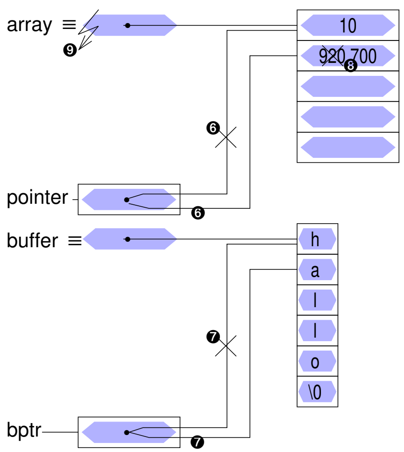

3 Zeigerarithmetik und Felder

```
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;
```



3 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++;
```



4 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

H.7 Felder als Funktionsparameter

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

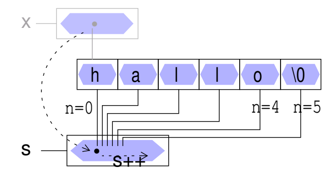
```
int a, b;
int feld[20];
func(a, feld, b);
…
int func(int p1, int p2[], int p3);
oder:
int func(int p1, int *p2, int p3);
```

- Der Feldname ist eine Konstante Adresse, die als Argument eines Funktionsaufrufs *by-value* übergeben wird (= Funktion erhält Kopie!)
- Diese Kopie kann von der aufgerufenen Funktion
  – unabhängig von der Deklaration des formalen Parameters –
  wie eine Zeigervariable verwendet werden
- die Parameter-Deklarationen **`int p2[]`** und **`int *p2`** sind vollkommen äquivalent!

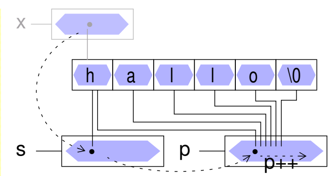
H.8 Zeiger, Felder und Zeichenketten

- Zeichenketten sind Felder von Einzelzeichen (**`char`**), die in der internen Darstellung durch ein **`'\0'`**–Zeichen abgeschlossen sind
- Beispiel: Länge eines Strings ermitteln — Aufruf **`strlen(x);`**

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



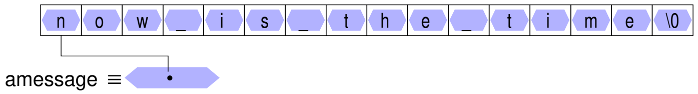

```
/* 2. Version */
int strlen(char *s)
{
    char *p = s;
    while (*p != '\0')
        p++;
    return(p-s);
}
```



H.8 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (2)

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

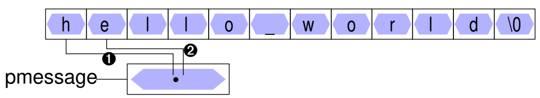
```
char amessage[] = "now is the time";
```



H.8 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (3)

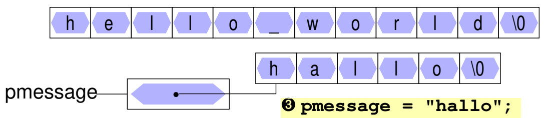
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines **char**–Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird

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




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

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

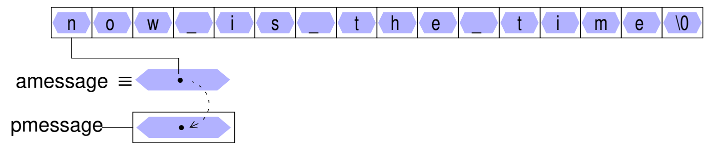


H.8 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

- 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

H.8 … Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

- Zeichenketten kopieren

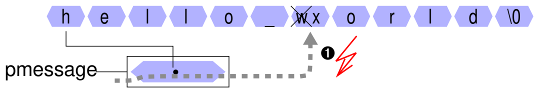
```
/* 1. Version */
void strcpy(char s[], t[])
{
    int i=0;
    while ( (s[i] = t[i]) != '\0' )
        i++;
}

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

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

H.8 … 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!

H.9 Beispiel: dynamische Speicherverwaltung

- die folgenden zwei Funktionen verwalten einen globalen, zusammenhängenden Speicherbereich,
  - – aus dem freier Speicher angefordert werden kann ***(alloc)***
  - – und in den freigegebener Speicher wieder integriert wird ***(free)***
- diese Version einer dynamischen Speicherverwaltung ist rudimentär und soll lediglich einen Eindruck von einer möglichen Realisierung geben
- in der Regel werden für diese Aufgabenstellung die Funktionen ***malloc( )*** und ***free( )*** aus der C-Bibliothek verwendet

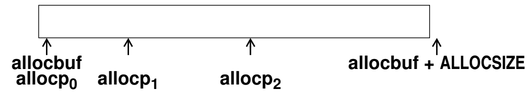
H.9 … Beispiel: dynamische Speicherverwaltung (2)

- Globale Definitionen

```
#define NULL      (char *)0
#define ALLOCSIZE 1000
static char allocbuf[ALLOCSIZE]
static char *allocp = allocbuf;
```

- Anfordern von Speicher

```
char *alloc(int n)
{
    if (allocp+n <= allocbuf+ALLOCSIZE) {
        allocp += n;
        return (allocp - n);
    } else
        return (NULL);
}
```



H.9 … Beispiel: dynamische Speicherverwaltung (3)

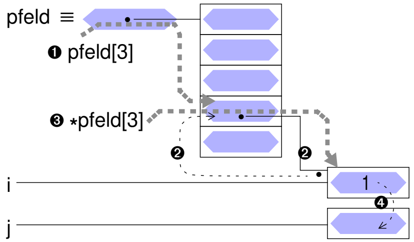
- Freigabe von Speicher

```
void free(char *p)
{
    if (p >= allocbuf &&
         p < allocbuf+ALLOCSIZE)
        allocp = p;
}
```

H.10 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
```

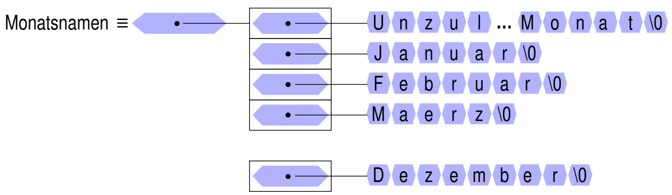
- Zugriffe auf das Objekt, auf das ein Zeiger des Feldes verweist

```
j = *pfeld[3]; ❹
❶
❹ ❸
```


H.10 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] );
}
```



H.11 Argumente aus der Kommandozeile

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

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

oder

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

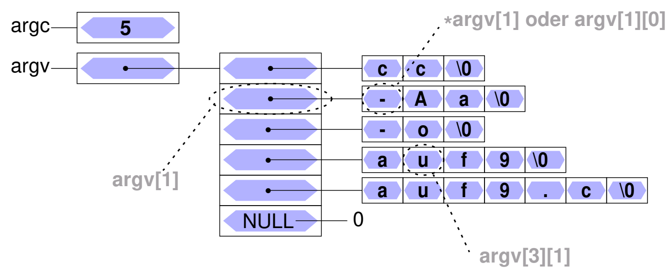
- der Parameter **`argc`** enthält die Anzahl der Argumente, mit denen das Programm aufgerufen wurde
- der Parameter **`argv`** ist ein Feld von Zeiger auf die einzelnen Argumente (Zeichenketten)
- der Kommandoname wird als erstes Argument übergeben (**`argv[0]`**)

1 Datenaufbau

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

Datei cc.c:

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

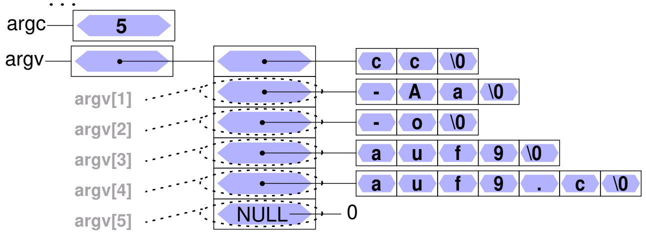


2 Zugriff
Beispiel: Ausgeben aller Argumente (1)

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

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' );
    }
    ...
```



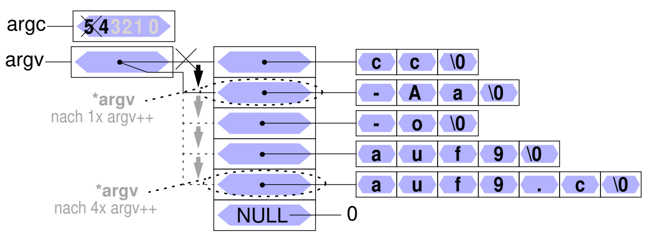
2 Zugriff
Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

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

2. Version

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

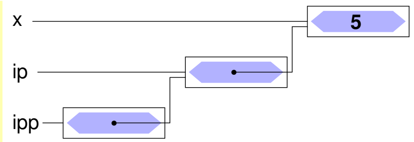
linksseitiger Operator:
erst dekrementieren,
dann while-Bedingung prüfen
→ Schleife läuft für argc=4,3,2,1



H.12 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)

H.13 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 */
```

H.14 Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

- C enthält Regeln für eine automatische Konvertierung unterschiedlicher Typen in einem Ausdruck (vgl. Abschnitt D.8)

Beispiel:

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

```
d = i * f;
```

→float
→double

- In manchen Fällen wird eine explizite Typumwandlung benötigt (vor allem zur Umwandlung von Zeigern)
  - ◆ Syntax: **(Typ) Variable**
  - Beispiele:

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

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

- ◆ Beispiel:

```
char *malloc(int);     /* Funktion zum dynamischen Anfordern von Speicher */
int *array;            /* Zeiger auf Anfang eines dyn. anzufordernden Feldes */
int i, n = 20;

array = (int *)malloc(n * sizeof(int));  /* Feld mit n Integer-Werten */
                                         /* dynamisch anfordern */
for (i=0; i<n; i++) array[i] = 1;        /* alle Feld-Werte auf 1 setzen */
```


H.15 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

H.15 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';
```


H.16 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;
};
```

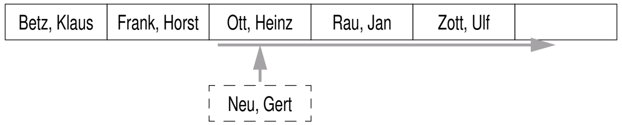
➥ Programmieren rekursiver Datenstrukturen

H.16 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

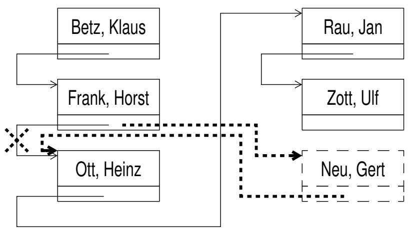


H.16 Rekursive Strukturen (3)

- 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



H.16 Rekursive Strukturen (4)

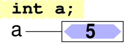
- Realisierung von Lösung 2 (Skizze):

```
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 eintrag_lesen(struct student *);

/* erstes Listen-Element anfordern */
akt_eintrag = (struct eintrag *)malloc(sizeof (struct eintrag));
stud_liste = &leer;/* Listenanfang auf leeres Element setzen (dadurch
                      Vermeidung von Sonderbehandlung für Listenanfang) */

while (eintrag_lesen(&akt_eintrag->stud) != EOF ) {
        einfuege_pos = .../* Eintrag, hinter dem einzufügen ist irgendwie suchen */
        akt_eintrag->naechster = einfuege_pos->naechster;
        einfuege_pos->naechster = akt_eintrag;

        /* neues Listen-Element anfordern */
        akt_eintrag = (struct eintrag *)malloc(sizeof (struct eintrag));
}
```


H.17 Zusammenfassung

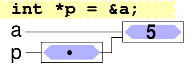
- Variable

```
int a;
```



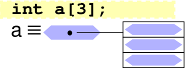
- Zeiger

```
int *p = &a;
```



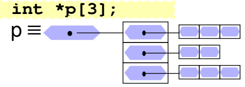
- Feld

```
int a[3];
```



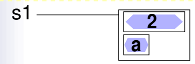
- Feld von Zeigern

```
int *p[3];
```



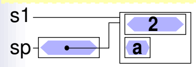
- Struktur

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

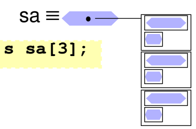


- Zeiger auf Struktur

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



- Feld von Strukturen




```
struct s sa[3];
```