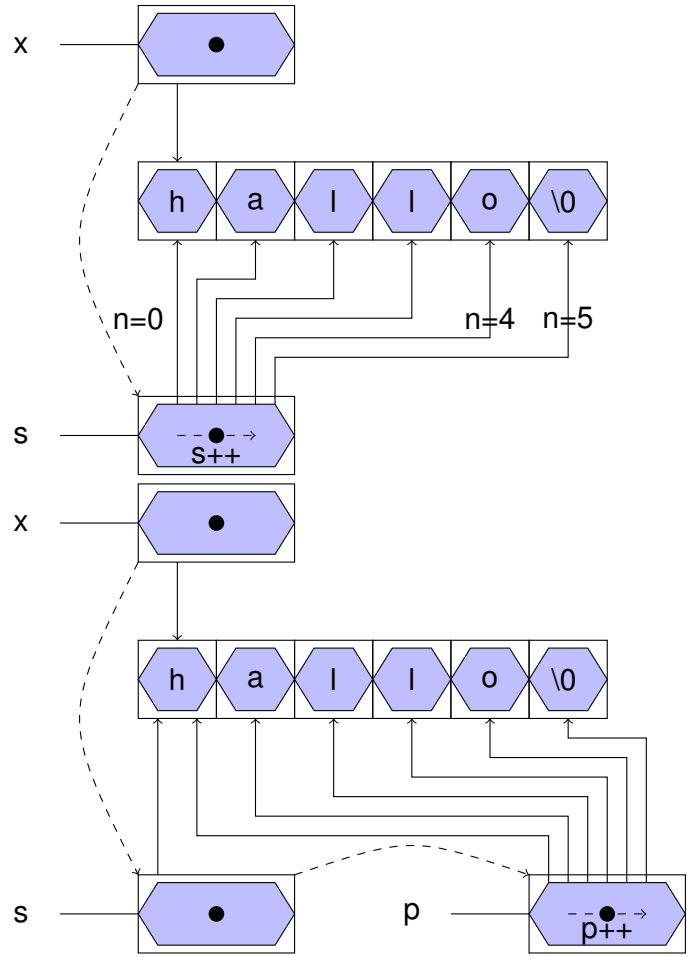
Überblick: Teil D Betriebssystemabstraktionen

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'; n++) {
        s++;
    }
    return n;
}
```

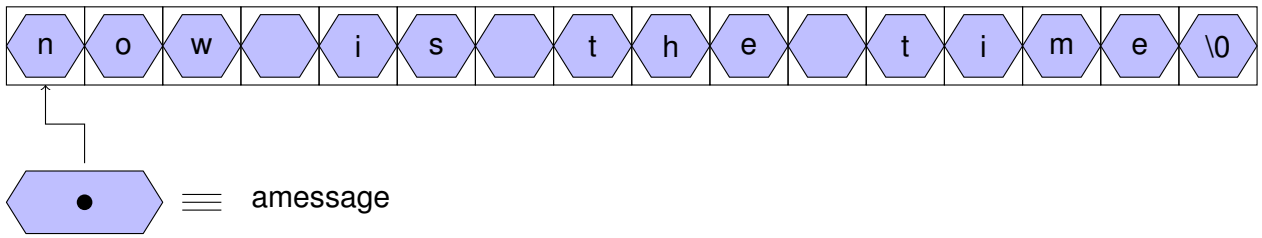
```
/* 2. Version */
int strlen(const char *s)
{
    const char *p = s;
    while (*p != '\0') {
        p++;
    }
    return p - s;
}
```



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";
```



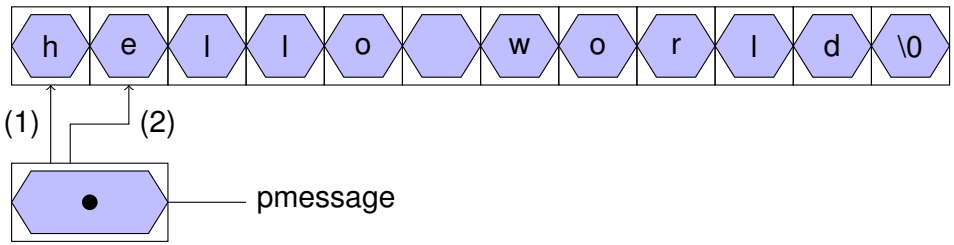
- es wird ein Speicherbereich für 16 Bytes reserviert und die Zeichen werden in diesen Speicherbereich hineinkopiert
- `amessage` ist ein konstanter Zeiger auf den Anfang des Speicherbereichs und kann nicht verändert werden
- der Inhalt des Speicherbereichs kann aber modifiziert werden

```
amessage[0] = 'h';
```


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

```
const char *pmessage = "hello world";    /*(1)*/
```

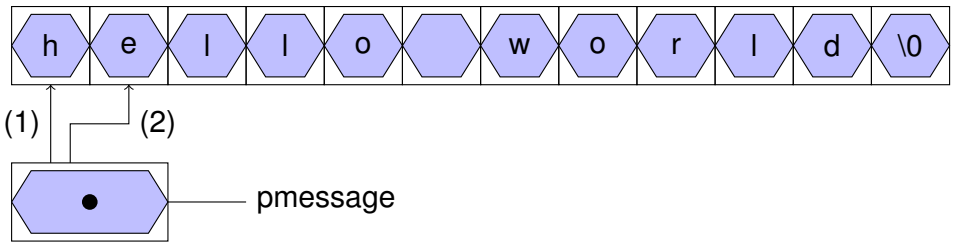



```
pmessage++;    /*(2)*/
printf("%s\n", pmessage); /* gibt "ello world" aus */
```

- die Zeichenkette selbst wird vom Compiler als konstanter Wert (String-Literal) im Speicher angelegt
- es wird ein Speicherbereich für einen Zeiger reserviert (z.B. 4 Byte) und mit der Adresse der Zeichenkette initialisiert

Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

```
const char *pmessage = "hello world";    /*(1)*/
```




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

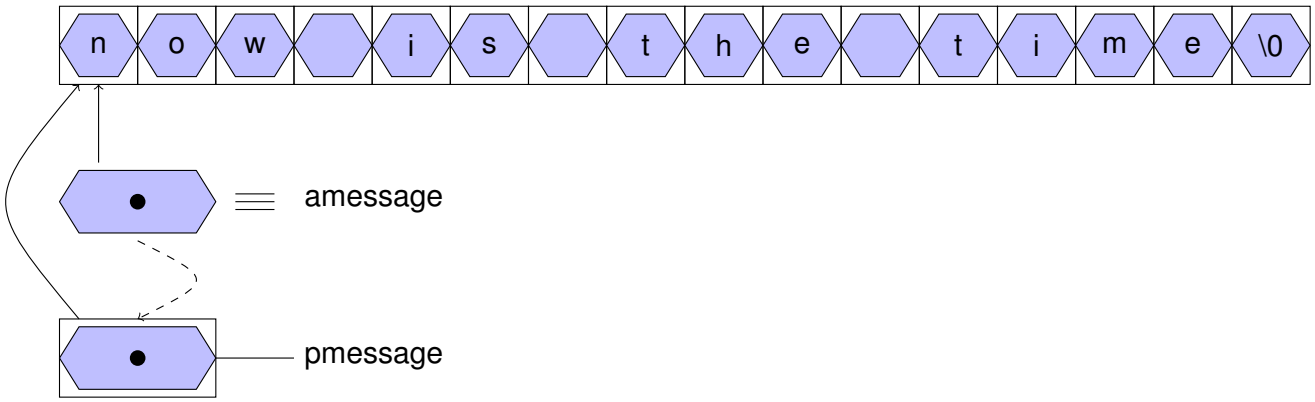
- `pmessage` ist ein variabler Zeiger, der mit dieser Adresse initialisiert wird, aber jederzeit verändert werden darf (`pmessage++;`)
- der Speicherbereich von `"hello world"` darf aber nicht verändert werden
  - der Compiler erkennt dies durch das Schlüsselwort `const` und verhindert schreibenden Zugriff über den Zeiger
  - manche Compiler legen solche Zeichenketten ausserdem im schreibgeschützten Speicher an (=> Speicherschutzverletzung beim Zugriff, falls der Zeiger nicht als `const`-Zeiger definiert wurde)

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

Zeiger, Felder und Zeichenketten (6)

- Um eine ganze Zeichenkette einem anderen char-Feld zuzuweisen, muss sie kopiert werden: Funktion `strcpy` in der Standard-C-Bibliothek
- Implementierungsbeispiele:

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

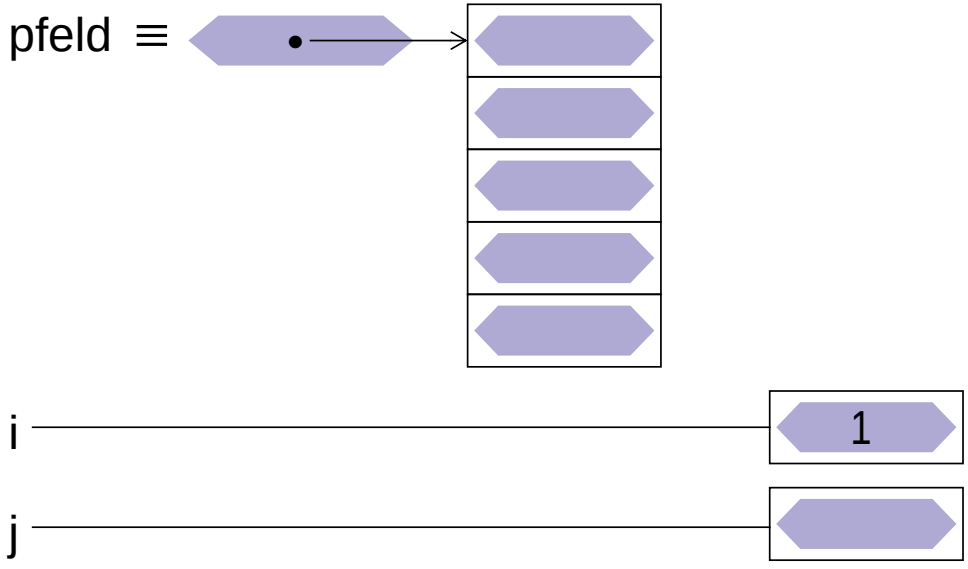
```
/* 2. Version */
void strcpy(char *s, char *t) {
    while ((*s = *t) != '\0') {
        s++, t++;
    }
}
```

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

Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration

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



Felder von Zeigern

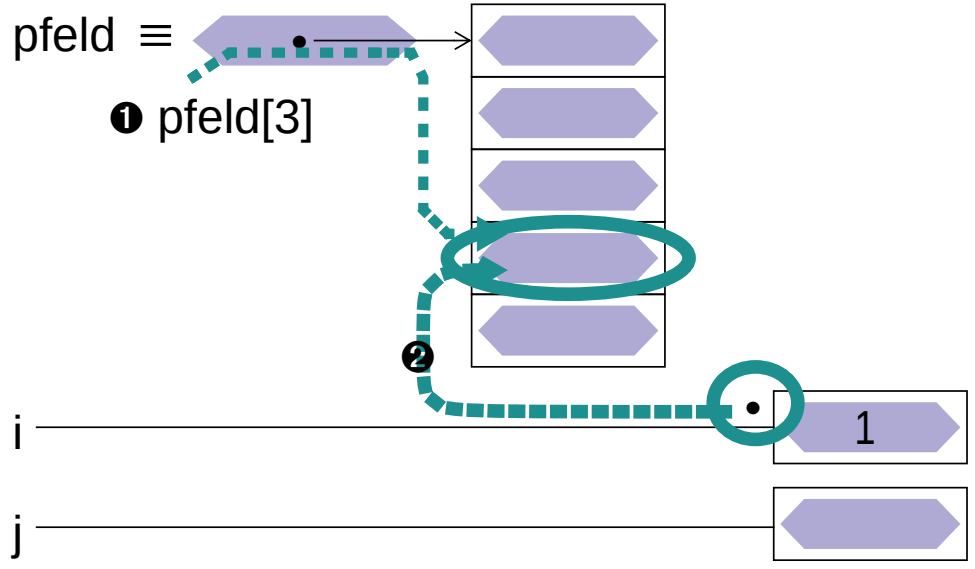
- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration

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

- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

```
pfeld[3] = &i;
```

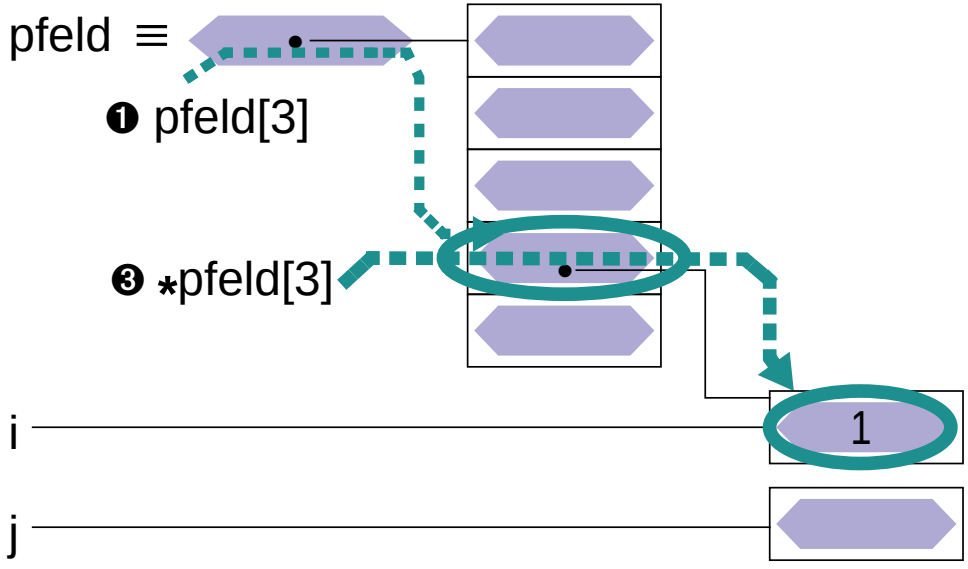
❶ ❷



Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration

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



- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

```
pfeld[3] = &i;
```

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

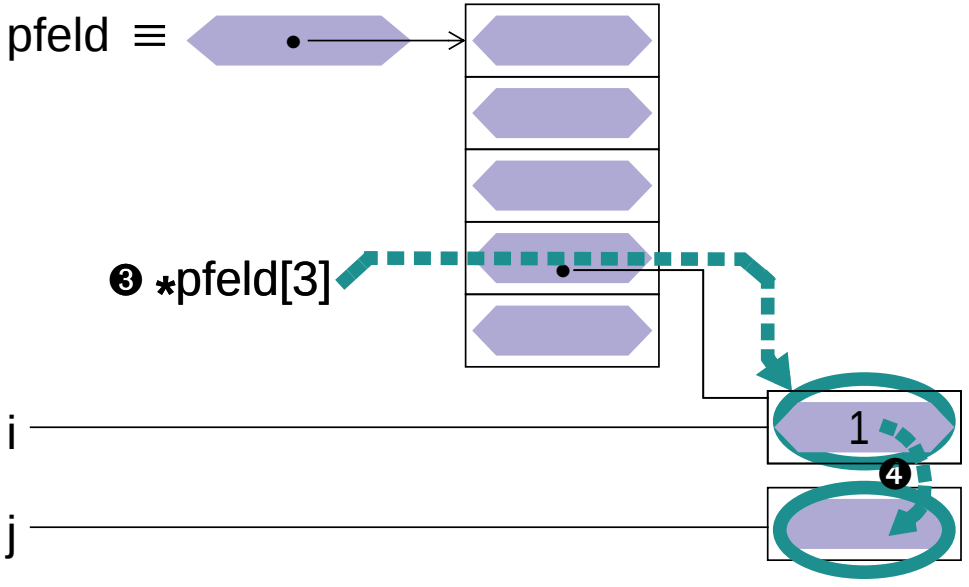
```
j = *pfeld[3];
```

❶
❸

Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration

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



- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

```
pfeld[3] = &i;
```

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

```
j = *pfeld[3];
```

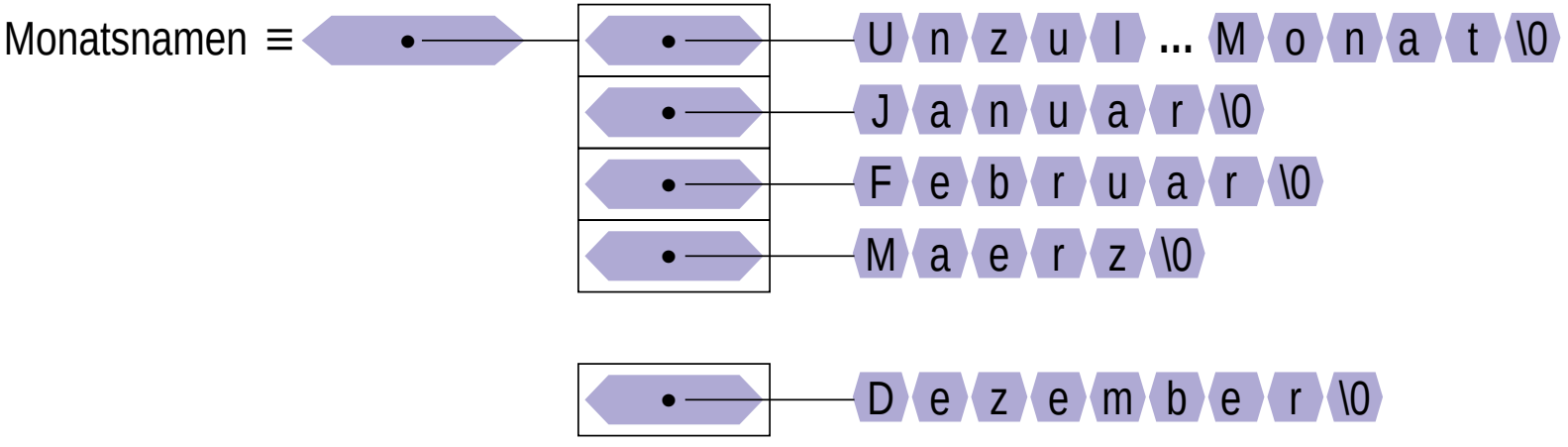
❶ ❸ ❹ ❹

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] );
}
```



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)
{
     …
}
```

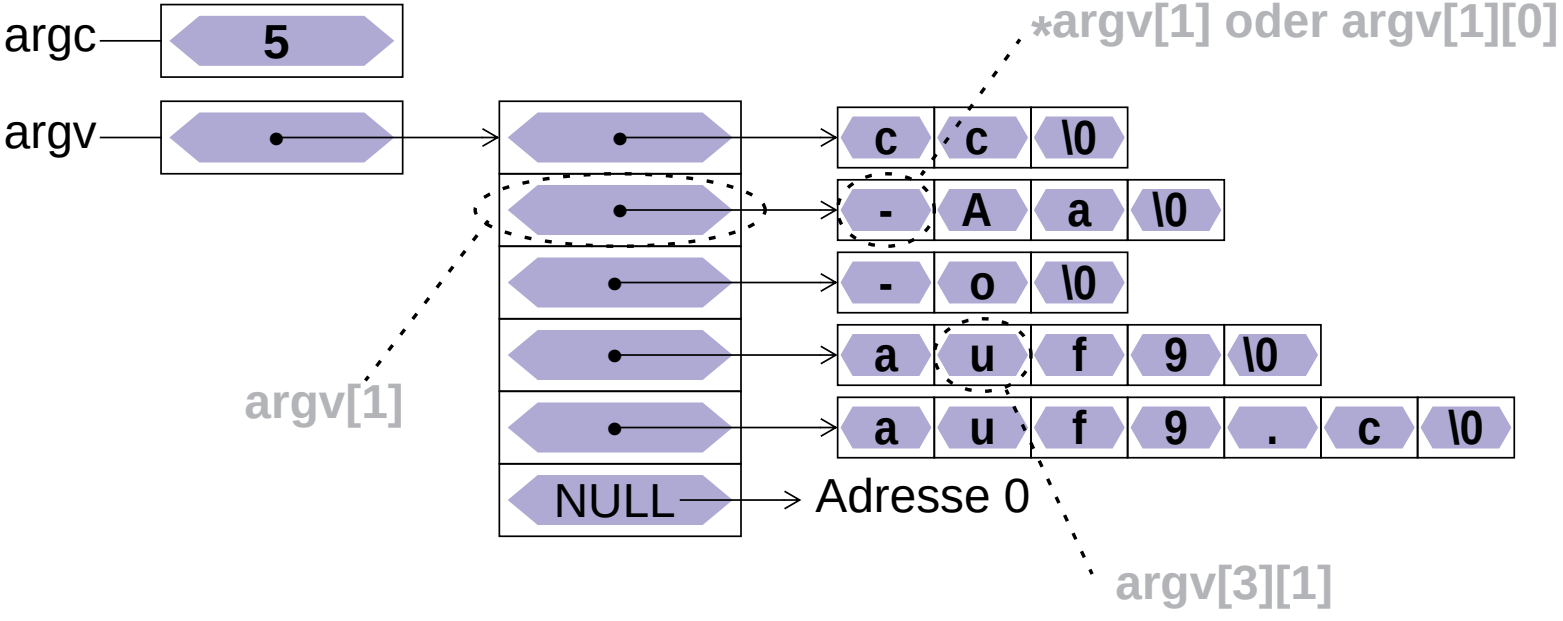
- der Parameter **`argc`** enthält die Anzahl der Argumente, mit denen das Programm aufgerufen wurde
- der Parameter **`argv`** ist ein Feld von Zeiger auf die einzelnen Argumente (Zeichenketten)
- der Kommandoname wird als erstes Argument übergeben (**`argv[0]`**)

Datenaufbau

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

Datei cc.c:

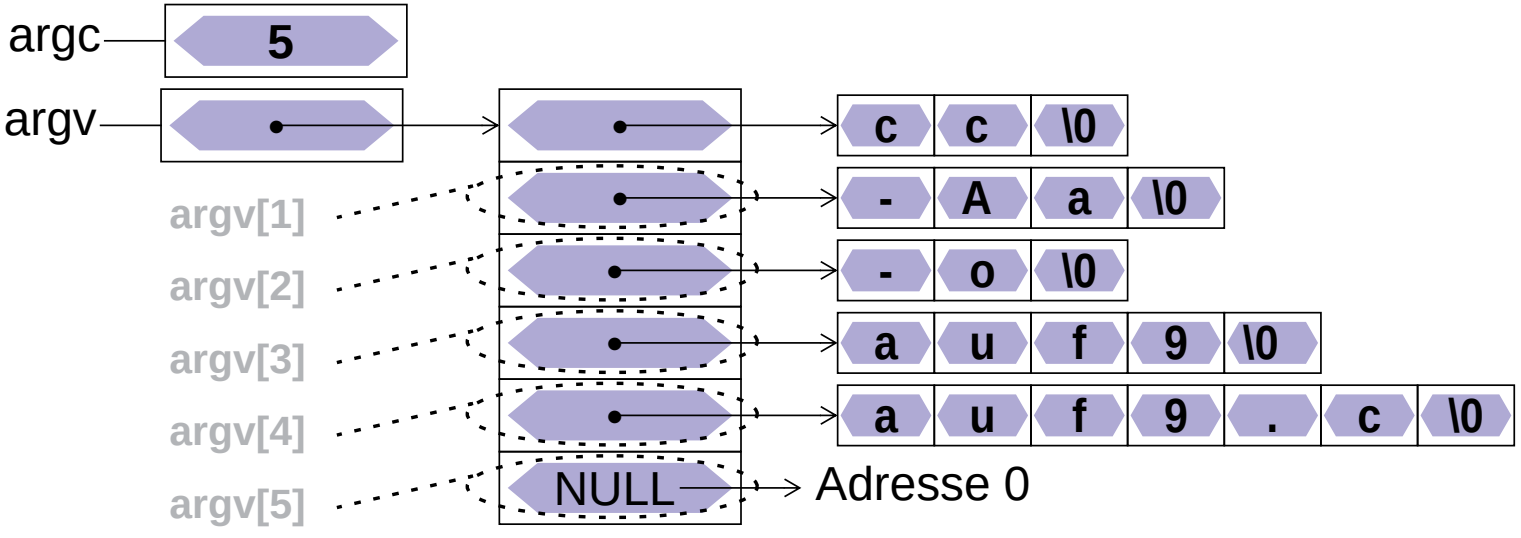
```
...
main(int argc, char *argv[]) {
...
```



Zugriff Beispiel: Ausgeben aller Argumente

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

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



Verbund-Datentypen / Strukturen (structs)

- Zusammenfassen mehrerer Daten zu einer Einheit
  (ein zusammenfassender Datentyp)
- Strukturdeklaration

```
struct person {
    char name[20];
    int alter;
};
```

- Definition einer Variablen vom Typ der Struktur

```
struct person p1;
```

- Zugriff auf ein Element der Struktur

```
p1.alter = 20;
```

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
  - ➤ eine Strukur kann die Adresse einer weiteren Struktur desselben Typs enthalten

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 gut leserlich!

- Syntaktische Verschönerung

➥ `->`-Operator

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


Rekursive Strukturen

- Strukturen in Strukturen sind erlaubt — aber
  - die Größe einer Struktur muss vom Compiler ausgerechnet werden können
    - ➤ Problem: eine Struktur enthält sich selbst
  - die Größe eines Zeigers ist bekannt (meist 4 Byte)
    - ➤ eine Struktur kann einen Zeiger auf eine gleichartige Struktur enthalten

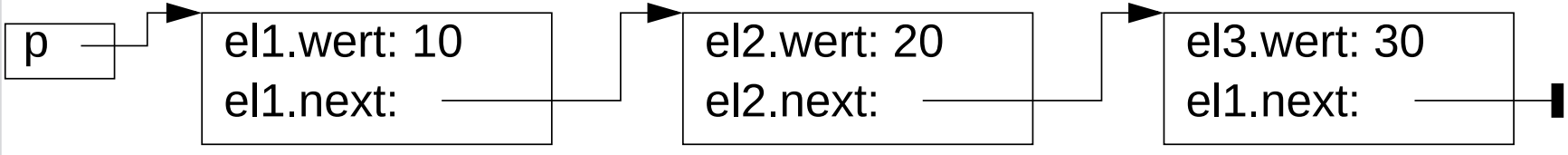
```
struct liste {
    struct student stud;
    struct liste *rest;
};
```

➥ Programmieren rekursiver Datenstrukturen
z. B. verkettete Listen

Verkettete Listen

- Mehrere Strukturen desselben Typs werden über Zeiger miteinander verkettet

```
struct liste { int wert; struct liste *next };
struct liste el1, el2, el3;
struct liste *p = &el1;
el1.wert = 10; el2.wert = 20; el3.wert = 30;
el1.next = &el2; el2.next = &el3; el3.next = NULL;
```



- Laufen über eine verkettete Liste

```
int summe = 0;
while (p != NULL) {
    summe += p-> wert;
    p = p->next;
}
```

Ein-/Ausgabe

- E-/A-Funktionalität nicht Teil der Programmiersprache
- Realisierung durch "normale" Funktionen
  - Bestandteil der Standard-Funktionsbibliothek
  - einfache Programmierschnittstelle
  - effizient
  - portabel
  - betriebssystemnah
- Funktionsumfang
  - Öffnen/Schließen von Dateien
  - Lesen/Schreiben von Zeichen, Zeilen oder beliebigen Datenblöcken
  - Formatierte Ein-/Ausgabe

Standard Ein-/Ausgabe

- Jedes C-Programm erhält beim Start automatisch 3 E-/A-Kanäle:
  - **`stdin`** Standardeingabe
    - normalerweise mit der Tastatur verbunden
    - Dateiende (**`EOF`**) wird durch Eingabe von **`CTRL-D`** am Zeilenanfang signalisiert
    - bei Programmaufruf in der Shell auf Datei umlenkbar

      ```
      prog <eingabedatei
      ```

      (bei Erreichen des Dateiendes wird **`EOF`** signalisiert)
  - **`stdout`** Standardausgabe
    - normalerweise mit dem Bildschirm (bzw. dem Fenster, in dem das Programm gestartet wurde) verbunden
    - bei Programmaufruf in der Shell auf Datei umlenkbar

      ```
      prog >ausgabedatei
      ```
  - **`stderr`** Ausgabekanal für Fehlermeldungen
    - normalerweise ebenfalls mit Bildschirm verbunden

Standard Ein-/Ausgabe (2)

- Pipes
  - die Standardausgabe eines Programms kann mit der Standardeingabe eines anderen Programms verbunden werden
    - ➤ Aufruf

      `prog1 | prog2`

! Die Umlenkung von Standard-E/A-Kanäle ist für die aufgerufenen Programme völlig unsichtbar

- automatische Pufferung
  - Eingabe von der Tastatur wird normalerweise vom Betriebssystem zeilenweise zwischengespeichert und erst bei einem **`NEWLINE`**-Zeichen (**`'\n'`**) an das Programm übergeben!

Öffnen und Schließen von Dateien

- Neben den Standard-E/A-Kanälen kann ein Programm selbst weitere E/A-Kanäle öffnen
  - Zugriff auf Dateien
- Öffnen eines E/A-Kanals
  - Funktion fopen:

```
#include <stdio.h>
FILE *fopen(char *name, char *mode);
```

name Pfadname der zu öffnenden Datei

mode Art, wie die Datei geöffnet werden soll

"r"	zum Lesen
"w"	zum Schreiben
"a"	append: Öffnen zum Schreiben am Dateiende
"rw"	zum Lesen und Schreiben

  - Ergebnis von **fopen**:
    Zeiger auf einen Datentyp **FILE**, der einen Dateikanal beschreibt
    im Fehlerfall wird ein **NULL**-Zeiger geliefert

Öffnen und Schließen von Dateien (2)

- Beispiel:

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
        FILE *eingabe;

        if (argv[1] == NULL) {
                fprintf(stderr, "keine Eingabedatei angegeben\n");
                exit(1);                /* Programm abbrechen */
        }

        if ((eingabe = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
                /* eingabe konnte nicht geoeffnet werden */
                perror(argv[1]);        /* Fehlermeldung ausgeben */
                exit(1);                /* Programm abbrechen */
        }

        ... /* Programm kann jetzt von eingabe lesen */
```

- Schließen eines E/A-Kanals

```
int fclose(FILE *fp)
```

  - ➤ schließt E/A-Kanal **`fp`**

Zeichenweise Lesen und Schreiben

- Lesen eines einzelnen Zeichens
  - von der Standardeingabe

```
int getchar( )
```

  - von einem Dateikanal

```
int getc(FILE *fp )
```

    - ➤ lesen das nächste Zeichen
    - ➤ geben das gelesene Zeichen als **`int`**-Wert zurück
    - ➤ geben bei Eingabe von **`CTRL-D`** bzw. am Ende der Datei **`EOF`** als Ergebnis zurück

- Schreiben eines einzelnen Zeichens
  - auf die Standardausgabe

```
int putchar(int c)
```

  - auf einen Dateikanal

```
int putc(int c, FILE *fp )
```

    - ➤ schreiben das im Parameter **`c`** übergeben Zeichen
    - ➤ geben gleichzeitig das geschriebene Zeichen als Ergebnis zurück

Zeichenweise Lesen und Schreiben (2)

- Beispiel: copy-Programm, Aufruf: **`copy Quelldatei Zieldatei`**

Teil 1: Aufrufargumente auswerten

```
#include <stdio.h>

int main(int argc, char *argv[]) {
        FILE *quelle, *ziel;
        int c;                  /* gerade kopiertes Zeichen */

        if (argc < 3) { /* Fehlermeldung, Abbruch */ }

        if ((quelle = fopen(argv[1], "r")) == NULL) {
                perror(argv[1]);/* Fehlermeldung ausgeben */
                exit(EXIT_FAILURE);/* Programm abbrechen */
        }

        if ((ziel = fopen(argv[2], "w")) == NULL) {
                /* Fehlermeldung, Abbruch */
        }

        while ( (c = getc(quelle)) != EOF ) {
                putc(c, ziel);
        }

        fclose(quelle);
        fclose(ziel);
}
```

Zeilenweise Lesen und Schreiben

- Lesen einer Zeile von der Standardeingabe

```
char *fgets(char *s, int n, FILE *fp)
```

  - liest Zeichen von Dateikanal **fp** in das Feld **s** bis entweder **n**-1 Zeichen gelesen wurden oder **'\n'** oder **EOF** gelesen wurde
  - s wird mit **'\0'** abgeschlossen (**'\n'** wird nicht entfernt)
  - gibt bei **EOF** oder Fehler **NULL** zurück, sonst s
  - für **fp** kann **stdin** eingesetzt werden, um von der Standardeingabe zu lesen

- Schreiben einer Zeile

```
int fputs(char *s, FILE *fp)
```

  - schreibt die Zeichen im Feld s auf Dateikanal fp
  - für **fp** kann auch **stdout** oder **stderr** eingesetzt werden
  - als Ergebnis wird die Anzahl der geschriebenen Zeichen geliefert

Formatierte Ausgabe

- Bibliotheksfunktionen — Schnittstelle

```
int printf(char *format, /* Parameter */ ... );
int fprintf(FILE *fp, char *format, /* Parameter */ ... );
int sprintf(char *s, char *format, /* Parameter */ ...);
int snprintf(char *s, int n, char *format, /* Parameter */ ...);
```

- Die statt ... angegebenen Parameter werden entsprechend der Angaben im **`format`**-String ausgegeben
  - bei **`printf`** auf der Standardausgabe
  - bei **`fprintf`** auf dem Dateikanal **`fp`**
    (für **`fp`** kann auch **`stdout`** oder **`stderr`** eingesetzt werden)
  - **`sprintf`** schreibt die Ausgabe in das **`char`**-Feld **`s`**
    (achtet dabei aber nicht auf das Feldende -> Pufferüberlauf möglich!)
  - **`snprintf`** arbeitet analog, schreibt aber maximal nur n Zeichen
    (**`n`** sollte natürlich nicht größer als die Feldgröße sein)

Formatierte Ausgabe (2)

- Zeichen im **`format`**-String können verschiedene Bedeutung haben
  - normale Zeichen: werden einfach auf die Ausgabe kopiert
  - Escape-Zeichen: z. B. **`\n`** oder **`\t`**, werden durch die entsprechenden Zeichen (hier Zeilenvorschub bzw. Tabulator) bei der Ausgabe ersetzt
  - Format-Anweisungen: beginnen mit **`%`**-Zeichen und beschreiben, wie der dazugehörige Parameter in der Liste nach dem **`format`**-String aufbereitet werden soll

- Format-Anweisungen

  `%d`, **`%i`** **`int`** Parameter als Dezimalzahl ausgeben

  `%f` **`float`** Parameter wird als Fließkommazahl (z. B. 271.456789) ausgegeben

  `%e` **`float`** Parameter wird als Fließkommazahl in 10er-Potenz-Schreibweise (z. B. 2.714567e+02) ausgegeben

  `%c` **`char`**-Parameter wird als einzelnes Zeichen ausgegeben

  `%s` **`char`**-Feld wird ausgegeben, bis **`'\0'`** erreicht ist

Formatierte Eingabe

- Bibliotheksfunktionen — Schnittstelle

```
int scanf(char *format, /* Parameter */ ...);
int fscanf(FILE *fp, char *format, /* Parameter */ ...);
int sscanf(char *s, const char *format, /* Parameter */ ...);
```

- Die Funktionen lesen Zeichen von **`stdin`** (**`scanf`**), **`fp`** (**`fscanf`**) bzw. aus dem **`char`**-Feld **`s`**.
- **`format`** gibt an, welche Daten hiervon extrahiert und in welchen Datentyp konvertiert werden sollen
- Die folgenden Parameter sind Zeiger auf Variablen der passenden Datentypen (bzw. **`char`**-Felder bei Format **`%s`**), in die die Resultate eingetragen werden
- relativ komplexe Funktionalität, für Details siehe Manual-Seiten

Fehlerbehandlung

- Fast jeder Systemcall/Bibliotheksaufruf kann fehlschlagen
  - Fehlerbehandlung unumgänglich!
- Vorgehensweise:
  - Rückgabewerte von Systemcalls/Bibliotheksaufrufen abfragen
  - Im Fehlerfall (meist durch Rückgabewert -1 angezeigt): Fehlercode steht in der globalen Variable **`errno`**
- Fehlermeldung kann mit der Funktion **`perror`** auf die Fehlerausgabe ausgegeben werden:

```
#include <errno.h>
void perror(const char *s);
```