Programmstruktur & Module

1 Softwaredesign

- Grundsätzliche Überlegungen über die Struktur eines Programms **vor** Beginn der Programmierung
- Verschiedene Design-Methoden
  - Top-down Entwurf / Prozedurale Programmierung
    - traditionelle Methode
    - bis Mitte der 80er Jahre fast ausschließlich verwendet
    - an Programmiersprachen wie Fortran, Cobol, Pascal oder C orientiert
  - Objekt-orientierter Entwurf
    - moderne, sehr aktuelle Methode
    - Ziel: Bewältigung sehr komplexer Probleme
    - auf Programmiersprachen wie C++, Smalltalk oder Java ausgerichtet

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

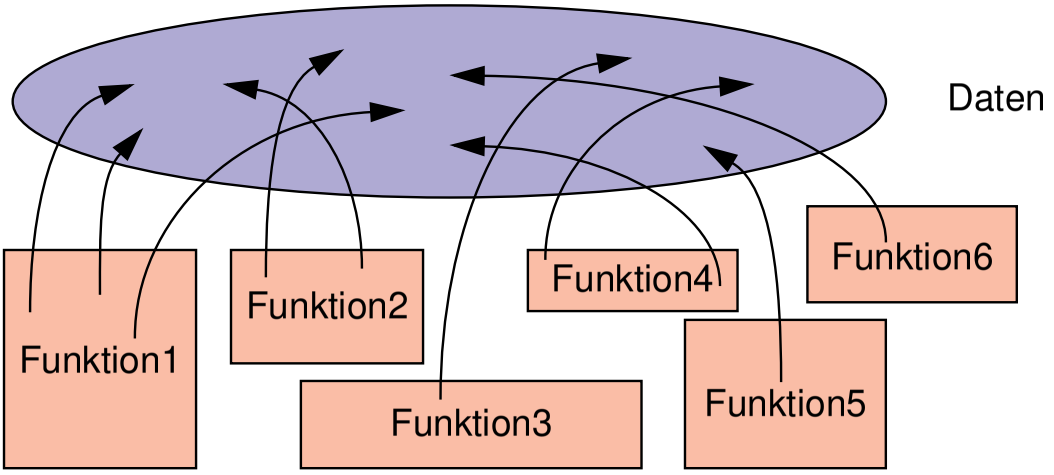
2 Top-down Entwurf

- Zentrale Fragestellung
  - was ist zu tun?
  - in welche Teilaufgaben lässt sich die Aufgabe untergliedern?
    - Beispiel: Rechnung für Kunden ausgeben
      - Rechnungspositionen zusammenstellen
        - Lieferungsposten einlesen
        - Preis für Produkt ermitteln
        - Mehrwertsteuer ermitteln
      - Rechnungspositionen addieren
      - Positionen formatiert ausdrucken

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

2 Top-down Entwurf (2)

- Problem:
  Gliederung betrifft nur die Aktivitäten, nicht die Struktur der Daten
- Gefahr:
  Sehr viele Funktionen arbeiten "wild" auf einer Unmenge schlecht strukturierter Daten

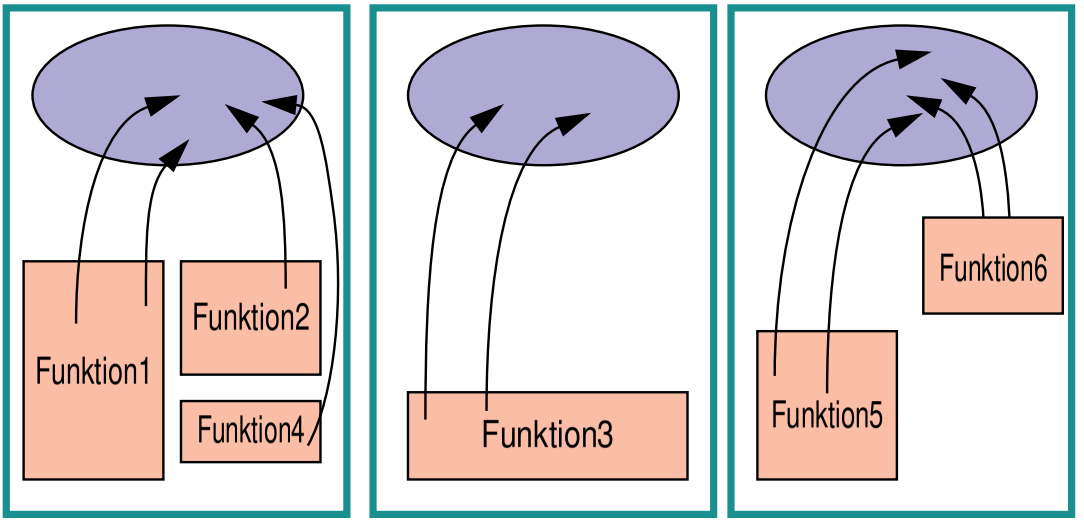


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

2 Top-down Entwurf (3) — Modul-Bildung

- Lösung:
  Gliederung von Datenbeständen zusammen mit Funktionen, die darauf operieren

  ➥ **Modul**



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

3 Module in C

- Teile eines C-Programms können auf mehrere .c-Dateien (C-Quelldateien) verteilt werden
- Logisch zusammengehörende Daten und die darauf operierenden Funktionen sollten jeweils zusammengefasst werden

  ➥ Modul

- Jede C-Quelldatei kann separat übersetzt werden (Option `-c`)

  ➤ Zwischenergebnis der Übersetzung wird in einer `.o`-Datei abgelegt

```
% cc -c prog.c          (erzeugt Datei prog.o)
% cc -c f1.c            (erzeugt Datei f1.o)
% cc -c f2.c f3.c       (erzeugt f2.o und f3.o)
```

- Das Kommando `cc` kann mehrere `.c`–Dateien übersetzen und das Ergebnis — zusammen mit `.o`–Dateien — binden:

```
% cc -o prog prog.o f1.o f2.o f3.o f4.c f5.c
```


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

3 Module in C (2)

!!! **`.c`–Quelldateien auf keinen Fall mit Hilfe der `#include`–Anweisung in andere Quelldateien einkopieren**

- Bevor eine Funktion aus einem anderen Modul aufgerufen werden kann, muss sie **deklariert** werden

  ➤ Parameter und Rückgabewerte müssen bekannt gemacht werden

- Makrodefinitionen und Deklarationen, die in mehreren Quelldateien eines Programms benötigt werden, werden zu ***Header*-Dateien** zusammengefasst
  - *Header*-Dateien werden mit der `#include`–Anweisung des Preprozessors in C-Quelldateien einkopiert
  - der Name einer *Header*-Datei endet immer auf `.h`

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

4 Gültigkeit von Namen

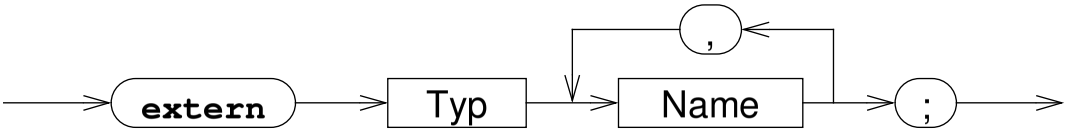
- Gültigkeitsregeln legen fest, welche Namen (Variablen und Funktionen) wo im Programm bekannt sind
- Mehrere Stufen
  1. Global im gesamten Programm
     (über Modul- und Funktionsgrenzen hinweg)
  2. Global in einem Modul
     (auch über Funktionsgrenzen hinweg)
  3. Lokal innerhalb einer Funktion
  4. Lokal innerhalb eines Blocks
- Überdeckung bei Namensgleichheit
  - ➤ eine lokale Variable innerhalb einer Funktion überdeckt gleichnamige globale Variablen
  - ➤ eine lokale Variable innerhalb eines Blocks überdeckt gleichnamige globale Variablen und gleichnamige lokale Varibalen in umgebenden Blöcken

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

5 Globale Variablen

Gültig im gesamten Programm

- Globale Variablen werden außerhalb von Funktionen definiert
- Globale Variablen sind ab der Definition in der gesamten Datei zugreifbar
- Globale Variablen, die in anderen Modulen **definiert** wurden, müssen vor dem ersten Zugriff bekanntgemacht werden
  (**`extern`–Deklaration** = Typ und Name bekanntmachen)



- Beispiele:

```
extern int a, b;
extern char c;
```


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

5 Globale Variablen (2)

- **Probleme mit globalen Variablen**
  - Zusammenhang zwischen Daten und darauf operierendem Programmcode geht verloren
  - Funktionen können Variablen ändern, ohne dass der Aufrufer dies erwartet (Seiteneffekte)
  - Programme sind schwer zu pflegen, weil bei Änderungen der Variablen erst alle Programmteile, die sie nutzen gesucht werden müssen

➥ **globale Variablen möglichst vermeiden!!!**

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

5 Globale Funktionen

- Funktionen sind generell global
  (es sei denn, die Erreichbarkeit wird explizit auf das Modul begrenzt)
- Funktionen aus anderen Modulen müssen ebenfalls vor dem ersten Aufruf **deklariert** werden
  (= Typ, Name und Parametertypen bekanntmachen)
- Das Schlüsselwort **`extern`** ist bei einer Funktionsdeklaration nicht notwendig
- Beispiele:

```
double sinus(double);
float power(float, int);
```

- Globale Funktionen (und soweit vorhanden die globalen Daten) bilden die äußere Schnittstelle eines Moduls
  - ➤ "vertragliche" Zusicherung an den Benutzer des Moduls

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

6 Einschränkung der Gültigkeit auf ein Modul

- Zugriff auf eine globale Variable oder Funktion kann auf das Modul (= die Datei) beschränkt werden, in der sie definiert wurde
  - ➤ Schlüsselwort **`static`** vor die Definition setzen

  - ➤ **`extern`**-Deklarationen in anderen Modulen sind nicht möglich
- **`Die static`**-Variablen bilden zusammen den Zustand eines Moduls, die Funktionen des Moduls operieren auf diesem Zustand
- Hilfsfunktionen innerhalb eines Moduls, die nur von den Modulfunktionen benötigt werden, sollten immer static definiert werden
  - ➤ sie werden dadurch nicht Bestandteil der Modulschnittstelle (= des "Vertrags" mit den Modulbenutzern)

!!! das Schlüsselwort **`static`** gibt es auch bei lokalen Variablen (mit anderer Bedeutung!)

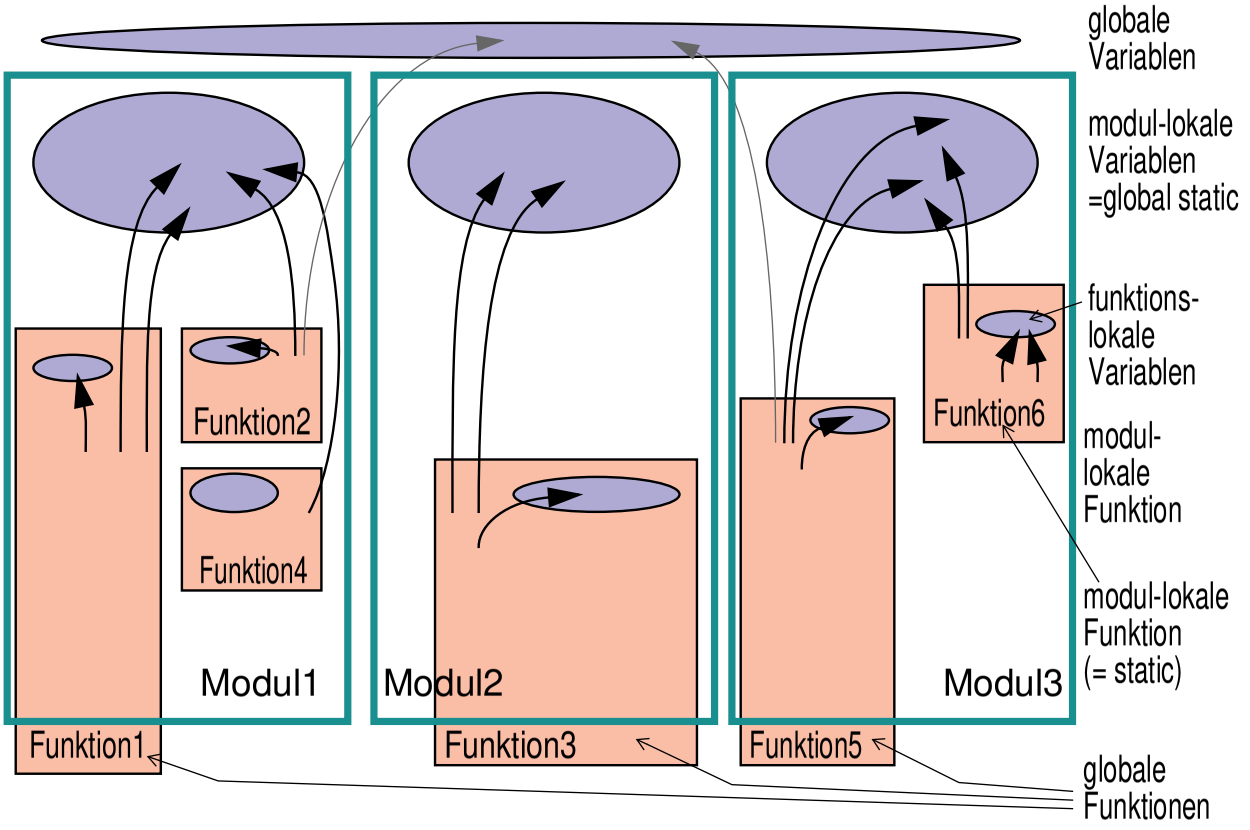
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

7 Lokale Variablen

- Variablen, die innerhalb einer Funktion oder eines Blocks definiert werden, sind lokale Variablen
- bei Namensgleichheit zu globalen Variablen oder lokalen Variablen eines umgebenden Blocks gilt die jeweils letzte Definition
- lokale Variablen sind außerhalb des Blocks, in dem sie definiert wurden, nicht zugreifbar und haben dort keinen Einfluss auf die Zugreifbarkeit von Variablen

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

8 Gültigkeitsbereiche — Übersicht



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

9 Lebensdauer von Variablen

- Die Lebensdauer einer Variablen bestimmt, wie lange der Speicherplatz für die Variable aufgehoben wird
- Zwei Arten
  - Speicherplatz bleibt für die gesamte Programmausführungszeit reserviert
    - ➤ statische (**`static`**) Variablen
  - Speicherplatz wird bei Betreten eines Blocks reserviert und danach wieder freigegeben
    - ➤ dynamische (**`automatic`**) Variablen

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

9 Lebensdauer von Variablen (2)

auto-Variablen

- Alle lokalen Variablen sind automatic-Variablen
  - ➤ der Speicher wird bei Betreten des Blocks / der Funktion reserviert und bei Verlassen wieder freigegeben
    - ➥ der Wert einer lokalen Variablen ist beim nächsten Betreten des Blocks nicht mehr sicher verfügbar!
- Lokale auto-Variablen können durch beliebige Ausdrücke initialisiert werden
  - ➤ die Initialisierung wird bei jedem Eintritt in den Block wiederholt
  - **!!!** **wird eine auto-Variable nicht initialisiert, ist ihr Wert vor der ersten Zuweisung undefiniert** (= irgendwas)

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

9 Lebensdauer von Variablen (3)

static-Variablen

- Der Speicher für alle globalen Variablen ist generell von Programmstart bis Programmende reserviert
- Lokale Variablen erhalten bei Definition mit dem Schlüsselwort **`static`** eine **Lebensdauer über die gesamte Programmausführung** hinweg
  - ➥ der Inhalt bleibt bei Verlassen des Blocks erhalten und ist bei einem erneuten Eintreten in den Block noch verfügbar
  - **!!!** Das Schlüsselwort **`static`** hat bei globalen Variablen eine völlig andere Bedeutung (Einschränkung des Zugriffs auf das Modul)
- Static-Variablen können durch beliebige konstante Ausdrücke initialisiert werden
  - ➤ die Initialisierung wird nur einmal beim Programmstart vorgenommen (auch bei lokalen Variablen!)
  - ➤ erfolgt keine explizite Initialisierung, wird automatisch mit 0 vorbelegt

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

10 Werteaustausch zwischen Funktionen

Mechanismus	Aufrufer → Funktion	Funktion → Aufrufer
Parameter	ja	mit Hilfe von Zeigern
Funktionswert	nein	ja
globale Variablen	ja	ja

- Verwendung globaler Variablen?
  - Variablen, die von vielen Funktionen verwendet werden und/oder oft als Parameter übergeben werden müssten
    - ➤ Menge der Funktionen muss überschaubar bleiben
      → Zugriff auf Modul begrenzen (globale static-Variablen)
    - ➤ **sonst sehr schlechter Programmierstil**
  - Variablen, die keiner Funktion als Variable oder Parameter fest zugeordnet werden können
    - ➤ Modul suchen, dem die Variable zugeordnet werden kann!!!
  - Variablen, deren Lebensdauer nicht beschränkt sein darf, die aber nicht in **`main()`** deklariert werden sollen
    - ➤ in zugehöriger Funktion lokal-static definieren

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

11 Getrennte Übersetzung von Programmteilen — Beispiel

- Hauptprogramm (Datei **`fplot.c`**)

```
#include "trig.h"
#define INTERVALL 0.01

/*
 * Funktionswerte ausgeben
 */
int main(void)
{
        char c;
        double i;

        printf("Funktion (Sin, Cos, Tan, cOt)? ");
        scanf("%x", &c);

        switch (c) {
        ...
        case 'T':
          for (i=-PI/2; i < PI/2; i+=INTERVALL)
               printf("%lf %lf\n", i, tan(i));
          break;;
        ...
        }
}
```


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

11 Getrennte Übersetzung — Beispiel (2)

- *Header*-Datei (Datei **`trig.h`**)

```
#include <stdio.h>
#define PI 3.1415926535897932
double tan(double), cot(double);
double cos(double), sin(double);
```


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

11 Getrennte Übersetzung — Beispiel (3)

- Trigonometrische Funktionen (Datei **`trigfunc.c`**)

```
#include "trig.h"

double tan(double x) {
        return(sin(x)/cos(x));
}

double cot(double x) {
        return(cos(x)/sin(x));
}

double cos(double x) {
        return(sin(PI/2-x));
}
```

...

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

11 Getrennte Übersetzung — Beispiel (4)

- Trigonometrische Funktionen — Fortsetzung
  (Datei **`trigfunc.c`**)

...

```
double sin (double x)
{
        double summe;
        double x_quadrat;
        double rest;
        int k;

        k = 0;
        summe = 0.0;
        rest = x;
        x_quadrat = x*x;

        while ( fabs(rest) > 1e-9 ) {
                summe += rest;
                k += 2;
                rest *= -x_quadrat/(k*(k+1));
        }
        return(summe);
}
```

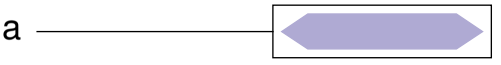

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

Zeiger(-Variablen)

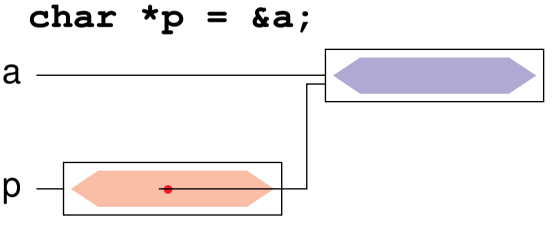
1 Einordnung

- **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 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

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

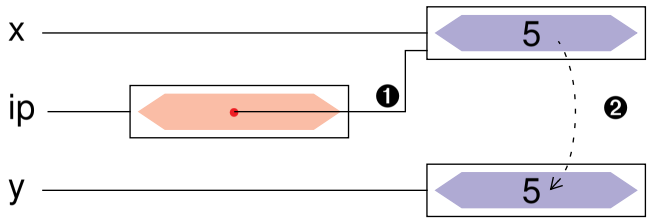
3 Definition von Zeigervariablen

- Syntax:

```
Typ *Name ;
```

- ▲ **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.

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

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

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

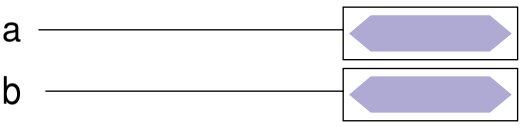
  ➥ *call-by-reference*

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

5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

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

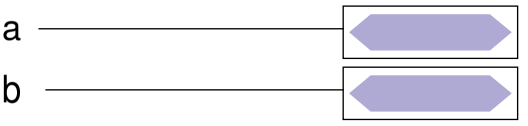


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

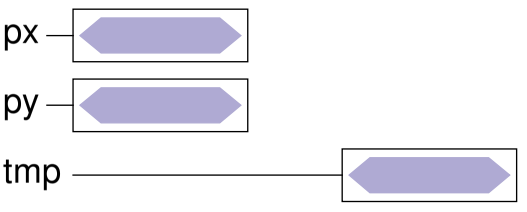
5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

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




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

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

}
```



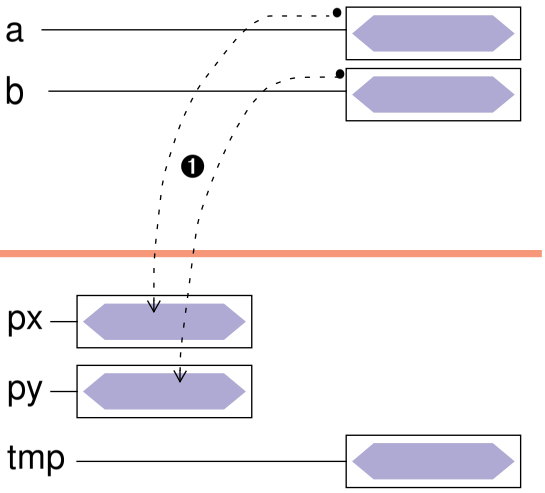
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 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;
    *px = *py;
    *py = tmp;

}
```



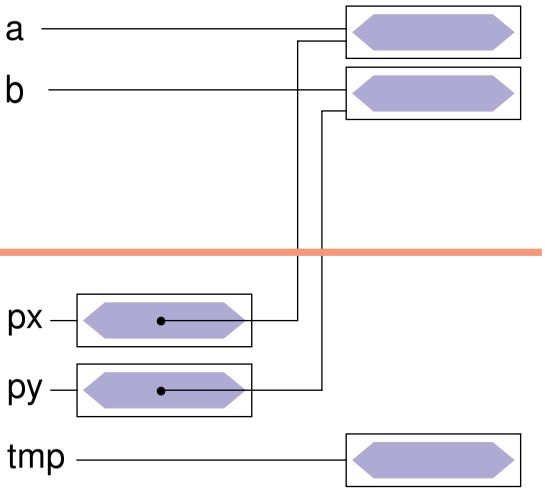
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

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

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

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

}
```



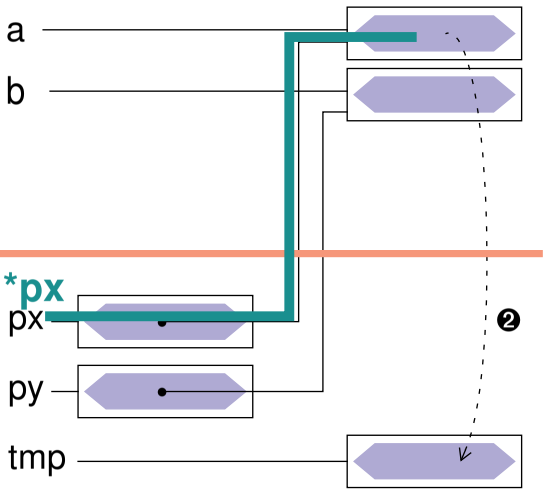
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 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;
    *py = tmp;

}
```



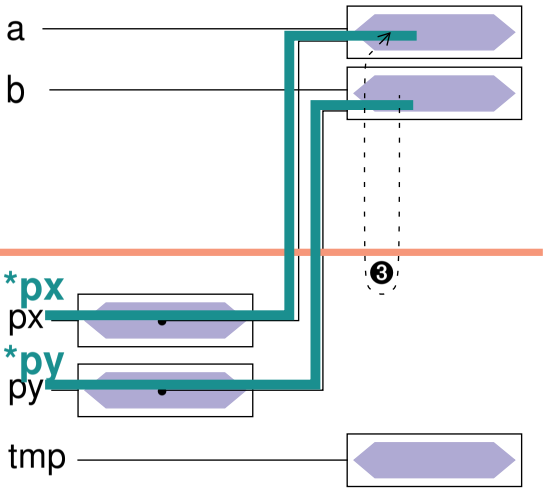
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 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;
    *px = *py; ❸
    *py = tmp;

}
```



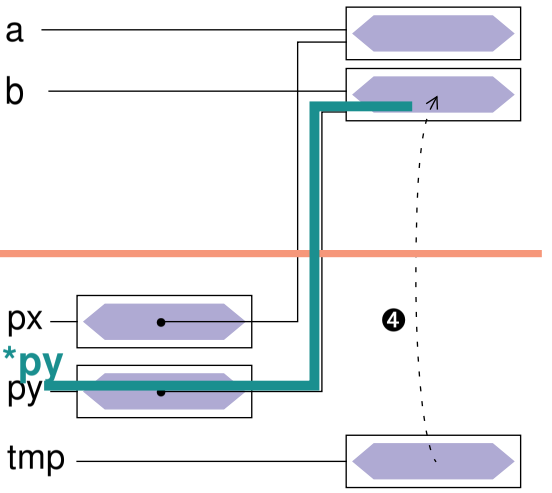
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 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

}
```



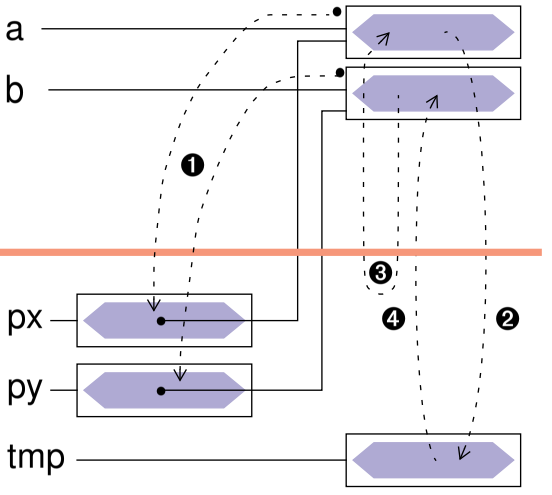
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

5 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.

6 Zeiger auf Strukturen

- Konzept analog zu "Zeiger auf Variablen"
  - ➤ Adresse einer Struktur mit &-Operator zu bestimmen
  - ➤ Zeigerarithmetik berücksichtigt Strukturgröße
- Beispiele

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

- Besondere Bedeutung zum Aufbau verketteter Strukturen

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

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).best = 'n';
```

unleserlich!

- Syntaktische Verschönerung

➥ ->-Operator

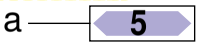
```
pstud->best = 'n';
```


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

7 Zusammenfassung

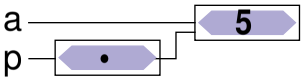
- Variable

```
int a;
```



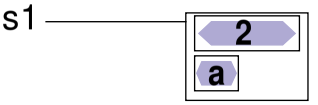
- Zeiger

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



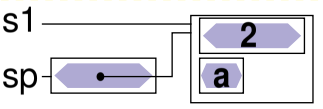
- Struktur

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



- Zeiger auf Struktur

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



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

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` (entspricht meist `int`) (`#include <stddef.h>`!)
- Beispiel:

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

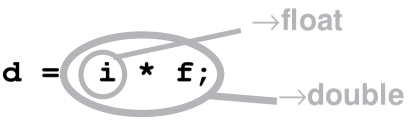

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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;
```



- 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
```


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

Speicherverwaltung

- **`void *malloc(size_t size)`**: Reservieren eines Speicherbereiches
- **`void free(void *ptr)`**: Freigeben eines reservierten Bereiches

```
struct person *p1 = (struct person *) malloc(sizeof(struct person));
if (p1 == NULL) {
        perror("malloc person p1");
        ...
}

...
free(p1);
```

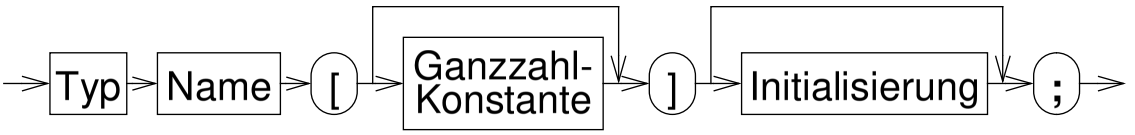
- malloc-Prototyp ist in stdlib.h definiert (**`#include <stdlib.h>`**)

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

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

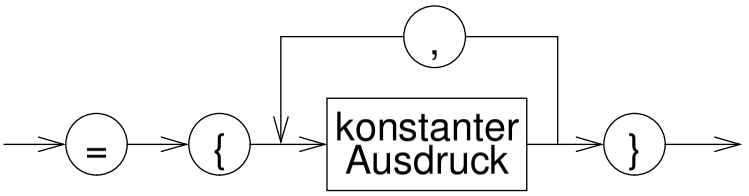


- Beispiele:

```
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.

3 Initialisierung eines Feldes (2)

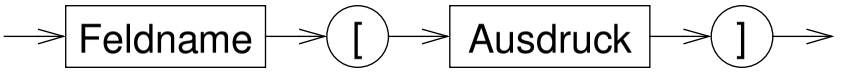
- Felder des Typs ***char*** können auch durch String-Konstanten initialisiert werden

```
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.

4 Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



wobei: 0 <= Wert(Ausdruck) < Feldgröße

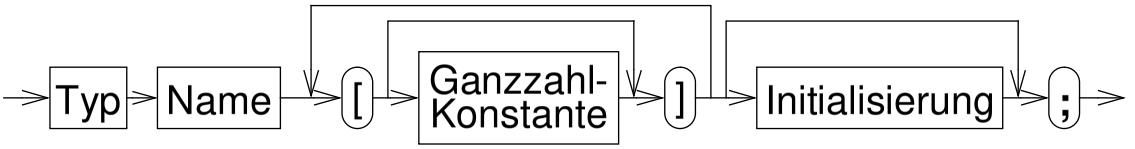
- Beispiele:

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


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

5 Mehrdimensionale Felder

- neben eindimensionalen Felder kann man auch mehrdimensionale Felder vereinbaren
- Definition eines mehrdimensionalen Feldes



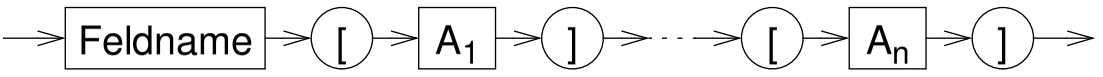
- Beispiel:

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


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

6 Zugriffe auf Feldelemente bei mehrdim. Feldern

- Indizierung:



wobei: $0 <= A_i <$ Größe der Dimension i des Feldes
$n =$ 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;
```


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

7 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] */
};
```

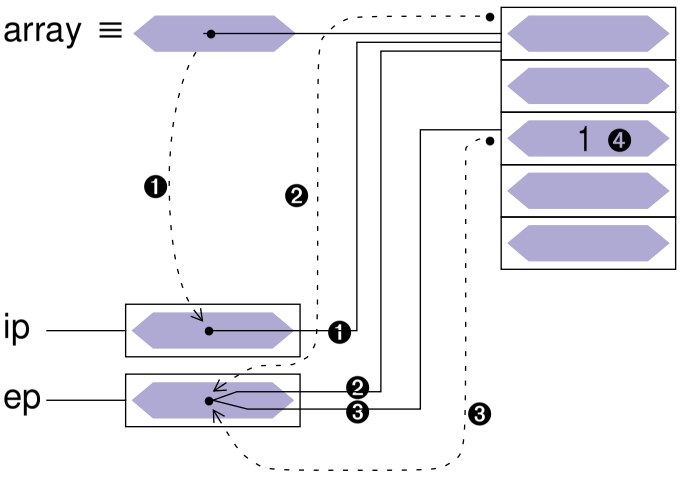
`feld[1][3]` und `feld[2][0-3]` werden in dem Beispiel mit 0 initialisiert!

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

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
```

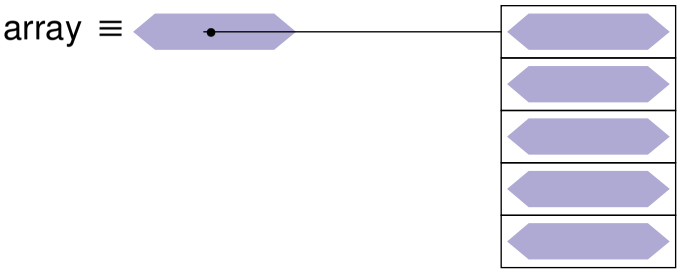


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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];
```

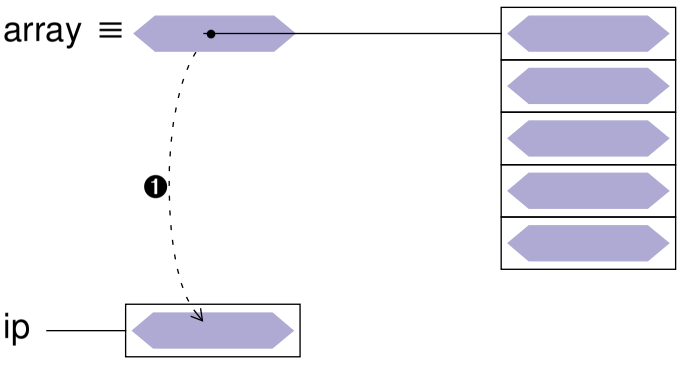


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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
```

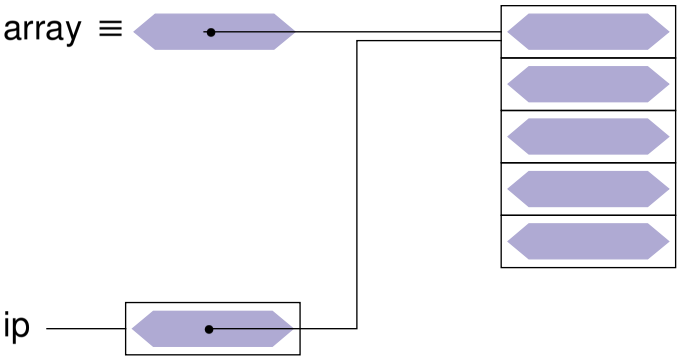


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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
```

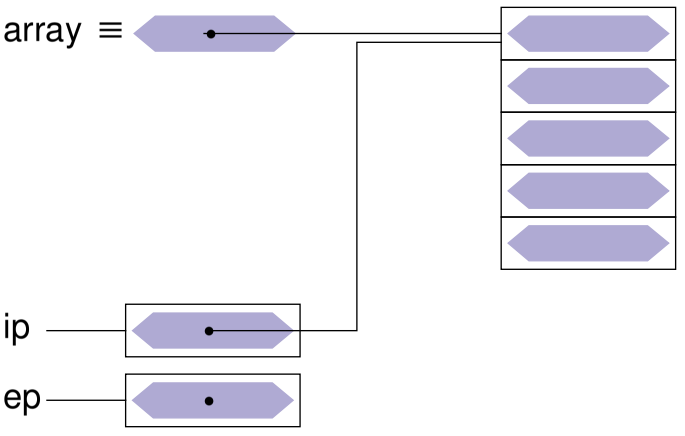


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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;
```

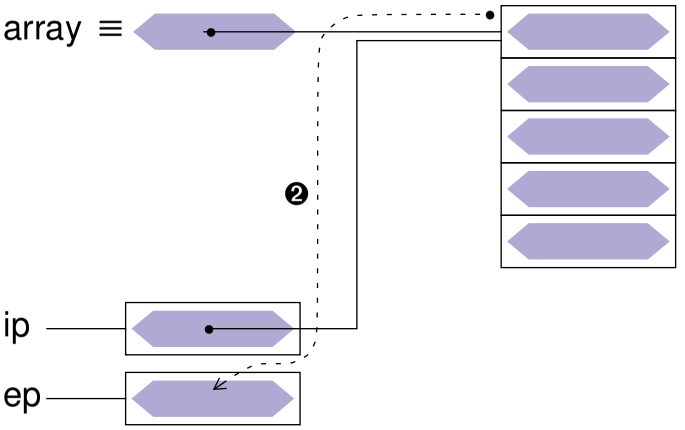


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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]; ❷
```

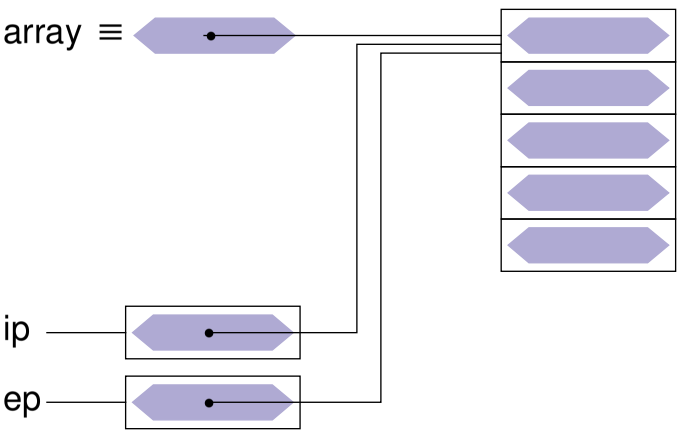


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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]; ❷
```

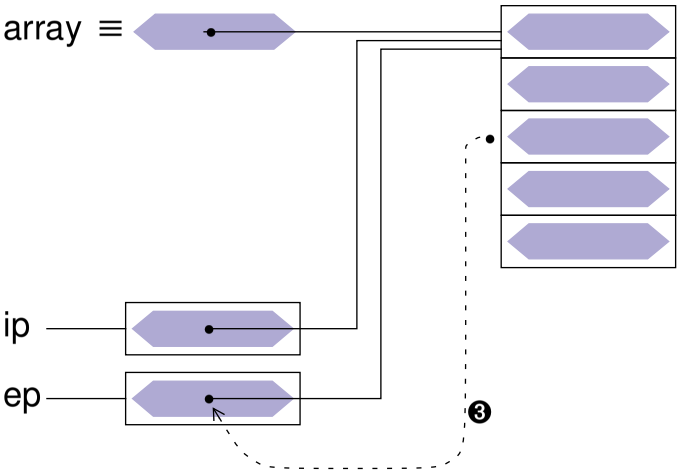


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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]; ❸
```

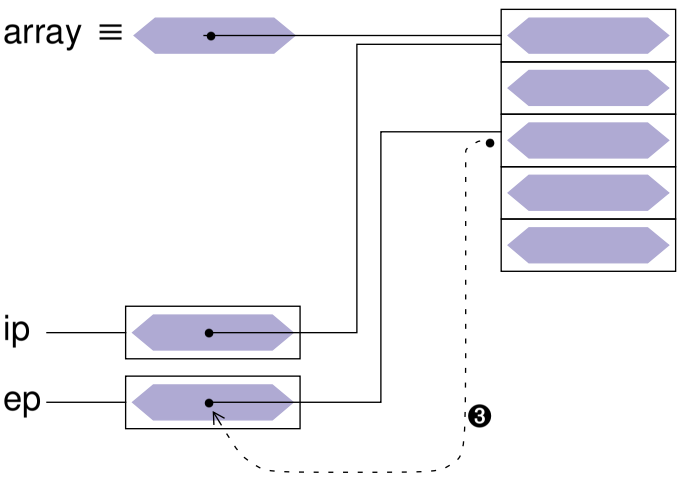


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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]; ❸
```

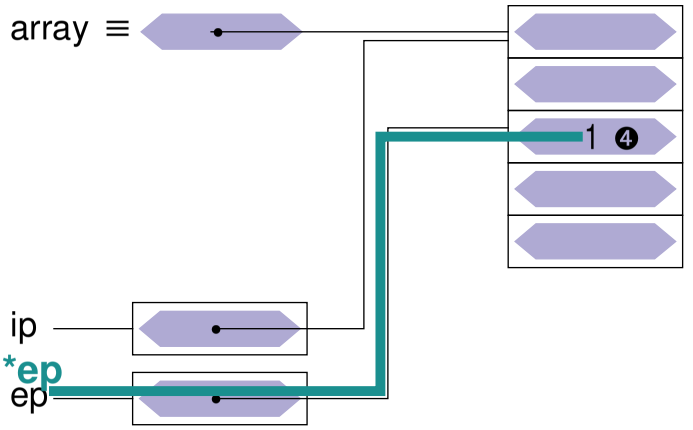


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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; ❹
```

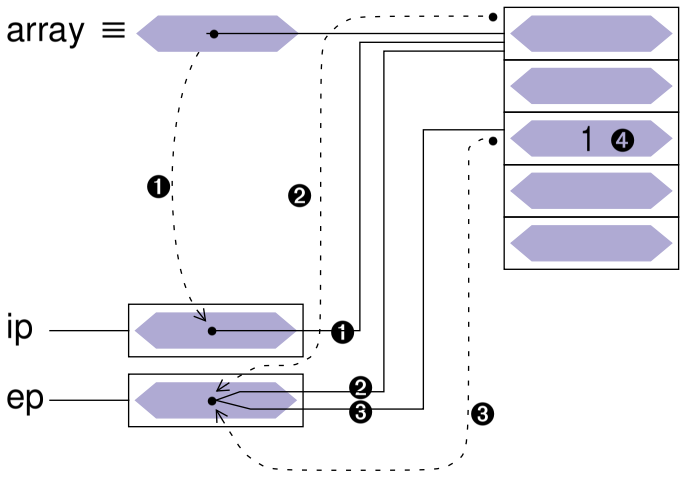


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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
```

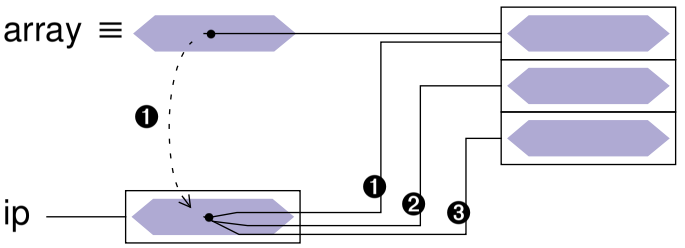


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Arithmetik mit Adressen

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

```
int array[3];
int *ip = array; ❶

ip++; ❷
ip++; ❸
```

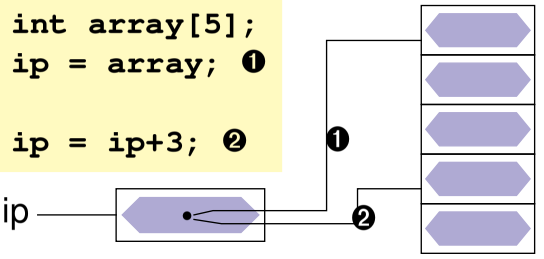


- **--** -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

- **+, −**
  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 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 **++**, **--**, **+=**, …

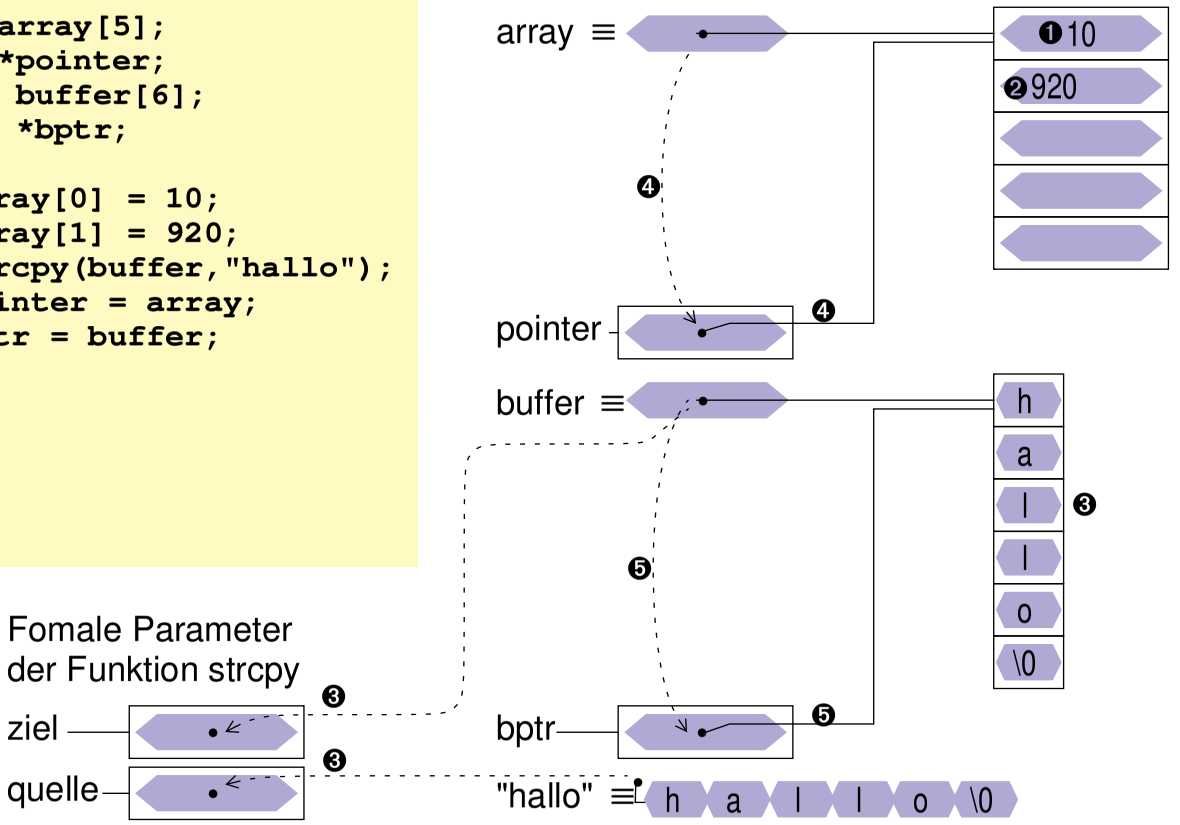
- es gilt:

```
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.

2 Zeigerarithmetik und Felder

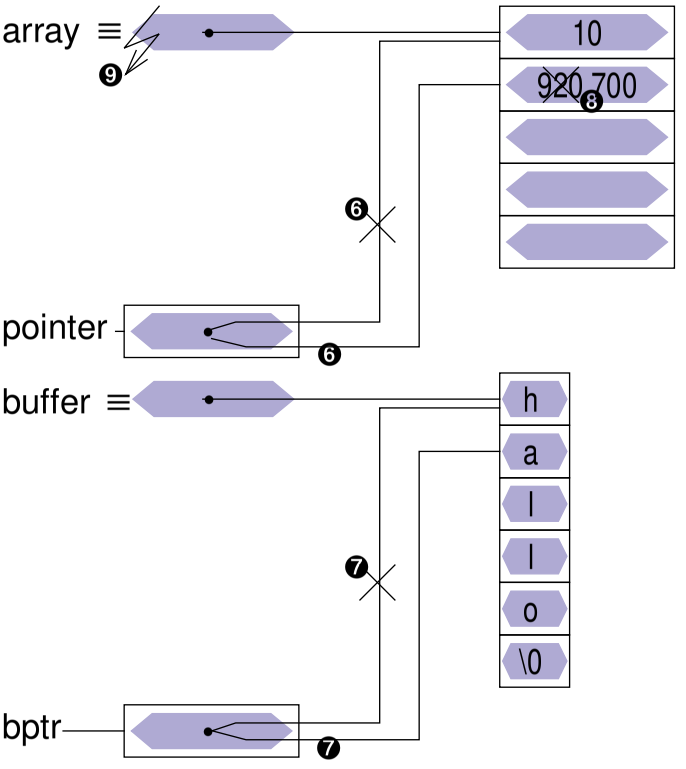
```
int array[5];
int *pointer;
char buffer[6];
char *bptr;

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.

2 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.

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.

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!

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

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);
}
```


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

Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (4)

- **Beispiel 2:** Konkateniere 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

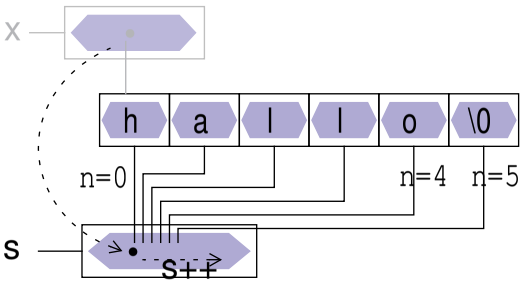
```
char s1[50] = "text1";
char s2[] = "text2";
strcat(s1, s2);/* → s1= "text1text2" */
strcat(s1, "text3");/* → s1= "text1text2text3" */
```


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

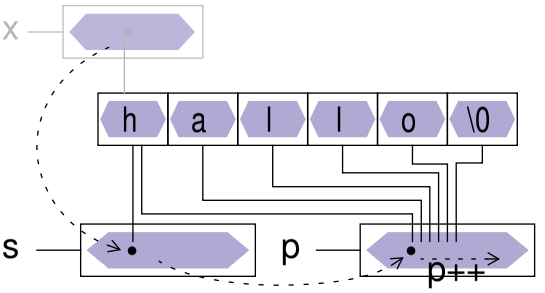
Zeiger, Felder und Zeichenketten

- 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++)
        n++;
    return(n);
}
```




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

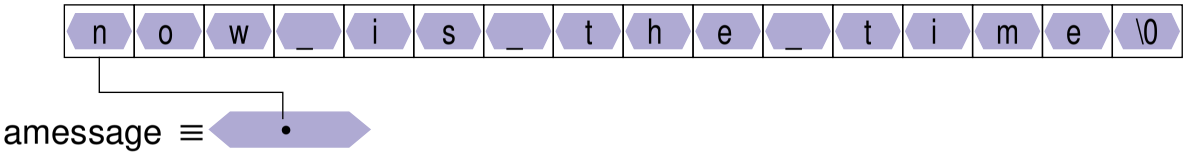


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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";
```

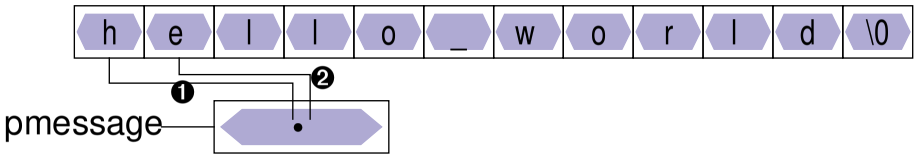


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

Zeiger, Felder und Zeichenketten (3)

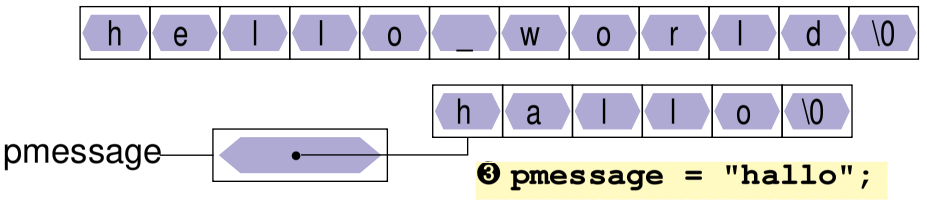
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines **char**–Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird

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




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

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



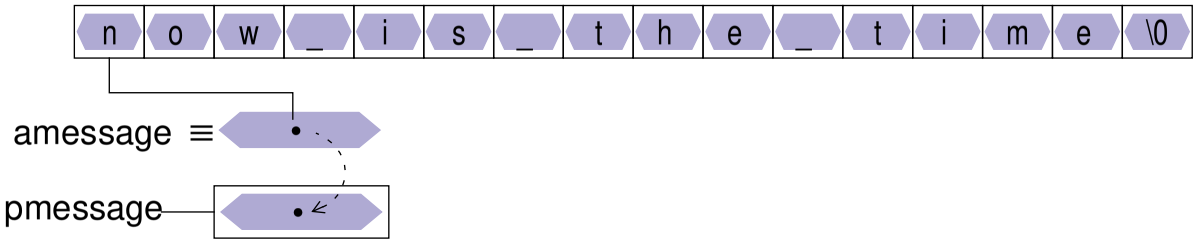
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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

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

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++ )
        ;
}
```

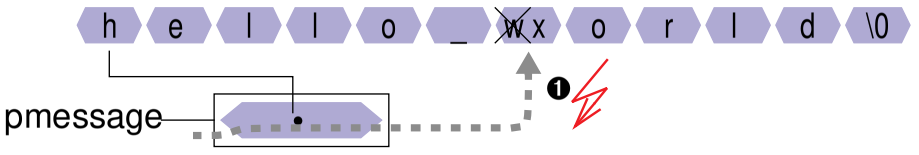

Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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!

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

Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden
- Deklaration

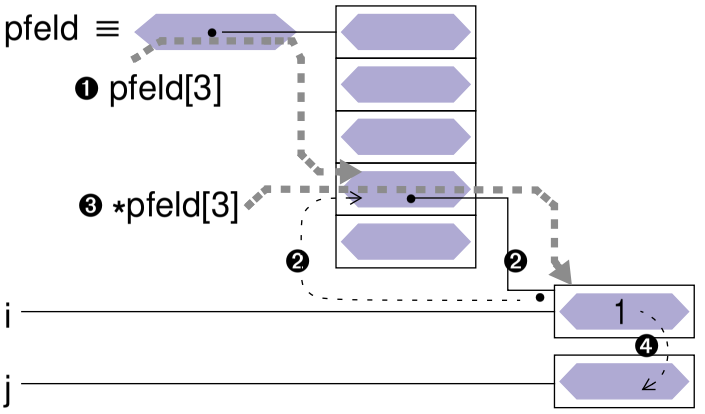
```
int *pfeld[5];
int i = 1
int j;
```

- 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
```

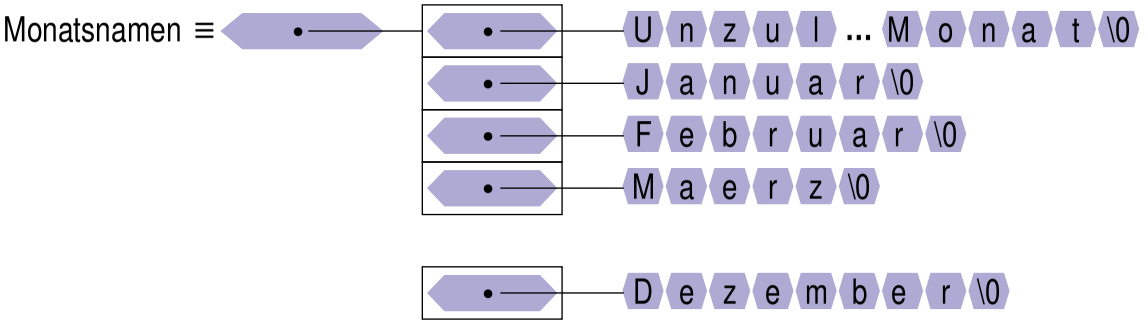


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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.

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]`**)

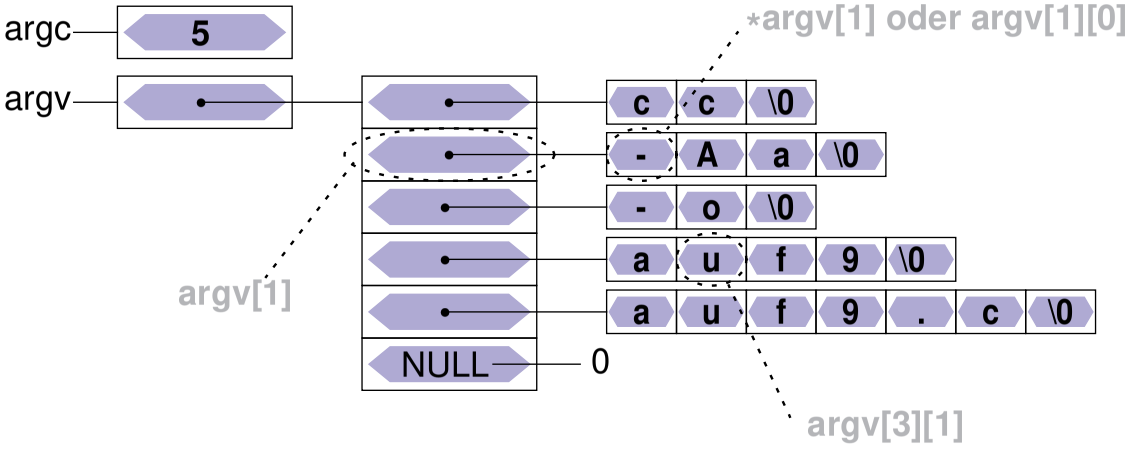
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

1 Datenaufbau

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

Datei cc.c:

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



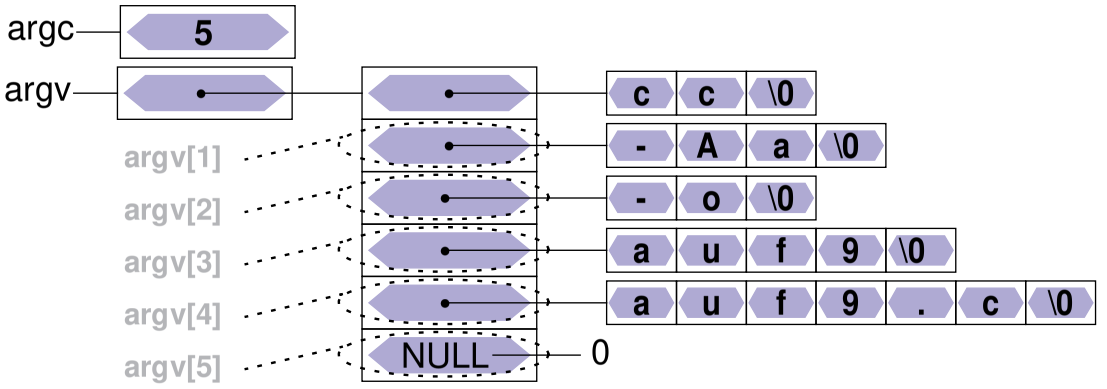
Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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.

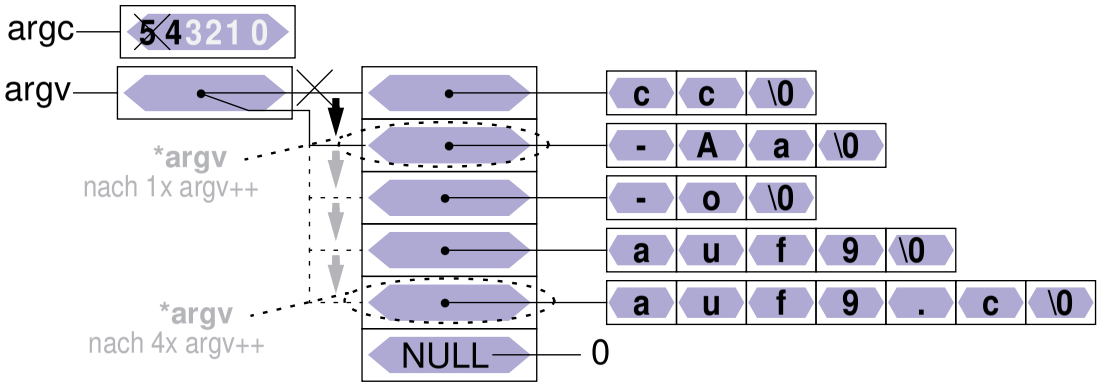
2 Zugriff — Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

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

2. Version

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

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

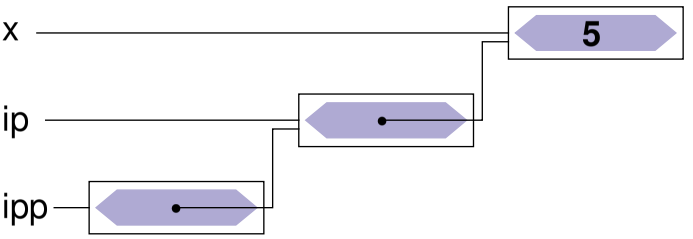


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

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.

Strukturen

- Initialisierung
- Strukturen als Funktionsparameter
- Felder von Strukturen
- Zeiger auf Strukturen

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

1 Initialisieren von Strukturen

- Srukturen 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.

2 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.

3 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.

4 Zeiger auf Felder von Strukturen

- Ergebnis der Addition/Subtraktion abhängig von Zeigertyp!
- Beispiel

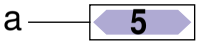
```
struct student gruppe8[35];
struct student *gp1, *gp2;

gp1 = gruppe8; /* gp1 zeigt auf erstes Element des Arrays */
printf("Nachname des ersten Studenten: %s", gp1->nachname);

gp2 = gp1 + 1; /* gp2 zeigt auf zweite Element des Arrays */
printf("Nachname des zweiten Studenten: %s", gp2->nachname);


printf("Byte-Differenz: %d", (char*)gp2 - (char*)gp1);
```


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

5 Zusammenfassung

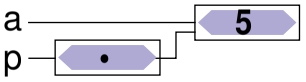
- Variable

```
int a;
```



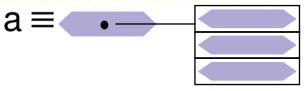
- Zeiger

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



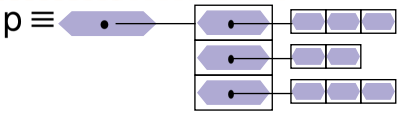
- Feld

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



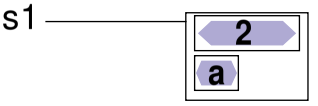
- Feld von Zeigern

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



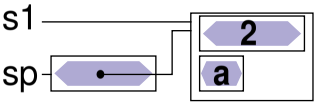
- Struktur

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

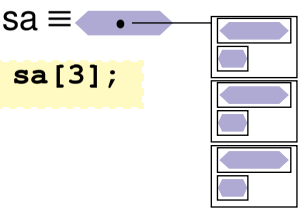


- Zeiger auf Struktur

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



- Feld von Strukturen




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


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

Zeiger 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.

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

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

1 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

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

1 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!

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

2 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

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

2 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**

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

3 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

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

3 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);
}
```


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

3 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

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

4 Formatierte Ausgabe

- Bibliotheksfunktionen — Prototypen (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)

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

4 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

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

5 Formatierte Eingabe

- Bibliotheksfunktionen — Prototypen (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, hier nur Kurzüberblick
  für Details siehe Manual-Seiten

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

5 Formatierte Eingabe (2)

- *White space* (Space, Tabulator oder Newline \n) bildet jeweils die Grenze zwischen Daten, die interpretiert werden
  - ➤ *white space* wird in beliebiger Menge einfach überlesen
  - ➤ Ausnahme: bei Format-Anweisung **`%c`** wird auch *white space* eingelesen
- Alle anderen Daten in der Eingabe müssen zum **`format`**-String passen oder die Interpretation der Eingabe wird abgebrochen
  - ➤ wenn im format-String normale Zeichen angegeben sind, müssen diese exakt so in der Eingabe auftauchen
  - ➤ wenn im Format-String eine Format-Anweisung (`%...`) angegeben ist, muss in der Eingabe etwas hierauf passendes auftauchen
    - ➥ diese Daten werden dann in den entsprechenden Typ konvertiert und über den zugehörigen Zeiger-Parameter der Variablen zugewiesen
- Die **`scanf`**-Funktionen liefern als Ergebnis die Zahl der erfolgreich an die Parameter zugewiesenen Werte

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

5 Formatierte Eingabe (3)

`%d`	int
`%hd`	short
`%ld`	long int
`%lld`	long long int
`%f`	float
`%lf`	double
`%Lf`	long double

analog auch `%e` oder `%g`

`%c`	char
`%s`	String, wird automatisch mit `'\0'` abgeschl.

- nach % kann eine Zahl folgen, die die maximale Feldbreite angibt
  - %3d = 3 Ziffern lesen
  - %5c = 5 char lesen (Parameter muss dann Zeiger auf char-Feld sein)
  - ➤ `%5c` überträgt exakt 5 char (hängt aber kein `'\0'` an!)
  - ➤ `%5s` liest max. 5 char (bis white space) und hängt `'\0'` an
- Beispiele:

```
int a, b, c, d, n;
char s1[20]="XXXXXX", s2[20];
n = scanf("%d %2d %3d %5c %s %d",
          &a, &b, &c, s1, s2, &d);
```

Eingabe: `12 1234567 sowas hmm`

Ergebnis: n=5, a=12, b=12, c=345

s1="`67 soX`", s2="`was`"

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

6 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);
```


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