

# Systemprogrammierung

Grundlage von Betriebssystemen

## Teil A – II. Einführung in die Programmiersprache C

28. April – 10. Mai 2022  
Jürgen Kleinöder

- Literatur zur C-Programmierung:
  - Darnell, Margolis. *C: A Software Engineering Approach*. Springer 1991
  - Kernighan, Ritchie. *The C Programming Language*. Prentice-Hall 1988
  - Dausmann, Bröckl, Schoop, et al. *C als erste Programmiersprache: Vom Einsteiger zum Fortgeschrittenen*. (Als E-Book aus dem Uninetz verfügbar; PDF-Version unter /proj/i4sp1/pub). Vieweg+Teubner, 2010.



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

# Überblick

- Struktur eines C-Programms
- Datentypen und Variablen
- Anweisungen
- Funktionen
- C-Präprozessor
- Programmstruktur und Module
- Zeiger(-Variablen)
- sizeof-Operator
- Explizite Typumwandlung — Cast-Operator
- Speicherverwaltung
- Felder
- Strukturen
- Ein- /Ausgabe
- Fehlerbehandlung



© jk SP (SS 2022, A-II)

1 Überblick

II-2

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

# Struktur eines C-Programms

globale Variablendefinitionen

Funktionen

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

## ■ Beispiel

```
int main(int argc, char *argv[]) {  
    printf("Hello World!\n");  
    return 0;  
}
```

## ■ Übersetzen mit dem C-Compiler:

```
cc -o hello hello.c
```

## ■ Ausführen durch Aufruf von `./hello`



© jk SP (SS 2022, A-II)

2 Struktur eines C-Programms

II-3

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

# Datentypen und Variablen

## ■ Datentyp := (<Menge von Werten>, <Menge von Operationen>)

- Literal Wert im C-Quelltext (z. B. `4711`, `0xff`, `'a'`, `3.14`)
- Konstante Bezeichner für einen Wert
- Variable Bezeichner für einen Speicherplatz, der einen Wert aufnehmen kann
- Funktion Bezeichner für eine Sequenz von Anweisungen, die einen Wert zurückgibt

➔ Literale, Konstanten, Variablen, Funktionen haben einen (Daten-)Typ

## ■ Datentyp legt fest:

- Repräsentation der Werte im Rechner
- Größe des Speicherplatzes für Variablen
- erlaubte Operationen



© jk SP (SS 2022, A-II)

3 Datentypen und Variablen

II-4

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

## Primitive Datentypen in C

- Ganzzahlen/Zeichen: **char**, **short**, **int**, **long**, **long long**
  - ▶ Wertebereich ist compiler-/prozessorabhängig  
es gilt:  $\text{char} \leq \text{short} \leq \text{int} \leq \text{long} \leq \text{long long}$
  - ▶ Zeichen werden als Zahlen im ASCII-Code (8 Bit) dargestellt
  - ▶ Zeichenketten (Strings) werden als Felder von **char** dargestellt
- Fließkommazahlen: **float**, **double**, **long double**
  - ▶ Wertebereich/Genauigkeit ist compiler-/prozessorabhängig
- Leerer Datentyp: **void**
  - ▶ Wertebereich:  $\emptyset$
  - ▶ Einsatz: Funktionen ohne Rückgabewert
- Boolescher Datentyp: **bool** (C99)
  - ▶ Bedingungsausdrücke (z. B. `if(...)`) sind in C aber vom Typ **int**!
- Durch vorangestellte Typ-Modifier kann die Bedeutung verändert werden
  - ▶ vorzeichenbehaftet: **signed**, vorzeichenlos: **unsigned**, konstant: **const**



## Variablen

- Variablen werden definiert durch:
  - **Namen** (Bezeichner)
  - Typ
  - zugeordneten Speicherbereich für einen Wert des Typs  
Inhalt des Speichers (= **aktueller Wert** der Variablen) ist veränderbar!
  - **Lebensdauer**
- Variablenname
  - Buchstabe oder `_`,  
evtl. gefolgt von beliebig vielen Buchstaben, Ziffern oder `_`



## Variablen (2)

- Typ und Bezeichner werden durch eine **Variablen-Deklaration** festgelegt (= dem Compiler bekannt gemacht)
  - reine Deklarationen werden erst in einem späteren Kapitel benötigt
  - vorerst beschränken wir uns auf Deklarationen in **Variablen-Definitionen**

- eine **Variablen-Definition** deklariert eine Variable und reserviert den benötigten Speicherbereich

- Beispiele

```
int a1;
float a, b, c, dis;
int anzahl_zeilen=5;
const char trennzeichen = ':';
```



## Variablen (3)

- Position von Variablendefinitionen im Programm:
  - nach jeder "`{`"
  - außerhalb von Funktionen
  - ab C99 auch an beliebigen Stellen innerhalb von Funktionen und im Kopf von `for`-Schleifen
- Wert kann bei der Definition initialisiert werden
- Wert ist durch Wertzuweisung und spezielle Operatoren veränderbar
- Lebensdauer ergibt sich aus Programmstruktur



## Verbund-Datentypen / Strukturen (structs)

- Zusammenfassen mehrerer Daten zu einer Einheit

- Strukturdeklaration

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

- Definition einer Variablen vom Typ der Struktur

```
struct person p1;
```

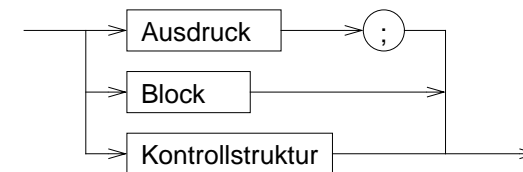
- Zugriff auf ein Element der Struktur

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



## Anweisungen

Anweisung:



### Anweisungen - Beispiele

- `a = b + c;`
- `{ a = b + c; x = 5; }`
- `if (x == 5) a = 3;`



## Ausdrücke

- Ausdruck = gültige Kombination von **Operatoren, Werten** und **Variablen**

- Reihenfolge der Auswertung

- Die Vorrangregeln für Operatoren legen die Reihenfolge fest, in der Ausdrücke abgearbeitet werden
- Geben die Vorrangregeln keine eindeutige Aussage, ist die Reihenfolge undefiniert
- Mit Klammern ( ) können die Vorrangregeln überstimmt werden
- Es bleibt dem Compiler freigestellt, Teilausdrücke in möglichst effizienter Folge auszuwerten



## Operatoren

- Zuweisungsoperator =

➔ Zuweisung eines Werts an eine Variable

- Beispiel:

```
int a;  
a = 20;
```

- Arithmetische Operatoren

➔ für alle **int** und **float** Werte erlaubt

+	Addition
-	Subtraktion
*	Multiplikation
/	Division
%	Rest bei Division, (modulo)
<b>unäres -</b>	negatives Vorzeichen (z. B. <b>-3</b> )
<b>unäres +</b>	positives Vorzeichen (z. B. <b>+3</b> )

- Beispiel:

```
a = -5 + 7 * 20 - 8;
```



## spezielle Zuweisungsoperatoren

→ Verkürzte Schreibweise für Operationen auf einer Variablen

$a \text{ op} = b \equiv a = a \text{ op } b$   
 mit  $\text{op} \in \{ +, -, *, /, \%, \ll, \gg, \&, \wedge, | \}$

■ Beispiele:

```
int a = -8;
```

```
a += 24;          /* -> a: 16 */
a /= 2;          /* -> a: 8  */
```



## Vergleichsoperatoren

<	kleiner
<=	kleiner gleich
>	größer
>=	größer gleich
==	gleich
!=	ungleich

■ **Beachte!** Ergebnistyp `int`:  
 wahr (true) = 1  
 falsch (false) = 0

■ Beispiele:

```
a > 3
a <= 5
a == 0
if ( a >= 3 ) { ...
```



## Logische Operatoren

→ Verknüpfung von Wahrheitswerten (wahr / falsch)

"nicht"		"und"			"oder"		
!		&&	f	w		f	w
f	w	f	f	f	f	f	w
w	f	w	f	w	w	w	w

■ Wahrheitswerte (Boole'sche Werte) werden in C generell durch int-Werte dargestellt:

- Operanden in einem Ausdruck: Operand = 0: falsch  
 Operand ≠ 0: wahr
- Ergebnis eines Ausdrucks: falsch: 0  
 wahr: 1



## Logische Operatoren (2)

■ Beispiel:

```
a = 5; b = 3; c = 7;
a > b && a > c
  1  und  0
  0
```

■ Die Bewertung solcher Ausdrücke wird abgebrochen, sobald das Ergebnis feststeht!

```
(a > c) && ((d=a) > b)
  0          wird nicht ausgewertet
  ↓
Gesamtergebnis=falsch → (d=a) wird nicht ausgeführt
```



## Bitweise logische Operatoren

➔ Operation auf jedem Bit einzeln (Bit 1 = wahr, Bit 0 = falsch)

"nicht"	~	Antivalenz "exklusives oder"	^	f	w
"und"	&		f	f	w
"oder"			w	w	f

■ Beispiele:

x	1	0	0	1	1	1	0	0
~x	0	1	1	0	0	0	1	1
7	0	0	0	0	0	1	1	1
x   7	1	0	0	1	1	1	1	1
x & 7	0	0	0	0	0	1	0	0
x ^ 7	1	0	0	1	1	0	1	1



## Logische Shiftoperatoren

➔ Bits werden im Wort verschoben

<< Links-Shift  
>> Rechts-Shift

■ Beispiel:

x	1	0	0	1	1	1	0	0
x << 2	0	1	1	1	0	0	0	0



## Inkrement / Dekrement Operatoren

++ inkrement  
-- dekrement

■ **linksseitiger Operator:** ++x bzw. --x

- es wird der Inhalt von x inkrementiert bzw. dekrementiert
- das Resultat wird als Ergebnis geliefert

■ **rechtsseitiger Operator:** x++ bzw. x--

- es wird der Inhalt von x als Ergebnis geliefert
- anschließend wird x inkrementiert bzw. dekrementiert.

■ Beispiele:

```
a = 10;
b = a++; /* -> b: 10 und a: 11 */
c = ++a; /* -> c: 12 und a: 12 */
```



## Bedingte Bewertung

**A ? B : C**

➔ der Operator dient zur Formulierung von Bedingungen in Ausdrücken

- zuerst wird Ausdruck A bewertet
- ist A **ungleich 0**, so hat der gesamte Ausdruck als Wert den Wert des Ausdrucks B,
- sonst den Wert des Ausdrucks C

## Komma-Operator

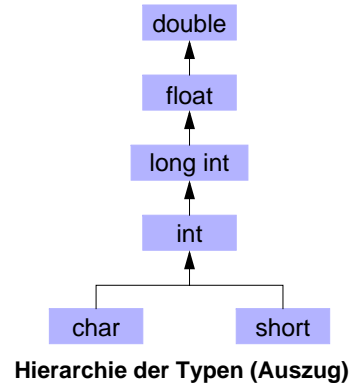
➔ der Komma-Operator erlaubt die Aneinanderreihung mehrerer Ausdrücke

- ein so gebildeter Ausdruck hat als Wert den Wert des letzten Teil-Ausdrucks



## Typumwandlung in Ausdrücken

- Enthält ein Ausdruck Operanden unterschiedlichen Typs, erfolgt eine automatische Umwandlung in den Typ des in der **Hierarchie der Typen** am höchsten stehenden Operanden. (*Arithmetische Umwandlungen*)



## Vorrangregeln bei Operatoren

Operatorklasse	Operatoren	Assoziativität
unär	! ~ ++ -- + -	von rechts nach links
multiplikativ	* / %	von links nach rechts
additiv	+ -	von links nach rechts
shift	<< >>	von links nach rechts
relational	< <= > >=	von links nach rechts
Gleichheit	== !=	von links nach rechts
bitweise	&	von links nach rechts
bitweise	^	von links nach rechts
bitweise		von links nach rechts
logisch	&&	von links nach rechts
logisch		von links nach rechts
Bedingte Bewertung	?:	von rechts nach links
Zuweisung	= op=	von rechts nach links
Reihung	,	von links nach rechts

## Blöcke

- Zusammenfassung mehrerer Anweisungen
- Lokale Variablendefinitionen → Hilfsvariablen
- Schaffung neuer Sichtbarkeitsbereiche (**Scopes**) für Variablen

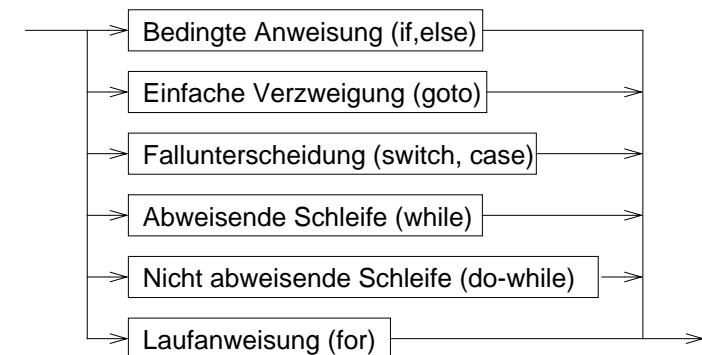
```

main()
{
    int x, y, z;
    x = 1;
    {
        int a, b, c;
        a = x+1;
        {
            int a, x;
            x = 2;
            a = 3;
        }
        /* a: 2, x: 1 */
    }
}
  
```

## Kontrollstrukturen

- Kontrolle des Programmablaufs in Abhängigkeit vom Ergebnis von Ausdrücken

Kontrollstruktur:



## Kontrollstrukturen — Schleifensteuerung

- **break**
    - bricht die umgebende Schleife bzw. **switch**-Anweisung ab
- ```
int c;

do {
    if ( c = getchar() == EOF ) break;
    putchar(c);
} while ( c != '\n' );
```
- **continue**
    - bricht den aktuellen **Schleifendurchlauf** ab
    - setzt das Programm mit der Ausführung des Schleifenkopfes fort



© jk

SP (SS 2022, A-II)

4 Anweisungen | 4.16 Kontrollstrukturen — Schleifensteuerung

II-25

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

## Funktionen

- **Funktion =**  
Programmstück (Block), das mit einem **Namen** versehen ist, dem zum Ablauf **Parameter** übergeben werden können und das bei Rückkehr einen **Rückgabewert** zurückliefern kann.
- Funktionen sind die elementaren Bausteine für Programme
  - verringern die **Komplexität** durch Zerteilen umfangreicher, schwer überblickbarer Aufgaben in kleine Komponenten
  - erlauben die **Wiederverwendung** von Programmkomponenten
  - verbergen **Implementierungsdetails** vor anderen Programmteilen (**Black-Box-Prinzip**)

### Funktionsdefinition

- Schnittstelle = Ergebnistyp, Name, (formale) Parameter
- + Implementierung



© jk

SP (SS 2022, A-II)

5 Funktionen | 5.1 Funktionsdefinition

II-26

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

## Beispiel Sinusberechnung

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

double sinus (double x)
{
    double summe = 0.0;
    double x_quadrat = x*x;
    double rest = x;
    int k = 0;

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

int main()
{
    double wert;

    printf("Berechnung des Sinus von ");
    scanf("%lf", &wert);
    printf("sin(%lf) = %lf\n",
           wert, sinus(wert));
    return 0;
}
```

- beliebige Verwendung von **sinus** in Ausdrücken:  
 $y = \exp(\tau \cdot t) * \sinus(f \cdot t);$



© jk

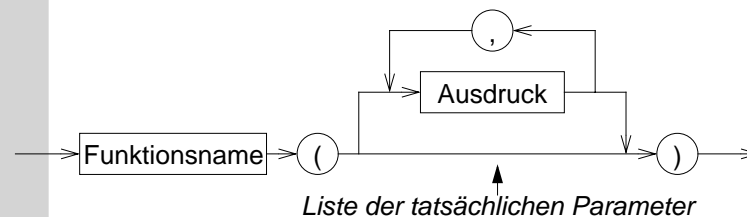
SP (SS 2022, A-II)

5 Funktionen | 5.2 Beispiel Sinusberechnung

II-27

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

## Funktionsaufruf



- Die Ausdrücke in der Parameterliste werden ausgewertet, **bevor** in die Funktion gesprungen wird
  - **tatsächliche Parameter** (*actual parameters*)
- Anzahl und Typen der Ausdrücke in der Liste der tatsächlichen Parameter müssen mit denen der **formalen** Parameter in der Funktionsdefinition übereinstimmen
- Die Auswertungsreihenfolge der Parameterausdrücke ist **nicht** festgelegt



© jk

SP (SS 2022, A-II)

5 Funktionen | 5.3 Funktionsaufruf

II-28

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

## Regeln

- Funktionen werden global definiert
- `main()` ist eine normale Funktion, die aber automatisch als erste beim Programmstart aufgerufen wird
- rekursive Funktionsaufrufe sind zulässig
  - ➔ eine Funktion darf sich selbst aufrufen

Beispiel Fakultätsberechnung:

```
int fakultaet(int n)
{
    if ( n == 1 )
        return 1;
    else
        return n * fakultaet(n-1);
}
```



## Regeln (2)

- Funktionen müssen **deklariert** sein, bevor sie aufgerufen werden
  - = Rückgabtyp und Parametertypen müssen bekannt sein
  - durch eine Funktionsdefinition ist die Funktion automatisch auch deklariert
- wurde eine verwendete Funktion vor ihrer Verwendung nicht deklariert, wird automatisch angenommen
  - Funktionswert vom Typ `int`
  - 1. Parameter vom Typ `int`
  - ➔ **völlig veralteter Programmierstil → heute indiskutabel**
  - ➔ **ab C99 nicht mehr zulässig**
  - verursacht bei vergessener Deklaration aber auch heute ggf. noch "komische" Fehlermeldungen



## Funktionsdeklaration

- soll eine Funktion vor ihrer Definition verwendet werden, kann sie durch eine **Deklaration** bekannt gemacht werden (Prototyp)

- Syntax:

```
Typ Name ( Liste formaler Parameter );
```

- Parameternamen können weggelassen werden, die Parametertypen müssen aber angegeben werden!

- Beispiel:

```
double sinus(double);
```



## Funktionsdeklarationen — Beispiel

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>

double sinus(double);
/* oder: double sinus(double x); */

int main()
{
    double wert;

    printf("Berechnung des Sinus von ");
    scanf("%lf", &wert);
    printf("sin(%lf) = %lf\n",
           wert, sinus(wert));
    return 0;
}
```

```
double sinus (double x)
{
    double summe = 0.0;
    double x_quadrat = x*x;
    double rest = x;
    int k = 0;

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





## Parameterübergabe an Funktionen

- allgemein in Programmiersprachen vor allem zwei Varianten:
  - call by value (wird in C verwendet)
  - call by reference (wird in C **nicht** verwendet)
- call-by-value: Es wird eine Kopie des tatsächlichen Parameters an die Funktion übergeben
  - ➔ die Funktion kann den Übergabeparameter durch Zugriff auf den formalen Parameter lesen
  - ➔ die Funktion kann den Wert des formalen Parameters (also die Kopie!) ändern, ohne dass dies Auswirkungen auf den Wert des tatsächlichen Parameters beim Aufrufer hat
  - ➔ die Funktion kann über einen Parameter dem Aufrufer keine Ergebnisse mitteilen



## C-Präprozessor

- bevor eine C-Quelle dem C-Compiler übergeben wird, wird sie durch einen Makro-Präprozessor bearbeitet
- Anweisungen an den Präprozessor werden durch ein **#**-Zeichen am Anfang der Zeile gekennzeichnet
- die Syntax von Präprozessoranweisungen ist unabhängig vom Rest der Sprache
- Präprozessoranweisungen werden nicht durch **;** abgeschlossen!
- wichtigste Funktionen:
  - #define** Definition von Makros
  - #include** Einfügen von anderen Dateien



## Makrodefinitionen

- Makros ermöglichen einfache textuelle Ersetzungen (parametrierbare Makros werden später behandelt)
- ein Makro wird durch die **#define**-Anweisung definiert
- Syntax:

```
#define Makroname Ersatztext
```
- eine Makrodefinition bewirkt, dass der Präprozessor im nachfolgenden Text der C-Quelle alle Vorkommen von **Makroname** durch **Ersatztext** ersetzt
- Beispiel:

```
#define EOF -1
```



## Einfügen von Dateien

- **#include** fügt den Inhalt einer anderen Datei in eine C-Quelldatei ein
- Syntax:

```
#include <Dateiname>  
oder  
#include "Dateiname"
```
- mit **#include** werden *Header*-Dateien mit Daten, die für mehrere Quelldateien benötigt werden, einkopiert
  - Deklaration von Funktionen, Strukturen, externen Variablen
  - Definition von Makros
- wird **Dateiname** durch **< >** geklammert, wird eine **Standard-Header-Datei** einkopiert
- wird **Dateiname** durch **" "** geklammert, wird eine Header-Datei des Benutzers einkopiert (vereinfacht dargestellt!)



# Programmstruktur & Module

## 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



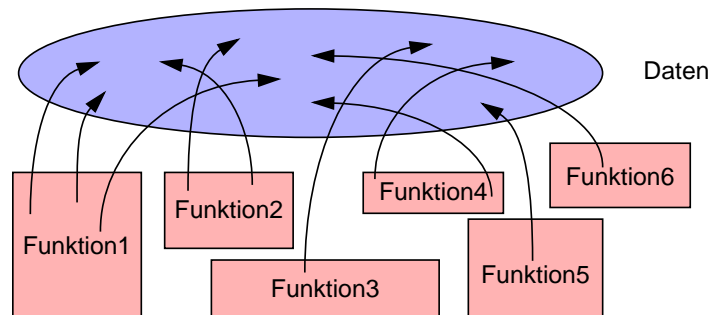
# Top-down Entwurf

- 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



## Top-down Entwurf (2)

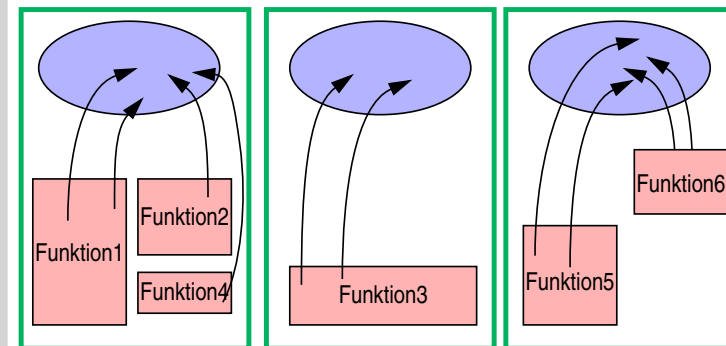
- Problem: Gliederung betrifft nur die Aktivitäten, nicht die Struktur der Daten
- Gefahr: Sehr viele Funktionen arbeiten "wild" auf einer Unmenge schlecht strukturierter Daten



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

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

➔ **Modul**



## 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
```



## 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 Präprozessors in C-Quelldateien einkopiert
  - der Name einer *Header-Datei* endet immer auf `.h`



## 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 Variablen in umgebenden Blöcken



## 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;
```



## 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**



## 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



## 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
  - Beispiel: **static int a;**
  - ➔ **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! - dort jeweils *kursiv* geschrieben)

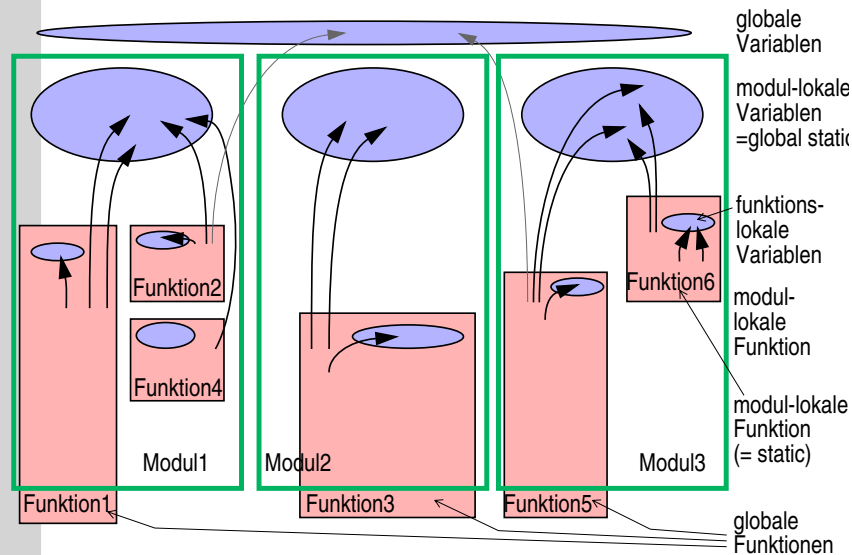


## Lokale Variablen

- 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



## Gültigkeitsbereiche — Übersicht



## 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 (*auto*) Variablen

## 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)**

## Lebensdauer von Variablen (3)

### static-Variablen

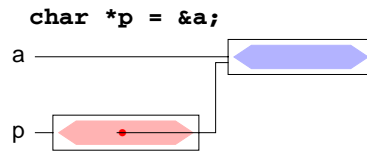
- Der Speicher für alle globalen Variablen ist generell von Programmstart bis Programmende reserviert
- Lokale Variablen erhalten bei Definition mit dem Schlüsselwort *static* eine **Lebensdauer über die gesamte Programmausführung hinweg**
  - der Inhalt bleibt bei Verlassen des Blocks erhalten und ist 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

# Zeiger(-Variablen)

## Einordnung

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

'a' ≡ 0110 0001



# Überblick

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



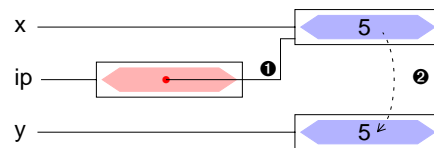
# Definition von Zeigervariablen

## Syntax:

Typ \*Name ;

## Beispiele

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



# Adressoperatoren

- Adressoperator &
  - &x der unäre Adress-Operator liefert eine Referenz auf den Inhalt der Variablen (des Objekts) x
- Verweisoperator \*
  - \*x der unäre Verweisoperator \* ermöglicht den Zugriff auf den Inhalt der Variablen (des Objekts), auf die der Zeiger x verweist
- ★ Unterschied des Symbols \* in einer Variablendefinition und in einem Ausdruck
  - int \*ip; \* in einer Variablendefinition: ip ist eine Variable vom Typ (int \*), eine Variable die auf ein Objekt vom Typ (int) verweist
  - y = \*ip; \* als Operator in einem Ausdruck: ip ist eine Variable, die auf ein Objekt vom Typ (int) verweist, der Ausdruck \*ip ermittelt den Inhalt dieses Objekts, also den int-Wert
    - ↳ das Ergebnis des Ausdrucks \*ip ist ein Wert vom Typ (int)



## Zeiger als Funktionsargumente

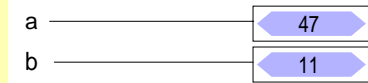
- Parameter werden in C *by-value* übergeben
- die aufgerufene Funktion kann den tatsächlichen Parameter beim Aufrufer nicht verändern
- auch Zeiger werden *by-value* übergeben, d. h. die Funktion erhält lediglich eine Kopie des Adressverweises
- über diesen Verweis kann die Funktion jedoch mit Hilfe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



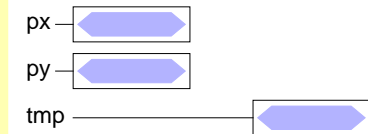
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

```
void swap (int *, int *);  
int main() {  
    int a=47, b=11;  
    ...  
    swap(&a, &b);  
    ...  
}
```



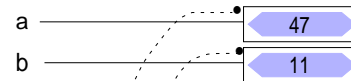
```
void swap (int *px, int *py)  
{  
    int tmp;  
  
    tmp = *px;  
    *px = *py;  
    *py = tmp;  
  
}
```



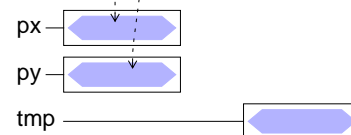
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

```
void swap (int *, int *);  
int main() {  
    int a=47, b=11;  
    ...  
    swap(&a, &b); ❶  
    ...  
}
```



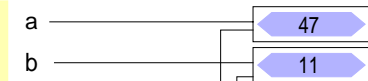
```
void swap (int *px, int *py)  
{  
    int tmp;  
  
    tmp = *px;  
    *px = *py;  
    *py = tmp;  
  
}
```



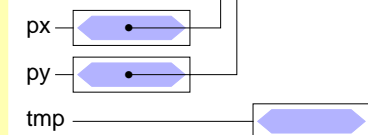
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

- Beispiel:

```
void swap (int *, int *);  
int main() {  
    int a=47, b=11;  
    ...  
    swap(&a, &b);  
    ...  
}
```



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



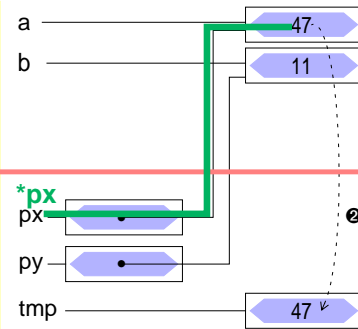
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

### Beispiel:

```
void swap (int *, int *);
int main() {
    int a=47, b=11;
    ...
    swap(&a, &b);
    ...
}
```

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

    tmp = *px; ②
    *px = *py;
    *py = tmp;
}
```



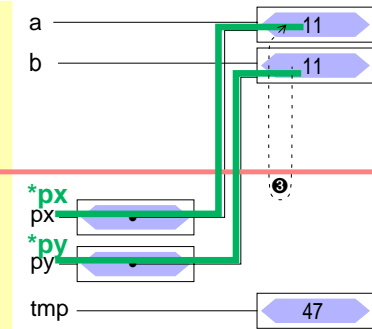
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

### Beispiel:

```
void swap (int *, int *);
int main() {
    int a=47, b=11;
    ...
    swap(&a, &b);
    ...
}
```

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

    tmp = *px;
    *px = *py; ③
    *py = tmp;
}
```



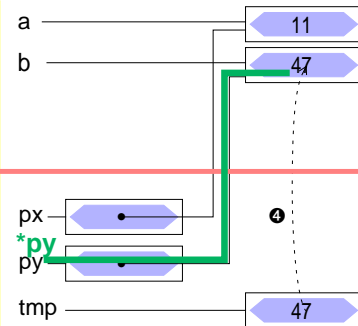
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

### Beispiel:

```
void swap (int *, int *);
int main() {
    int a=47, b=11;
    ...
    swap(&a, &b);
    ...
}
```

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

    tmp = *px;
    *px = *py;
    *py = tmp; ④
}
```



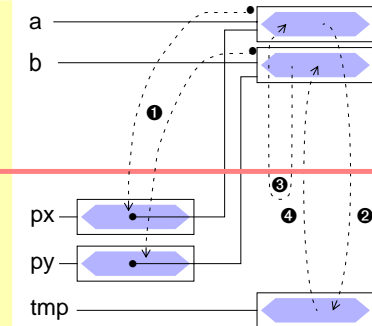
## Zeiger als Funktionsargumente (2)

### Beispiel:

```
void swap (int *, int *);
int main() {
    int a=47, b=11;
    ...
    swap(&a, &b); ①
    ...
}
```

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

    tmp = *px; ②
    *px = *py; ③
    *py = tmp; ④
}
```





## 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



## 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;`



## Zusammenfassung

- Variable

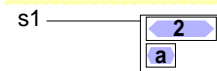
```
int a;  
a — 5
```

- Zeiger

```
int *p = &a;  
a — 5  
p — • —> a
```

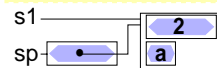
- Struktur

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



- Zeiger auf Struktur

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



## Felder

### Eindimensionale Felder

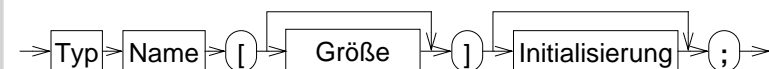
- eine Reihe von Daten desselben Typs kann zu einem **Feld** zusammengefasst werden

- bei der Definition wird die Größe des Felds angegeben

- Größe muss eine Konstante sein
- ab C99 bei lokalen Feldern auch zur Laufzeit berechnete Werte zulässig

- der Zugriff auf die Elemente erfolgt durch **Indizierung**, beginnend bei Null

- Definition eines Feldes

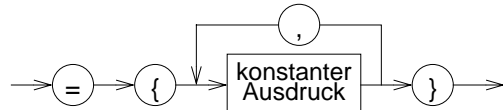


- Beispiele:

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



## 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] = {'0', 't', 't', 'o', '\0'};
```
- wird die explizite Felddimensionierung weggelassen, so bestimmt die Zahl der Initialisierungskonstanten die Feldgröße
 

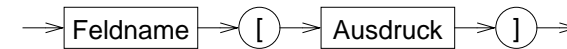
```
int prim[] = {2, 3, 5, 7};
char name[] = {'0', 't', 't', 'o', '\0'};
```
- werden zu wenig Initialisierungskonstanten angegeben, so werden die restlichen Elemente mit 0 initialisiert
- char**-Felder können auch durch String-Literale initialisiert werden
 

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



## Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



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

- Achtung:** Feldindex wird nicht überprüft
  - ➔ häufige Fehlerquelle in C-Programmen
- Beispiele:
 

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

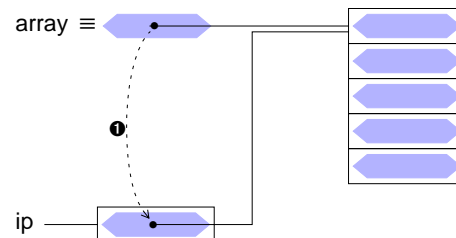


## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
 

```
array ≡ &array[0]
```
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

```
int array[5];
int *ip = array; ❶
```

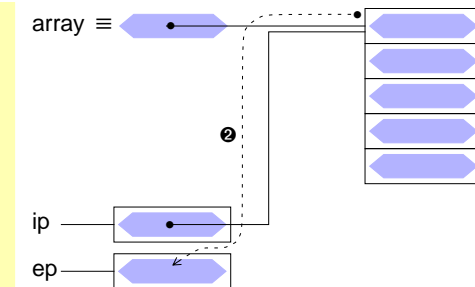


## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes
 

```
array ≡ &array[0]
```
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

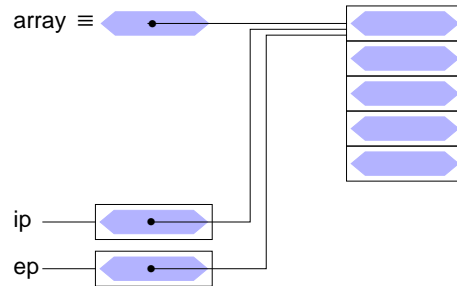
```
int array[5];
int *ip = array;
int *ep;
ep = &array[0]; ❷
```



## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes  
`array ≡ &array[0]`
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

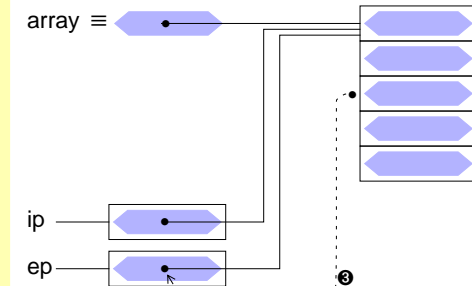
```
int array[5];  
  
int *ip = array;  
  
int *ep;  
ep = &array[0]; ①
```



## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes  
`array ≡ &array[0]`
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

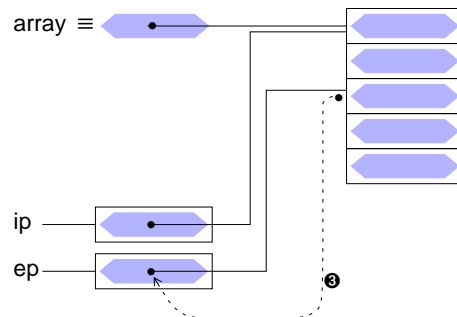
```
int array[5];  
  
int *ip = array;  
  
int *ep;  
ep = &array[0];  
  
ep = &array[2]; ②
```



## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes  
`array ≡ &array[0]`
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

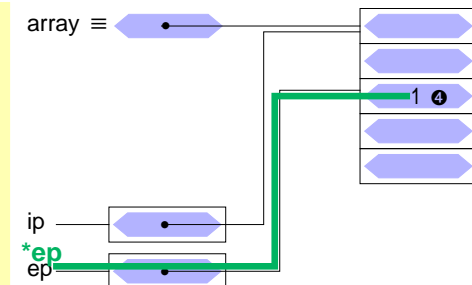
```
int array[5];  
  
int *ip = array;  
  
int *ep;  
ep = &array[0];  
  
ep = &array[2]; ③
```



## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes  
`array ≡ &array[0]`
- 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 = 1; ④
```



## Zeiger und Felder

- ein Feldname ist ein konstanter Zeiger auf das erste Element des Feldes  
`array ≡ &array[0]`
- im Gegensatz zu einer Zeigervariablen kann sein Wert nicht verändert werden
- es gilt:

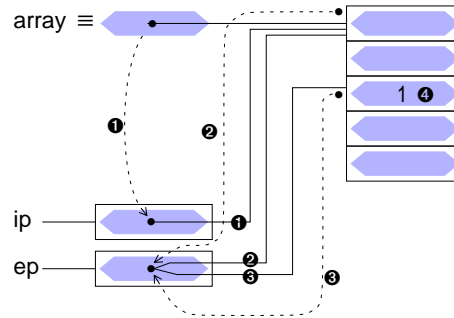
```
int array[5];

int *ip = array; ①

int *ep;
ep = &array[0]; ②

ep = &array[2]; ③

*ep = 1; ④
```

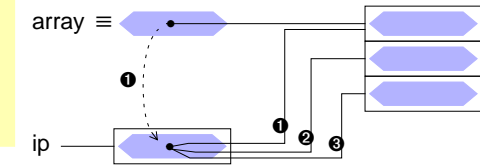


## Arithmetik mit Adressen

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

```
int array[3];
int *ip = array; ①

ip++; ②
ip++; ③
```

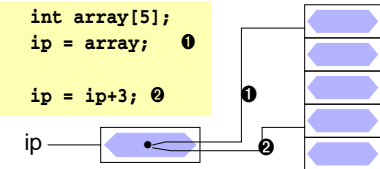


- `--` -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

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

```
int array[5];
ip = array; ①

ip = ip+3; ②
```



Dabei wird immer die Größe des Objekttyps berücksichtigt!

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

## 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 `++`, `--`, `+=`, ...
- In Kombination mit Zeigerarithmetik lässt sich in C jede Feldoperation auf eine äquivalente Zeigeroperation abbilden
  - für `int array[N]`, `*ip = array`; mit  $0 \leq i < N$  gilt:

```
array ≡ &array[0] ≡ ip ≡ &ip[0]
*array ≡ array[0] ≡ *ip ≡ ip[0]
*(array + i) ≡ array[i] ≡ *(ip + i) ≡ ip[i]
array++ ≠ ip++
```

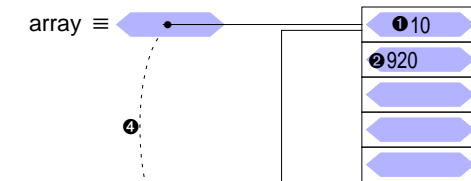
**Fehler:** array ist konstant!

- Umgekehrt können Zeigeroperationen auch durch Feldoperationen dargestellt werden (nur der Feldname darf nicht verändert werden)

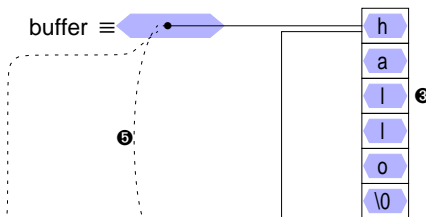
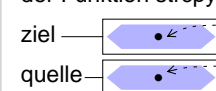
## Zeigerarithmetik und Felder

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

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



Formale Parameter der Funktion `strcpy`

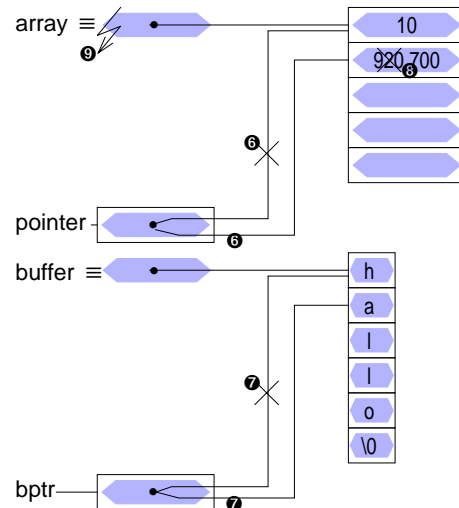


## Zeigerarithmetik und Felder

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

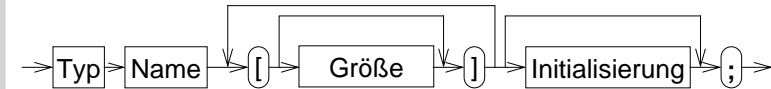
① array[0] = 10;
② array[1] = 920;
③ strcpy(buffer, "hallo");
④ pointer = array;
⑤ bptr = buffer;

⑥ pointer++;
⑦ bptr++;
⑧ *pointer = 700;
⑨ array++;
```



## Mehrdimensionale Felder

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

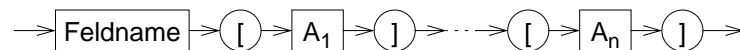


- Beispiel:  
`int matrix[4][4];`
- Realisierung:
  - in der internen Speicherung werden die Feldelemente zeilenweise hintereinander im Speicher abgelegt
  - Felddefinition: `int f[2][2];`  
Ablage der Elemente: `f[0][0], f[0][1], f[1][0], f[1][1]`  
`f` ist ein Zeiger auf `f[0][0]`



## Zugriffe auf Feldelemente bei mehrdim. Feldern

- Indizierung:



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

- Beispiel:

```
int feld[5][8];
feld[2][3] = 10;
■ ist äquivalent zu:
int feld[5][8];
int *f1;
f1 = (int*)feld;
f1[2*8 + 3] = 10;
oder
*(f1 + (2*8 + 3)) = 10;
```



## Initialisierung eines mehrdimensionalen Feldes

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

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



## Dynamische Speicherverwaltung

- Felder können nur mit statischer Größe definiert werden  
– mit Ausnahme lokaler Felder mit dynamischer (**auto**) Lebensdauer
- Wird die Größe eines Feldes erst zur Laufzeit des Programms bekannt, kann der benötigte Speicherbereich dynamisch vom Betriebssystem angefordert werden: Funktion **malloc**
  - Ergebnis: Zeiger auf den Anfang des Speicherbereichs
  - Zeiger kann danach wie ein Feld verwendet werden ( `[]`-Operator)

### void \*malloc(size\_t size)

```
int *feld;
int groesse;
...
feld = malloc(groesse * sizeof(*feld));
if (feld == NULL) {
    perror("malloc feld");
    exit(1);
}
for (i=0; i<groesse; i++) { feld[i] = 8; }
...
```

sizeof-Operator liefert die Größe des Typs des Arguments

Fehlerbehandlung hier unbedingt notwendig!



## Dynamische Speicherverwaltung (2)

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

### void free(void \*ptr)

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

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



## sizeof-Operator

- In manchen Fällen ist es notwendig, die Größe (in Bytes) 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` (**#include <stddef.h>**!)

### Beispiel:

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



## Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

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

### Beispiel:

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

`d = (i) * f;`  
→float  
→double

- In manchen Fällen wird eine explizite Typumwandlung benötigt (vor allem zur Umwandlung von Zeigern)

### Syntax:

(Typ) Variable

### Beispiele:

```
(int) a      (int *) a
(float) b    (char *) a
```

### Beispiel:

```
feld = (int *) malloc(groesse * sizeof(int));
```

malloc liefert Ergebnis vom Typ (void \*)  
cast-Operator macht daraus explizit den Typ (int \*)



## 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 tatsächlichen Parameter gegeben
  - die Funktion kennt die Feldgröße damit nicht
  - ggf. ist die Feldgröße über einen weiteren **int**-Parameter der Funktion explizit mitzuteilen
  - die Länge von Zeichenketten in **char**-Feldern kann normalerweise durch Suche nach dem **\0**-Zeichen bestimmt werden



## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (2)

- wird ein Feldparameter als **const** deklariert, können die Feldelemente innerhalb der Funktion nicht verändert werden
- Funktionsaufruf und Deklaration der formalen Parameter am Beispiel eines **int**-Feldes:

```
int a, b;
int feld[20];
func(a, feld, b);

...
int func(int p1, int p2[], int p3);
oder:
int func(int p1, int *p2, int p3);
```
- die Parameter-Deklarationen **int p2[]** und **int \*p2** sind vollkommen äquivalent!
  - im Unterschied zu einer Variablendefinition

```
int f[] = {1, 2, 3}; // initialisiertes Feld mit 3 Elementen
int f1[];           // ohne Initialisierung oder Dimension nicht erlaubt!
int *p;             // Zeiger auf einen int
```



## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (3)

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

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



## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (4)

- **Beispiel 2:** 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 tatsächlicher Parameter beim Funktionsaufruf wird einfach der Feldname angegeben

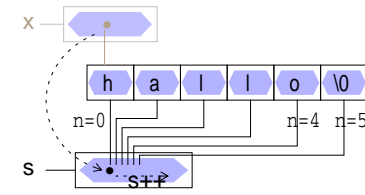
```
char s1[50] = "text1";
char s2[] = "text2";
strcat(s1, s2); /* → s1= "text1text2" */
strcat(s1, "text3"); /* → s1= "text1text2text3" */
```



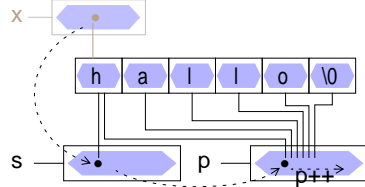
## Zeiger, Felder und Zeichenketten

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

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



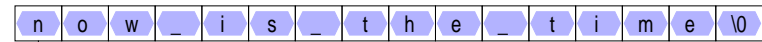
```
/* 2. Version */
int strlen(const char *s)
{
    char *p = s;
    while (*p != '\0')
        p++;
    return(p-s);
}
```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (2)

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

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



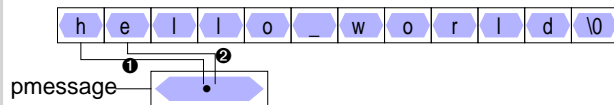
amessage ≡



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (3)

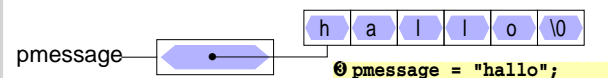
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines `char`-Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird

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



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

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



```
⓪ pmessage = "hallo";
```

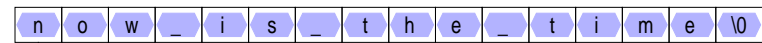


## Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

- 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



amessage ≡

pmessage ≡

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





## Zeiger, Felder und Zeichenketten (5)

### Zeichenketten kopieren

```

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

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

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

```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (6)

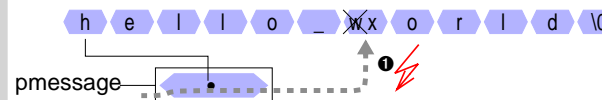
### in ANSI-C können Zeichenketten in nicht-modifizierbaren Speicherbereichen angelegt werden (je nach Compiler)

- Schreiben in Zeichenketten (Zuweisungen über dereferenzierte Zeiger) kann zu Programmabstürzen führen!

#### Beispiel:

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

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



```
pmessage[6] = 'x'; ❗
```

aber!

```
char amessage[] = "hello world";
amessage[6] = 'x';
```

ok!



## Felder von Zeigern

### Auch von Zeigern können Felder gebildet werden

#### Deklaration

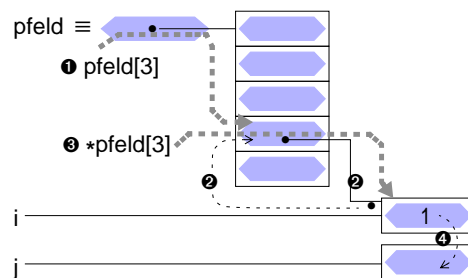
```
int *pfeld[5];
int i = 1;
int j;
```

#### Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

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

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

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



## Felder von Zeigern (2)

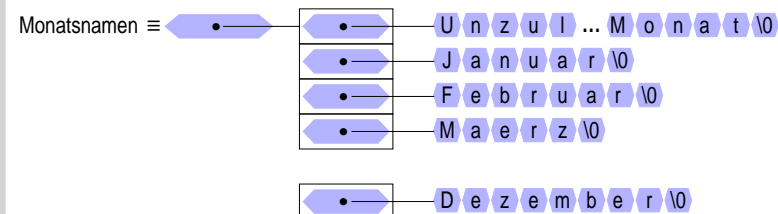
### Beispiel: Definition und Initialisierung eines Zeigerfeldes:

```

char *month_name(int n)
{
    static char *Monatsnamen[] = {
        "Unzulaessiger Monat",
        ...,
        "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)
{
    ...
}
    
```

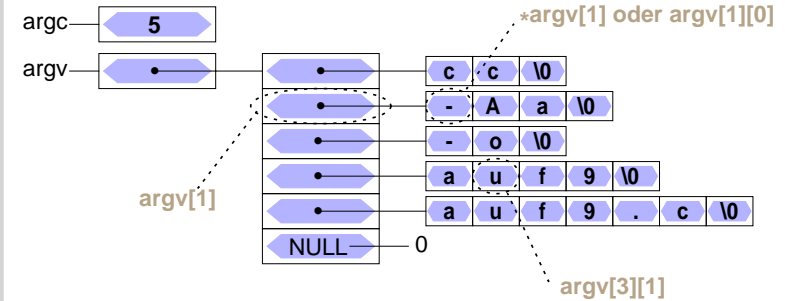
- der Parameter `argc` enthält die Anzahl der Argumente, mit denen das Programm aufgerufen wurde
- der Parameter `argv` ist ein Feld von Zeiger auf die einzelnen Argumente (Zeichenketten)
- der Kommandoname wird als erstes Argument übergeben (`argv[0]`)



## Datenaufbau

```

Kommando: cc -Aa -o auf9 auf9.c
Datei cc.c:
...
main(int argc, char *argv[]) {
...
    
```



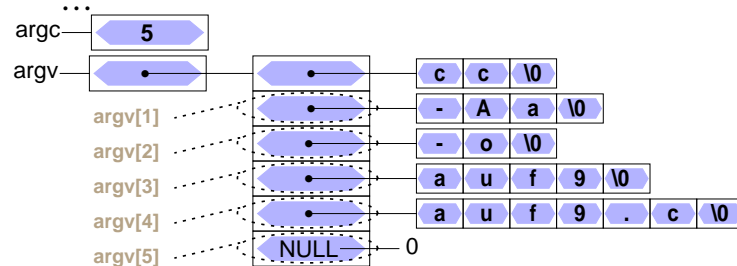
## Zugriff — Beispiel: Ausgeben aller Argumente (1)

- 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%c", argv[i],
            (i < argc-1) ? ' ': '\n' );
    }
}
    
```

1. Version



## Zugriff — Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

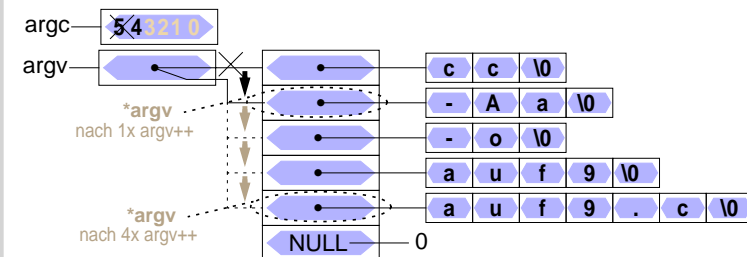
- das folgende Programmstück gibt alle Argumente der Kommandozeile aus

```

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

2. Version

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



(außer dem Kommandonamen)

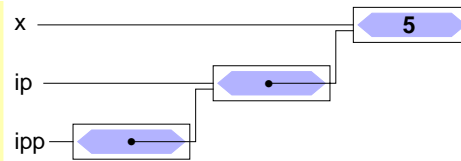


## Zeiger auf Zeiger

- 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)



## Strukturen

- Beispiele

```
struct student {
    char nachname[25];
    char vorname[25];
    char gebdatum[11];
    int matrnr;
    short gruppe;
    char best;
};
```

```
struct komplex {
    double re;
    double im;
};
```

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



## Initialisieren von Strukturen

- Strukturen können — wie Variablen und Felder — bei der Definition initialisiert werden
  - ▶ die Zuordnung zu den Komponenten erfolgt entweder aufgrund der Reihenfolge oder aufgrund des angegebenen Namens (in C++ nur aufgrund der Reihenfolge möglich!)
  - ▶ ungenannte Komponenten werden mit 0 initialisiert

- Beispiele

```
struct student stud1 = {
    "Meier", "Hans", "24.01.1970", 1533180, 5, 'n'
};
```

```
struct komplex c1 = {1.2, 0.8}, c2 = {.re=0.5, .im=0.33};
```

### !!! Vorsicht

bei Zugriffen auf eine Struktur werden die Komponenten immer durch die Komponentennamen identifiziert,  
**bei der Initialisierung nach Reihenfolge aber nur durch die Position**

- ▶ potentielle Fehlerquelle bei Änderungen der Strukturtyp-Deklaration



## 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 = {
        .re = x.re + y.re,
        .im = x.im + y.im,
    };
    return ergebnis;
}
```



## Felder von Strukturen

- Von Strukturen können — wie von normalen 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';
    }
}
```



## 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 zweites Element des Arrays */
printf("Nachname des zweiten Studenten: %s", gp2->nachname);

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



## Zusammenfassung

- Variable

```
int a;
a — 5
```

- Zeiger

```
int *p = &a;
a — 5
p — [•] —> a
```

- Feld

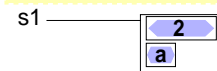
```
int a[3];
a ≡ [•] [•] [•]
```

- Feld von Zeigern

```
int *p[3];
p ≡ [•] [•] [•]
```

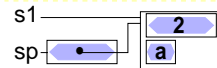
- Struktur

```
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];
sa ≡ [•] [•] [•]
```



## Zeiger auf Funktionen

- Datentyp: Zeiger auf Funktion

- Variablendef.: `<Rückgabety> (*<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");
```



## 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);
```

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| <b>name</b> | Pfadname der zu öffnenden Datei           |
| <b>mode</b> | 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:

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

    if (argv[1] == NULL) {
        fprintf(stderr, "keine Eingabedatei angegeben\n");
        exit(1); /* Programm abbrechen */
    }
    eingabe = fopen(argv[1], "r");
    if (eingabe == NULL) {
        /* eingabe konnte nicht geöffnet 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`
- Fehlerbehandlung wichtig (z. B. letztes Schreiben des Puffers schlägt fehl)



## Zeichenweise Lesen und Schreiben

### ■ Lesen eines einzelnen Zeichens

#### ■ von der Standardeingabe

```
int getchar ( )
```

- 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

#### ■ von einem Dateikanal

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

### ■ Schreiben eines einzelnen Zeichens

#### ■ auf die Standardausgabe

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

- schreiben das im Parameter `c` übergeben Zeichen

- geben gleichzeitig das geschriebene Zeichen als Ergebnis zurück

#### ■ auf einen Dateikanal

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



## Zeichenweise Lesen und Schreiben (2)

### ■ Beispiel: copy-Programm, Aufruf: `copy Quelldatei Zieldatei`

```
#include <stdio.h>

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

    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 */
    }

    int c; /* gerade kopiertes Zeichen */
    while ( ( c = getc(quelle) ) != EOF ) {
        if (putc(c, ziel) == EOF) { /* Fehlerbehandlung */ }
    }
    if (ferror(quelle)) { /* Fehlerbehandlung */ }

    fclose(quelle); /* Fehler hier irrelevant, nur gelesen */
    if (fclose(ziel)) { /* Fehlerbehandlung */ }
}
```



## 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 — 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)



## 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 — 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



## 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



## Formatierte Eingabe (3)

|                                                  |                                                          |                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <code>%d</code>                                  | int                                                      | ■ nach % kann eine Zahl folgen, die die maximale Feldbreite angibt                                                                                             |
| <code>%hd</code>                                 | short                                                    |                                                                                                                                                                |
| <code>%ld</code>                                 | long int                                                 | <code>%3d</code> = 3 Ziffern lesen                                                                                                                             |
| <code>%lld</code>                                | long long int                                            | <code>%5c</code> = 5 char lesen (Parameter muss dann Zeiger auf char-Feld sein)                                                                                |
| <code>%f</code>                                  | float                                                    | ► <code>%5c</code> überträgt exakt 5 char (hängt aber kein <code>'\0'</code> an!)                                                                              |
| <code>%lf</code>                                 | double                                                   | ► <code>%5s</code> liest max. 5 char (bis white space) und hängt <code>'\0'</code> an                                                                          |
| <code>%Lf</code>                                 | long double                                              |                                                                                                                                                                |
| analog auch <code>%e</code> oder <code>%g</code> |                                                          |                                                                                                                                                                |
| ■ Beispiele:                                     |                                                          |                                                                                                                                                                |
| <code>%c</code>                                  | char                                                     | <pre>int a, b, c, d, n;<br/>char s1[20]="XXXXXX", s2[20];<br/>n = scanf("%d %2d %3d %5c %19s %d",<br/>          &amp;a, &amp;b, &amp;c, s1, s2, &amp;d);</pre> |
| <code>%s</code>                                  | String, wird automatisch mit <code>'\0'</code> abgeschl. | Eingabe: 12 1234567 sowas hmm<br>Ergebnis: n=5, a=12, b=12, c=345<br>s1="67 soX", s2="was"                                                                     |



## 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:

```
void perror(const char *s);
```

