

# Systemprogrammierung

## Einführung in die Programmiersprache C

### ■ Literatur zur C-Programmierung:

- ◆ Darnell, Margolis. *C: A Software Engineering Approach*. Springer 1991
- ◆ Kernighan, Ritchie. *The C Programming Language*. Prentice-Hall 1988

## 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!");  
    return(0);  
}
```

### ■ Übersetzen mit dem C-Compiler:

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

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

## 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

## Datentypen und Variablen

### ■ Datentypen legen fest:

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

### 3.1 Standardtypen in C

- Eine Reihe häufig benötigter Datentypen ist in C vordefiniert

<code>char</code>	Zeichen (im ASCII-Code dargestellt, 8 Bit)
<code>int</code>	ganze Zahl (16 oder 32 Bit)
<code>float</code>	Gleitkommazahl (32 Bit) etwa auf 6 Stellen genau
<code>double</code>	doppelt genaue Gleitkommazahl (64 Bit) etwa auf 12 Stellen genau
<code>void</code>	ohne Wert

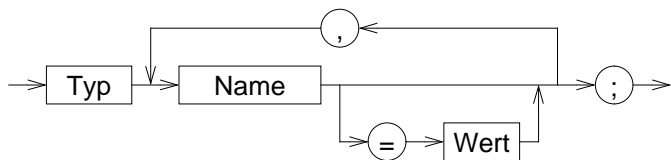
- Durch vorangestellte Typ-Modifizier kann die Bedeutung verändert werden

- `short, long`
- `long double`
- `signed, unsigned`
- `const`

### 3.2 Variablen (2)

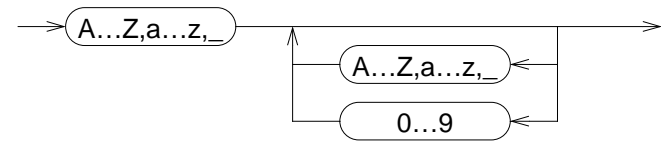
- Typ und Bezeichner werden durch eine **Variablen-Deklaration** festgelegt (= dem Compiler bekannt gemacht)
  - ◆ reine Deklarationen werden erst in einem späteren Kapitel benötigt
  - ◆ vorerst beschränken wir uns auf Deklarationen in **Variablen-Definitionen**

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



### 3.2 Variablen

- Variablen besitzen
  - ◆ **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 `_`)

### 3.2 Variablen (3)

- Variablen-Definition: Beispiele

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

- 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

### 3.3 Strukturierte Datentypen (structs)

- Zusammenfassen mehrerer Daten zu einer Einheit

```
struct person {
    char *name;
    int alter;
};
```

- Variablen-Definition

```
struct person p1;
```

- Zugriff auf Elemente der Struktur

```
p1.name = "Hans";
```

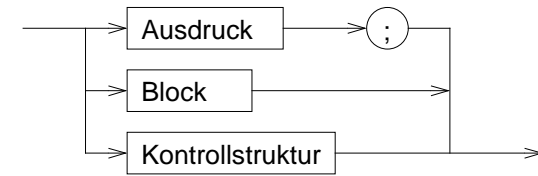
### 4.2 Blöcke

- 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 */
    }
}
```

### Anweisungen

Anweisung:



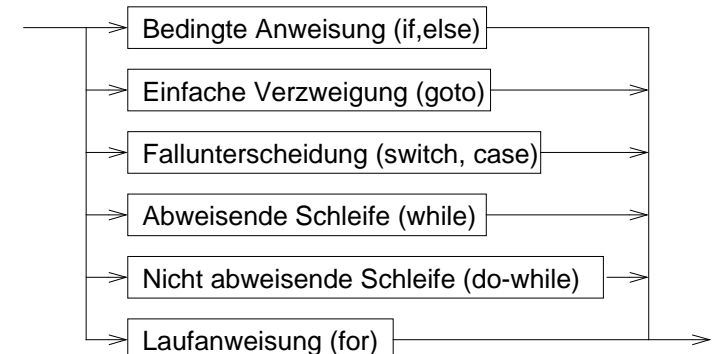
#### 4.1 Ausdrücke - Beispiele

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

### 4.3 Kontrollstrukturen

- Kontrolle des Programmablaufs in Abhängigkeit vom Ergebnis von Ausdrücken

Kontrollstruktur:



## 4.4 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

## 5.2 Beispiel Sinusberechnung

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

double sinus (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);
}

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*t) * sinus(f*t);
```

## Funktionen

### ■ Funktion =

Programmstück (Block), das mit einem **Namen** versehen ist und dem zum Ablauf **Parameter** übergeben werden können

- Funktionen sind die elementaren Bausteine für Programme

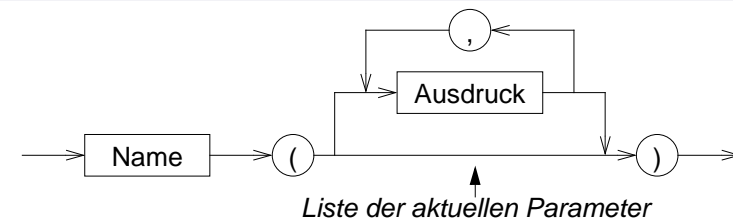
- ➔ verringern die **Komplexität** durch Zerteilen umfangreicher, schwer überblickbarer Aufgaben in kleine Komponenten
- ➔ erlauben die **Wiederverwendung** von Programmkomponenten
- ➔ verbergen **Implementierungsdetails** vor anderen Programmteilen (**Black-Box-Prinzip**)

### 5.1 Funktionsdefinition

- Schnittstelle (Ergebnistyp, Name, Parameter)

- + Implementierung

## 5.3 Funktionsaufruf



- Die Ausdrücke in der Parameterliste werden ausgewertet, **bevor** in die Funktion gesprungen wird
  - ➔ **aktuelle Parameter**
- Anzahl und Typen der Ausdrücke in der Liste der aktuellen Parameter müssen mit denen der formalen Parameter in der Funktionsdefinition übereinstimmen
- Die Auswertungsreihenfolge der Parameterausdrücke ist **nicht** festgelegt

## 5.4 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 (z. B. zur Fakultätsberechnung)

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

## 5.5 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);
```

## 5.4 Regeln (2)

- Funktionen müssen **deklariert** sein, bevor sie aufgerufen werden
  - = Rückgabety 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`
  - ➔ **schlechter Programmierstil** → fehleranfällig
  - ➔ **ab C99 nicht mehr zulässig**

## 5.6 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;
    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);
}
```

## 5.7 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 aktuellen 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 aktuellen Parameters beim Aufrufer hat
  - ➔ die Funktion kann über einen Parameter dem Aufrufer keine Ergebnisse mitteilen

## 6.1 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
```

## 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:
 

<code>#define</code>	Definition von Makros
<code>#include</code>	Einfügen von anderen Dateien

## 6.2 Einfügen von Dateien

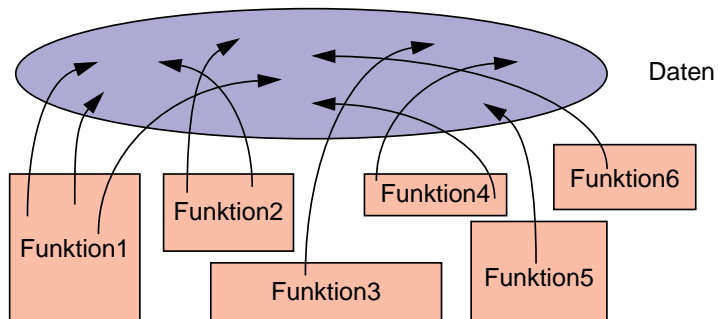
- `#include` fügt den Inhalt einer anderen Datei in eine C-Quelldatei ein
- Syntax:
 

```
#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!)

## 7.1 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

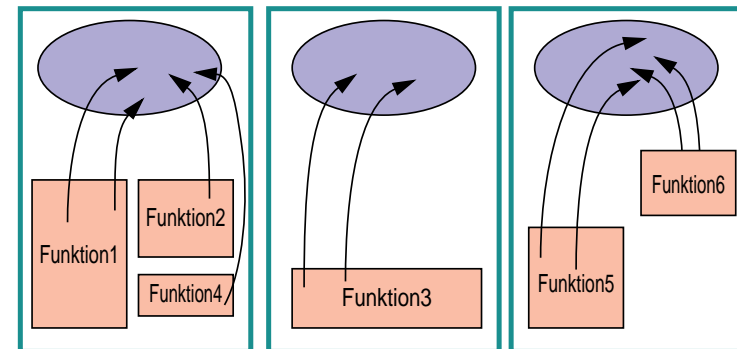
- Problem: Gliederung betrifft nur die Aktivitäten, nicht die Struktur der Daten
- Gefahr: Sehr viele Funktionen arbeiten "wild" auf einer Unmenge schlecht strukturierter Daten



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

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

➔ Modul



### 7.3 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
```

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

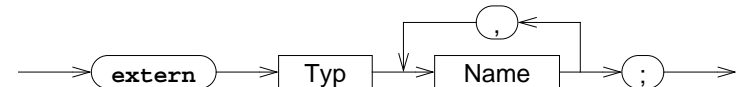
### 7.4 Gültigkeit von Namen

- 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 Variablen in umgebenden Blöcken

### 7.5 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;
```



## 7.5 Globale Variablen (2)

### ■ Probleme mit globalen Variablen

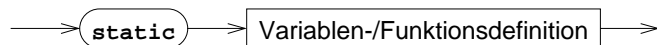
- ◆ Zusammenhang zwischen Daten und darauf operierendem Programmcode geht verloren
- ◆ Funktionen können Variablen ändern, ohne dass der Aufrufer dies erwartet (Seiteneffekte)
- ◆ Programme sind schwer zu pflegen, weil bei Änderungen der Variablen erst alle Programmteile, die sie nutzen gesucht werden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

➔ **globale Variablen möglichst vermeiden**

## 7.6 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! - dort jeweils *kursiv* geschrieben)

## 7.5 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:

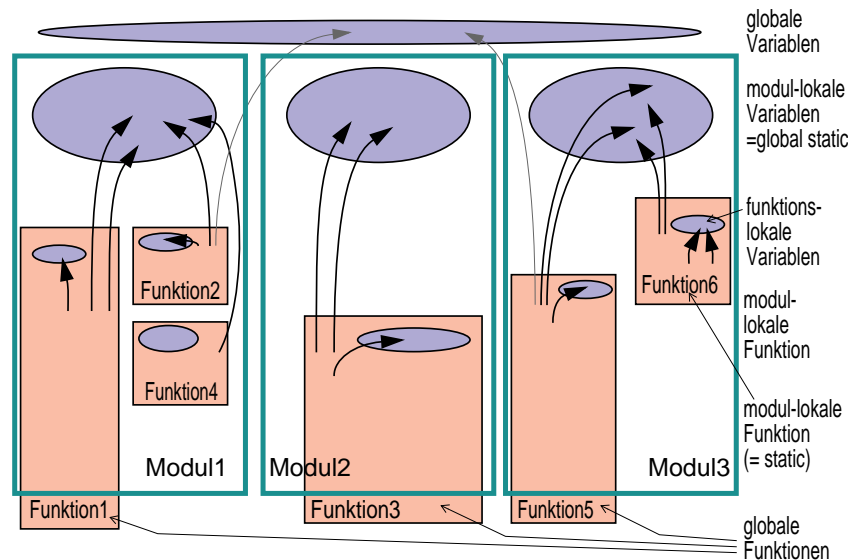
```
double sinus(double);
float power(float, int);
```

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

## 7.7 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

## 7.8 Gültigkeitsbereiche — Übersicht



## 7.9 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)

## 7.9 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

## 7.9 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

# Zeiger(-Variablen)

## 8.1 Einordnung

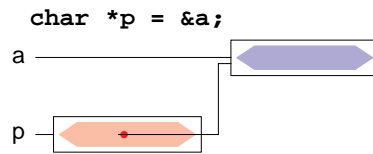
■ **Konstante:**  
Bezeichnung für einen Wert

'a' ≡ 0110 0001

■ **Variable:**  
Bezeichnung eines Datenobjekts



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



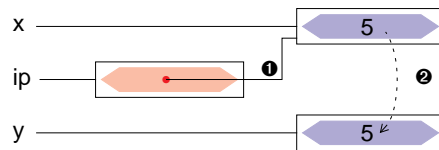
## 8.3 Definition von Zeigervariablen

■ Syntax:

Typ \*Name ;

▲ Beispiele

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



## 8.2 Überblick

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

## 8.4 Adressoperatoren

▲ Adressoperator &

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

▲ Verweisoperator \*

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

### 8.5 Zeiger als Funktionsargumente (2)

■ Beispiel:

```

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

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

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

## 8.6 Zeiger auf Strukturen

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

```
struct person stud1;
struct person *pstud;
pstud = &stud1;          /* => pstud -> stud1 */
```

- Besondere Bedeutung zum Aufbau verketteter Strukturen

## 8.6 Zeiger auf Strukturen (2)

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

```
➔ (*pstud).alter = 21;    unleserlich!
```


- Syntaktische Verschönerung

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

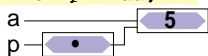
## 8.7 Zusammenfassung

- Variable
 


```
int a;
```


- Zeiger
 


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


- Struktur
 

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


- Zeiger auf Struktur
 

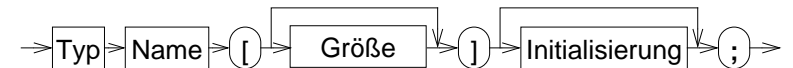
```
struct s *sp = &s1;
```



## Felder

### 9.1 Eindimensionale Felder

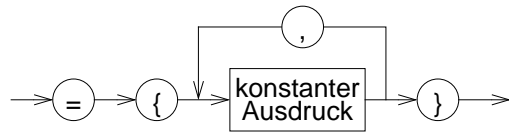
- eine Reihe von Daten desselben Typs kann zu einem **Feld** zusammengefasst werden
- bei der Definition wird die Größe des Felds angegeben
  - Größe muss eine Konstante sein
  - ab C99 bei lokalen Feldern auch zur Laufzeit berechnete Werte zulässig
- der Zugriff auf die Elemente erfolgt durch **Indizierung**,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



- Beispiele:

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

### 9.2 Initialisierung eines Feldes



- Ein Feld kann durch eine Liste von konstanten Ausdrücken, die durch Komma getrennt sind, initialisiert werden

```
int prim[4] = {2, 3, 5, 7};
char name[5] = {'O', 't', 't', 'o', '\0'};
```

- wird die explizite Felddimensionierung weggelassen, so bestimmt die Zahl der Initialisierungskonstanten die Feldgröße

```
int prim[] = {2, 3, 5, 7};
char name[] = {'O', 't', 't', 'o', '\0'};
```

- werden zu wenig Initialisierungskonstanten angegeben, so werden die restlichen Elemente mit 0 initialisiert

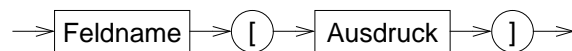
### 9.3 Initialisierung eines Feldes (2)

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

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

### 9.4 Zugriffe auf Feldelemente

- Indizierung:



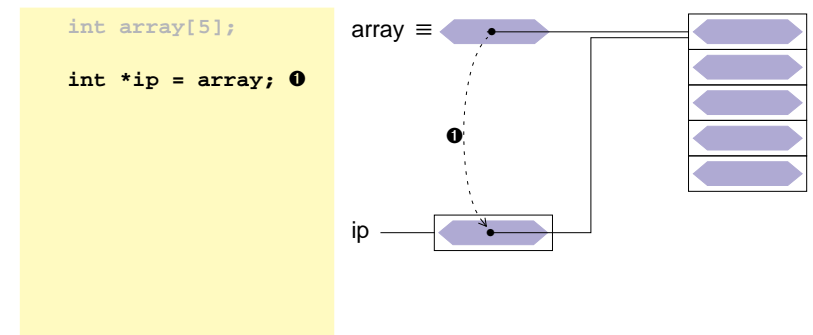
wobei:  $0 \leq \text{Wert}(\text{Ausdruck}) < \text{Feldgröße}$

- Beispiele:

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

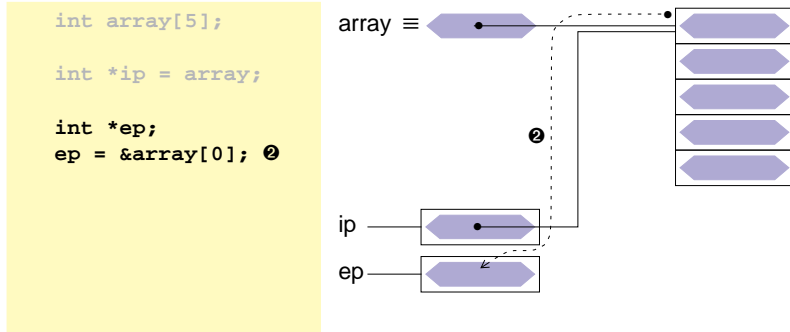
### Zeiger und Felder

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



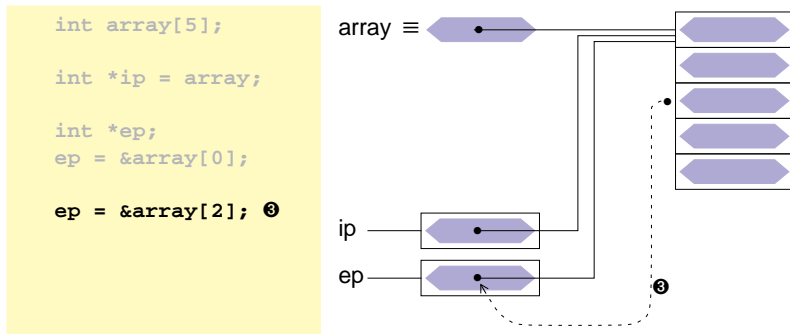
## Zeiger und Felder

- 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:



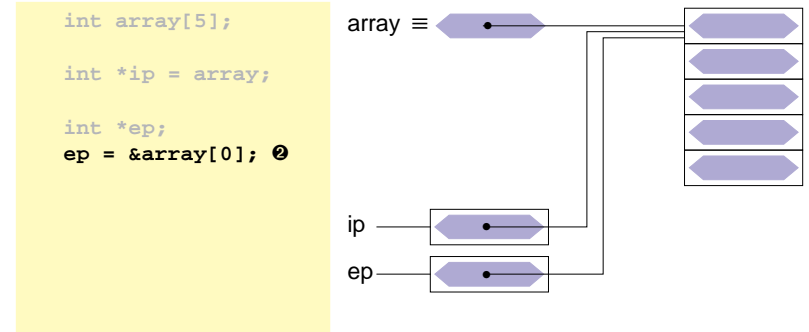
## Zeiger und Felder

- 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:



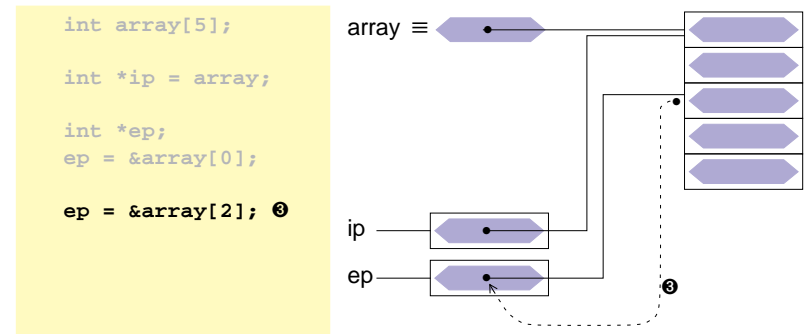
## Zeiger und Felder

- 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:



## 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:





## Zeiger und Felder

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

```
int array[5];

int *ip = array;

int *ep;
ep = &array[0];

ep = &array[2];

*ep = 1; ④
```

## Zeiger und Felder

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

```
int array[5];

int *ip = array; ①

int *ep;
ep = &array[0]; ②

ep = &array[2]; ③

*ep = 1; ④
```

### 10.1 Arithmetik mit Adressen

- ++ -Operator: Inkrement = nächstes Objekt

```
int array[3];
int *ip = array; ①

ip++; ②
ip++; ③
```

- -- -Operator: Dekrement = vorheriges Objekt

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

Dabei wird immer die Größe des Objekttyps berücksichtigt!

```
int array[5];
ip = array; ①

ip = ip+3; ②
```

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

### 10.2 Zeigerarithmetik und Felder

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

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

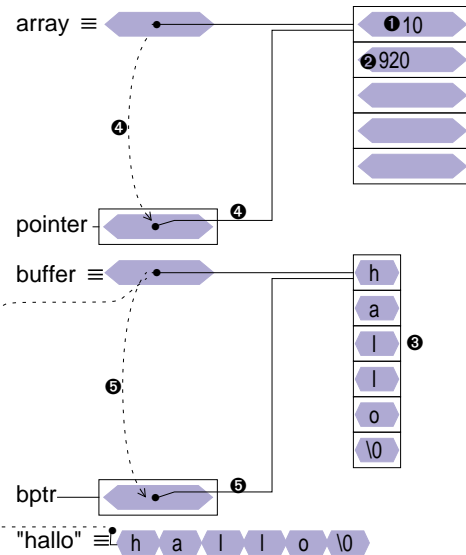
/* Folgende Zuweisungen sind äquivalent */
array[i] = 1;
ip[i] = 1;
*(ip+i) = 1; /* Vorrang! */
*(array+i) = 1;

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

### 10.2 Zeigerarithmetik und Felder

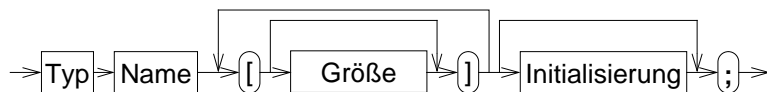
```
int array[5];
int *pointer;
char buffer[6];
char *bptr;
```

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



### 10.3 Mehrdimensionale Felder

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



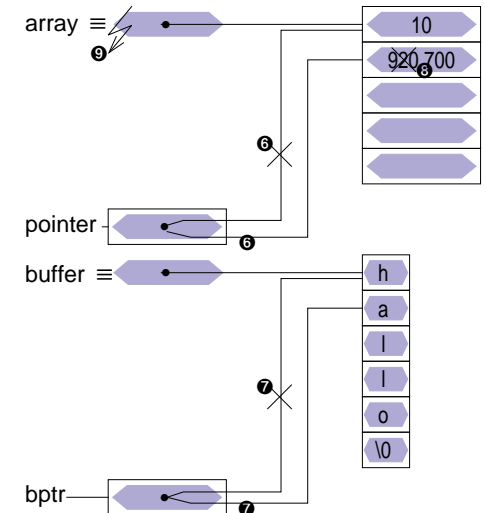
- Beispiel: `int matrix[4][4];`
- Realisierung:
  - in der internen Speicherung werden die Feldelemente zeilenweise hintereinander im Speicher abgelegt
  - Feldefinition: `int f[2][2];`  
 Ablage der Elemente: `f[0][0], f[0][1], f[1][0], f[1][1]`  
 f ist ein Zeiger auf `f[0][0]`

### 10.2 Zeigerarithmetik und Felder

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

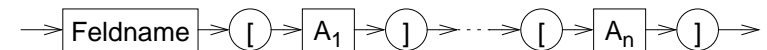
```
1 array[0] = 10;
2 array[1] = 920;
3 strcpy(buffer, "hallo");
4 pointer = array;
5 bptr = buffer;
```

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



### 10.4 Zugriffe auf Feldelemente bei mehrdim. Feldern

- Indizierung:



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

- Beispiel:

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

◆ ist äquivalent zu:

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

## 10.5 Initialisierung eines mehrdimensionalen Feldes

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

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

## Dynamische Speicherverwaltung

- Felder können (mit einer Ausnahme im C99-Standard) nur mit statischer Größe definiert werden
- Wird die Größe eines Feldes erst zur Laufzeit des Programm bekannt, kann der benötigte Speicherbereich dynamisch vom Betriebssystem angefordert werden: Funktion `malloc`
  - Ergebnis: Zeiger auf den Anfang des Speicherbereichs
  - Zeiger kann danach wie ein Feld verwendet werden ( `[]`-Operator)
- `void *malloc(size_t size)`

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

Annotations: `(int *)` is labeled "cast-Operator", `sizeof(int)` is labeled "sizeof-Operator".

## Dynamische Speicherverwaltung (2)

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

### `void free(void *ptr)`

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

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

## Explizite Typumwandlung — Cast-Operator

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

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

Diagram: `i * f` is circled. An arrow points from the circle to `float`, and another arrow points from the circle to `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));
```

Annotations: `(int *)` is labeled "cast-Operator macht daraus den Typ (int \*)", `malloc(groesse * sizeof(int))` is labeled "malloc liefert Ergebnis vom Typ (void \*)".

## sizeof-Operator

- In manchen Fällen ist es notwendig, die Größe (in Byte) einer Variablen oder Struktur zu ermitteln

► z. B. zum Anfordern von Speicher für ein Feld (→ malloc)

- Syntax:

`sizeof x` liefert die Größe des Objekts `x` in Bytes  
`sizeof (Typ)` liefert die Größe eines Objekts vom Typ `Typ` in Bytes

- Das Ergebnis ist vom Typ `size_t` (≡ `int`)  
 (`#include <stddef.h>!`)

- Beispiel:

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

## 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

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

## Eindimensionale Felder als Funktionsparameter (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

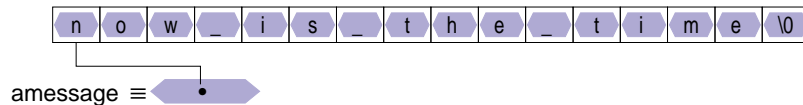
- als aktueller Parameter beim Funktionsaufruf wird einfach der Feldname angegeben

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

## Zeiger, Felder und Zeichenketten (2)

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

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

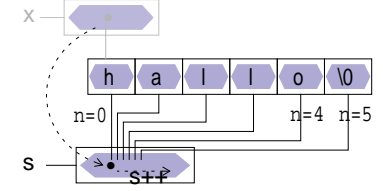


## Zeiger, Felder und Zeichenketten

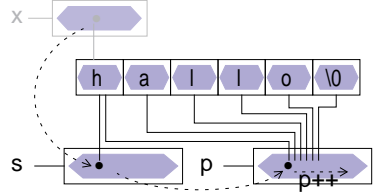
- Zeichenketten sind Felder von Einzelzeichen (**char**), die in der internen Darstellung durch ein '\0'-Zeichen abgeschlossen sind

- 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);
}
```



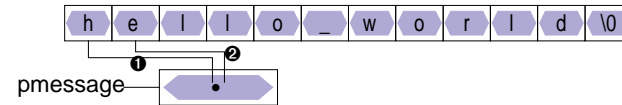
```
/* 2. Version */
int strlen(const char *s)
{
    char *p = s;
    while (*p != '\0')
        p++;
    return(p-s);
}
```



## Zeiger, Felder und Zeichenketten (3)

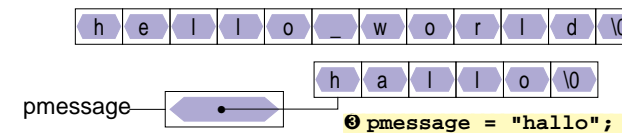
- wird eine Zeichenkette zur Initialisierung eines char-Zeigers verwendet, ist der Zeiger eine Variable, die mit der Anfangsadresse der Zeichenkette initialisiert wird

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



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

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

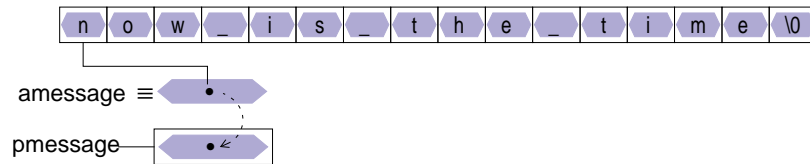


## Zeiger, Felder und Zeichenketten (4)

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

```
pmessage = amessage;
```

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



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

## Zeiger, Felder und Zeichenketten (6)

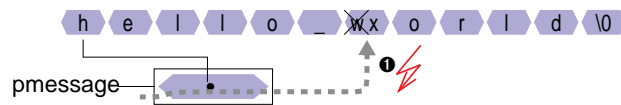
- in ANSI-C können Zeichenketten in nicht-modifizierbaren Speicherbereichen angelegt werden (je nach Compiler)

↳ 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!

## 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++ )  
        ;  
}
```

## Felder von Zeigern

- Auch von Zeigern können Felder gebildet werden

- Deklaration

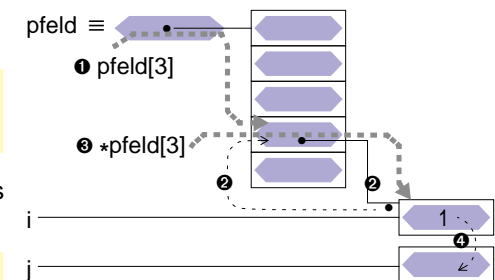
```
int *pfeld[5];  
int i = 1;  
int j;
```

- Zugriffe auf einen Zeiger des Feldes

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

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

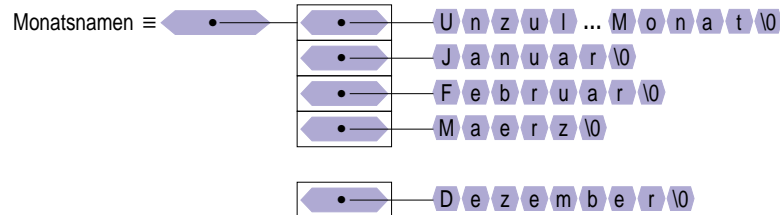
```
j = *pfeld[3];
```



## Felder von Zeigern (2)

- Beispiel: Definition und Initialisierung eines Zeigerfeldes:

```
char *month_name(int n)
{
    static char *Monatsnamen[] = {
        "Unzulaessiger Monat",
        "Januar",
        ...
        "Dezember"
    };
    return ( (n<0 || n>12) ?
        Monatsnamen[0] : Monatsnamen[n] );
}
```



## Argumente aus der Kommandozeile

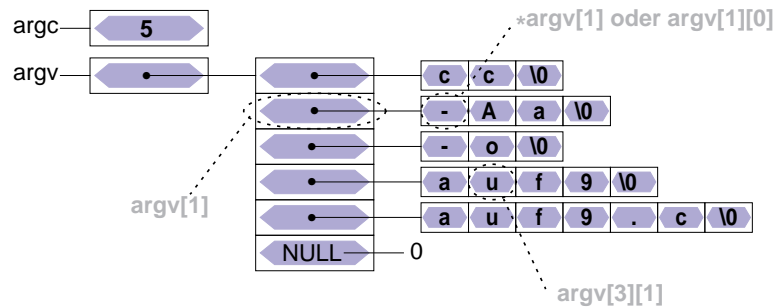
- beim Aufruf eines Kommandos können normalerweise Argumente übergeben werden
- der Zugriff auf diese Argumente wird der Funktion **main()** durch zwei Aufrufparameter ermöglicht:

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

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

### 17.1 Datenaufbau

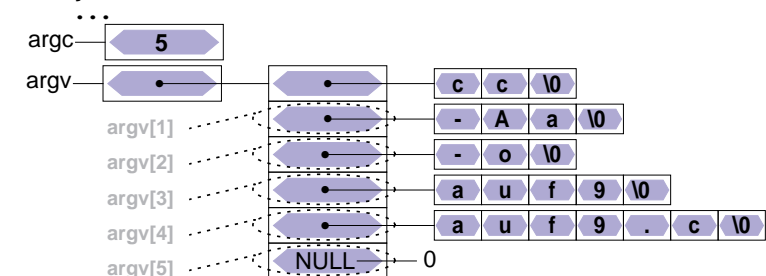
```
Kommando: cc -Aa -o auf9 auf9.c
Datei cc.c:
...
main(int argc, char *argv[]) {
...
}
```



### 17.2 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
```



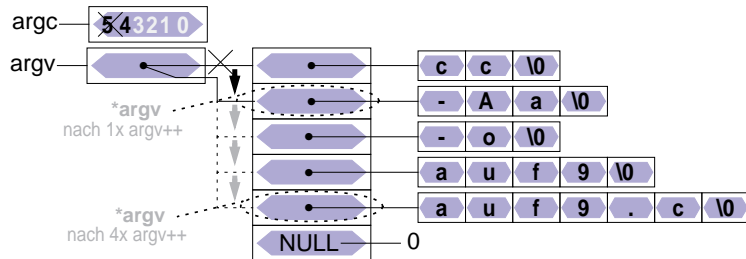
## 17.2 Zugriff — Beispiel: Ausgeben aller Argumente (2)

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

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

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

2. Version

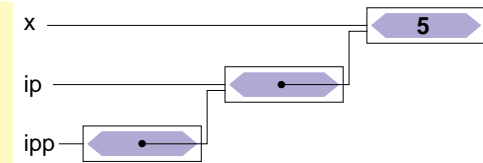


## Zeiger auf Zeiger

- 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

## 19.1 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!)

- 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



### 19.2 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);
}
```

### 19.4 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);
```

### 19.3 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';
    }
}
```

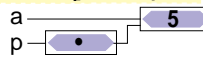
### 19.5 Zusammenfassung

- Variable
 

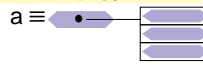
```
int a;
```


- Zeiger
 

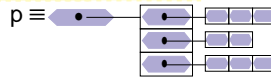
```
int *p = &a;
```


- Feld
 

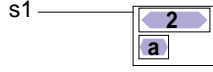
```
int a[3];
```


- Feld von Zeigern
 

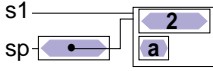
```
int *p[3];
```


- Struktur
 

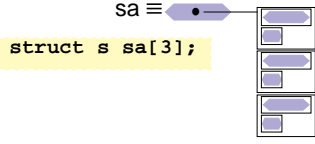
```
struct s{int a; char c;};
struct s s1 = {2, 'a'};
```


- Zeiger auf Struktur
 

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


- Feld von Strukturen
 

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



## Zeiger auf Funktionen

### ■ Datentyp: Zeiger auf Funktion

◆ Variablendef.: `<Rückgabebetyp> (*<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

## 21.1 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

## 21.1 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!

## 21.2 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);
```

|             |                                           |
|-------------|-------------------------------------------|
| <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

## 21.3 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

## 21.2 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) {
        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`

## 21.3 Zeichenweise Lesen und Schreiben (2)

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

```
#include <stdio.h>
// Teil 1: Aufrufargumente auswerten

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);
}
```

## 21.3 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

## 21.4 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

## 21.4 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)

## 21.5 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

## 21.5 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

## 21.6 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);
```

## 21.5 Formatierte Eingabe (3)

|                   |                                                          |
|-------------------|----------------------------------------------------------|
| <code>%d</code>   | int                                                      |
| <code>%hd</code>  | short                                                    |
| <code>%ld</code>  | long int                                                 |
| <code>%lld</code> | long long int                                            |
| <code>%f</code>   | float                                                    |
| <code>%lf</code>  | double                                                   |
| <code>%Lf</code>  | long double                                              |
|                   | analog auch <code>%e</code> oder <code>%g</code>         |
| <code>%c</code>   | char                                                     |
| <code>%s</code>   | String, wird automatisch mit <code>'\0'</code> 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"
```