# 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





# 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

# 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`**





# 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

# 3.1 Primitive Datentypen in C

- Ganzzahlen/Zeichen: `char`, `short`, `int`, `long`, `long long`
  - ➤ Wertebereich ist compiler-/prozessorabhängig
    es gilt: char ≤ short ≤ int ≤ long ≤ 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: ∅
  - ➤ 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`





# 3.2 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 _

## 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
  - Beispiele

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





## 3.2 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

# 3.3 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

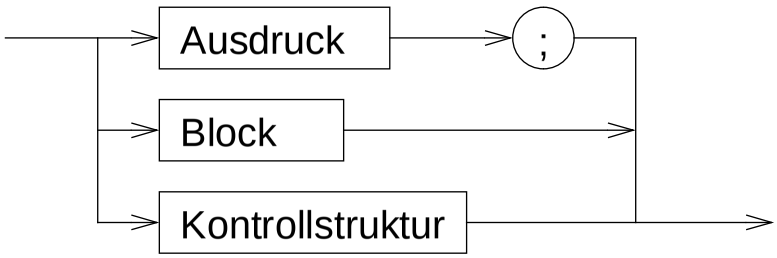
```
p1.alter = 20;
```





# Anweisungen

Anweisung:




## 4.1 Ausdrücke - Beispiele

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

# 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 */
    }
}
```

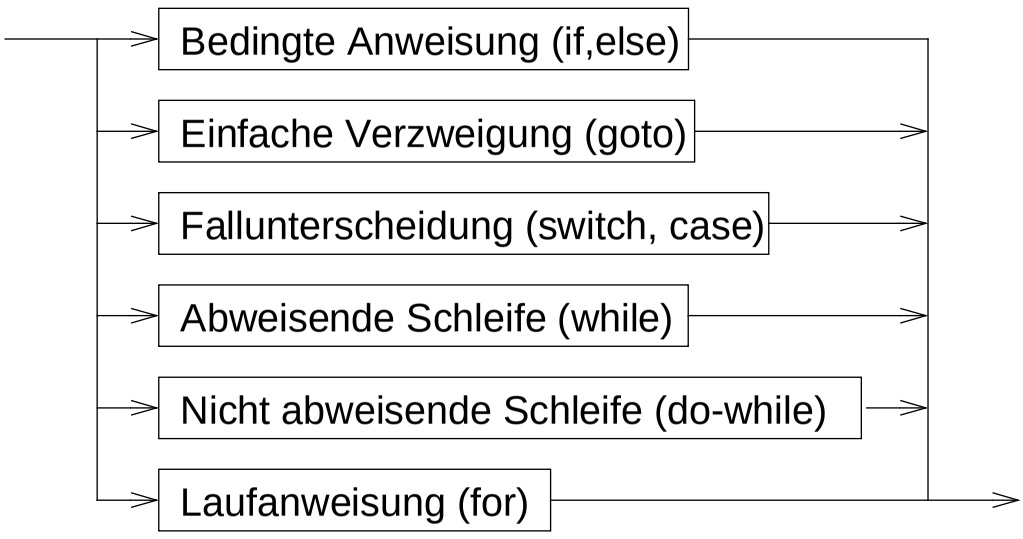




# 4.3 Kontrollstrukturen

- 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





# 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

# 5.2 Beispiel Sinusberechnung

```c
#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);
}
```

```c
int main()
{
     double wert;

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

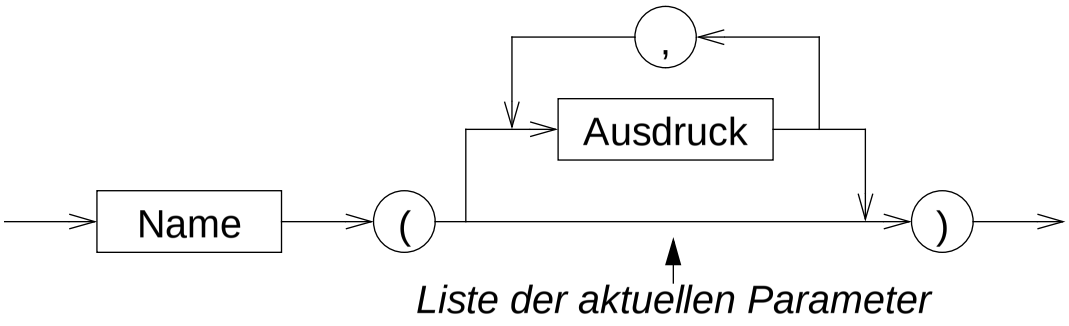
- beliebige Verwendung von **`sinus`** in Ausdrücken:

```c
y = exp(tau*t) * sinus(f*t);
```





# 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) );
}
```





# 5.4 Regeln (2)

- Funktionen müssen **deklariert** sein, bevor sie aufgerufen werden
  - = Rückgabetyp 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**

# 5.5 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);
```





# 5.6 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





# 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 |

# 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
```





# 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!)

# Programmstruktur & Module

## 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



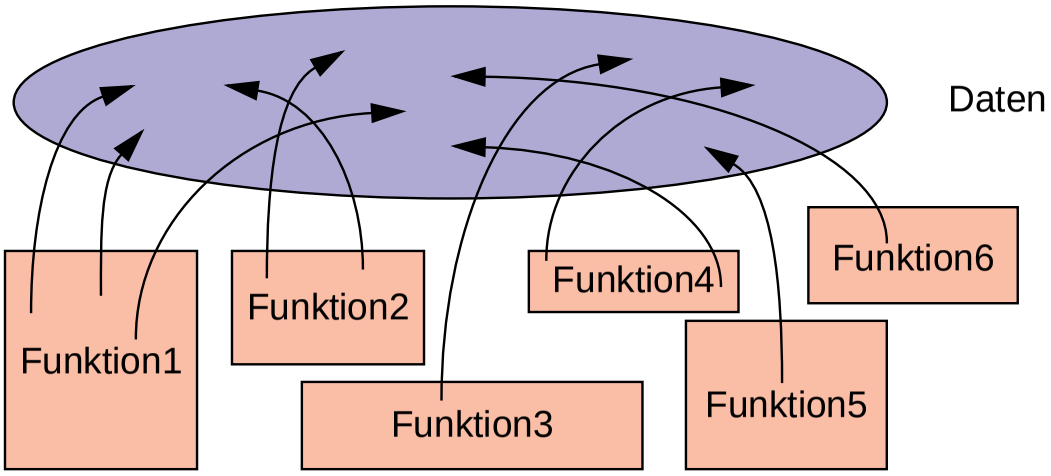


## 7.2 Top-down Entwurf

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

# 7.2 Top-down Entwurf (2)

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



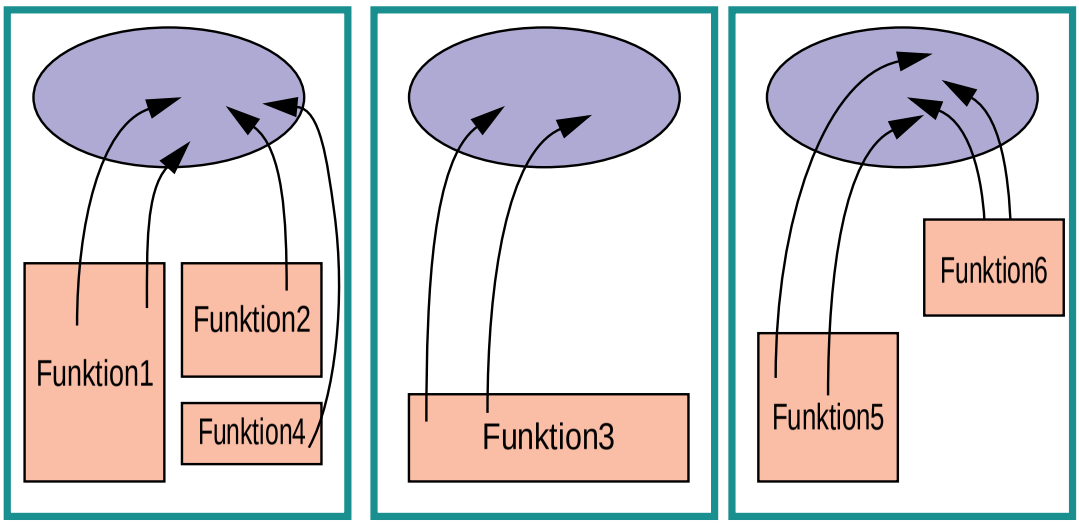





# 7.2 Top-down Entwurf (3) — Modul-Bildung

- 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 Varibalen 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**





# 7.5 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

# 7.6 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
  - ➤ 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)

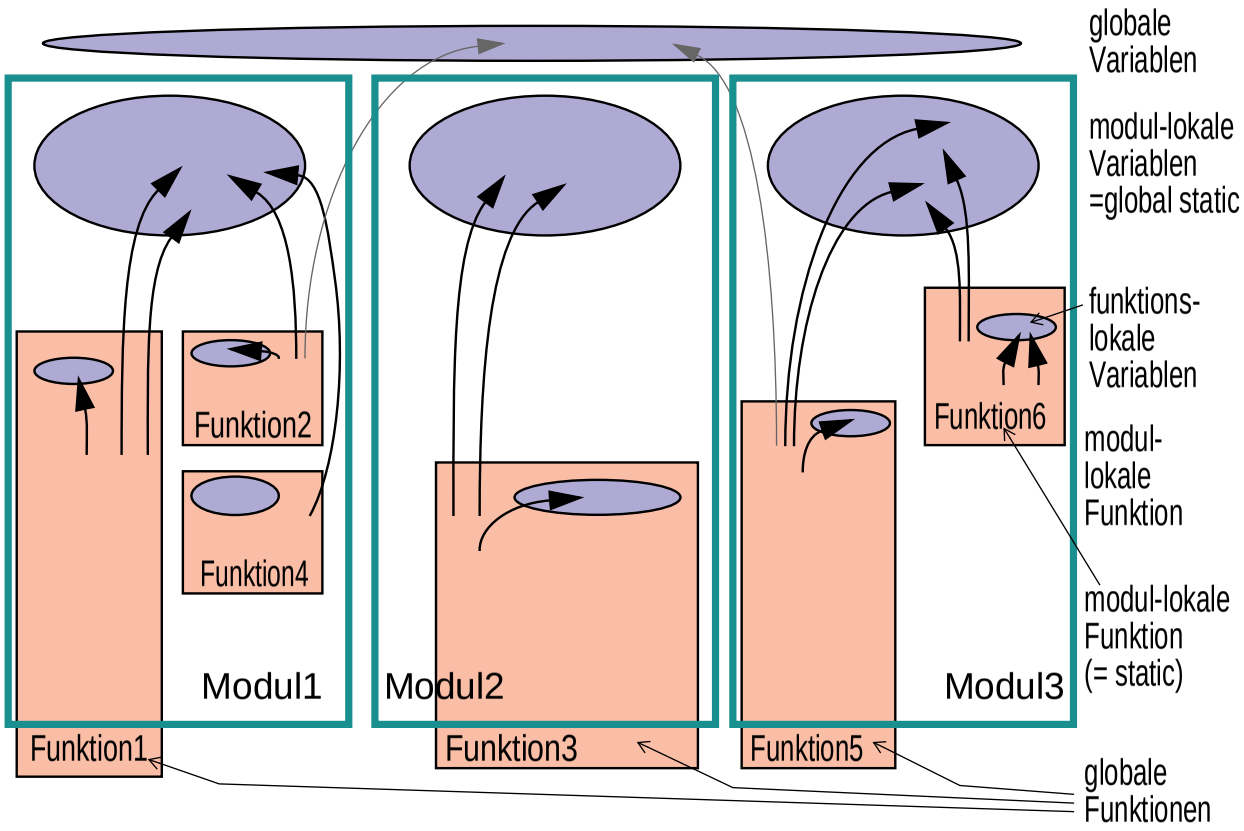




# 7.7 Lokale Variablen

- 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

- 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 (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 (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