

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
- ◆ 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.

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-Modifizier 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

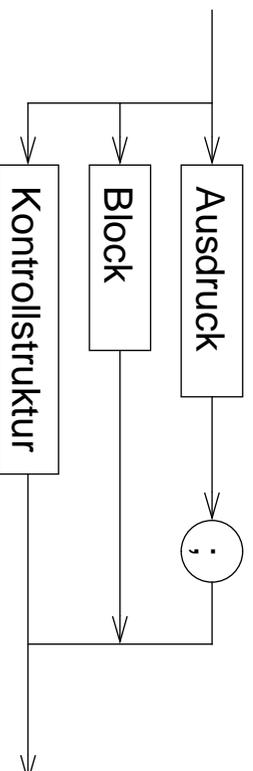
```
struct person p1;
```

- 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

```

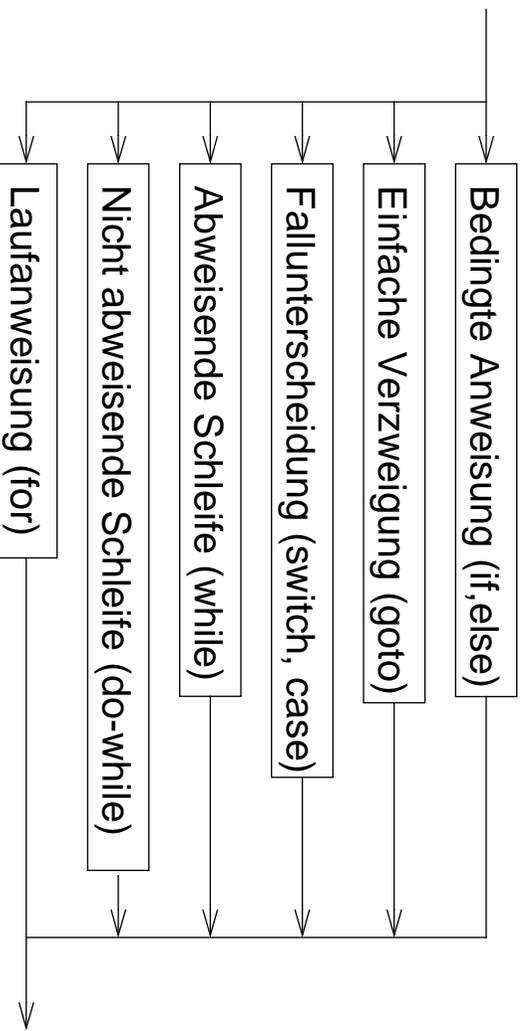
main()
{
    int x, y, z;
    x = 1;
    {
        int a, b, c;
        a = x+1;
        {
            int a, x;
            x = 2;
            a = 3;
        }
        /* a: 2, x: 1 */
    }
}

```

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

```
#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);
}
```

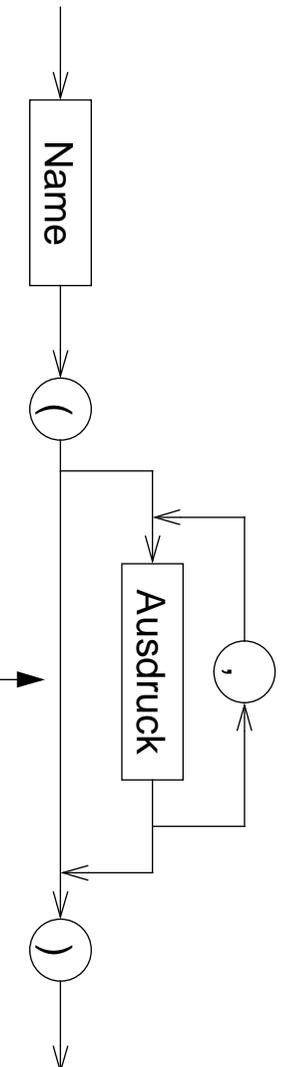
```
int main()
{
    double wert;

    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);
```

5.3 Funktionsaufruf



Liste der aktuellen Parameter

- 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
 - = 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`
 - **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("%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

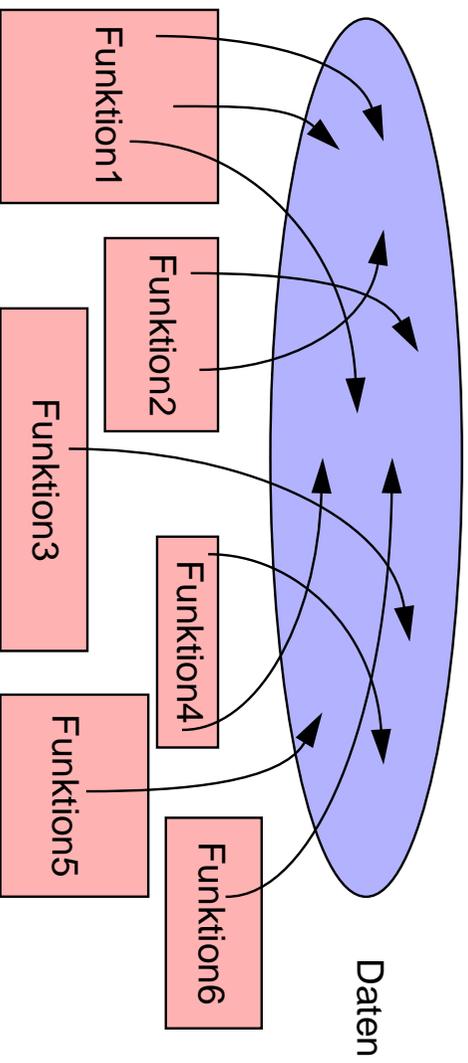
- Grundsätzliche Überlegungen über die Struktur eines Programms vor Beginn der Programmierung
- Verschiedene Design-Methoden
 - ◆ Top-down Entwurf / Prozedurale Programmierung
 - traditionelle Methode
 - bis Mitte der 80er Jahre fast ausschließlich verwendet
 - an Programmiersprachen wie Fortran, Cobol, 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)

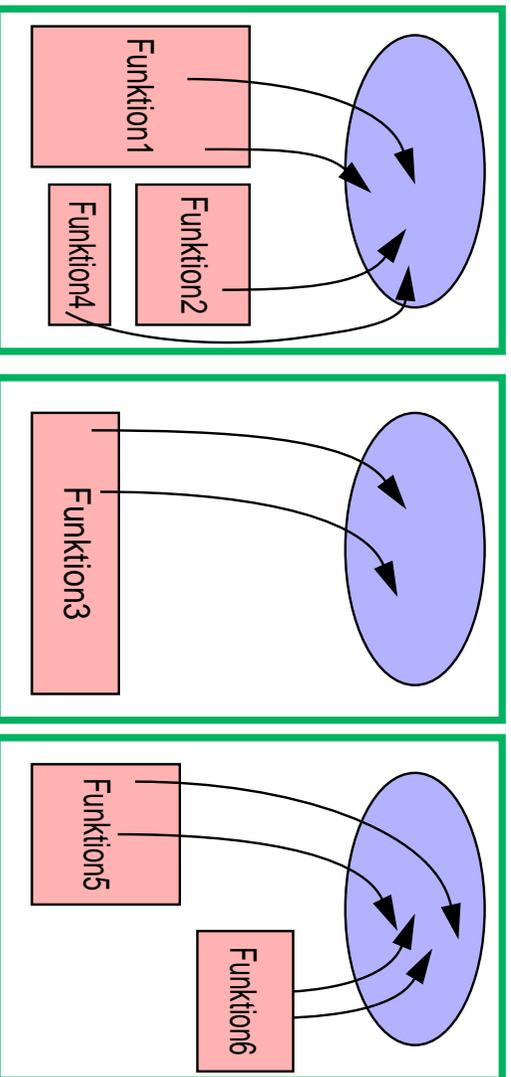
- **Problem:**
Gliederung betrifft nur die Aktivitäten, nicht die Struktur der Daten
- **Gefahr:**
Sehr viele Funktionen arbeiten "wild" auf einer Unmenge schlecht strukturierter Daten



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.o           (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**

7.5 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

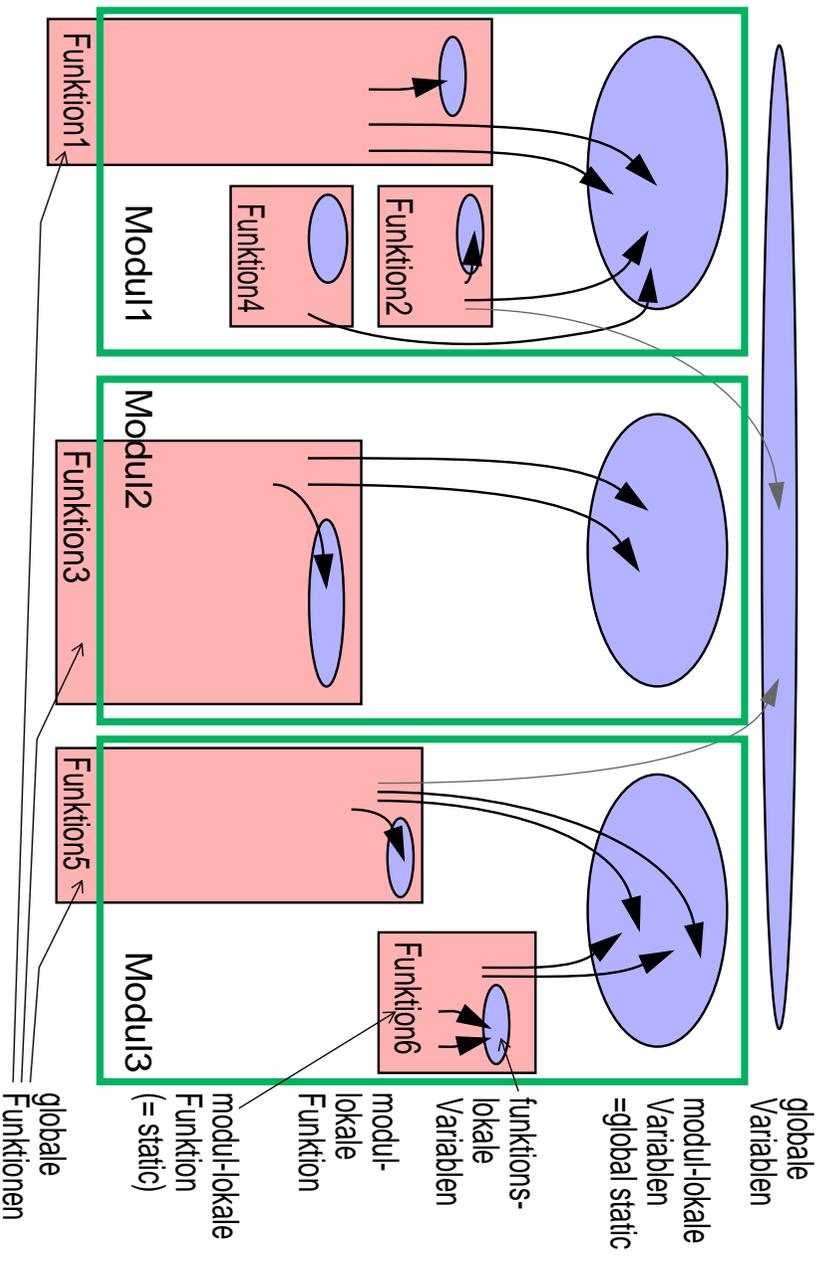
7.6 Einschränkung der Gültigkeit auf ein Modul

- 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