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);
}
```

```
main()
{
    double wert;

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

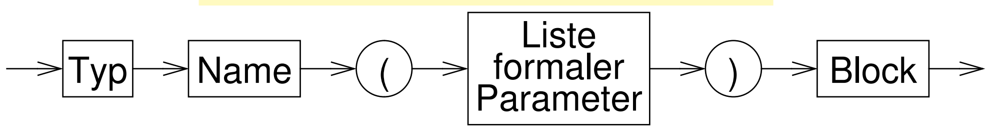
- beliebige Verwendung von **`sinus`** in Ausdrücken:

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

3 Funktionsdefinition

- Schnittstelle (Typ, Name, Parameter) und die Implementierung
  - Beispiel:

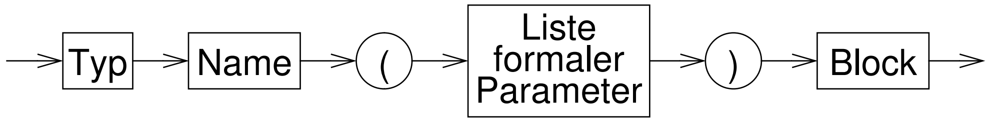
```
int addition ( int a, int b ) {
        int ergebnis;
        ergebnis = a + b;
        return ergebnis;
}
```



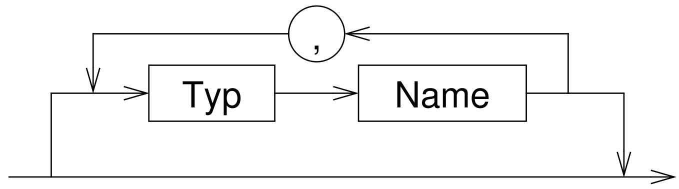
- **Typ**
  - Typ des Werts, der am Ende der Funktion als Wert zurückgegeben wird
  - beliebiger Typ
  - **`void`** = kein Rückgabewert

- **Name**
  - beliebiger Bezeichner, kein Schlüsselwort

3 Funktionsdefinition (2)

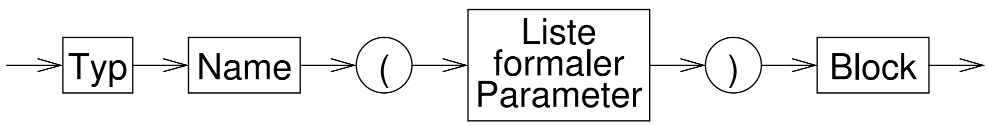


Liste formaler Parameter



- **Typ**: beliebiger Typ
- **Name**:
  beliebiger Bezeichner
- die formalen Parameter stehen innerhalb der Funktion für die Werte, die beim Aufruf an die Funktion übergeben wurden (= **aktuelle Parameter**)
- die formalen Parameter verhalten sich wie Variablen, die im **Funktionsrumpf** definiert sind und mit den aktuellen Parametern vorbelegt werden

3 Funktionsdefinition (3)



Block

- beliebiger Block
- zusätzliche Anweisung

`return ( Ausdruck );` oder `return;`

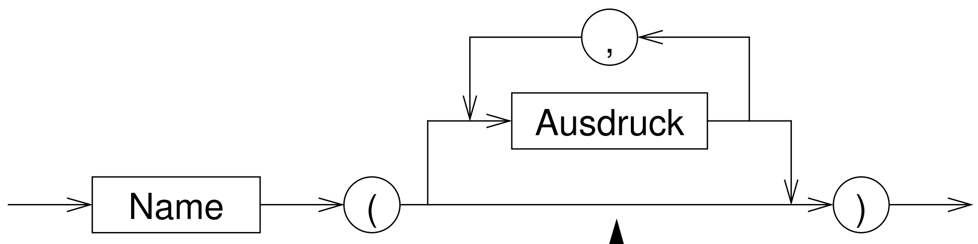
bei **`void`**-Funktionen

  - Rückkehr aus der Funktion: das Programm wird nach dem Funktionsaufruf fortgesetzt
  - der Typ des Ausdrucks muss mit dem Typ der Funktion übereinstimmen
  - die Klammern können auch weggelassen werden

4 Funktionsaufruf

- Aufruf einer Funktion aus dem Ablauf einer anderen Funktion
  - Beispiel:

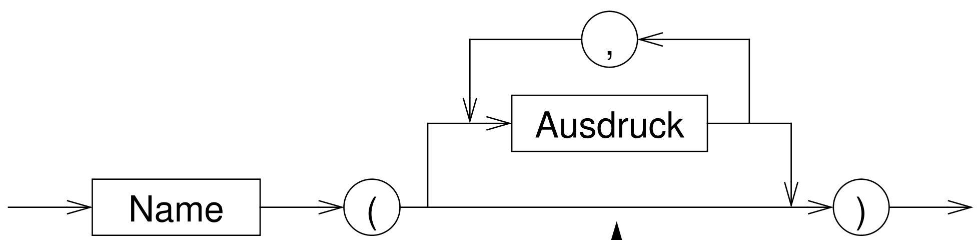
```
int main ( ) {
        int summe;
        summe = addition(3,4);
        ...
```



Liste der aktuellen Parameter

- Jeder Funktionsaufruf ist ein Ausdruck
- `void`-Funktionen können keine Teilausdrücke sein
  - wie Prozeduren in anderen Sprachen (z. B. Pascal)

4 Funktionsaufruf (2)



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 Beispiel

```
float power (float b, int e)
{
    float prod = 1.0;
    int i;

    for (i=1; i <= e; i++)
        prod *= b;
    return(prod);
}
```

```
float x, y;

y = power(2+x,4)+3;
```

≡

```
float x, y, power;
{
  float b = 2+x;
  int e = 4;
  float prod = 1.0;
  int i;

  for (i=1; i <= e; i++)
    prod *= b;
  power = prod;
}
y=power+3;
```


6 Regeln

- Funktionen werden global definiert
  - ➥ keine lokalen Funktionen/Prozeduren wie z. B. in Pascal
- **`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)

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

6 Regeln (2)

- Funktionen müssen **deklariert** sein, bevor sie aufgerufen werden
  - = Rückgabetyp und Parametertypen müssen dem Compiler 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**

6 Regeln (2)

- Funktionsdeklaration
  - ◆ soll eine Funktion vor ihrer Definition verwendet werden, kann sie durch eine **Deklaration** bekannt gemacht werden
  - ◆ Syntax:

    Typ Name (Liste formaler Parameter) ;

    - ➤ Parameternamen können weggelassen werden, die Parametertypen müssen aber angegeben werden!
  - ◆ Beispiel:

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

7 Funktionsdeklarationen — Beispiel

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

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

main()
{
     double wert;

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

```
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);
}
```


8 Parameterübergabe an Funktionen

- allgemein in Programmiersprachen vor allem zwei Varianten:
  - ➤ call by value
  - ➤ call by reference

call by value

- Normalfall in C
- 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

8 Parameterübergabe an Funktionen (2)

call by reference

- In C nur indirekt mit Hilfe von Zeigern realisierbar
- Der Übergabeparameter ist eine Variable und die aufgerufene Funktion erhält die Speicheradresse dieser Variablen
  - ➥ die Funktion kann den Übergabeparameter durch Zugriff auf den formalen Parameter lesen
  - ➥ wenn die Funktion den Wert des formalen Parameters verändert, ändert sie den Inhalt der Speicherzelle des aktuellen Parameters
  - ➥ auch der Wert der Variablen (aktueller Parameter) beim Aufrufer der Funktion ändert sich dadurch

D.9 Programmstruktur & Module

1 Softwaredesign

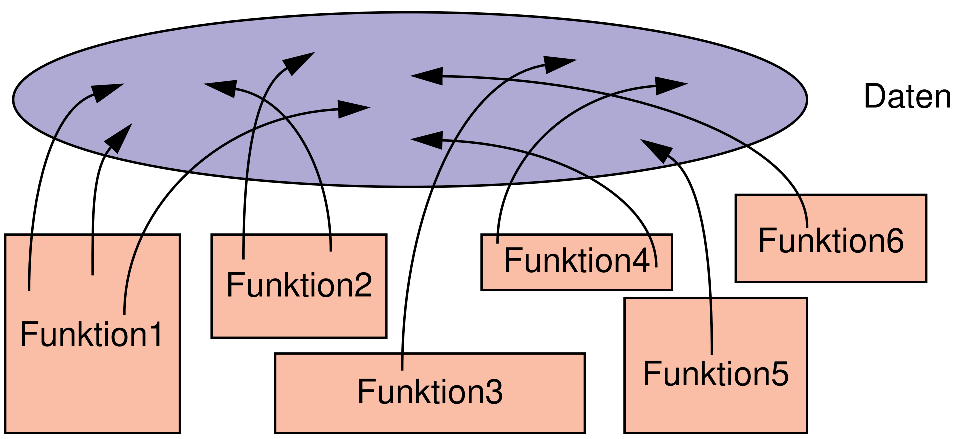
- Grundsätzliche Überlegungen über die Struktur eines Programms **vor** Beginn der Programmierung
- Verschiedene Design-Methoden
  - ◆ Top-down Entwurf / Prozedurale Programmierung
    - ➢ traditionelle Methode
    - ➢ bis Mitte der 80er Jahre fast ausschließlich verwendet
    - ➢ an Programmiersprachen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

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

2 Top-down Entwurf (2)

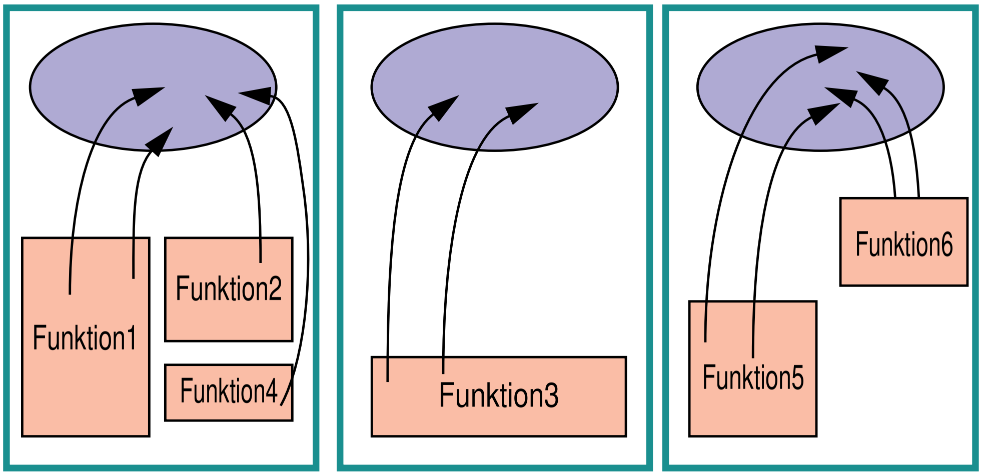
- Problem:
  Gliederung betrifft nur die Aktivitäten, nicht die Struktur der Daten
- Gefahr:
  Sehr viele Funktionen arbeiten "wild" auf einer Unmenge schlecht strukturierter Daten



2 Top-down Entwurf (3) Modul-Bildung

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

  ➥ **Modul**



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 main.c            (erzeugt Datei main.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 main.o f1.o f2.o f3.o f4.c f5.c
```

3 Module in C

!!! **`.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`

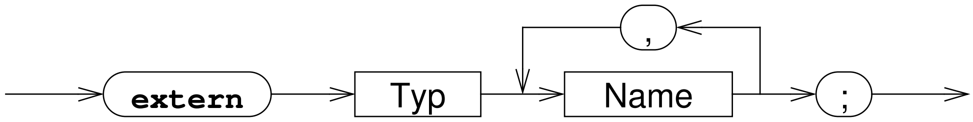
4 Gültigkeit von Namen

- 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

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;
```


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!!!**

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

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

→ (***static***) → [Variablen-/Funktionsdefinition] →

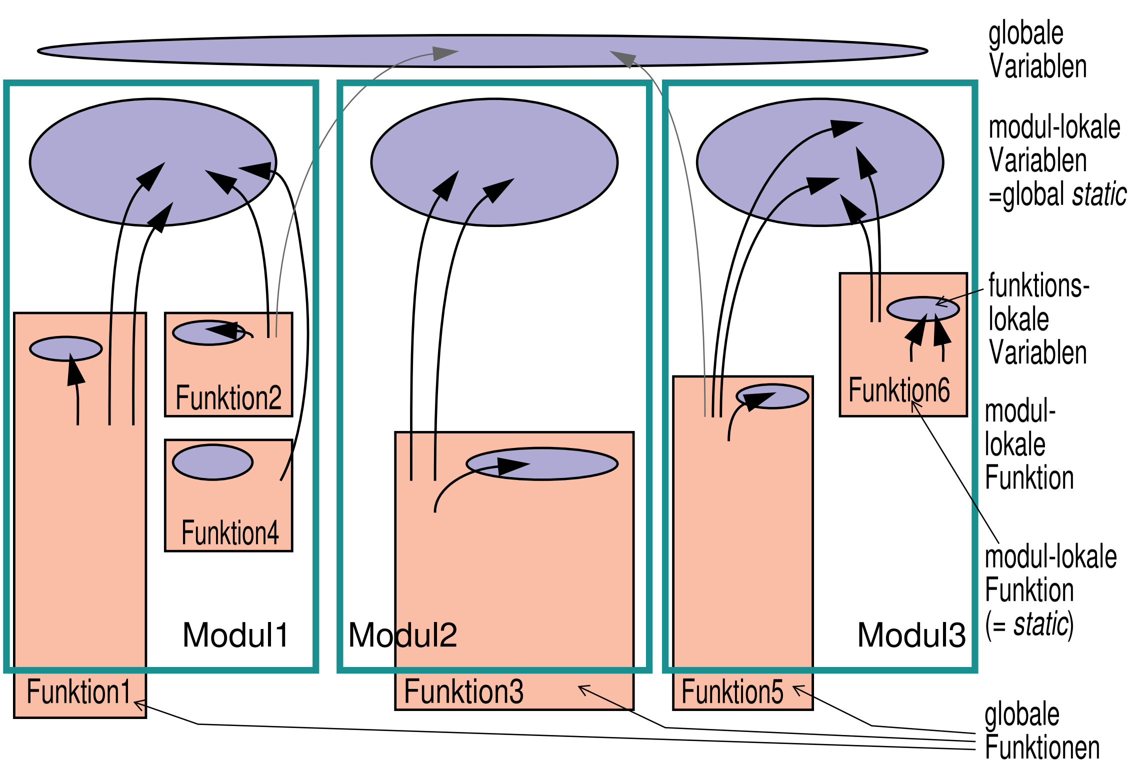
  - ➤ **`extern`**-Deklarationen in anderen Modulen sind nicht möglich
- **`Die`** ***`static`***-Variablen bilden zusammen den Zustand eines Moduls, die Funktionen des Moduls operieren auf diesem Zustand
- Hilfsfunktionen innerhalb eines Moduls, die nur von den Modulfunktionen benötigt werden, sollten 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! - zur Unterschiedung ist das hier beschriebene *static* immer kursiv geschrieben)

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

8 Gültigkeitsbereiche — Übersicht



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

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)

9 Lebensdauer von Variablen (2)

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

10 Getrennte Übersetzung von Programmteilen — Beispiel

- Hauptprogramm (Datei `fplot.c`)

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

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

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

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

10 Getrennte Übersetzung — Beispiel (2)

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

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

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

```
#include "trig.h"

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

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

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


10 Getrennte Übersetzung — Beispiel (3)

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

...

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

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

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