F Funktionen und Programmstruktur

- Funktionen
- Gültigkeitsbereiche und Lebensdauer von Variablen
- Getrennt Übersetzung von Programmteilen
- C-Preprozessor
  - Include-Dateien
  - Makros

F.1 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
  - ➥ gliedern umfangreiche, schwer überblickbare Aufgaben in kleine Komponenten
  - ➥ erlauben die Wiederverwendung von Programmkomponenten
  - ➥ verbergen Implementierungsdetails vor anderen Programmteilen (**Black-Box**-Prinzip)

F.1 Funktionen (2)

➥ Funktionen dienen der Abstraktion

- Name und Parameter abstrahieren
  - ➤ vom tatsächlichen Programmstück
  - ➤ von der Darstellung und Verwendung von Daten
- Verwendung
  - mehrmals benötigte Programmstücke können durch Angabe des Funktionsnamens aufgerufen werden
  - Schrittweise Abstraktion
    (**Top-Down**- und **Bottom-Up**-Entwurf)

F.1 Funktionen (3) — 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);
}
```

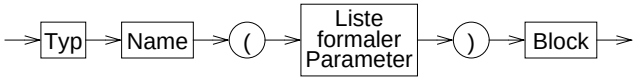
```
main()
{
    double wert;

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

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

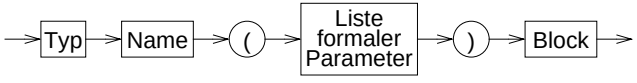
```
y = exp(tau*t) * sinus(f*t);
```

F.2 Funktionsdefinition

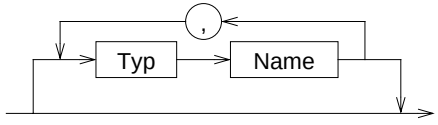


- **Typ**
  - Typ des Werts, der am Ende der Funktion als Wert zurückgegeben wird
  - beliebiger Typ
  - **`void`** = kein Rückgabewert
- **Name**
  - beliebiger Bezeichner, kein Schlüsselwort

F.2 Funktionsdefinition (2)

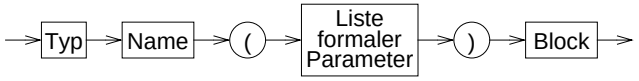


- **Liste formaler Parameter**



  - **Typ**: beliebiger Typ
  - **Name**: beliebiger Bezeichner
  - die formalen Parameter stehen 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

F.2 Funktionsdefinition (3)



- **Block**
  - beliebiger Block
  - zusätzliche Anweisung

```
return ( Ausdruck );
```

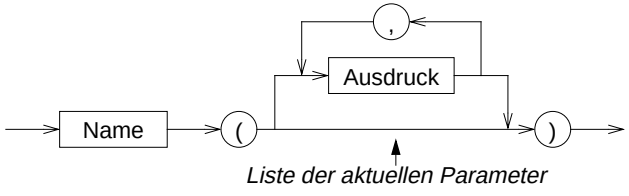
oder

```
return;
```

bei **`void`**-Funktionen

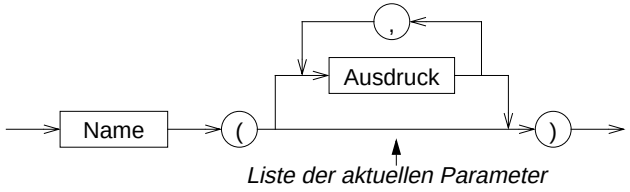
  - ➤ Rückkehr aus der Funktion: das Programm wird nach dem Funktionsaufruf fortgesetzt
  - ➤ der Typ des Ausdrucks muß mit dem Typ der Funktion übereinstimmen
  - ➤ die Klammern können auch weggelassen werden

F.3 Funktionsaufruf



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

F.3 Funktionsaufruf (2)



- 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

F.4 Funktionen — 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;
```


F.5 Funktionen — 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) );
}
```


F.5 Funktionen — 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**

F.5 Funktionen — Regeln (3)

- 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);
    ```


F.6 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);
}
```


F.7 Parameterübergabe an Funktionen

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

1 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

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

F.8 C-Preprozessor

1 Kurzüberblick

- bevor eine C-Quelle dem C-Compiler übergeben wird, wird sie durch einen Makro-Preprozessor bearbeitet
- Anweisungen an den Preprozessor werden durch ein #-Zeichen am Anfang der Zeile gekennzeichnet
- die Syntax von Preprozessoranweisungen ist unabhängig vom Rest der Sprache
- Preprozessoranweisungen werden nicht durch `;` abgeschlossen!
- wichtigste Funktionen:

`#define`	Definition von Makros
`#include`	Einfügen von anderen Dateien

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!)

2 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 Preprozessor im nachfolgenden Text der C-Quelle alle Vorkommen von ***Makroname*** durch ***Ersatztext*** ersetzt
- Beispiel:

```
#define EOF -1
```


F.9 Programmstruktur & Module

1 Softwaredesign

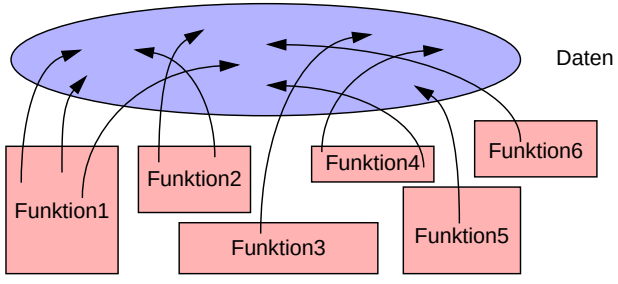
- Grundsätzliche Überlegungen über die Struktur eines Programms **vor** Beginn der Programmierung
- Verschiedene Design-Methoden
  - ◆ Top-down Entwurf / Prozedurale Programmierung
    - ➤ traditionelle Methode
    - ➤ bis Mitte der 80er Jahre fast ausschließlich verwendet
    - ➤ an Programmiersprachen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

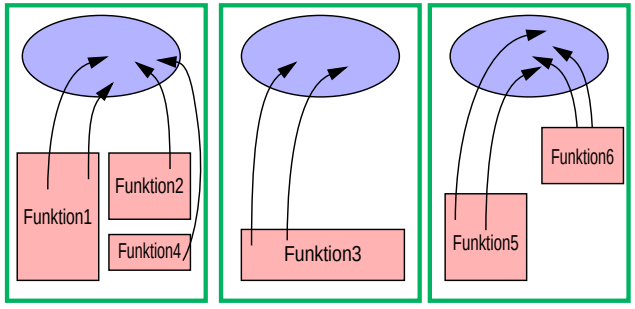
2 Top-down Entwurf (2)

- 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**

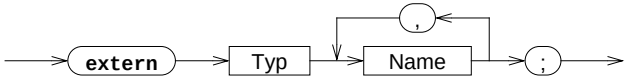
- Bevor eine Funktion aus einem anderen Modul aufgerufen werden kann, muß sie **deklariert** werden
  - ➤ Parameter und Rückgabewerte müssen bekannt gemacht werden
- Makrodefinitionen und Deklarationen, die in mehreren Quelldateien eines Programms benötigt werden, werden zu ***Header*-Dateien** zusammengefaßt
  - ◆ *Header*-Dateien werden mit der **`#include`**–Anweisung des Preprozessors in C-Quelldateien einkopiert
  - ◆ der Name einer *Header*-Datei endet immer auf **`.h`**

F.10 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

1 Gültigkeit im gesamten Programm Globale Variablen

- 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;
```


1 Gültigkeit im gesamten Programm 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!!!**

1 Gültigkeit im gesamten Programm Globale Funktionen

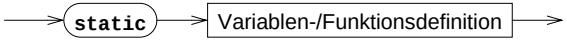
- Funktionen sind generell global
  (es sei denn, die Erreichbarkeit wird explizit auf das Modul begrenzt)
- Funktionen aus anderen Modulen müssen ebenfalls vor dem ersten Aufruf **deklariert** werden
  (= Typ, Name und Parametertypen bekanntmachen)
- Das Schlüsselwort **`extern`** ist bei einer Funktionsdeklaration 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

2 Gültigkeit nur im 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



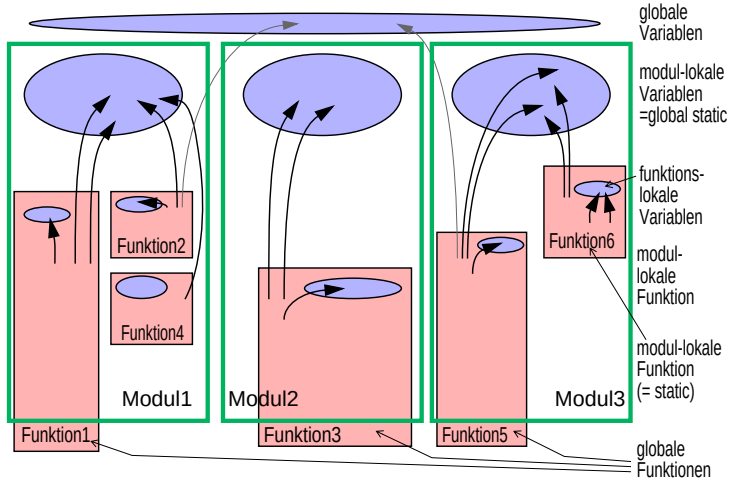
  - ➤ **`extern`**-Deklarationen in anderen Modulen sind nicht möglich
- **`Die static`**-Variablen bilden zusammen den Zustand eines Moduls, die Funktionen des Moduls operieren auf diesem Zustand
- Hilfsfunktionen innerhalb eines Moduls, die nur von den Modulfunktionen benötigt werden, sollten immer static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

3 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

4 Übersicht



F.11 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

1 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)

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!)
  - ➤ wird eine static-Variable nicht explizit initialisiert, ist sie automatisch mit 0 vorbelegt

F.12 Werteaustausch zwischen Funktionen

Mechanismus	Aufrufer → Funktion	Funktion → Aufrufer
Parameter	ja	mit Hilfe von Zeigern
Funktionswert	nein	ja
globale Variablen	ja	ja

- Verwendung globaler Variablen?
  - ◆ Variablen, die von vielen Funktionen verwendet werden und/oder oft als Parameter übergeben werden müßten
    - ➤ Menge der Funktionen muß überschaubar bleiben
      → Zugriff auf Modul begrenzen (globale static-Variablen)
    - ➤ **sonst sehr schlechter Programmierstil**
  - ◆ Variablen, die keiner Funktion als Variable oder Parameter fest zugeordnet werden können
    - ➤ Modul suchen, dem die Variable zugeordnet werden kann!!!
  - ◆ Variablen, deren Lebensdauer nicht beschränkt sein darf, die aber nicht in **`main()`** deklariert werden sollen
    - ➤ in zugehöriger Funktion lokal-static defininieren

F.13 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;;
        ...
        }
}
```


F.13…

- 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));
}
```

...

F.13…

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

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


F.13…

- 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);
}
```