Einführung in die Programmierung für Physiker

Die Programmiersprache C – Programmstruktur

Marc Wagner

Institut für theoretische Physik
Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main

WS 2013/14

Funktionen

- Um eine umfangreiche Programmieraufgabe schnell, fehlerfrei und elegant zu lösen, empfiehlt es sich, die Gesamtaufgabe in kleine Teilaufgaben zu zerlegen.
- Die Teilaufgaben werden dann in separaten (idealer Weise kurzen) Funktionen implementiert:
  - **Das Aufsplitten in einzelne Funktionen macht den Programmcode übersichtlich und erhöht dessen Lesbarkeit.**
  - **Die Funktionen können isoliert getestet werden.**
  - **Die Funktionen können unmittelbar in anderen Programmen verwendet werden.**
- Funktionen können voneinander abhängen, d.h. sie können sich gegenseitig aufrufen oder sogar sich selbst aufrufen (**Rekursion**).
- Eine Funktionsdefinition hat folgende Form:
  `type function_name(type1 para1, type2 para2, ...){...}`.
  - *function_name*: Funktionsname (Einschränkungen wie bei Variablennamen).
  - *type*: Datentyp des Rückgabewerts; dieser wird mit **`return`** zurückgeliefert; soll eine Funktion keinen Wert zurückgeben, wird dies mit **`void`** gekennzeichnet.

- *type1 para1*, *type2 para2*, ...: Datentyp und Variablenname des ersten, zweiten, ... Parameters (zur Erinnerung: bei **C** werden keine Variablen übergeben, sondern lediglich deren Werte kopiert [**call by value**]); besitzt eine Funktion keine Parameter, wird dies mit **void** gekennzeichnet.

```
1.  void f(void)
2.  {
3.    ...
4.  }
5.
6.  int g1(void)
7.  {
8.    ...
9.    return 123;
10. }
11.
12. int g2(void)
13. {
14.   int i;
15.   ...
16.   return i
17. }
18.
19. double h(double x, double y)
20. {
21.   return x+y;
```

```
22. }
```

- **Beispiel:** Berechnung des Mittelwerts und des statistischen Fehlers einer Messreihe ...

```
1. #include<math.h>
2. #include<stdio.h>
3.
4. // ********************
5.
6. // Berechnet den Mittelwert.
7. void mean(int n, double *x, double *x_average)
8. {
9.   int i1;
10.
11.   *x_average = 0.0;
12.
13.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
14.     *x_average += x[i1];
15.
16.   *x_average /= (double)n;
17. }
18.
19. // ********************
20.
21. // Berechnet den Mittelwert und den statistischen Fehler.
22. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta)
23. {
```

```
24.   int i1;
25.
26.   // Verwende existierende Funktion zur Berechnung des Mittelwerts.
27.   mean(n, x, x_average);
28.
29.   *x_delta = 0.0;
30.
31.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
32.     *x_delta += pow(x[i1] - *x_average, 2.0);
33.
34.   *x_delta = sqrt(*x_delta / (double)(n*(n-1)));
35. }
36.
37. // ********************
38.
39. int main(void)
40. {
41.   // Einige Messwerte.
42.   const int n = 5;
43.   double y[n] = {2.0, 4.0, 5.0, 1.0, 3.0};
44.
45.   // Mittelwert und statistischen Fehler berechnen.
46.   double y_average, y_delta;
47.   mean_and_error(n, y, &y_average, &y_delta);
48.   printf("y = %.3lf +/- %3lf\n", y_average, y_delta);
49. }
```

```
y = 3.000 +/- 0.707107
```

Aufteilen des Programmcodes auf mehrere Dateien

- Bei umfangreichen Programmen ist es häufig übersichtlicher, den Programmcode auf mehrere Dateien aufzuteilen.
- **Beispiel:** Berechnung des Mittelwerts und des statistischen Fehlers einer Messreihe (auf zwei Dateien aufgeteilt) ...
  - Datei `error_analysis.c`:

```c
1. #include<math.h>
2.
3. // *******************
4.
5. // Berechnet den Mittelwert.
6. void mean(int n, double *x, double *x_average)
7. {
8.   int i1;
9.
10.   *x_average = 0.0;
11.
12.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
13.     *x_average += x[i1];
14.
15.   *x_average /= (double)n;
```

```
16. }
17.
18. // *******************
19.
20. // Berechnet den Mittelwert und den statistischen Fehler.
21. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta)
22. {
23.   int i1;
24.
25.   // Verwende existierende Funktion zur Berechnung des Mittelwerts.
26.   mean(n, x, x_average);
27.
28.   *x_delta = 0.0;
29.
30.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
31.     *x_delta += pow(x[i1] - *x_average, 2.0);
32.
33.   *x_delta = sqrt(*x_delta / (double)(n*(n-1)));
34. }
```

- Datei `main.c`:
  - Falls in einer Datei Funktionen verwendet werden, die dort nicht definiert sind, müssen sie zumindest **deklariert** werden; dies geschieht durch Angabe des **Funktionskopfs** (Typ des Rückgabewerts, Funktionsname, Parameterliste) mit abschließendem `;`.

```c
1. #include<stdio.h>
2.
3. // *******************
4.
5. // Funktionsdeklaration.
6. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta);
7.
8. // *******************
9.
10. int main(void)
11. {
12.   // Einige Messwerte.
13.   const int n = 5;
14.   double y[n] = {2.0, 4.0, 5.0, 1.0, 3.0};
15.
16.   // Mittelwert und statistischen Fehler berechnen.
17.   double y_average, y_delta;
18.   mean_and_error(n, y, &y_average, &y_delta);
19.   printf("y = %.3lf +/- %3lf\n", y_average, y_delta);
20. }
```

- Kompilieren und ausführen wie folgt.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog error_analysis.c main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
y = 3.000 +/- 0.707107
```

- Wird die Funktion **`mean_and_error`** in **`main.c`** nicht deklariert, kommt es beim

Kompilieren zu einem Fehler.

```
4. ...
5. // Funktionsdeklaration.
6. // void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta);
7. ...
```

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog error_analysis.c main.c
main.c: In Funktion "int main()":
main.c:18:44: Fehler: "mean_and_error" wurde in diesem Gültigkeitsbereich nicht definiert
```

- Funktionsdeklarationen erlauben außerdem eine beliebige Reihenfolge der Funktionsdefinitionen im Programmcode.
- **Beispiel:** Definition der `main`-Funktion zuerst, dann Definition einer Funktion, die in der `main`-Funktion aufgerufen wird ...

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // *******************
4.
5. // Funktionsdeklaration von f.
6. void f(void);
7.
8. // *******************
9.
10. int main(void)
11. {
12.   f();
```

```
13. }
14.
15. // ********************
16.
17. // Funktionsdefinition von f.
18. void f(void)
19. {
20.   printf("Funktion f ...\n");
21. }
```

```
Funktion f ...
```

Eigene include-Dateien

- Die in anderen Dateien definierten Funktionen alle "von Hand" zu deklarieren, ist oft umständlich.
- Eleganter ist die Verwendung eigener **include-Dateien** (**Header-Dateien**):
  - Typischer Weise wird zu jeder *filename*.c-Datei eine *filename*.h Datei angelegt, in der die Deklarationen aller Funktionen (aber nicht deren Definitionen) enthalten sind.
  - Die include-Datei *filename*.h wird mittels
    #include"*filename*.h"
    in alle .c-Dateien eingebunden, die Funktionen aus *filename*.c verwenden.
    - Der sogenannte **Präprozessor** ersetzt vor dem eigentlichen Kompilieren **#include"*filename*"** bzw. **#include<*filename*>** durch den Inhalt der Datei *filename*.
    - **#include"*filename*"**: Die Datei *filename* wird zunächst im aktuellen Verzeichnis gesucht.
    - **#include<*filename*>**: Die Datei *filename* wird in den Verzeichnissen gesucht, in denen sich die **C**-Standard-include-Dateien befinden.

- **Beispiel:** Berechnung des Mittelwerts und des statistischen Fehlers einer Messreihe (auf drei Dateien aufgeteilt, eine `.h`-Datei, zwei `.c`-Dateien) ...
  - Datei `error_analysis.h`: Die eigentlich interessante Datei für einen Benutzer der Funktionen `mean` und `mean_and_error` ...

```
1. // Berechnet den Mittelwert.
2. void mean(int n, double *x, double *x_average);
3.
4. // Berechnet den Mittelwert und den statistischen Fehler.
5. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta);
```

  - Datei `error_analysis.c`: Der Inhalt dieser Datei ist für einen Benutzer der Funktionen `mean` und `mean_and_error` nur von geringem Interesse ...

```
1. // Einbinden der C-Standard-include-Datei math.h.
2. #include<math.h>
3.
4. // ********************
5.
6. // Berechnet den Mittelwert.
7. void mean(int n, double *x, double *x_average)
8. {
9.   int i1;
10.
11.   *x_average = 0.0;
12.
```

```
13.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
14.     *x_average += x[i1];
15.
16.   *x_average /= (double)n;
17. }
18.
19. // ********************
20.
21. // Berechnet den Mittelwert und den statistischen Fehler.
22. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta)
23. {
24.   int i1;
25.
26.   // Verwende existierende Funktion zur Berechnung des Mittelwerts.
27.   mean(n, x, x_average);
28.
29.   *x_delta = 0.0;
30.
31.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
32.     *x_delta += pow(x[i1] - *x_average, 2.0);
33.
34.   *x_delta = sqrt(*x_delta / (double)(n*(n-1)));
35. }
```

- Datei `main.c`:
  - `#include"error_analysis.h"`

bindet die in **error_analysis.h** enthaltenen Deklarationen an der entsprechenden Stelle in **main.c** ein.

```
1. // Einbinden der C-Standard-include-Datei stdio.h.
2. #include<stdio.h>
3.
4. // Einbinden der Deklaration der Funktion mean_and_error.
5. #include"error_analysis.h"
6.
7. // ********************
8.
9. int main(void)
10. {
11.   // Einige Messwerte.
12.   const int n = 5;
13.   double y[n] = {2.0, 4.0, 5.0, 1.0, 3.0};
14.
15.   // Mittelwert und statistischen Fehler berechnen.
16.   double y_average, y_delta;
17.   mean_and_error(n, y, &y_average, &y_delta);
18.   printf("y = %.3lf +/- %3lf\n", y_average, y_delta);
19. }
```

- Kompilieren und ausführen wie gehabt.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog error_analysis.c main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
y = 3.000 +/- 0.707107
```

Objektdateien

- Häufig ist es zweckmäßig Teile oder einzelne Dateien eines Programms (also einige Funktionen) separat zu kompilieren; das Resultat ist dann kein ausführbares Programm, sondern eine **Objektdatei** (typischer Weise mit Endung `.o`).
- Zu einem späteren Zeitpunkt können dann mehrere Objektdateien zu einem vollständigen ausführbaren Programm verbunden (**gelinkt**) werden.
- Vorteile:
  - Das Kompilieren dauert deutlich länger, als das Linken; es ist daher praktisch, d.h. zeitsparend, fertige, funktionierende Programmteile nicht jedes Mal neu kompilieren zu müssen.
  - Eine Objektdatei kann in mehrere Programme gelinkt werden (praktisch, wenn Programmteile allgemein einsetzbare Funktionen enthalten, z.B. Matrix- und Vektor-Operationen, Nullstellensuche, Mittelwert- und Fehlerberechnung, ...).
- **Beispiel:** Berechnung des Mittelwerts und des statistischen Fehlers einer Messreihe (wie gehabt auf drei Dateien aufgeteilt, eine `.h`-Datei, zwei `.c`-Dateien) ...
  - Datei `error_analysis.h`:

```
1. // Berechnet den Mittelwert.
```

```
2. void mean(int n, double *x, double *x_average);
3.
4. // Berechnet den Mittelwert und den statistischen Fehler.
5. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta);
```

- Datei `error_analysis.c`:

```
1. // Einbinden der C-Standard-include-Datei math.h.
2. #include<math.h>
3.
4. // ********************
5.
6. // Berechnet den Mittelwert.
7. void mean(int n, double *x, double *x_average)
8. {
9.   int i1;
10.
11.   *x_average = 0.0;
12.
13.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
14.     *x_average += x[i1];
15.
16.   *x_average /= (double)n;
17. }
18.
19. // ********************
20.
```

```
21. // Berechnet den Mittelwert und den statistischen Fehler.
22. void mean_and_error(int n, double *x, double *x_average, double *x_delta)
23. {
24.   int i1;
25. 
26.   // Verwende existierende Funktion zur Berechnung des Mittelwerts.
27.   mean(n, x, x_average);
28. 
29.   *x_delta = 0.0;
30. 
31.   for(i1 = 0; i1 < n; i1++)
32.     *x_delta += pow(x[i1] - *x_average, 2.0);
33. 
34.   *x_delta = sqrt(*x_delta / (double)(n*(n-1)));
35. }
```

- Datei **main.c**:

```
1. // Einbinden der C-Standard-include-Datei stdio.h.
2. #include<stdio.h>
3. 
4. // Einbinden der Deklaration der Funktion mean_and_error.
5. #include"error_analysis.h"
6. 
7. // ********************
8. 
9. int main(void)
```

```
10. {
11.   // Einige Messwerte.
12.   const int n = 5;
13.   double y[n] = {2.0, 4.0, 5.0, 1.0, 3.0};
14. 
15.   // Mittelwert und statistischen Fehler berechnen.
16.   double y_average, y_delta;
17.   mean_and_error(n, y, &y_average, &y_delta);
18.   printf("y = %.3lf +/- %3lf\n", y_average, y_delta);
19. }
```

- Variante 1: Zunächst Kompilieren von **error_analysis.c** zu einer Objektdatei **error_analysis.o**; dann Kompilieren von **main.c** und Linken mit **error_analysis.o** zum ausführbaren Programm **prog**.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 12
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 634 Dez  3 23:57 error_analysis.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 199 Dez  3 23:57 error_analysis.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 418 Dez  3 23:58 main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o error_analysis.o -c error_analysis.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 16
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  634 Dez  3 23:57 error_analysis.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  199 Dez  3 23:57 error_analysis.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 1896 Dez  3 23:58 error_analysis.o
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  418 Dez  3 23:58 main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog error_analysis.o main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 28
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  634 Dez  3 23:57 error_analysis.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  199 Dez  3 23:57 error_analysis.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 1896 Dez  3 23:58 error_analysis.o
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  418 Dez  3 23:58 main.c
```

```
-rwxrwxr-x 1 mwagner mwagner 9159 Dez  3 23:59 prog
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
y = 3.000 +/- 0.707107
```

- Variante 2: Zunächst Kompilieren von **`error_analysis.c`** zu einer Objektdatei **`error_analysis.o`** und von **`main.c`** zu einer Objektdatei **`main.o`**; dann Linken von **`error_analysis.o`** und **`main.o`** zum ausführbaren Programm **`prog`**.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 12
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 634 Dez  3 23:57 error_analysis.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 199 Dez  3 23:57 error_analysis.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 418 Dez  3 23:58 main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o error_analysis.o -c error_analysis.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o main.o -c main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 20
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  634 Dez  3 23:57 error_analysis.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  199 Dez  3 23:57 error_analysis.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 1896 Dez  4 00:03 error_analysis.o
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  418 Dez  3 23:58 main.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 2016 Dez  4 00:04 main.o
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog error_analysis.o main.o
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 32
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  634 Dez  3 23:57 error_analysis.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  199 Dez  3 23:57 error_analysis.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 1896 Dez  4 00:03 error_analysis.o
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  418 Dez  3 23:58 main.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 2016 Dez  4 00:04 main.o
-rwxrwxr-x 1 mwagner mwagner 9159 Dez  4 00:05 prog
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
y = 3.000 +/- 0.707107
```

- Die in einer Objektdatei enthaltenen und von ihr benötigten Funktionen können mit dem Befehl **`nm`** angezigt werden (Details mit **`man nm`**).

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ nm -C error_analysis.o
                 U pow
```

```
                 U sqrt
0000000000000084 T mean_and_error(int, double*, double*, double*)
0000000000000000 T mean(int, double*, double*)
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ nm -C main.o
                 U __gxx_personality_v0
0000000000000000 T main
                 U printf
                 U _Unwind_Resume
                 U mean_and_error(int, double*, double*, double*)
```

Globale Variablen in mehreren Dateien verwenden

- Eine **globale Variable** (eine Variable, die außerhalb von Funktionen definiert ist) ist nur in der `.c`-Datei bekannt, in der sie definiert wurde.
- Soll eine solche Variable auch in anderen `.c`-Dateien verwendet werden, muss sie dort deklariert werden (analog zur Definition und Deklariation bei Funktionen); dies geschieht mit
  `extern` *type name*`;`.
- **Beispiel:** Eine globale `int`-Variable `num` (definiert in `f.c`), die zählt, wie oft die Funktion `f` (ebenfalls definiert in `f.c`) aufgerufen wird; der Wert von `num` soll in einer anderen Datei (`main.c`) ausgegeben werden ...
  - Variante 1:
    - Datei `f.c`:

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // Definition der globalen Variable num.
4. int num = 0;  // Zaehlt die Anzahl der Funktionsaufrufe von f.
5.
6. // Definition der Funktion f.
7. void f(void)
```

```
8. {
9.   num++;
10.   printf("Funktion f ...\n");
11. }
```

- Datei **main.c**:

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // Deklaration der globalen Variable num (definiert in der Datei f.c).
4. extern int num;
5.
6. // Deklaration der Funktion f (definiert in der Datei f.c).
7. void f(void);
8.
9. int main(void)
10. {
11.   f();
12.   f();
13.   f();
14.   printf("Die Funktion f wurde %d Mal aufgerufen.\n", num);
15. }
```

- Kompilieren und ausführen wie folgt.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 8
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 210 Dez  4 16:11 f.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 282 Dez  4 16:11 main.c
```

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog f.c main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 20
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  210 Dez  4 16:11 f.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  282 Dez  4 16:11 main.c
-rwxrwxr-x 1 mwagner mwagner 8843 Dez  4 16:16 prog
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
Funktion f ...
Funktion f ...
Funktion f ...
Die Funktion f wurde 3 Mal aufgerufen.
```

- Variante 2:
  - Datei **f.h**:

```
1. // Deklaration der globalen Variable num (definiert in der Datei f.c).
2. extern int num;
3.
4. // Deklaration der Funktion f (definiert in der Datei f.c).
5. void f(void);
```

  - Datei **f.c**:

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // Definition der globalen Variable num.
4. int num = 0;  // Zaehlt die Anzahl der Funktionsaufrufe von f.
5.
6. // Definition der Funktion f.
7. void f(void)
8. {
```

```
 9.   num++;
10.   printf("Funktion f ...\n");
11. }
```

- Datei **main.c**:

```
 1. #include<stdio.h>
 2. #include"f.h"
 3.
 4. int main(void)
 5. {
 6.   f();
 7.   f();
 8.   f();
 9.   printf("Die Funktion f wurde %d Mal aufgerufen.\n", num);
10. }
```

- Kompilieren und ausführen wie gehabt.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 12
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 210 Dez  4 16:11 f.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 162 Dez  4 16:19 f.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 133 Dez  4 16:19 main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog f.c main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 24
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  210 Dez  4 16:11 f.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  162 Dez  4 16:19 f.h
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  133 Dez  4 16:19 main.c
-rwxrwxr-x 1 mwagner mwagner 8843 Dez  4 16:20 prog
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
Funktion f ...
```

```
Funktion f ...
Funktion f ...
Die Funktion f wurde 3 Mal aufgerufen.
```

static

static bei Funktionen und globalen Variablen

- Das Schlüsselwort **`static`** verhindert, dass Funktionen und globale Variablen außerhalb der Datei sichtbar sind, in der sie definiert werden.
- Vorteile:
  - Sicherheit: Globale **`static`**-Variablen können von außen nicht absichtlich oder aus Versehen verändert werden.
  - Kein Konflikt mit gleichnamigen **`static`**-Funktionen und globalen **`static`**-Variablen in anderen Dateien.
- **Beispiel:** In den Dateien **`f.c`** und **`g.c`** existiert jeweis eine globale **`static`**-Variable **`num`** und eine **`static`**-Funktion **`print_num`**; trotz gleicher Namensgebung, kommt es nicht zu Konflikten ...
  - Datei **`f.c`**:

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // Definition der globalen Variable num; aufgrund von static auf diese Datei beschraenkt.
4. static int num = 0;  // Zaehlt die Anzahl der Funktionsaufrufe von f.
5.
```

```
 6. // Definition der Funktion print_num; aufgrund von static auf diese Datei beschraenkt.
 7. static void print_num()
 8. {
 9.   printf("Die Funktion f wurde %d Mal aufgerufen.\n", num);
10. }
11.
12. void f(void)
13. {
14.   num++;
15.   printf("Funktion f ...\n");
16.   print_num();
17. }
```

- Datei **g.c**:

```
 1. #include<stdio.h>
 2.
 3. // Definition der globalen Variable num; aufgrund von static auf diese Datei beschraenkt.
 4. static int num = 0;  // Zaehlt die Anzahl der Funktionsaufrufe von g.
 5.
 6. // Definition der Funktion print_num; aufgrund von static auf diese Datei beschraenkt.
 7. static void print_num()
 8. {
 9.   printf("Die Funktion g wurde %d Mal aufgerufen.\n", num);
10. }
11.
12. void g(void)
```

```
13. {
14.   num++;
15.   printf("Funktion g ...\n");
16.   print_num();
17. }
```

- Datei `main.c`:

```
1. void f(void);
2. void g(void);
3.
4. int main(void)
5. {
6.   f();
7.   f();
8.   f();
9.
10.   g();
11.   g();
12. }
```

- Kompilieren und ausführen wie folgt.

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 12
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 427 Dez  4 17:02 f.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner 427 Dez  4 17:01 g.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  84 Dez  4 16:59 main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ g++ -o prog f.c g.c main.c
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ls -l
insgesamt 24
```

```
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  427 Dez  4 17:02 f.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner  427 Dez  4 17:01 g.c
-rw-rw-r-- 1 mwagner mwagner   84 Dez  4 16:59 main.c
-rwxrwxr-x 1 mwagner mwagner 8992 Dez  4 17:04 prog
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ ./prog
Funktion f ...
Die Funktion f wurde 1 Mal aufgerufen.
Funktion f ...
Die Funktion f wurde 2 Mal aufgerufen.
Funktion f ...
Die Funktion f wurde 3 Mal aufgerufen.
Funktion g ...
Die Funktion g wurde 1 Mal aufgerufen.
Funktion g ...
Die Funktion g wurde 2 Mal aufgerufen.
```

static bei lokalen Variablen

- Das Schlüsselwort **static** bei einer **lokalen Variable** (eine Variable, die innerhalb einer Funktion definiert ist) bewirkt, dass diese Variable nur einmalig initialisiert wird und ihr Wert auch nach Beendigung "ihrer Funktion" erhalten bleibt; d.h. beim nächsten Aufruf dieser Funktion steht der Wert der lokalen **static**-Variable unverändert zur Verfügung.
- **Beispiel:** Zählen der Aufrufe einer Funktion ...

```
1. #include<stdio.h>
2. 
3. void f(void)
4. {
5.   static int num = 0;
6.   num++;
7.   printf("%d-ter Funktionsaufruf von f ...\n", num);
8. }
```

```
 9.
10. int main(void)
11. {
12.   f();
13.   f();
14.   f();
15. }
```

```
1-ter Funktionsaufruf von f ...
2-ter Funktionsaufruf von f ...
3-ter Funktionsaufruf von f ...
```

- Zum Vergleich das gleiche Programm ohne das Schlüsselwort static.

```c
1. #include<stdio.h>
2.
3. void f(void)
4. {
5.   int num = 0;
6.   num++;
7.   printf("%d-ter Funktionsaufruf von f ...\n", num);
8. }
9.
10. int main(void)
11. {
12.   f();
13.   f();
14.   f();
15. }
```

```
1-ter Funktionsaufruf von f ...
1-ter Funktionsaufruf von f ...
1-ter Funktionsaufruf von f ...
```

Gültigkeitsbereich von Variablen

- Unterscheide
  - **globale Variablen** (Variablen, die außerhalb von Funktionen definiert sind),
  - **lokale Variablen** (Variablen, die innerhalb von Funktionen definiert sind).
- Als **Gültigkeitsbereich** einer Variable bezeichnet man den Bereich des Programmcodes, in dem die Variable verwendet werden kann.

Gültigkeitsbereich globaler Variablen

- Eine globale Variable ist gültig von ihrer Definition bis zum Ende der entsprechenden `.c`-Datei.
- Dieser Gültigkeitsbereich kann durch eine Deklaration mittels `extern` (siehe oben) auf den Bereich vor ihrer Definition bzw. auf andere `.c`-Dateien erweitert werden.

Gültigkeitsbereich lokaler Variablen

- Eine lokale Variable ist stets innerhalb eines Blocks `{...}` definiert; dieser Block kann entweder der **Funktionskörper** oder ein darin enthaltener Unterblock (z.B. von einer `if`- oder `for`-Anweisung) sein.

- Eine lokale Variable ist gültig von ihrer Definition bis zum Ende ihres zugehörigen Blocks.
- Wird der Block verlassen (z.B. die Funktion wird beendet, die **`if`**-Anweisung wurde ausgeführt, die **`for`**-Schleife wird verlassen), geht der Wert dieser Variable verloren; Ausnahmen bilden **`static`**-Variablen (siehe oben), deren Werte erhalten bleiben und bei der nächsten Ausführung der entsprechenden Blöcke (z.B. erneuter Aufruf der Funktion) wieder zur Verfügung stehen.
- Eine globale und lokale Variablen mit gleichem Namen sind erlaubt (Einschränkung: keine zwei lokalen Variablen gleichen Namens im gleichen Block); wird mit dem Variablennamen zugegriffen, gilt die lokale Variable bzw. bei mehreren lokalen Variablen die des innersten Blocks (die gültige Variable **verschattet** die weiter außen definierten gleichnamigen Variablen).

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int x = 3;  // Globale Variable x.
4.
5. int main(void)
6. {
7.   int i1;
8.
9.   printf("1) x = %d\n", x);
10.
11.   int x = 5;  // Lokale Variable x (verschattet von hier an die globale Variable x).
12.   printf("2) x = %d\n", x);
```

```
13.
14.   for(i1 = 0; i1 < 2; i1++)
15.     {
16.       printf("3) x = %d\n", x);
17.
18.       int x = 7;  // Eine weitere lokale Variable x in einem Unterblock
19.                   // (verschattet die beiden anderen Variablen x).
20.       printf("4) x = %d\n", x);
21.     }  // Ende des Gueltigkeitsbereichs der lokalen Variable "x = 7".
22.
23.   printf("5) x = %d\n", x);
24. }  // Ende des Gueltigkeitsbereichs der lokalen Variable "x = 5".
25.
26. // Ende des Gueltigkeitsbereichs der gloalen Variable x.
```

```
1) x = 3
2) x = 5
3) x = 5
4) x = 7
3) x = 5
4) x = 7
5) x = 5
```

Laufzeitverhalten, Iteration, Rekursion

- Beim wissenschaftlichen Programmieren bzw. in der Numerik ist es häufig erforderlich, dass ein Programm nicht nur korrekt arbeitet, sondern auch **effizient** ist, das heißt große Datensätze (z.B. viele Messergebnisse, große Matrizen, feine Diskretisierungen) in möglichst kurzer oder zumindest überschaubarer Zeit (**Tage, Wochen oder Monate sind oft noch o.k.**, **nicht aber mehrere Jahre**) verarbeitet.
- Programme bzw. Algorithmen klassifiziert man nach ihrem **Laufzeitverhalten**, das im Wesentlichen der Anzahl der Anweisungen bzw. mathematischen Operationen entspricht und in Abhängigkeit von der Problemgröße N angegeben wird, z.B. $\mathcal{O}(N)$, $\mathcal{O}(N \log N)$ $\mathcal{O}(N^2)$, ...
- Konstante Faktoren werden beim Laufzeitverhalten in der Regel ignoriert (d.h. $\mathcal{O}(N) = \mathcal{O}(2N) = \mathcal{O}(5N)$, etc.), da z.B. ein $\mathcal{O}(N \log N)$-Programm für hinreichend große N immer schneller als ein $\mathcal{O}(N^2)$-Programm sein wird, unabhägig von irgendwelchen Faktoren.
- Beispiele:
  - Das Skalarprodukt zweier Vektoren **x** und **y** der Größe N zu berechnen hat typischer Weise das Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N)$.

```
1. ...
```

```
2.   double sp = 0.0;
3.
4.   for(i = 0; i < N; i++)
5.     sp += x[i]*y[i];
6. ...
```

- Eine Matrix **A** der Größe $N \times N$ zu initialisieren hat typischer Weise das Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N^2)$.

```
1. ...
2.   for(i = 0; i < N; i++)
3.     {
4.       for(j = 0; j < N; j++)
5.         A[i][j] = 0.0;
6.     }
7. ...
```

- Zwei Matrizen **A** und **B** der Größe $N \times N$ zu multiplizieren hat typischer Weise das Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N^3)$.

```
1. ...
2.   for(i = 0; i < N; i++)
3.     {
4.       for(j = 0; j < N; j++)
5.         {
6.           C[i][j] = 0.0;
7.
```

```
8.          for(k = 0; k < N; k++)
9.            C[i][j] += A[i][k]*B[k][j];
10.       }
11.   }
12. ...
```

- Das Laufzeitverhalten lässt sich also häufig direkt an den implementierten Schleifen ablesen ("Über welchen Bereich laufen deren Indizes?", "Wie tief sind diese Schleifen verschachtelt?"); die Verwendung von Schleifen bezeichnet man auch als **Iteration**.
- Eine weitere gängige Methode, umfangreiche Probleme zu lösen, ist **Rekursion**; eine Funktion oder ein Algorithmus ruft sich dabei selbst auf, wobei die Problemgröße bei jedem Aufruf reduziert wird.
- Das Laufzeitverhalten von rekursiven Algorithmen ist oft nicht so offensichtlich wie das von iterativen Algorithmen; es kommt dabei auf die **Rekursionstiefe** (die Anzahl der verschachtelten rekursiven Aufrufe) und die Anzahl der rekursiven Aufrufe pro Funktionsaufruf an.
- **Beispiel:** $N!$ iterativ und rekursiv, Laufzeitverhalten in beiden Fällen $\mathcal{O}(N)$ ...

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // ********************
4.
5. // Rekursiv:
6. // * Rekursionstiefe N
```

```
 7. // * 1 rekursiver Aufruf pro Durchgang
 8. // --> Laufzeitverhalten O(N)
 9. int fac_recu(int N)
10. {
11.   if(N == 0)
12.     return 1;
13.
14.   return N * fac_recu(N-1);
15. }
16.
17. // ********************
18.
19. // Iterativ:
20. // * 1 Loop der N Mal durchlaufen wird
21. // --> Laufzeitverhalten O(N)
22. int fac_iter(int N)
23. {
24.   int i;
25.
26.   int fac = 1;
27.
28.   for(i = 1; i <= N; i++)
29.     fac *= i;
30.
31.   return fac;
32. }
33.
```

```
34. // ********************
35.
36. int main(void)
37. {
38.   printf("%d\n", fac_recu(5));
39.   printf("%d\n", fac_iter(5));
40. }
```

- Verschiedene Algorithmen für dasselbe Problem können unterschiedliches Laufzeitverhalten besitzen; ein Beispiel ist das im Folgenden beschriebene Sortieren eines N-elementigen Arrays mit **Bubblesort** (iterativ; Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N^2)$) und **Mergesort** (rekursiv; Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N \log N)$) ...

Bubblesort (iterativer Algorithmus)

- Zuerst werden alle N Elemente des Arrays durchlaufen und das Kleinste gesucht, dieses an den ersten Speicherplatz des Arrays gebracht ...
- ... dann werden die verbleibenden $N - 1$ Elemente des Arrays durchlaufen und das Zweitkleinste gesucht, dieses an den zweiten Speicherplatz des Arrays gebracht ...
- ... dann werden die verbleibenden $N - 2$ Elemente des Arrays durchlaufen und das Drittkleinste gesucht, dieses an den dritten Speicherplatz des Arrays gebracht ...
- ... usw. ...
- Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N^2)$.

- Umsetzung im Folgenden mit Hilfe von Iteration.

```
1. #include<stdio.h>
2. #include<stdlib.h>
3.
4. // ********************
5.
6. // Sortiert mit dem Bubblesort-Algorithmus ein double-Array v mit num Werten in
7. // aufsteigender Reihenfolge.
8. void bubblesort(int num, double v[])
9. {
10.   int i1, i2;
11.
12.   if(num < 0)
13.     {
14.       printf("Fehler bei void bubblesort(...\n");
15.       exit(0);
16.     }
17.
18.   for(i1 = 0; i1 < num-1; i1++)
19.     // Finde das richtige Element fuer Position i1 (das "i1-kleinste Element")
20.     // und verschiebe es an diese Position.
21.     {
22.       int index_smallest_element = i1;
23.
24.       for(i2 = i1+1; i2 < num; i2++)
25.         // Teste, ob v[i2] kleiner ist, als der aktuell beste Kandidat fuer das
```

```
26.         // kleinste Element.
27.         {
28.           if(v[i2] < v[index_smallest_element])
29.             index_smallest_element = i2;
30.         }
31.
32.       // Vertausche v[i1] und v[index_smallest_element].
33.       double tmp = v[i1];
34.       v[i1] = v[index_smallest_element];
35.       v[index_smallest_element] = tmp;
36.     }
37. }
38.
39. // ********************
40.
41. int main(void)
42. {
43.   int i1;
44.
45.   // *****
46.
47.   // Generiere eine deterministische Sequenz von Zufallszahlen in [0.0:1.0].
48.
49.   const int N = 10;
50.   double a[N];
51.
52.   for(i1 = 0; i1 < N; i1++)
```

```
53.     // rand() generiert eine Integer-Zufallszahl zwischen 0 und RAND_MAX-1.
54.     a[i1] = ((double)rand() + 0.5) / (double)RAND_MAX;
55.
56.   // *****
57.
58.   printf("Unsortiert:\n");
59.
60.   for(i1 = 0; i1 < N; i1++)
61.     printf("a[%5d] = %.8lf\n", i1, a[i1]);
62.
63.   bubblesort(N, a);
64.
65.   printf("\nSortiert:\n");
66.
67.   for(i1 = 0; i1 < N; i1++)
68.     printf("a[%5d] = %.8lf\n", i1, a[i1]);
69. }
```

```
Unsortiert:
a[    0] = 0.84018772
a[    1] = 0.39438293
a[    2] = 0.78309922
a[    3] = 0.79844003
a[    4] = 0.91164736
a[    5] = 0.19755137
a[    6] = 0.33522276
a[    7] = 0.76822960
a[    8] = 0.27777471
a[    9] = 0.55396996

Sortiert:
a[    0] = 0.19755137
```

```
a[    1] = 0.27777471
a[    2] = 0.33522276
a[    3] = 0.39438293
a[    4] = 0.55396996
a[    5] = 0.76822960
a[    6] = 0.78309922
a[    7] = 0.79844003
a[    8] = 0.84018772
a[    9] = 0.91164736
```

Mergesort (rekursiver Algorithmus)

- Enthält das zu sortierende Array nur ein Element, ist es bereits sortiert, Mergesort kann beendet werden.
- Andernfalls wird das zu sortierende Array in zwei gleich große Teile gespalten und Mergesort wird für beide Teile rekursiv aufgerufen; die sortierten Teilarrays werden dann zu einem einzigen sortierten Array verschmolzen.
- Laufzeitverhalten $\mathcal{O}(N \log N)$ (Rekursionstiefe $\log_2 N$, $\mathcal{O}(N)$ Operationen auf jeder Rekursionsebene).
- Umsetzung im Folgenden, wie oben beschrieben, mit Hilfe von Rekursion.

```
1. #include<stdio.h>
2. #include<stdlib.h>
3. 
4. // ********************
5. 
6. // Sortiert mit dem Mergesort-Algorithmus ein double-Array v mit num Werten in
7. // aufsteigender Reihenfolge.
```

```
 8. void mergesort(int num, double v[])
 9. {
10.   if(num < 0)
11.     {
12.       printf("Fehler bei void mergesort(...\n");
13.       exit(0);
14.     }
15.
16.   if(num == 0 || num == 1)
17.     // Liste der Laenge 0 oder 1 ist bereits sortiert.
18.     return;
19.
20.   // Linke Teilliste sortieren.
21.   double *vl = v;
22.   int numl = num/2;
23.   mergesort(numl, vl);
24.
25.   // Rechte Teilliste sortieren.
26.   double *vr = v+numl;
27.   int numr = num-numl;
28.   mergesort(numr, vr);
29.
30.   // Sortierte linke und rechte Teilliste zu sortierter Gesamtliste verschmelzen.
31.
32.   double *tmp;
33.
34.   if((tmp = (double *)malloc(num*sizeof(double))) == NULL)
```

```
35.     {
36.       printf("Fehler bei void mergesort(...\n");
37.       exit(0);
38.     }
39.
40.   int i;
41.   int il = 0;
42.   int ir = 0;
43.
44.   for(i = 0; i < num; i++)
45.     {
46.       if(ir == numr)
47.         // Nur noch Elemente in der linken Teilliste.
48.         // --> benutze aktuelles Element der linken Teilliste.
49.         {
50.           tmp[i] = vl[il];
51.           il++;
52.         }
53.       else if(il == numl)
54.         // Nur noch Elemente in der rechten Teilliste
55.         // --> benutze aktuelles Element der rechten Teilliste.
56.         {
57.           tmp[i] = vr[ir];
58.           ir++;
59.         }
60.       else
61.         // Vergleiche das aktuelle Element der linken und der rechten Teilliste
```

```
62.         // --> benutze das kleinere Element.
63.         {
64.           if(vl[il] < vr[ir])
65.             // --> benutze aktuelles Element der linken Teilliste.
66.             {
67.               tmp[i] = vl[il];
68.               il++;
69.             }
70.           else
71.             // --> benutze aktuelles Element der rechten Teilliste.
72.             {
73.               tmp[i] = vr[ir];
74.               ir++;
75.             }
76.         }
77.     }
78. 
79.   for(i = 0; i < num; i++)
80.     v[i] = tmp[i];
81. 
82.   free(tmp);
83. }
84. 
85. // ********************
86. 
87. int main(void)
88. {
```

```
 89.   int i1;
 90.
 91.   // *****
 92.
 93.   // Generiere eine deterministische Sequenz von Zufallszahlen in [0.0:1.0].
 94.
 95.   const int N = 10;
 96.   double a[N];
 97.
 98.   for(i1 = 0; i1 < N; i1++)
 99.     // rand() generiert eine Integer-Zufallszahl zwischen 0 und RAND_MAX-1.
100.     a[i1] = ((double)rand() + 0.5) / (double)RAND_MAX;
101.
102.   // *****
103.
104.   printf("Unsortiert:\n");
105.
106.   for(i1 = 0; i1 < N; i1++)
107.     printf("a[%5d] = %.8lf\n", i1, a[i1]);
108.
109.   mergesort(N, a);
110.
111.   printf("\nSortiert:\n");
112.
113.   for(i1 = 0; i1 < N; i1++)
114.     printf("a[%5d] = %.8lf\n", i1, a[i1]);
115. }
```

```
Unsortiert:
a[    0] = 0.84018772
a[    1] = 0.39438293
a[    2] = 0.78309922
a[    3] = 0.79844003
a[    4] = 0.91164736
a[    5] = 0.19755137
a[    6] = 0.33522276
a[    7] = 0.76822960
a[    8] = 0.27777471
a[    9] = 0.55396996

Sortiert:
a[    0] = 0.19755137
a[    1] = 0.27777471
a[    2] = 0.33522276
a[    3] = 0.39438293
a[    4] = 0.55396996
a[    5] = 0.76822960
a[    6] = 0.78309922
a[    7] = 0.79844003
a[    8] = 0.84018772
a[    9] = 0.91164736
```

Vergleich der Effizienz von Bubblesort und Mergesort

- Mergesort, 100,000 Elemente (nur die letzten 3 Elemente werden am Bildschirm ausgegeben):

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ time ./mergesort
Unsortiert:
a[99997] = 0.84516746
a[99998] = 0.66494025
a[99999] = 0.30764298

Sortiert:
a[99997] = 0.99996763
a[99998] = 0.99999190
a[99999] = 0.99999357
```

```

real    0m0.053s
user    0m0.052s
sys     0m0.000s
```

- Bubblesort, 100,000 Elemente (nur die letzten 3 Elemente werden am Bildschirm ausgegeben):

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ time ./bubblesort
Unsortiert:
a[99997] = 0.84516746
a[99998] = 0.66494025
a[99999] = 0.30764298

Sortiert:
a[99997] = 0.99996763
a[99998] = 0.99999190
a[99999] = 0.99999357

real    0m25.032s
user    0m25.002s
sys     0m0.008s
```

- Mergesort, 1,000,000 Elemente (nur die letzten 3 Elemente werden am Bildschirm ausgegeben):

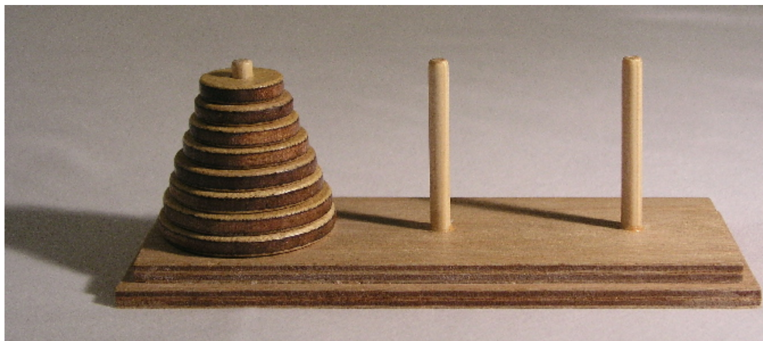
```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ time ./mergesort
Unsortiert:
a[999997] = 0.29797783
a[999998] = 0.94337596
a[999999] = 0.19993533

Sortiert:
a[999997] = 0.99999686
a[999998] = 0.99999691
a[999999] = 0.99999831

real    0m0.512s
user    0m0.484s
sys     0m0.020s
```

- Bubblesort, 1,000,000 Elemente (nur die letzten 3 Elemente werden am Bildschirm ausgegeben):

```
mwagner@laptop-tigger:~/lecture_ProgPhys/slides/tmp$ time ./bubblesort
Unsortiert:
a[999997] = 0.29797783
a[999998] = 0.94337596
a[999999] = 0.19993533
```

Die Türme von Hanoi ... rekursiv (eine Perle der Informatik)

- Siehe **http://de.wikipedia.org/wiki/Türme_von_Hanoi**.



```
1. #include<stdio.h>
2.
3. // ********************
4.
5. // Bewege einen Turm bestehend aus Scheibe "1" bis Scheibe "num_discs" von
6. // Stange src nach Stange dst (leer bzw. nur Scheiben groesser als Scheibe
```

```
 7. // "num_discs" liegen dort), wobei Stange tmp (leer bzw. nur Scheiben groesser
 8. // als Scheibe "num_discs" liegen dort) als Zwischenlager dienen kann.
 9. void hanoi(int num_discs, int src, int dst, int tmp)
10. {
11.   static int ctr = 0;
12.
13.   if(num_discs == 0)
14.     // Ein Turm mit 0 Scheiben, d.h. es ist nichts zu tun.
15.     return;
16.
17.   // Bewege alle bis auf die unterste Scheibe auf Stange tmp.
18.   hanoi(num_discs-1, src, tmp, dst);
19.
20.   // Bewege die unterste Scheibe auf Stange dst.
21.   ctr++;
22.   printf("Zug %3d: Scheibe %d von Stange %d nach Stange %d ...\n", ctr, num_discs, src, dst);
23.
24.   // Bewege den Turm auf Stange tmp auf Stange dst.
25.   hanoi(num_discs-1, tmp, dst, src);
26. }
27.
28. // ********************
29.
30. int main(void)
31. {
32.   hanoi(3, 1, 3, 2);
33.   printf("... fertig :-) !\n");
```

```
34. }
```

```
Zug   1: Scheibe 1 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug   2: Scheibe 2 von Stange 1 nach Stange 2 ...
Zug   3: Scheibe 1 von Stange 3 nach Stange 2 ...
Zug   4: Scheibe 3 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug   5: Scheibe 1 von Stange 2 nach Stange 1 ...
Zug   6: Scheibe 2 von Stange 2 nach Stange 3 ...
Zug   7: Scheibe 1 von Stange 1 nach Stange 3 ...
... fertig :-) !
```

```
31. ...
32.   hanoi(9, 1, 3, 2);
33. ...
```

```
Zug   1: Scheibe 1 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug   2: Scheibe 2 von Stange 1 nach Stange 2 ...
Zug   3: Scheibe 1 von Stange 3 nach Stange 2 ...
Zug   4: Scheibe 3 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug   5: Scheibe 1 von Stange 2 nach Stange 1 ...
Zug   6: Scheibe 2 von Stange 2 nach Stange 3 ...
Zug   7: Scheibe 1 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug   8: Scheibe 4 von Stange 1 nach Stange 2 ...
Zug   9: Scheibe 1 von Stange 3 nach Stange 2 ...
Zug  10: Scheibe 2 von Stange 3 nach Stange 1 ...
...
Zug 502: Scheibe 2 von Stange 3 nach Stange 1 ...
Zug 503: Scheibe 1 von Stange 2 nach Stange 1 ...
Zug 504: Scheibe 4 von Stange 2 nach Stange 3 ...
Zug 505: Scheibe 1 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug 506: Scheibe 2 von Stange 1 nach Stange 2 ...
Zug 507: Scheibe 1 von Stange 3 nach Stange 2 ...
Zug 508: Scheibe 3 von Stange 1 nach Stange 3 ...
Zug 509: Scheibe 1 von Stange 2 nach Stange 1 ...
Zug 510: Scheibe 2 von Stange 2 nach Stange 3 ...
Zug 511: Scheibe 1 von Stange 1 nach Stange 3 ...
... fertig :-) !
```

Präprozessoranweisungen

- Der C-Präprozessor führt vor dem eigentlichen Kompilieren textuelle Ersetzungen im Programmcode aus:

  1. **Präprozessor:** textuelle Ersetzungen im Programmcode.
  2. **Compiler:** Übersetzung von Programmcode in Maschinencode (liefert Objektdateien), d.h. in direkt vom Computer ausführbare Anweisungen.
  3. **Linker:** Verbinden mehrerer Objektdateien zu einem ausführbaren Programm.

#include

- Siehe oben.

```
1. // Der Praeprozessor ersetzt die #include-Anweisung durch die Datei stdio.h.
2. #include<stdio.h>
3.
4. int main(void)
5. {
6.   printf("abc\n");
7. }
```

#define

- Siehe oben.

```
1. #include<stdio.h>
2. 
3. // #define ersetzt vor dem Kompilieren PI, PRINT_ABC, TEXT durch den jeweils folgenden Text.
4. #define PI 3.1415
5. #define PRINT_ABC printf("abc\n");
6. #define TEXT "def ghi jkl\n"
7. 
8. int main(void)
9. {
10.   printf("%f\n", PI);
11.   PRINT_ABC
12.   printf(TEXT);
13. }
```

```
3.141500
abc
def ghi jkl
```

Bedingte Übersetzung

- Mit Präprozessoranweisungen wie `#ifdef`, `#else` und `#endif` kann kontrolliert werden, welche Teile des Programmcodes kompiliert werden.
- **Beispiel:** Ausgabe zusätzlicher Informationen während des Debuggens ...

```
1. #include<stdio.h>
2. 
```

```
 3. #define __DEBUG__
 4.
 5. // ********************
 6.
 7. int fac_recu(int N)
 8. {
 9. #ifdef __DEBUG__
10.   printf("Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = %d ...\n", N);
11. #endif
12.
13.   if(N == 0)
14.     return 1;
15.
16.   return N * fac_recu(N-1);
17. }
18.
19. // ********************
20.
21. int main(void)
22. {
23.   printf("%d\n", fac_recu(5));
24. }
```

```
Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = 5 ...
Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = 4 ...
Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = 3 ...
Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = 2 ...
Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = 1 ...
Aufruf von int fac_recu(int N) mit N = 0 ...
```

```
2. ...
3. // #define __DEBUG__
4. ...
```

120

- **Beispiel:** Nicht-relativistische und relativistische Version eines Programms ...

```
1. #include<math.h>
2. #include<stdio.h>
3.
4. // #define __RELATIVISTIC__
5.
6. // ********************
7.
8. // Berechnet die Energie eines Teilchens mit Masse m und Geschwindigkeit v.
9. double energy(double m, double v)
10. {
11. #ifdef __RELATIVISTIC__
12.   double gamma = 1.0 / sqrt(1.0 - pow(v, 2.0));
13.   double p = m * gamma * v;
14.   return sqrt(pow(m, 2.0) + pow(p, 2.0));
15. #else
16.   return m + 0.5 * m * pow(v, 2.0);
17. #endif
18. }
```

```
19.
20. // *******************
21.
22. int main(void)
23. {
24.   const double m = 938.3;  // Masse in MeV/c^2.
25.   const double v1 = 0.05;  // Geschwindigkeit in c.
26.   const double v2 = 0.50;  // Geschwindigkeit in c.
27.
28.   printf("E = %6.1f (in MeV).\n", energy(m, v1));
29.   printf("E = %6.1f (in MeV).\n", energy(m, v2));
30. }
```

```
E =  939.5 (in MeV).
E = 1055.6 (in MeV).
```

```
3. ...
4. #define __RELATIVISTIC__
5. ...
```

```
E =  939.5 (in MeV).
E = 1083.5 (in MeV).
```

Makros

- Definitionen mit Parametern bezeichnet man als **Makros**.
- Makros ähneln Funktionen; es kommt jedoch zu keinem Funktionsaufruf; der Präprozessor führt lediglich textuelle Ersetzungen aus; damit kein "call by value".

```c
1. #include<stdio.h>
2.
3. // Ein Makro, das die Werte zweier int-Vaiablen vertauscht.
4. #define SWAP_INT(a,b) { int tmp = a; a = b; b = tmp; }
5.
6. int main(void)
7. {
8.   int x = 3;
9.   int y = 5;
10.   printf("x = %d, y= %d\n", x, y);
11.   SWAP_INT(x,y);  // Diese Zeile wird ersetzt durch { int tmp = x; x = y; y = tmp; }.
12.   printf("x = %d, y= %d\n", x, y);
13. }
```

```
x = 3, y= 5
x = 5, y= 3
```