
Einführung in die Programmierung für Physiker

Die Programmiersprache C – Kontrollstrukturen

Marc Wagner

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

SoSe 2024

Anweisungen und Blöcke

Anweisungen

- Ausdrücke wie z.B. `x = 1.23` oder `printf("abc\n")` werden zu **Anweisungen** durch anhängen von `;`.

Blöcke

- Mehrere Anweisungen können mit `{` und `}` in einem **Block** zusammengefasst werden.
- Ein Block ist syntaktisch äquivalent zu einer einzelnen Anweisung.
- Blöcke enden nicht mit `;`.
- Blöcke werden z.B. häufig bei **if**-Anweisungen oder **while**- und **for**-Schleifen verwendet.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int i = 2;
6.
7.     if(i == 2)
8.         { // Anfang des if-Blocks ...
9.             printf("*****\n");
10.            printf("i ist gleich 2\n");
11.            printf("*****\n");
12.        } // ... Ende des if-Blocks.
13. }
```

```
*****
i ist gleich 2
*****
```

Fallunterscheidungen: if ... else ...

- Syntax:
 - `if(expr) statement`.
 - `if(expr) statement1 else statement2`.
 - `expr` bezeichnet einen logischen Ausdruck.
 - `statement`, `statement1` und `statement2` bezeichnen entweder einzelne Anweisungen oder Blöcke.
- Die `if`-Anweisung/Anweisungen `statement` bzw. `statement1` wird/werden ausgeführt, falls der logische Ausdruck `expr` "ungleich 0" (also "true") ist.
- Die `else`-Anweisung/Anweisungen `statement2` wird/werden ausgeführt, falls der logische Ausdruck `expr` "gleich 0" (also "false") ist.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     double d = -3.0;
6.
7.     if(d < 0.0)
8.         printf("d ist negativ\n");
9.
10.    if(d < 0.0)
11.        {
12.            printf("d ist negativ\n");
13.        }
14.
15.    if(d >= 0.0)
16.        printf("d ist nicht negativ\n");
17.    else
18.        printf("d ist negativ\n");
19.
20.    if(d >= 0.0)
21.        {
22.            printf("d ist nicht negativ\n");
23.        }
24.    else
25.        {
26.            printf("d ist negativ\n");
27.        }
28. }
```

```
d ist negativ
d ist negativ
d ist negativ
d ist negativ
```

- Mehrdeutigkeit z.B. bei `if(expr1) if(expr2) ... else`
- Auf welches `if` bezieht sich der `else`-Zweig?
→ Der `else`-Zweig ist mit dem letzten `if` verbunden.
- Derartig unübersichtliche Konstrukte sollten durch die Verwendung von Blöcken vermieden werden,

```
if(expr1) { if(expr2) ... else ... }.
```

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     double d = 0.0;
6.
7.     if(d >= 0.0)
8.         if(d != 0.0)
9.             printf("d ist positiv\n");
10.    else
11.        printf("d ist null\n");
12.    // --> Ausgabe "d ist null" ... o.k.
13.
14.    printf("*****\n");
15.
16.    if(d >= 0.0)
17.        if(d != 0.0)
18.            printf("d ist positiv\n");
19.    else
20.        printf("d ist negativ\n");
21.    // --> Ausgabe "d ist negativ" ... !!! nicht o.k. !!!
22.
23.    printf("*****\n");
24.
25.    if(d >= 0.0)
26.    {
27.        if(d != 0.0)
28.            printf("d ist positiv\n");
29.    }
30.    else
31.        printf("d ist negativ\n");
32.    // --> Keine Ausgabe ... o.k.
33. }
```

```
d ist null
*****
d ist negativ
*****
```

- Häufig verwendet man auch

```
if(expr1) ...
else if(expr2) ...
else if(expr3) ...
...
else ....
```

```
1. #include<stdio.h>
2. #include<stdlib.h>
3.
4. int main(void)
5. {
6.     enum wochentag { M0, DI, MI, DO, FR, SA, SO };
7.
8.     enum wochentag wt = MI;
9.
10.    if(wt == M0)
11.        printf("Montag\n");
12.    else if(wt == DI)
13.        printf("Dienstag\n");
```

```
14. else if(wt == MI)
15.     printf("Mittwoch\n");
16. else if(wt == DO)
17.     printf("Donnerstag\n");
18. else if(wt == FR)
19.     printf("Freitag\n");
20. else if(wt == SA)
21.     printf("Samstag\n");
22. else if(wt == SO)
23.     printf("Sonntag\n");
24. else
25.     {
26.         printf("Fehler: Unzulaessiger Wert von wt!\n");
27.         exit(0);
28.     }
29. }
```

Mittwoch

Fallunterscheidungen: switch ...

- Syntax:
 - `switch(expr) {`
 - `case const_expr1: statements`
 - `case const_expr2: statements`
 - `...`
 - `default: statements`
 - `expr` bezeichnet einen Integer-Ausdruck.
 - `const_expr1`, `const_expr2`, ... bezeichnen paarweise verschiedene Integer-Konstanten.
 - `statements` bezeichnet eine Folge von Anweisungen (auch keine Anweisung ist erlaubt).
- Falls der Wert von `expr` gleich der Konstante `const_expr1` ist, wird mit den Anweisungen nach der **case-Marke** `case const_expr1:` fortgefahren; alle weiteren Anweisungen (auch solche nach weiteren **case**-Marken) werden ausgeführt.
- Falls der Wert von `expr` gleich der Konstante `const_expr2` ist, ... (analog).
- Falls der Wert von `expr` keiner **case**-Marke entspricht, wird mit den Anweisungen nach **default:** fortgefahren; **default** kann auch weggelassen werden.
- Die Reihenfolge von **case**-Marken und **default** ist beliebig.
- Der **switch**-Block kann mit der Anweisung **break;** vorzeitig verlassen werden.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     enum wochentag { M0, DI, MI, DO, FR, SA, S0 };
6.
7.     enum wochentag wt = MI;
8.
9.     printf("Uni-Termine heute:\n");
10.
11.     switch(wt)
12.     {
13.         case SA:
14.         case S0:
15.             printf("Keine Termine (Wochenende).\n");
16.             break;
17.
18.         case DO:
19.             printf("08:15-09:45 PPR0G-Uebung bei Alessandro.\n");
20.             printf("14:15-15:45 PPR0G-Vorlesung.\n");
21.
22.         default:
23.             printf("16:00         Kaffee im Cafe-Physik.\n");
```

```
24.     break;
25.
26.     case FR:
27.         printf("15:00     Kaffee im Cafe-Physik.\n");
28.     }
29. }
```

Uni-Termine heute:
16:00 Kaffee im Cafe-Physik.

```
6. ...
7.     enum wochentag wt = D0;
8. ...
```

Uni-Termine heute:
08:15-09:45 PPROG-Uebung bei Alessandro.
14:15-15:45 PPROG-Vorlesung.
16:00 Kaffee im Cafe-Physik.

```
6. ...
7.     enum wochentag wt = FR;
8. ...
```

Uni-Termine heute:
15:00 Kaffee im Cafe-Physik.

Schleifen: while ...

- Syntax:
 - **while**(*expr*) *statement*.
 - *expr* bezeichnet einen logischen Ausdruck.
 - *statement* bezeichnet entweder eine einzelne Anweisung oder einen Block.
- Die Anweisungen innerhalb der **while**-Schleife werden wiederholt, so lange der logische Ausdruck *expr* "ungleich 0" (also "true") ist.

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

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
ctr = 3
ctr = 4
ctr = 5
ctr = 6
ctr = 7
ctr = 8
ctr = 9
```

- Eine **while**-Schleife kann mit der Anweisung **break**; vorzeitig verlassen werden.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr = 0;
6.
7.     while(1) // while(1) --> unendliche Schleife.
8.     {
9.         // Abbruch der Schleife "von Hand", sobald ctr >= 10.
10.        if(ctr >= 10)
11.            break;
12.
13.        printf("ctr = %d\n", ctr);
14.        ctr++;
15.    }
16. }
```

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
ctr = 3
```



```
ctr = 4
ctr = 5
ctr = 6
ctr = 7
ctr = 8
ctr = 9
```

- Mit der Anweisung **continue;** können innerhalb eines **while**-Blocks die noch folgenden Anweisungen übersprungen werden; es wird direkt mit der Überprüfung des logischen Ausdrucks *expr* fortgefahren und bei "true" der **while**-Block erneut ausgeführt.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr = 0;
6.
7.     while(ctr < 10)
8.     {
9.         printf("ctr = %d\n", ctr);
10.        ctr++;
11.
12.        // Ueberspringe die folgende print-Anweisung, falls ctr nicht durch 3 teilbar ist.
13.        if(ctr%3 != 0)
14.            continue;
15.
16.        printf("*****\n");
17.    }
18. }
```

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
*****
ctr = 3
ctr = 4
ctr = 5
*****
ctr = 6
ctr = 7
ctr = 8
*****
ctr = 9
```

Schleifen: do ... while ...

- Syntax:
 - `do statement while(expr);`.
 - `expr` bezeichnet einen logischen Ausdruck.
 - `statement` bezeichnet entweder eine einzelne Anweisung oder einen Block.
- Die Anweisungen innerhalb der `do-while`-Schleife werden ausgeführt und dann wiederholt, so lange der logische Ausdruck `expr` "ungleich 0" (also "true") ist.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr = 0;
6.
7.     do
8.     {
9.         printf("ctr = %d\n", ctr);
10.        ctr++;
11.    }
12.    while(ctr < 10);
13. }
```

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
ctr = 3
ctr = 4
ctr = 5
ctr = 6
ctr = 7
ctr = 8
ctr = 9
```

- Eine `do-while`-Schleife kann mit der Anweisung `break;` vorzeitig verlassen werden.
- Mit der Anweisung `continue;` können innerhalb eines `do-while`-Blocks die noch folgenden Anweisungen übersprungen werden; es wird direkt mit der Überprüfung des logischen Ausdrucks `expr` fortgefahren und bei "true" der `do-while`-Block erneut ausgeführt.

Schleifen: for ...

- Syntax:
 - `for(expr1; expr2; expr3) statement.`
 - `expr1` bezeichnet einen Ausdruck, in der Regel die Initialisierung einer Zählvariable.
 - `expr2` bezeichnet einen logischen Ausdruck.
 - `expr3` bezeichnet einen Ausdruck, in der Regel eine nach jedem Schleifendurchlauf stattfindende Veränderung einer Zählvariable.
 - `statement` bezeichnet entweder eine einzelne Anweisung oder einen Block.
- Zu Beginn der `for`-Schleife wird einmalig `expr1` ausgewertet.
- Die Anweisungen innerhalb der `for`-Schleife werden wiederholt, so lange der logische Ausdruck `expr2` "ungleich 0" (also "true") ist.
- Nach jedem Schleifendurchlauf wird `expr3` ausgewertet.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr;
6.
7.     for(ctr = 0; ctr < 10; ctr++)
8.         printf("ctr = %d\n", ctr);
9. }
```

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
ctr = 3
ctr = 4
ctr = 5
ctr = 6
ctr = 7
ctr = 8
ctr = 9
```

- Eine `for`-Schleife kann mit der Anweisung `break;` vorzeitig verlassen werden.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr;
6.
7.     for(ctr = 0; ctr < 10; ctr++)
8.     {
9.         // Abbruch der Schleife "von Hand", sobald ctr == 5.
10.        if(ctr == 5)
11.            break;
12.
13.        printf("ctr = %d\n", ctr);
14.    }
15. }
```

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
```

```
ctr = 3
ctr = 4
```

- Mit der Anweisung

continue;

können innerhalb eines **for**-Blocks die noch folgenden Anweisungen übersprungen werden; es wird direkt mit der Auswertung von *expr3* und der Überprüfung des logischen Ausdrucks *expr2* fortgefahren und bei "true" der **for**-Block erneut ausgeführt.

```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr;
6.
7.     for(ctr = 0; ctr < 10; ctr++)
8.     {
9.         // Ueberspringe die folgende print-Anweisung, falls ctr nicht gerade ist.
10.        if(ctr%2 != 0)
11.            continue;
12.
13.        printf("ctr = %d\n", ctr);
14.    }
15. }
```

```
ctr = 0
ctr = 2
ctr = 4
ctr = 6
ctr = 8
```

goto ...

- Syntax:

- `goto label;`

- `label:`

- `goto label;`

bewirkt, dass zur **Marke**

`label:`

gesprungen und mit den nach der Marke folgenden Anweisungen fortgefahren wird.

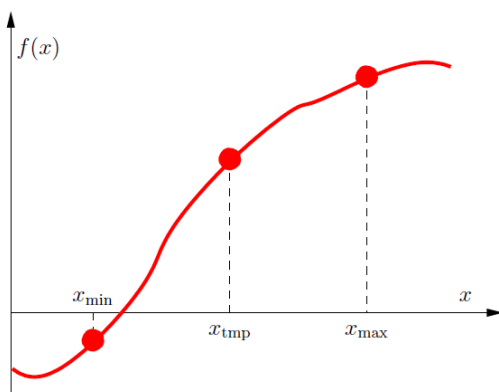
```
1. #include<stdio.h>
2.
3. int main(void)
4. {
5.     int ctr = 0;
6.
7.     loop_start:
8.
9.     printf("ctr = %d\n", ctr);
10.    ctr++;
11.
12.    if(ctr < 10)
13.        goto loop_start;
14. }
```

```
ctr = 0
ctr = 1
ctr = 2
ctr = 3
ctr = 4
ctr = 5
ctr = 6
ctr = 7
ctr = 8
ctr = 9
```

- Die Verwendung von `goto` gilt als **schlechter Programmierstil** (Programmcode ist unübersichtlich und damit fehleranfällig) und **sollte nur in absoluten Ausnahmefällen eingesetzt werden**.

Anwendung: Nullstellensuche mit Bisektion

- Häufig lassen sich die Nullstellen einer Funktion $f(x)$ nicht analytisch bestimmen.
- Nebenbemerkung: Die Lösung einer beliebigen Gleichung $g(x) = h(x)$ ist äquivalent zur Nullstellensuche $f(x) = 0$ mit $f(x) \equiv g(x) - h(x)$.
- Ein einfaches numerisches Verfahren zur Nullstellensuche ist die **Bisektion**:
 - Startpunkt: x_{\min} und x_{\max} mit $f(x_{\min})f(x_{\max}) \leq 0$ (damit ist mindestens eine Nullstelle im Intervall $[x_{\min}, x_{\max}]$ garantiert).
 - **Algorithmus**:
 1. Falls $x_{\max} - x_{\min} < \epsilon$, beende den Algorithmus; die Nullstelle ist $x_0 = (x_{\min} + x_{\max})/2$ mit einer numerischen Genauigkeit von mindestens $\epsilon/2$.
 2. Teile das Intervall in der Mitte, d.h. bei $x_{\text{tmp}} = (x_{\min} + x_{\max})/2$.
 3. Falls eine Nullstelle im linken Intervall garantiert ist (falls $f(x_{\min})f(x_{\text{tmp}}) \leq 0$), ersetze $x_{\max} = x_{\text{tmp}}$; gehe zu 1.
 4. Eine Nullstelle ist im rechten Intervall garantiert; ersetze $x_{\min} = x_{\text{tmp}}$; gehe zu 1.



- Das folgende Programm bestimmt die im Intervall $[3.0, 3.5]$ liegende Nullstelle der Funktion $\sin(x)$ mit der numerischen Genauigkeit von $\epsilon = 10^{-6}$ mit Hilfe von Bisektion (das Ergebnis ist natürlich bekannt, $x_0 = \pi$).

```
1. #include<math.h>
2. #include<stdio.h>
3. #include<stdlib.h>
4.
5. // *****
6.
7. // Die Funktion, von der eine Nullstelle gesucht wird (sin(x)).
8. double f(double x)
9. {
10.     return sin(x);
11. }
12.
13. // *****
14.
15. int main(void)
16. {
17.     double eps = pow(10.0, -6.0); // Genauigkeit der numerisch zu bestimmenden Nullstelle.
18.
```

```

19. double x_min = 3.0; // Minimaler Wert des Startintervalls.
20. double x_max = 3.5; // Maximaler Wert des Startintervalls.
21.
22. // *****
23.
24. // Fehlerabfrage der Input-Daten.
25.
26. if(eps <= 0.0)
27. {
28.     printf("Fehler: eps <= 0.0.\n");
29.     exit(0);
30. }
31.
32. if(x_max < x_min)
33. {
34.     printf("Fehler: x_max < x_min.\n");
35.     exit(0);
36. }
37.
38. double f_min = f(x_min);
39. double f_max = f(x_max);
40.
41. if((f_min <= 0.0 && f_max <= 0.0) ||
42.    (f_min >= 0.0 && f_max >= 0.0))
43. {
44.     printf("Fehler: Nullstelle im Intervall [x_min,x_max] ist nicht garantiert.\n");
45.     exit(0);
46. }
47.
48. // *****
49.
50. printf("x_min = %f    f(x_min) = %f    x_max = %f    f(x_max) = %f\n", x_min, f_min, x_max, f_max);
51.
52. // Nullstellensuche mit Bisektion.
53.
54. while(x_max-x_min > eps)
55. {
56.     double x_tmp = 0.5 * (x_min+x_max);
57.     double f_tmp = f(x_tmp);
58.
59.     if((f_min <= 0.0 && f_tmp >= 0.0) ||
60.        (f_min >= 0.0 && f_tmp <= 0.0))
61.         // Nullstelle im linken Teilintervall [x_min,x_tmp].
62.         {
63.             x_max = x_tmp;
64.             f_max = f_tmp;
65.         }
66.     else
67.         // Nullstelle im rechten Teilintervall [x_tmp,x_max].
68.         {
69.             x_min = x_tmp;
70.             f_min = f_tmp;
71.         }
72.
73.     printf("x_min = %f    f(x_min) = %f    x_max = %f    f(x_max) = %f\n", x_min, f_min, x_max, f_max);
74. }
75.
76. double x_0 = 0.5 * (x_min+x_max); // Die gesuchte Nullstelle.
77. printf("Nullstelle gefunden: f(%f) = %e\n", x_0, f(x_0));

```

x_min = +3.000000	f(x_min) = +0.141120	x_max = +3.500000	f(x_max) = -0.350783
x_min = +3.000000	f(x_min) = +0.141120	x_max = +3.250000	f(x_max) = -0.108195
x_min = +3.125000	f(x_min) = +0.016592	x_max = +3.250000	f(x_max) = -0.108195
x_min = +3.125000	f(x_min) = +0.016592	x_max = +3.187500	f(x_max) = -0.045891
x_min = +3.125000	f(x_min) = +0.016592	x_max = +3.156250	f(x_max) = -0.014657
x_min = +3.140625	f(x_min) = +0.000968	x_max = +3.156250	f(x_max) = -0.014657
x_min = +3.140625	f(x_min) = +0.000968	x_max = +3.148438	f(x_max) = -0.006845
x_min = +3.140625	f(x_min) = +0.000968	x_max = +3.144531	f(x_max) = -0.002939
x_min = +3.140625	f(x_min) = +0.000968	x_max = +3.142578	f(x_max) = -0.000985
x_min = +3.140625	f(x_min) = +0.000968	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141113	f(x_min) = +0.000479	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141357	f(x_min) = +0.000235	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141479	f(x_min) = +0.000113	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141541	f(x_min) = +0.000052	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141571	f(x_min) = +0.000022	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141586	f(x_min) = +0.000006	x_max = +3.141602	f(x_max) = -0.000009
x_min = +3.141586	f(x_min) = +0.000006	x_max = +3.141594	f(x_max) = -0.000001
x_min = +3.141590	f(x_min) = +0.000003	x_max = +3.141594	f(x_max) = -0.000001
x_min = +3.141592	f(x_min) = +0.000001	x_max = +3.141594	f(x_max) = -0.000001
x_min = +3.141592	f(x_min) = +0.000001	x_max = +3.141593	f(x_max) = -0.000000

Nullstelle gefunden: $f(+3.141593) = +1.509958e-07$