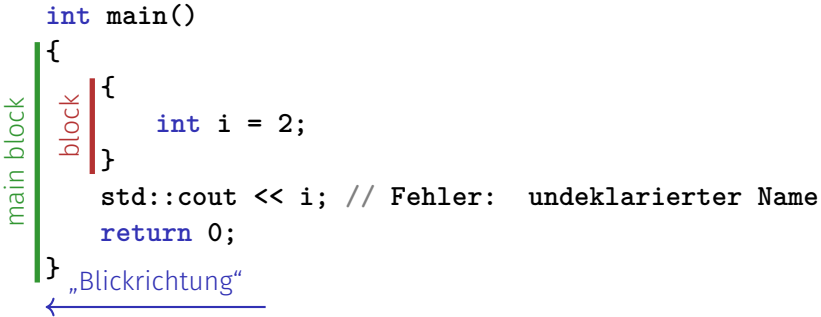
6. Kontrollanweisungen II

Sichtbarkeit, Lokale Variablen, While-Anweisung, Do-Anweisung, Sprunganweisungen

Sichtbarkeit

Deklaration in einem Block ist ausserhalb des Blocks nicht *sichtbar*.



Potenzieller Gültigkeitsbereich

Im Block

```
{
    ...
    int i = 2;
    ...
}
```

Im Funktionsrumpf

```
int main() {
    ...
    int i = 2;
    ...
    return 0;
}
```

In Kontrollanweisung

```
for (int i = 0; i < 10; ++i) {s += i; ... }
```

Potenzieller Gültigkeitsbereich

Im Block

```
{
    ...
    int i = 2;
    ...
}
```

scope

Im Funktionsrumpf

```
int main() {
    ...
    int i = 2;
    ...
    return 0;
}
```

scope

In Kontrollanweisung

```
for (int i = 0; i < 10; ++i) {s += i; ... }
```

scope

Gültigkeitsbereich

```
int main()
{
   int i = 2;
   for (int i = 0; i < 5; ++i)
       // outputs 0,1,2,3,4
       std::cout << i;
    // outputs 2
    std::cout << i;
   return 0;
}
```

Potenzieller Gültigkeitsbereich

```
int main()
{
    int i = 2;
    for (int i = 0; i < 5; ++i)
        // outputs 0,1,2,3,4
        std::cout << i;
     // outputs 2
     std::cout << i;
    return 0;
}
```

Wirklicher Gültigkeitsbereich

```
int main()
{
  int i = 2;
  for (int i = 0; i < 5; ++i)
      // outputs 0,1,2,3,4
      std::cout << i;
   // outputs 2
   std::cout << i;
  return 0;
}
```

Lokale Variablen

```
int main()
{
    int i = 5;
    for (int j = 0; j < 5; ++j) {
        std::cout << ++i; // outputs
        int k = 2;
        std::cout << --k; // outputs
    }
}
```

Lokale Variablen

```
int main()
{
    int i = 5;
    for (int j = 0; j < 5; ++j) {
        std::cout << ++i; // outputs 6, 7, 8, 9, 10
        int k = 2;
        std::cout << --k; // outputs 1, 1, 1, 1, 1
    }
}
```

Lokale Variablen

```
int main()
{
    int i = 5;
    for (int j = 0; j < 5; ++j) {
        std::cout << ++i; // outputs
        int k = 2;
        std::cout << --k; // outputs
    }
}
```

Lokale Variablen (Deklaration in einem Block) haben *automatische Speicherdauer*.

`while` Anweisung

```
while (condition)
  statement
```

`while` Anweisung

```
while (condition)
  statement
```

ist äquivalent zu

```
for (; condition; )
  statement
```

Beispiel: Die Collatz-Folge $(n \in \mathbb{N})$

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4, 2

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4, 2, 1

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1

Die Collatz-Folge

- $n_0 = n$
- $n_i = \begin{cases} \frac{n_{i-1}}{2} & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ gerade} \\ 3n_{i-1} + 1 & , \text{ falls } n_{i-1} \text{ ungerade} \end{cases}, i \geq 1.$

n=5: 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, ... (Repetition bei 1)

do Anweisung

```
do
  statement
while (condition);
```

do Anweisung

```
do
  statement
while (condition);
```

ist äquivalent zu

```
statement
while (condition)
  statement
```

`break` und `continue` in der Praxis

- Vorteil: Können verschachtelte **`if-else`**-Blöcke (oder komplexe Disjunktionen) vermeiden

`break` und `continue` in der Praxis

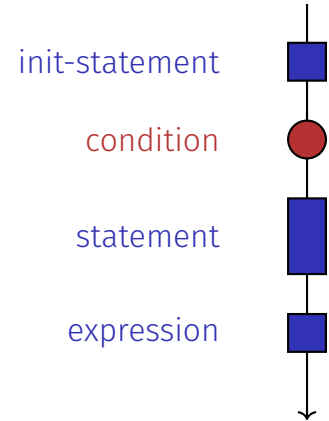
- Vorteil: Können verschachtelte **`if-else`**-Blöcke (oder komplexe Disjunktionen) vermeiden
- Aber führen zu mehr Sprüngen und somit zu potentiel komplexerem Kontrollfluss

`break` und `continue` in der Praxis

- Vorteil: Können verschachtelte **`if-else`**-Blöcke (oder komplexe Disjunktionen) vermeiden
- Aber führen zu mehr Sprüngen und somit zu potentiel komplexerem Kontrollfluss
- Ihr Einsatz ist daher umstritten und sollte mit Vorsicht geschehen

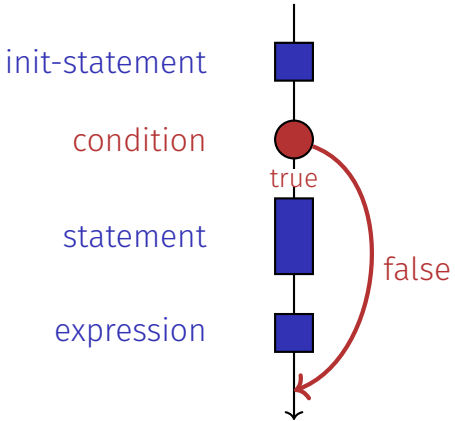
Kontrollfluss `for`

`for` (*init statement* *condition* **`;`** *expression*)
statement



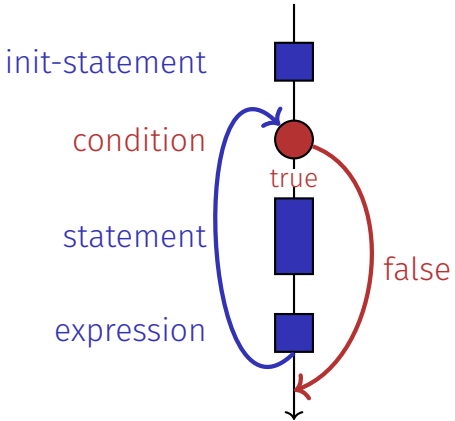
Kontrollfluss `for`

`for` (*init statement* *condition* **`;`** *expression*)
statement

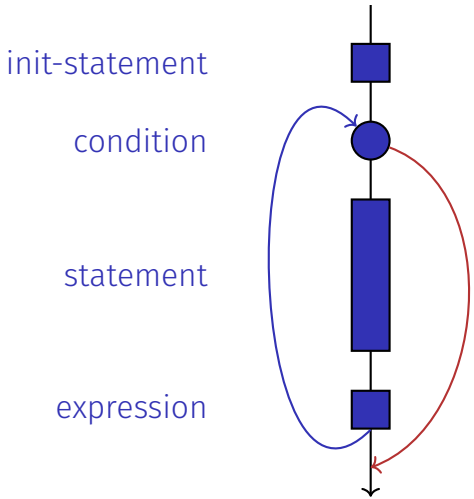


Kontrollfluss `for`

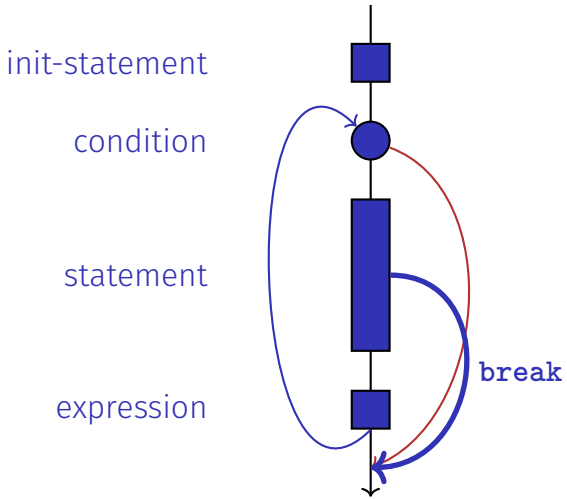
`for` (*init statement* *condition* **`;`** *expression*)
statement



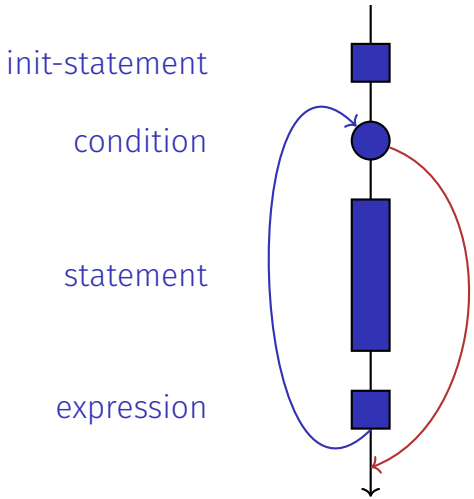
Kontrollfluss `break` und `continue` in for



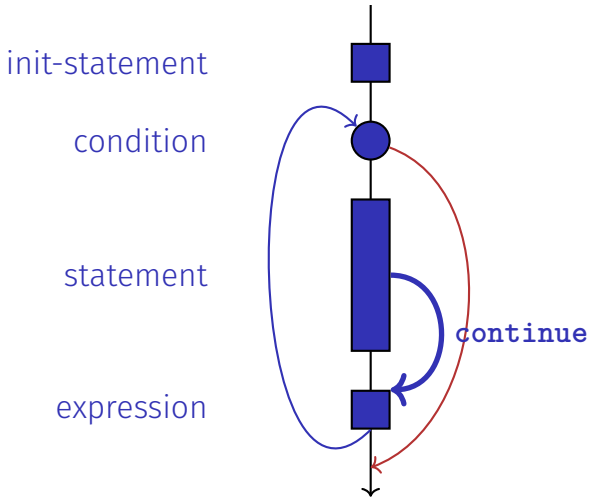
Kontrollfluss *break* und continue in for



Kontrollfluss `break` und `continue` in for



Kontrollfluss `break` und *`continue`* in for



Kontrollfluss: Die guten alten Zeiten?

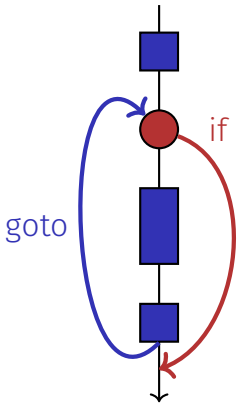
Beobachtung

Wir brauchen eigentlich nur **`if`**s und Sprünge an beliebige Stellen im Programm (**`goto`**).

Kontrollfluss: Die guten alten Zeiten?

Beobachtung

Wir brauchen eigentlich nur **`if`**s und Sprünge an beliebige Stellen im Programm (**`goto`**).



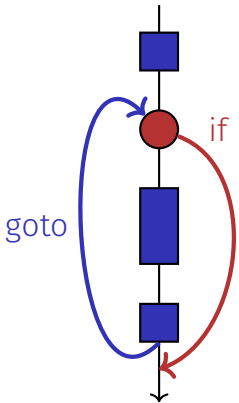
Kontrollfluss: Die guten alten Zeiten?

Beobachtung

Wir brauchen eigentlich nur **`if`**s und Sprünge an beliebige Stellen im Programm (**`goto`**).

Sprachen, die darauf basieren:

- Maschinensprache



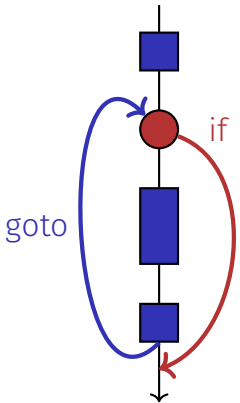
Kontrollfluss: Die guten alten Zeiten?

Beobachtung

Wir brauchen eigentlich nur **`if`**s und Sprünge an beliebige Stellen im Programm (**`goto`**).

Sprachen, die darauf basieren:

- Maschinensprache
- Assembler („höhere“ Maschinensprache)



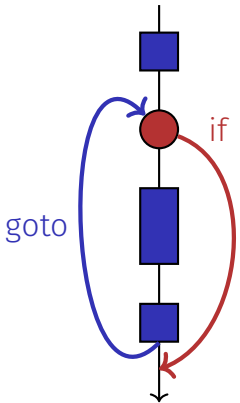
Kontrollfluss: Die guten alten Zeiten?

Beobachtung

Wir brauchen eigentlich nur **`if`**s und Sprünge an beliebige Stellen im Programm (**`goto`**).

Sprachen, die darauf basieren:

- Maschinensprache
- Assembler („höhere“ Maschinensprache)
- BASIC, die erste Programmiersprache für ein allgemeines Publikum (1964)



BASIC und die Home-Computer...

...ermöglichten einer ganzen Generation von Jugendlichen das Programmieren.

Home-Computer Commodore C64 (1982)

Spaghetti-Code mit goto

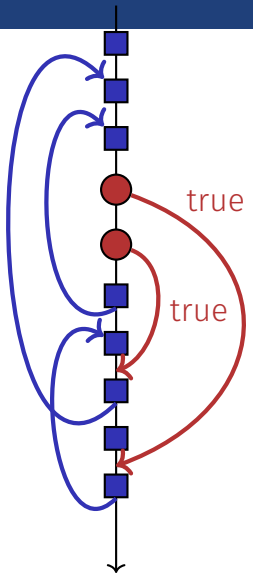
Ausgabe von ???????????
mit der Programmiersprache BASIC:

```
10 N=2
20 D=1
30 D=D+1
40 IF N=D GOTO 100
50 IF N/D = INT(N/D) GOTO 70
60 GOTO 30
70 N=N+1
80 GOTO 20
100 PRINT N
110 GOTO 70
```

Spaghetti-Code mit goto

Ausgabe aller Primzahlen
mit der Programmiersprache BASIC:

```
10  N=2
20  D=1
30  D=D+1
40  IF  N=D  GOTO 100
50  IF  N/D  =  INT(N/D)  GOTO  70
60  GOTO  30
70  N=N+1
80  GOTO  20
100  PRINT N
110  GOTO  70
```



Die „richtige“ Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

Die „richtige“ Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

- Wenige Anweisungen

Die „richtige“ Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

- Wenige Anweisungen
- Wenige Zeilen Code

Die „richtige“ Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

- Wenige Anweisungen
- Wenige Zeilen Code
- Einfacher Kontrollfluss

Die „richtige“ Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

- Wenige Anweisungen
- Wenige Zeilen Code
- Einfacher Kontrollfluss
- Einfache Ausdrücke

Die „richtige“ Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

- Wenige Anweisungen
- Wenige Zeilen Code
- Einfacher Kontrollfluss
- Einfache Ausdrücke

Ziele sind oft nicht gleichzeitig erreichbar.

Ungerade Zahlen in $\{0, \ldots, 100\}$

Erster (korrekter) Versuch:

```
for (unsigned int i = 0; i < 100; ++i) {
    if (i % 2 == 0)
        continue;
    std::cout << i << "\n";
}
```

Ungerade Zahlen in $\{0, \ldots, 100\}$

Weniger Anweisungen, **weniger** Zeilen:

```
for (unsigned int i = 0; i < 100; ++i) {
    if (i % 2 != 0)
        std::cout << i << "\n";
}
```

Ungerade Zahlen in $\{0, \ldots, 100\}$

Weniger Anweisungen, **einfacherer** Kontrollfluss:

```
for (unsigned int i = 1; i < 100; i += 2)
    std::cout << i << "\n";
```

Ungerade Zahlen in $\{0, \ldots, 100\}$

Weniger Anweisungen, **einfacherer** Kontrollfluss:

```
for (unsigned int i = 1; i < 100; i += 2)
    std::cout << i << "\n";
```

Das ist hier die „richtige“ Iterationsanweisung

Notenausgabe

1. Funktionale Anforderung:

$$
\begin{aligned}
6 &\rightarrow \texttt{"Excellent ... You passed!"} \\
5,4 &\rightarrow \texttt{"You passed!"} \\
3 &\rightarrow \texttt{"Close, but ... You failed!"} \\
2,1 &\rightarrow \texttt{"You failed!"} \\
\textit{sonst} &\rightarrow \texttt{"Error!"}
\end{aligned}
$$

Notenausgabe

1. Funktionale Anforderung:

$$
\begin{aligned}
6 &\rightarrow \texttt{"Excellent ... You passed!"} \\
5,4 &\rightarrow \texttt{"You passed!"} \\
3 &\rightarrow \texttt{"Close, but ... You failed!"} \\
2,1 &\rightarrow \texttt{"You failed!"} \\
\textit{sonst} &\rightarrow \texttt{"Error!"}
\end{aligned}
$$

2. Ausserdem: Text- und Codeduplikation vermeiden

Notenausgabe mit `if`-Anweisungen

```
int grade;
...
if (grade == 6) std::cout << "Excellent ... ";
if (4 <= grade && grade <= 6) {
    std::cout << "You passed!";
} else if (1 <= grade && grade < 4) {
    if (grade == 3) std::cout << "Close, but ... ";
    std::cout << "You failed!";
} else std::cout << "Error!";
```

Notenausgabe mit `if`-Anweisungen

```
int grade;
...
if (grade == 6) std::cout << "Excellent ... ";
if (4 <= grade && grade <= 6) {
    std::cout << "You passed!";
} else if (1 <= grade && grade < 4) {
    if (grade == 3) std::cout << "Close, but ... ";
    std::cout << "You failed!";
} else std::cout << "Error!";
```

Nachteil: Kontrollfluss – und somit Programmverhalten – nicht gerade offensichtlich

Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

Durchfallen

Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

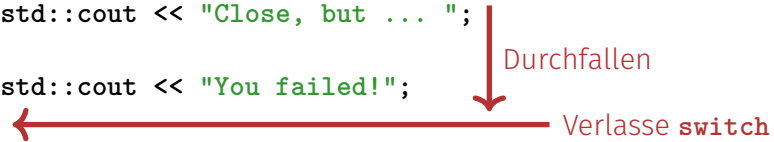
Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

Durchfallen

Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```



Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

In allen anderen Fällen

Notenausgabe mit `switch`-Anweisung

```
switch (grade) {
  case 6: std::cout << "Excellent ... ";
  case 5:
  case 4: std::cout << "You passed!";
    break;
  case 3: std::cout << "Close, but ... ";
  case 2:
  case 1: std::cout << "You failed!";
    break;
  default: std::cout << "Error!";
}
```

Vorteil: Kontrollfluss klar erkennbar

Die `switch`-Anweisung

```
switch (expression)
  statement
```

- *expression*: Ausdruck, konvertierbar in einen integralen Typ
- *statement* : beliebige Anweisung, in welcher **`case`** und **`default`**-Marken erlaubt sind, **`break`** hat eine spezielle Bedeutung.

Die `switch`-Anweisung

```
switch (expression)
  statement
```

- *expression*: Ausdruck, konvertierbar in einen integralen Typ
- *statement* : beliebige Anweisung, in welcher **`case`** und **`default`**-Marken erlaubt sind, **`break`** hat eine spezielle Bedeutung.
- Benutzung des Durchfallens in der Praxis umstritten, Einsatz gut abwägen (entsprechende Compilerwarnung kann aktiviert werden)

7. Fliesskommazahlen I

Typen **`float`** und **`double`**; Gemischte Ausdrücke und Konversionen; Löcher im Wertebereich;

„Richtig“ Rechnen

```
// Input
std::cout << "Temperature in degrees Celsius =? ";
int celsius;
std::cin >> celsius;

// Computation and output
std::cout << celsius << " degrees Celsius are "
          << 9 * celsius / 5 + 32 << " degrees Fahrenheit.\\n";
```

28 degrees Celsius are 82 degrees Fahrenheit.

„Richtig“ Rechnen

```
// Input
std::cout << "Temperature in degrees Celsius =? ";
int celsius;
std::cin >> celsius;

// Computation and output
std::cout << celsius << " degrees Celsius are "
          << 9 * celsius / 5 + 32 << " degrees Fahrenheit.\\n";
```

28 degrees Celsius are 82 degrees Fahrenheit.

richtig wäre 82.4

„Richtig“ Rechnen

```
// Input
std::cout << "Temperature in degrees Celsius =? ";
float celsius; // Enable fractional numbers
std::cin >> celsius;

// Computation and output
std::cout << celsius << " degrees Celsius are "
          << 9 * celsius / 5 + 32 << " degrees Fahrenheit.\\n";
```

28 degrees Celsius are 82.4 degrees Fahrenheit.

Fixkommazahlen

- feste Anzahl Vorkommastellen (z.B. 7)
- feste Anzahl Nachkommastellen (z.B. 3)

Fixkommazahlen

- feste Anzahl Vorkommastellen (z.B. 7)
- feste Anzahl Nachkommastellen (z.B. 3)

```
82.4 = 0000082.400
```

Fixkommazahlen

- feste Anzahl Vorkommastellen (z.B. 7)
- feste Anzahl Nachkommastellen (z.B. 3)

```
82.4 = 0000082.400
```

Nachteile

- Wertebereich wird *noch* kleiner als bei ganzen Zahlen.

Fixkommazahlen

- feste Anzahl Vorkommastellen (z.B. 7)
- feste Anzahl Nachkommastellen (z.B. 3)

```
0.0824 = 0000000.082
```
← dritte Stelle abgeschnitten

Nachteile

- Repräsentierbarkeit hängt von der Stelle des Kommas ab.

Fliesskommazahlen

- Beobachtung: Unterschiedlich „effiziente“ Darstellungen einer Zahl, z.B.

$$\begin{aligned} 0.0824 &= 0.00824 \cdot 10^{1} &&= 0.824 \cdot 10^{-1} \\ &= 8.24 \cdot 10^{-2} &&= 824 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

  Anzahl *signifikanter Stellen* bleibt konstant

Fliesskommazahlen

- Beobachtung: Unterschiedlich „effiziente“ Darstellungen einer Zahl, z.B.

$$\begin{aligned} 0.0824 &= 0.00824 \cdot 10^{1} &&= 0.824 \cdot 10^{-1} \\ &= 8.24 \cdot 10^{-2} &&= 824 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

  Anzahl *signifikanter Stellen* bleibt konstant

- Fliesskommarepräsentation daher:
  - Feste Anzahl signifikanter Stellen (z.B. 10),
  - Plus Position des Kommas mittels Exponenten
  - Zahl ist $\mathit{Signifikand} \times 10^{\mathit{Exponent}}$

Typen `float` und `double`

- sind die fundamentalen C++ Typen für Fliesskommazahlen
- approximieren den Körper der reellen Zahlen $(\mathbb{R}, +, \times)$ in der Mathematik

Typen `float` und `double`

- sind die fundamentalen C++ Typen für Fliesskommazahlen
- approximieren den Körper der reellen Zahlen $(\mathbb{R}, +, \times)$ in der Mathematik
- haben grossen Wertebereich, ausreichend für viele Anwendungen:
  - **`float`**: ca. 7 Stellen, Exponent bis ± 38
  - **`double`**: ca. 15 Stellen, Exponent bis ± 308

Typen `float` und `double`

- sind die fundamentalen C++ Typen für Fliesskommazahlen
- approximieren den Körper der reellen Zahlen $(\mathbb{R}, +, \times)$ in der Mathematik
- haben grossen Wertebereich, ausreichend für viele Anwendungen:
  - **`float`**: ca. 7 Stellen, Exponent bis ± 38
  - **`double`**: ca. 15 Stellen, Exponent bis ± 308
- sind auf den meisten Rechnern sehr schnell (Hardwareunterstützung)

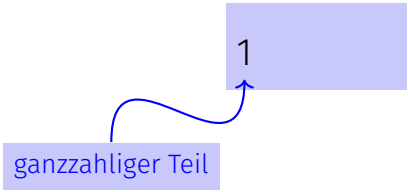
Arithmetische Operatoren

Wie bei **`int`**, aber …

- Divisionsoperator **`/`** modelliert „echte“ (reelle, nicht ganzzahlige) Division
- Kein Modulo-Operator, d.h. kein **`%`**

Literale

unterscheiden sich von Ganzzahlliteralen

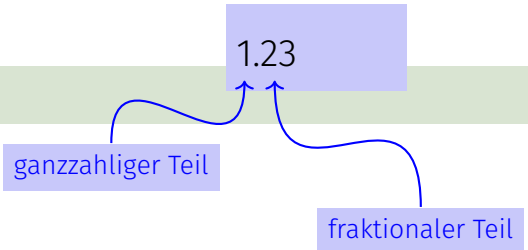


Literale

unterscheiden sich von Ganzzahlliteralen durch Angabe von

- Dezimalkomma

`1.0` : Typ **`double`**, Wert 1

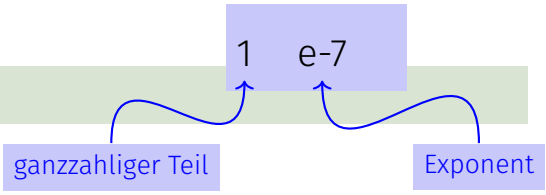


Literale

unterscheiden sich von Ganzzahlliteralen durch Angabe von

- Dezimalkomma

  `1.0` : Typ **`double`**, Wert 1



- oder Exponent.

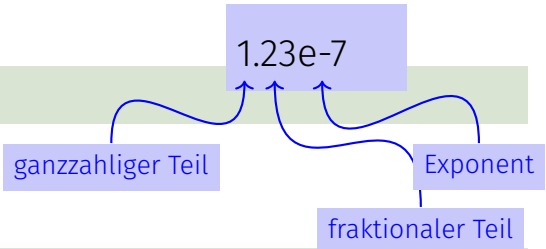
  `1e3` : Typ **`double`**, Wert 1000

Literale

unterscheiden sich von Ganzzahlliteralen durch Angabe von

- Dezimalkomma

  `1.0` : Typ **`double`**, Wert 1



- und / oder Exponent.

  `1e3` : Typ **`double`**, Wert 1000

  `1.23e-7` : Typ **`double`**, Wert $1.23 \cdot 10^{-7}$

Literale

unterscheiden sich von Ganzzahlliteralen durch Angabe von

- Dezimalkomma

  `1.0` : Typ **`double`**, Wert 1

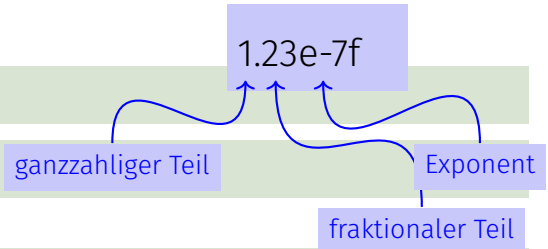
  `1.27f` : Typ **`float`**, Wert 1.27

- und / oder Exponent.

  `1e3` : Typ **`double`**, Wert 1000

  `1.23e-7` : Typ **`double`**, Wert $1.23 \cdot 10^{-7}$

  `1.23e-7f` : Typ **`float`**, Wert $1.23 \cdot 10^{-7}$



Rechnen mit `float`: Beispiel

Approximation der Euler-Zahl

$$e = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{i!} \approx 2.71828\ldots$$

mittels der ersten 10 Terme.

Rechnen mit `float`: Eulersche Zahl

```
std::cout << "Approximating the Euler number... \n";

// values for i-th iteration, initialized for i = 0
float t = 1.0f; // term 1/i!
float e = 1.0f; // i-th approximation of e

// iteration 1, ..., n
for (unsigned int i = 1; i < 10; ++i) {
    t /= i;    // 1/(i-1)! -> 1/i!
    e += t;
    std::cout << "Value after term " << i << ": "
              << e << "\n";
}
```

Rechnen mit `float`: Eulersche Zahl

```
Value after term 1: 2
Value after term 2: 2.5
Value after term 3: 2.66667
Value after term 4: 2.70833
Value after term 5: 2.71667
Value after term 6: 2.71806
Value after term 7: 2.71825
Value after term 8: 2.71828
Value after term 9: 2.71828
```

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

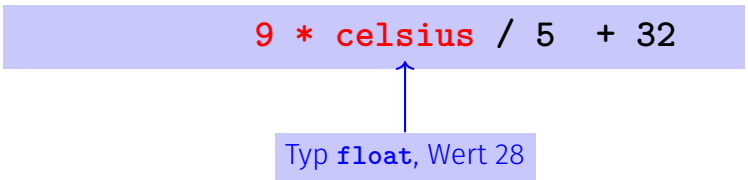
Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

```
9 * celsius / 5  + 32
```

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.



Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

```
9 * 28.0f / 5  + 32
```

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

```
9 * 28.0f / 5  + 32
```

wird zu **`float`** konvertiert: 9.0f

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

Gemischte Ausdrücke, Konversion

- Fliesskommazahlen sind allgemeiner als ganzzahlige Typen.
- In gemischten Ausdrücken werden ganze Zahlen zu Fliesskommazahlen konvertiert.

```
                                                    82.4f
```

Löcher im Wertebereich

```
float n1;
std::cout << "First number  =? ";
std::cin >> n1;

float n2;
std::cout << "Second number =? ";
std::cin >> n2;

float d;
std::cout << "Their difference =? ";
std::cin >> d;

std::cout << "Computed difference - input difference = "
          << n1 - n2 - d << "\n";
```

Löcher im Wertebereich

```
float n1;
std::cout << "First number  =? ";
std::cin >> n1;

float n2;
std::cout << "Second number =? ";
std::cin >> n2;

float d;
std::cout << "Their difference =? ";
std::cin >> d;

std::cout << "Computed difference - input difference = "
          << n1 - n2 - d << "\n";
```

Eingabe 1.5

Eingabe 1.0

Eingabe 0.5

Löcher im Wertebereich

```
float n1;
std::cout << "First number  =? ";
std::cin >> n1;

float n2;
std::cout << "Second number =? ";
std::cin >> n2;

float d;
std::cout << "Their difference =? ";
std::cin >> d;

std::cout << "Computed difference - input difference = "
          << n1 - n2 - d << "\n";
```

Eingabe 1.5

Eingabe 1.0

Eingabe 0.5

Ausgabe 0

Löcher im Wertebereich

```
float n1;
std::cout << "First number  =? ";
std::cin >> n1;

float n2;
std::cout << "Second number =? ";
std::cin >> n2;

float d;
std::cout << "Their difference =? ";
std::cin >> d;

std::cout << "Computed difference - input difference = "
          << n1 - n2 - d << "\n";
```

Eingabe 1.1

Eingabe 1.0

Eingabe 0.1

Löcher im Wertebereich

```
float n1;
std::cout << "First number  =? ";
std::cin >> n1;

float n2;
std::cout << "Second number =? ";
std::cin >> n2;

float d;
std::cout << "Their difference =? ";
std::cin >> d;

std::cout << "Computed difference - input difference = "
          << n1 - n2 - d << "\n";
```

Eingabe 1.1

Eingabe 1.0

Eingabe 0.1

Ausgabe 2.23517e-8

Löcher im Wertebereich

```
float n1;
std::cout << "First number  =? ";
std::cin >> n1;

float n2;
std::cout << "Second number =? ";
std::cin >> n2;

float d;
std::cout << "Their difference =? ";
std::cin >> d;

std::cout << "Computed difference - input difference = "
          << n1 - n2 - d << "\n";
```

Eingabe 1.1

Eingabe 1.0

Eingabe 0.1

Ausgabe 2.23517e-8

Was ist denn hier los?

Wertebereich

Ganzzahlige Typen:

- Über- und Unterlauf häufig, aber …
- Wertebereich ist zusammenhängend (keine Löcher): $\mathbb{Z}$ ist „diskret“.

Wertebereich

Ganzzahlige Typen:

- Über- und Unterlauf häufig, aber ...
- Wertebereich ist zusammenhängend (keine Löcher): $\mathbb{Z}$ ist „diskret“.

Fliesskommatypen:

- Über- und Unterlauf selten, aber ...
- es gibt Löcher: $\mathbb{R}$ ist „kontinuierlich“.