1. Kontrollanweisungen

Auswahlanweisungen, Iterationsanweisungen, Terminierung, Blöcke, Sprunganweisungen

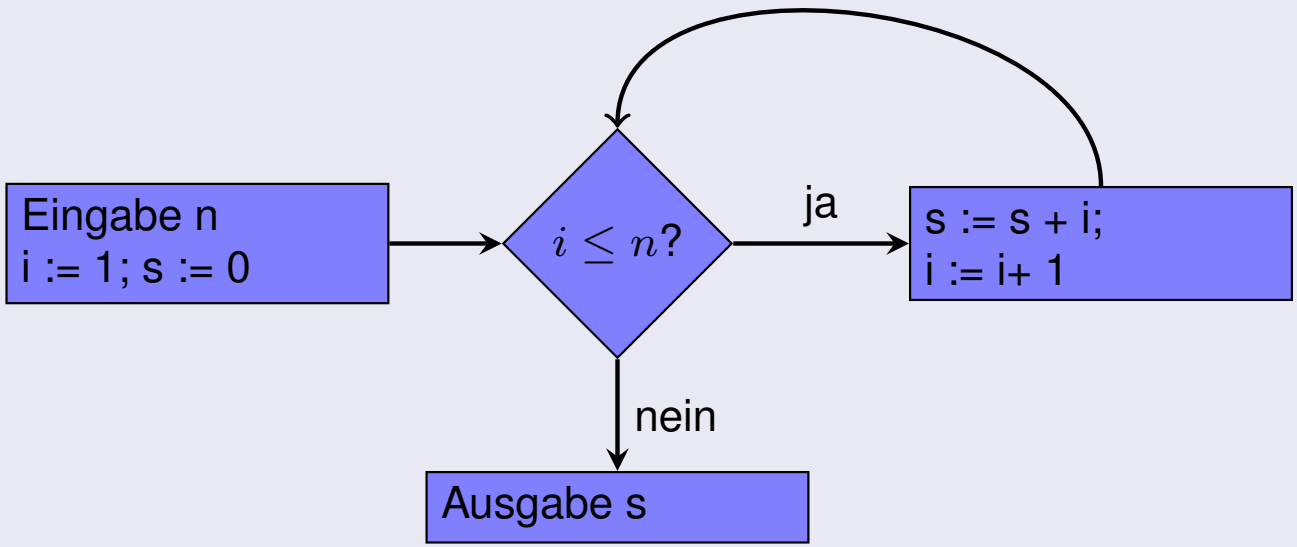
Kontrollfluss

- bisher *linear* (von oben nach unten)
- Für interessante Programme braucht man „Verzweigungen” und „Sprünge”.

Kontrollfluss

- bisher *linear* (von oben nach unten)
- Für interessante Programme braucht man „Verzweigungen” und „Sprünge”.

Berechung von $1 + 2 + ... + n$.



Auswahlanweisungen

realisieren Verzweigungen

- `if` Anweisung
- `if-else` Anweisung

`if`-Anweisung

`if` (*condition*)
    statement

- *statement*: beliebige Anweisung (*Rumpf* der `if`-Anweisung)
- *condition*: konvertierbar nach `bool`

`if`-Anweisung

`if` (*condition*)
statement

Wenn *condition* den Wert **`true`** hat, dann wird *statement* ausgeführt.

```
int a;
std::cin >> a;
if (a % 2 == 0)
    std::cout << "even";
```

`if-else`-Anweisung

```
if ( condition )
    statement1
else
    statement2
```

- *condition*: konvertierbar nach **`bool`**.
- *statement1*: *Rumpf* des **`if`**-Zweiges
- *statement2*: *Rumpf* des **`else`**-Zweiges

if-else-Anweisung

if (*condition*)
    statement1
else
    statement2

Wenn *condition* den Wert **true** hat, dann wird *statement1* ausgeführt, andernfalls wird *statement2* ausgeführt.

```
int a;
std::cin >> a;
if (a % 2 == 0)
    std::cout << "even";
else
    std::cout << "odd";
```

if-else-Anweisung

if (*condition*)
    statement1
else
    statement2

Layout:

← *Einrückung !*

← *Einrückung !*

```
int a;
std::cin >> a;
if (a % 2 == 0)
    std::cout << "even";
else
    std::cout << "odd";
```

Iterationsanweisungen

realisieren „Schleifen”:

- **`for`**-Anweisung
- **`while`**-Anweisung
- **`do`**-Anweisung

Berechne $1 + 2 + \ldots + n$

```
// Program: sum_n.cpp
// Compute the sum of the first n natural numbers.

#include <iostream>

int main()
{
  // input
  std::cout << "Compute the sum 1+...+n for n =? ";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  // computation of sum_{i=1}^n i
  unsigned int s = 0;
  for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i) s += i;

  // output
  std::cout << "1+...+" << n << " = " << s << ".\n";
  return 0;
}
```

`for`-Anweisung

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

- *init-statement*: Ausdrucksanweisung, Deklarationsanweisung, Nullanweisung
- *condition*: konvertierbar nach bool
- *expression*: beliebiger Ausdruck
- *statement* : beliebige Anweisung (*Rumpf* der for-Anweisung)

`for`-Anweisung

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

Deklarationsanweisung

```
for(unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i; // Rumpf
```

`for`-Anweisung

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

Ausdruck vom Typ **`bool`**

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i; // Rumpf
```

`for`-Anweisung

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

Ausdruck vom Typ **`unsigned int`**

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i; // Rumpf
```

`for`-Anweisung

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

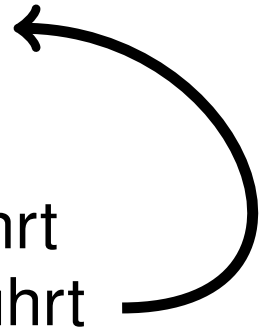
Ausdrucksanweisung

```
for(unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i; // Rumpf
```

`for`-Anweisung: Semantik

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

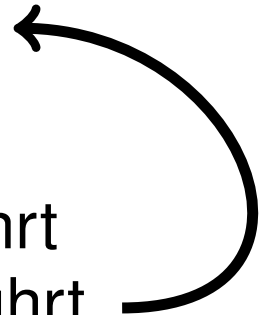
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

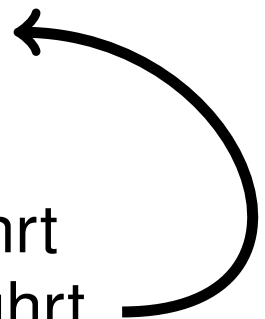
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

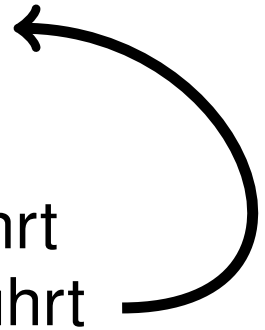
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

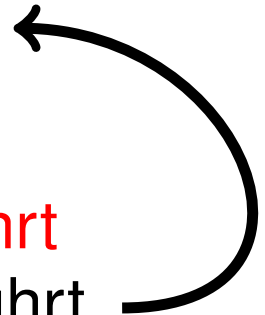
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

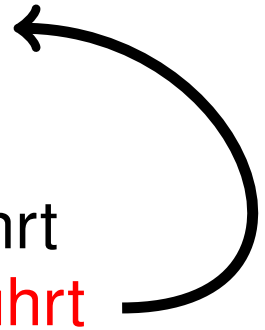
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

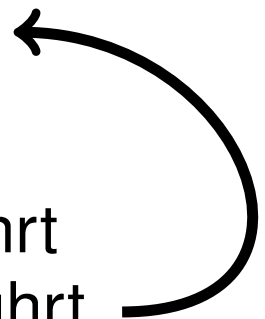
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

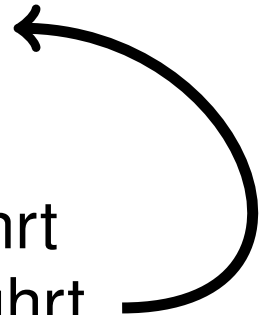
- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Semantik

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

- *init-statement* wird ausgeführt
- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
    expression wird ausgeführt
  - **`false`**: **`for`**-Anweisung wird beendet.



`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1;  i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`	`s`

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1;  i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`	`s`
`i==1`	

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`	`s`
`i==1`	`i <= 2`?

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`	`s`
`i==1`	`true`

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1;  i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`		

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`i <= 2`?	

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`true`	

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1;  i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`true`	`s == 3`

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1;  i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`true`	`s == 3`
`i==3`		

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`true`	`s == 3`
`i==3`	`i <= 2`?	

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1; i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`true`	`s == 3`
`i==3`	`false`	

`for`-Anweisung: Beispiel

```
for ( unsigned int i=1;  i <= n ; ++i )
    s += i;
```

Annahmen: `n == 2`, `s == 0`

`i`		`s`
`i==1`	`true`	`s == 1`
`i==2`	`true`	`s == 3`
`i==3`	`false`	
		`s == 3`

Der kleine Gauß (1777 - 1855)

- Mathe-Lehrer wollte seine Schüler mit folgender Aufgabe beschäftigen:

  Berechne die Summe der Zahlen von 1 bis 100 !

Der kleine Gauß (1777 - 1855)

- Mathe-Lehrer wollte seine Schüler mit folgender Aufgabe beschäftigen:

  Berechne die Summe der Zahlen von 1 bis 100 !

- Gauß war nach einer Minute fertig.

Die Lösung von Gauß

- Die gesuchte Zahl ist

$$1 + 2 + 3 + \cdots + 98 + 99 + 100.$$

Die Lösung von Gauß

- Die gesuchte Zahl ist

$$1 + 2 + 3 + \cdots + 98 + 99 + 100.$$

- Das ist die Hälfte von

$$\begin{array}{rcrcrcrcr} & 1 & + & 2 & + & \cdots & + & 99 & + & 100 \\ + & 100 & + & 99 & + & \cdots & + & 2 & + & 1 \\ \hline = & 101 & + & 101 & + & \cdots & + & 101 & + & 101 \end{array}$$

Die Lösung von Gauß

- Die gesuchte Zahl ist

$$1 + 2 + 3 + \cdots + 98 + 99 + 100.$$

- Das ist die Hälfte von

$$\begin{array}{rcrcrcrcr} & 1 & + & 2 & + & \cdots & + & 99 & + & 100 \\ + & 100 & + & 99 & + & \cdots & + & 2 & + & 1 \\ \hline = & 101 & + & 101 & + & \cdots & + & 101 & + & 101 \end{array}$$

- Antwort: $100 \cdot 101 = 5050$

`for`-Anweisung: Terminierung

```
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i)
    s += i;
```

Hier und meistens:

- *expression* ändert einen Wert, der in *condition* vorkommt.
- Nach endlich vielen Iterationen hat *condition* den Wert **`false`**: *Terminierung*.

Endlosschleifen

- Endlosschleifen sind leicht zu produzieren:

```
for ( ; ; ) ;
```

  - Die *leere condition* hat den Wert **`true`**.
  - Die *leere expression* hat keinen Effekt.
  - Die *Nullanweisung* hat keinen Effekt.

Endlosschleifen

- Endlosschleifen sind leicht zu produzieren:

```
for ( ; ; ) ;
```

  - Die *leere condition* hat den Wert `true`.
  - Die *leere expression* hat keinen Effekt.
  - Die *Nullanweisung* hat keinen Effekt.

- ... aber nicht automatisch zu erkennen.

```
for ( e; v; e) r;
```

Halteproblem

Unentscheidbarkeit des Halteproblems

Es gibt kein $\mathrm{C}{+}{+}$ Programm, das für jedes $\mathrm{C}{+}{+}$-Programm P und jede Eingabe I korrekt feststellen kann, ob das Programm P bei Eingabe von I terminiert.

Halteproblem

Unentscheidbarkeit des Halteproblems

Es gibt kein $\mathrm{C{+}{+}}$ Programm, das für jedes $\mathrm{C{+}{+}}$-Programm P und jede Eingabe I korrekt feststellen kann, ob das Programm P bei Eingabe von I terminiert.

Das heisst, die Korrektheit von Programmen kann *nicht* automatisch überprüft werden.

Beispiel: Primzahltest

Def.: Eine natürliche Zahl $n \geq 2$ ist eine Primzahl, wenn kein $d \in \{2, \ldots, n-1\}$ ein Teiler von n ist.

Beispiel: Primzahltest

Def.: Eine natürliche Zahl $n \geq 2$ ist eine Primzahl, wenn kein $d \in \{2, \ldots, n-1\}$ ein Teiler von n ist.

Eine Schleife, die das testet:

```
unsigned int d;
for (d=2; n%d != 0; ++d);
```

Beispiel: Primzahltest

Def.: Eine natürliche Zahl $n \geq 2$ ist eine Primzahl, wenn kein $d \in \{2, \ldots, n-1\}$ ein Teiler von n ist.

Eine Schleife, die das testet:

```
unsigned int d;
for (d=2; n%d != 0; ++d);
```

- Beobachtung 1:
  Nach der **`for`**-Anweisung gilt $d \leq n$.

Beispiel: Primzahltest

Def.: Eine natürliche Zahl $n \geq 2$ ist eine Primzahl, wenn kein $d \in \{2, \ldots, n-1\}$ ein Teiler von n ist.

Eine Schleife, die das testet:

```
unsigned int d;
for (d=2; n%d != 0; ++d);
```

- Beobachtung 1:
  Nach der `for`-Anweisung gilt $d \leq n$.
- Beobachtung 2:
  n ist Primzahl genau wenn am Ende $d = n$.

Beispiel: Primzahltest

```
// Program: prime.cpp
// Test if a given natural number is prime.

#include <iostream>

int main ()
{
  // Input
  unsigned int n;
  std::cout << "Test if n>1 is prime for n =? ";
  std::cin >> n;

  // Computation: test possible divisors d
  unsigned int d;
  for (d = 2; n % d != 0; ++d);

  // Output
  if (d < n)
    // d is a divisor of n in {2,...,n-1}
    std::cout << n << " = " << d << " * " << n / d << ".\n";
  else
    // no proper divisor found
    std::cout << n << " is prime.\n";

  return 0;
}
```

Blöcke

- Blöcke gruppieren mehrere Anweisungen zu einer neuen Anweisung

```
{statement1 statement2 ... statementN}
```

- Beispiel: Rumpf der main Funktion

```
int main(){
     ...
    }
```

Blöcke

- Blöcke gruppieren mehrere Anweisungen zu einer neuen Anweisung

```
{statement1 statement2 ... statementN}
```

- Beispiel: Schleifenrumpf

```
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i){
   s += i;
   std::cout << "partial sum is " << s << "\n";
}
```

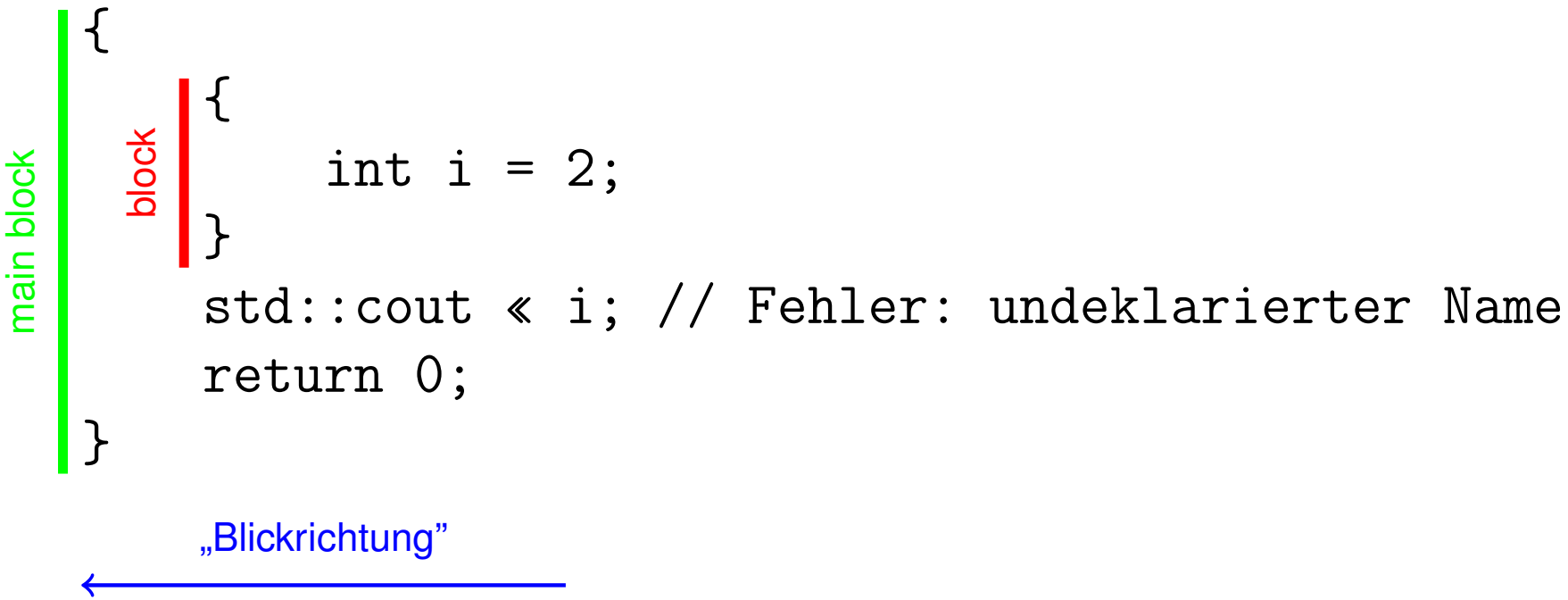
Sichtbarkeit

Deklaration in einem Block ist ausserhalb des Blocks nicht „sichtbar”.

```
int main ()
{
    {
        int i = 2;
    }
    std::cout « i; // Fehler: undeklarierter Name
    return 0;
}
```

Sichtbarkeit

Deklaration in einem Block ist ausserhalb des Blocks nicht „sichtbar”.



Kontrollanweisung definiert Block

Kontrollanweisungen verhalten sich in diesem Zusammenhang wie Blöcke

```
int main()
{
    for (unsigned int i = 0; i < 10; ++i)
        s += i;
    std::cout « i; // Fehler: undeklarierter Name
    return 0;
}
```

Kontrollanweisung definiert Block

Kontrollanweisungen verhalten sich in diesem Zusammenhang wie Blöcke

```
int main()
{
  block  for (unsigned int i = 0; i < 10; ++i)
             s += i;
    std::cout « i; // Fehler: undeklarierter Name
    return 0;
}
```

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

Potenzieller Gültigkeitsbereich: Ab Deklaration bis Ende des Programmteils, der die Deklaration enthält.

Im Block

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

Im Funktionsrumpf

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

In Kontrollanweisung

```
for ( unsigned int i = 0; i < 10; ++i) s += i;
```

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

Potenzieller Gültigkeitsbereich: Ab Deklaration bis Ende des Programmteils, der die Deklaration enthält.

Im Block

scope

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

Im Funktionsrumpf

scope

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

In Kontrollanweisung

```
for ( unsigned int i = 0; i < 10; ++i) s += i;
```

scope

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

Wirklicher Gültigkeitsbereich einer Deklaration:

= Potenzieller Gültigkeitsbereich minus darin enthaltene potenzielle Gültigkeitsbereiche von Deklarationen des gleichen Namens

```
#include <iostream>

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;
}
```

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

Wirklicher Gültigkeitsbereich einer Deklaration:

= Potenzieller Gültigkeitsbereich minus darin enthaltene potenzielle Gültigkeitsbereiche von Deklarationen des gleichen Namens

```
#include <iostream>

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;
}
```

main block

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

Wirklicher Gültigkeitsbereich einer Deklaration:

= Potenzieller Gültigkeitsbereich minus darin enthaltene potenzielle Gültigkeitsbereiche von Deklarationen des gleichen Namens

```
#include <iostream>

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;
}
```

in main

i_2 in for

Gültigkeit von i

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

Wirklicher Gültigkeitsbereich einer Deklaration:

= Potenzieller Gültigkeitsbereich minus darin enthaltene potenzielle Gültigkeitsbereiche von Deklarationen des gleichen Namens

So etwas ist erlaubt, wird aber nicht empfohlen!

```
#include <iostream>

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;
}
```

in main

i_2 in for

Gültigkeit von i

Automatische Speicherdauer

Lokale Variablen (Deklaration in Block)

- werden bei jedem Erreichen ihrer Deklaration neu „angelegt”, d.h.
  - Speicher / Adresse wird zugewiesen
  - evtl. Initialisierung wird ausgeführt
- werden am Ende ihrer deklarativen Region „abgebaut” (Speicher wird freigegeben, Adresse wird ungültig)

Automatische Speicherdauer

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

Automatische Speicherdauer

```
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
}
```

`while` Anweisung

`while` (*condition*)
  statement

- *statement*: beliebige Anweisung, Rumpf der **`while`** Anweisung .
- *condition*: konvertierbar nach **`bool`**.

`while` Anweisung

`while` (*condition*)
  statement

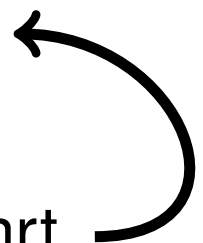
- ist äquivalent zu

`for` (; *condition* ;)
  statement

`while`-Anweisung: Semantik

`while` (*condition*)
  statement

- *condition* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
    statement wird ausgeführt
  - **`false`**: **`while`**-Anweisung wird beendet.



`while`-Anweisung: Warum?

- Bei **`for`**-Anweisung ist oft expression allein für den Fortschritt zuständig („Zählschleife”)

```
for (unsigned int i = 1; i <= n; ++i)
    s += i;
```

- Falls der Fortschritt nicht so einfach ist, kann **`while`** besser lesbar sein.

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

n=5: 5

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

n=5: 5, 16

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

n=5: 5, 16, 8

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

n=5: 5, 16, 8, 4

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n:

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

```
// Input
std::cout << "Compute the Collatz sequence for n =? ";
unsigned int n;
std::cin >> n;

// Iteration
while (n > 1) {            // stop if 1 is reached
    if (n % 2 == 0)      // n is even
        n = n / 2;
    else                 // n is odd
        n = 3 * n + 1;
    std::cout « n « " ";
}
```

Die Collatz-Folge

```
n = 27:
82, 41, 124, 62, 31, 94, 47, 142, 71, 214, 107,
322, 161, 484, 242, 121, 364, 182, 91, 274, 137,
412, 206, 103, 310, 155, 466, 233, 700, 350, 175,
526, 263, 790, 395, 1186, 593, 1780, 890, 445,
1336, 668, 334, 167, 502, 251, 754, 377, 1132, 566,
283, 850, 425, 1276, 638, 319, 958, 479, 1438, 719,
2158, 1079, 3238, 1619, 4858, 2429, 7288, 3644,
1822, 911, 2734, 1367, 4102, 2051, 6154, 3077,
9232, 4616, 2308, 1154, 577, 1732, 866, 433, 1300,
650, 325, 976, 488, 244, 122, 61, 184, 92, 46, 23,
70, 35, 106, 53, 160, 80, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4,
2, 1
```

Die Collatz-Folge

Erscheint die 1 für jedes n?

- Man vermutet es, aber niemand kann es beweisen!
- Falls nicht, so ist die **`while`**-Anweisung zur Berechnung der Collatz-Folge für einige n theoretisch eine Endlosschleife!

`do` Anweisung

```
do
   statement
while ( expression );
```

- *statement*: beliebige Anweisung, Rumpf der **`do`** Anweisung .
- *expression*: konvertierbar nach **`bool`**.

`do` Anweisung

```
do
   statement
while ( expression );
```

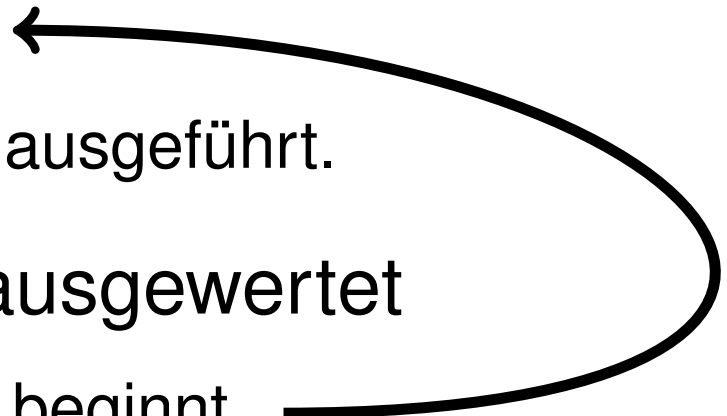
- ist äquivalent zu

```
for (bool first=true ; first || expression ; first = false)
     statement
```

`do`-Anweisung: Semantik

```
do
   statement
while ( expression );
```

- Iteration beginnt
  - *statement* wird ausgeführt.
- *expression* wird ausgewertet
  - **`true`**: Iteration beginnt
  - **`false`**: **`do`**-Anweisung wird beendet.



do-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: addiere Zahlenfolge (bei 0 ist Schluss)

```
int a; // next input value
int s = 0; // sum of values so far
do {
    std::cout << "next number =? ";
    std::cin >> a;
    s += a;
    std::cout << "sum = " << s << "\n";
} while (a != 0);
```

Zusammenfassung

- Auswahl (bedingte *Verzweigungen*)
  - **`if`**: und **`if-else`**-Anweisung
- Iteration (bedingte *Sprünge*)
  - **`for`**-Anweisung
  - **`while`**-Anweisung
  - **`do`**-Anweisung
- Blöcke und Gültigkeit von Deklarationen

Sprunganweisungen

- realisieren unbedingte Sprünge.
- sind wie **`while`** und **`do`** praktisch, aber nicht unverzichtbar
- sollten vorsichtig eingesetzt werden: nur dort wo sie den Kontrollfluss *vereinfachen*, statt ihn *komplizierter* zu machen

`break`-Anweisung

```
break;
```

- umschliessende Iterationsanweisung wird sofort beendet.
- nützlich, um Schleife „in der Mitte” abbrechen zu können

`break`-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: addiere Zahlenfolge (bei 0 ist Schluss)

```
int a; // next input value
int s = 0; // sum of values so far
do {
    std::cout << "next number =? ";
    std::cin >> a;

    s += a; // irrelevant in letzter Iteration
    std::cout << "sum = " << s << "\n";

} while (a != 0);
```

`break`-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: unterdrücke irrelevante Addition von 0

```
int a; // next input value
int s = 0; // sum of values so far
do {
    std::cout << "next number =? ";
    std::cin >> a;
    if (a == 0) break; // Abbruch in der Mitte
    s += a;
    std::cout << "sum = " << s << "\n";

} while (a != 0);
```

`break`-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: äquivalent und noch etwas einfacher

```
int a; // next input value
int s = 0; // sum of values so far
for (;;)
    std::cout << "next number =? ";
    std::cin >> a;
    if (a == 0) break; // Abbruch in der Mitte
    s += a;
    std::cout << "sum = " << s << "\n";

}
```

`break`-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: Version ohne break. Wertet a stets zweimal aus und benötigt zusätzlichen Block.

```
int a = 1; // next input value
int s = 0; // sum of values so far
for (; a != 0 ;)
    std::cout << "next number =? ";
    std::cin >> a;
    if (a != 0) {
        s += a;
        std::cout << "sum = " << s << "\n";
    }
}
```

`continue`-Anweisung

```
continue;
```

- Kontrolle überspringt den Rest des Rumpfes der umschliessenden Iterationsanweisung
- Iterationsanweisung wird aber *nicht* abgebrochen

`continue`-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: ignoriere alle negativen Eingaben

```
for (;;) {
    std::cout << "next number =? ";
    std::cin >> a;
    if (a < 0) continue; // springe zu }
    if (a == 0) break;
    s += a;
    std::cout << "sum = " << s << "\n";
}
```

Äquivalenz von Iterationsanweisungen

Wir haben gesehen:

- **`while`** und **`do`** können mit Hilfe von **`for`** simuliert werden

Es gilt aber sogar:

- Alle drei Iterationsanweisungen haben die gleiche „Ausdruckskraft” (Skript).

Äquivalenz von Iterationsanweisungen

Wir haben gesehen:

- **`while`** und **`do`** können mit Hilfe von **`for`** simuliert werden

Es gilt aber sogar:

Nicht ganz so einfach falls ein continue im Spiel ist!

- Alle drei Iterationsanweisungen haben die gleiche „Ausdruckskraft” (Skript).

Auswahl der „richtigen” Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

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

Ziele sind oft nicht gleichzeitig erreichbar.

> *the code **is** the documentation (Prof. J. Gutknecht)*

Beispiel: Iterationsanweisungen

Ausgabe der ungeraden 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";
}
```

Beispiel: Iterationsanweisungen

Ausgabe der ungeraden 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";
}
```

Beispiel: Iterationsanweisungen

Ausgabe der ungeraden Zahlen in $\{0, \ldots, 100\}$:

Weniger Anweisungen, *einfacherer* Kontrollfluss:

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