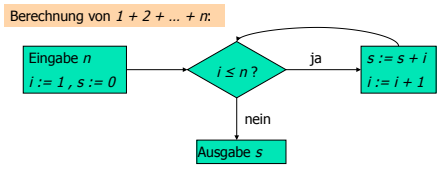
Kontrollanweisungen

Auswahlanweisungen,
Iterationsanweisungen, Blöcke,
Sprunganweisungen

Kontrollfluss

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



`if`-Anweisung

```
if ( condition )
   statement
```

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

`if`-Anweisung

```
if ( condition )
   statement
```

Wenn *condition* 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* 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 + ... + 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;
```

`for`-Anweisung

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

Ausdruck vom Typ `bool`:

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

`for`-Anweisung

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

Ausdruck vom Typ `unsigned int`:

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

`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.

`for`-Anweisung: Semantik

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

- *init-statement* wird ausgeführt.
- *condition* wird ausgewertet.
  - *true :* Iteration beginnt.

`for`-Anweisung: Semantik

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

- *init-statement* wird ausgeführt.
- *condition* wird ausgewertet.
  - *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.

`for`-Anweisung: Semantik

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

- *init-statement* wird ausgeführt.
- *condition* wird ausgewertet.
  - *true :* Iteration beginnt.
    - *statement* wird ausgeführt.
    - *expression* wird ausgewertet.

`for`-Anweisung: Semantik

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

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

`for`-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`
`s == 0`

`for`-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`
`s == 0`
`i == 1`

`for`-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`
`s == 0`
`i == 1 i <= 2 ?`

`for`-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`
`s == 0`
`i == 1` *true*

for-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

for-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`i == 2`

for-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`i == 2` `i <= 2 ?`

for-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`s == 3` ← `i == 2` *true*

for-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`s == 3` ← `i == 2` *true*

`i == 3`

for-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`s == 3` ← `i == 2` *true*

`i == 3` `i <= 2 ?`

`for`-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`s == 3` ← `i == 2` *true*

`i == 3` *false*

`for`-Anweisung: Beispiel

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

Annahme: `n == 2`

`s == 0`

`s == 1` ← `i == 1` *true*

`s == 3` ← `i == 2` *true*

`i == 3` *false*

`s == 3`

Der kleine Gauss (1777-1855)

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

  "berechne die Summe der Zahlen 1 bis 100 !"

- Gauss war nach einer Minute fertig.

Der kleine Gauss (1777-1855)

- Die Lösung von Gauss:
  - gesuchte Zahl ist

    1 + 2 + 3 + ... + 98 + 99 + 100
  - das ist die Hälfte von

    1 + 2 + 3 + ... + 98 + 99 + 100 +
    100 + 99 +98 + ... + 3 + 2 + 1 =
    101 +101+101+ ... +101 +101+101

    100 mal

Der kleine Gauss (1777-1855)

- Die Lösung von Gauss:
  - gesuchte Zahl ist

    1 + 2 + 3 + ... + 98 + 99 + 100
  - das ist die Hälfte von

    1 + 2 + 3 + ... + 98 + 99 + 100 +
    100 + 99 +98 + ... + 3 + 2 + 1 =
    10100

Antwort: 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* Wert *false:* Terminierung

Endlosschleifen

- sind leicht zu produzieren:

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

Leere *condition* hat Wert *true*

Endlosschleifen

- sind leicht zu produzieren:

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

Leere *expression* hat keinen Effekt

Endlosschleifen

- sind leicht zu produzieren:

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

Null-Anweisungen

Endlosschleifen

- sind leicht zu produzieren:

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

Null-Anweisungen

- …aber nicht automatisch zu erkennen.

Halteproblem

Satz
(Unentscheidbarkeit des Halteproblems):

Es gibt kein C++ Programm, das für jedes C++ Programm ***P*** und jede Eingabe ***I*** korrekt feststellen kann, ob das Programm ***P*** bei Eingabe von ***I*** terminiert.

Beispiel: Primzahltest

$n \geq 2$ ist Primzahl genau dann, wenn kein d in $\{2,\ldots,n-1\}$ ein Teiler von n ist.

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

Rumpf ist die Null-Anweisung!

Beispiel: Primzahltest

n ≥ *2* ist Primzahl genau dann, wenn kein *d* in {*2,…,n-1* } ein Teiler von *n* ist.

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

Beobachtung 1:

Nach der **`for`**-Anweisung gilt *d* ≤ *n* .

Beispiel: Primzahltest

n ≥ *2* ist Primzahl genau dann, wenn kein *d* in {*2,…,n-1* } ein Teiler von *n* ist.

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

Beobachtung 2:

n ist Primzahl genau dann wenn *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

- gruppieren mehrere Anweisungen zu *einer neuen* Anweisung

  { statement1 statement2 … statementN }
- Beispiele:
  - **`int main(){…}`** Block (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;
}
```

block

Kontrollanweisung "=" 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;
}
```

Deklarative Region...

...einer Deklaration:

Programmteil, in dem diese vorkommt:

- Block

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

Deklarative Region...

...einer Deklaration:

Programmteil, in dem diese vorkommt:

- Block
- Kontrollanweisung

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

Deklarative Region...

...einer Deklaration:

Programmteil, in dem diese vorkommt:

- Block
- Kontrollanweisung
- Funktionsrumpf

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

Potentieller Gültigkeitsbereich

...einer Deklaration:
Programmteil, in dem diese potentiell sichtbar ist (ab Deklaration bis Ende der deklarativen Region):

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

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

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

Gültigkeitsbereich...

...einer Deklaration:

- Programmteil, in dem diese sichtbar ist (d.h. benutzt werden kann)
- Meistens gleich dem potentiellem Gültig-keitsbereich...
- ...aber nicht immer!

```
#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...

Deklaration des *gleichen Namens* im potentiellen Gültigkeitsbereich einer Deklaration ist erlaubt (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;
}
```

Gültigkeitsbereich...

...einer Deklaration:

- PotentiellerGültig-keitsbereich...

```
#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:

- PotentiellerGültig-keitsbereich *minus* potentielle Gültig-keitsbereiche von Deklarationen des gleichen Namens darin

```
#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;
}
```

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 6, 7, 8, 9, 10
  int k = 2;
  std::cout << --k; // outputs 1, 1, 1, 1, 1
}
```

`while`-Anweisungen

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

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

`while`-Anweisungen

`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 :

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

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

`while`-Anweisung: Beispiel

Collatz-Folge für eine natürliche Zahl n :

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

Collatz-Folge wird repetitiv, sobald die Zahl 1 erscheint.

`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`**
  - *condition* bei **`for`**, **`while`** erlaubt mehr...

`do`-Anweisung

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

- ist äquivalent zu

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

`do`-Anweisung: Semantik

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

- *Iteration beginnt:*
  - *statement* wird ausgeführt.
- expression wird ausgewertet.
  - true:
  - 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: da wo sie den Kontrollfluss *vereinfachen*, anstatt 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 (true);
```

`break`-Anweisung: Beispiel

Taschenrechner: äquivalent und noch etwas einfacher:

```
int a;     // next input value
int s = 0; // sum of values so far
for (;;) { // forever...
  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 braucht 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

Nicht ganz so einfach!

Es gilt aber:

- alle drei Iterationsanweisungen haben die gleiche "Ausdruckskraft" (Skript)

`while` kann `for` simulieren

Gegeben eine **`for`**-Anweisung

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

finde äquivalente **`while`**-Anweisung!

Erster Versuch:

init-statement
`while` *(condition)* **{**
statement
expression;
}

geht nicht, falls *statement* ein **`continue;`** enthält!

Auswahl der "richtigen" Iterationsanweisung

Ziele: Lesbarkeit, Prägnanz. Insbesondere

- wenige Anweisungen
- wenige Zeilen Code
- einfacher Kontrollfluss
- einfache Ausdrücke

Ziele sind oft nicht gleichzeitig erreichbar.

Auswahl der "richtigen" Iterationsanweisung: Beispiel

Ausgabe der ungeraden Zahlen in {0,...,100}:

Erster (korrekter) Versuch:

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

Auswahl der "richtigen" Iterationsanweisung: Beispiel

Ausgabe der ungeraden Zahlen in {0,...,100}:

Weniger Anweisungen, weniger Zeilen:

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

Auswahl der "richtigen" Iterationsanweisung: Beispiel

Ausgabe der ungeraden Zahlen in {0,...,100}:

Weniger Anweisungen,
einfacherer Kontrollfluss:

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

Auswahl der "richtigen" Iterationsanweisung: Beispiel

Ausgabe der ungeraden Zahlen in {0,...,100}:

Weniger Anweisungen,
einfacherer Kontrollfluss:

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

Das ist hier die "richtige" Iterationsanweisung !