6. Operatoren

Tabellarische Übersicht aller relevanten Operatoren

Operatoren: Tabelle

Beschreibung	Operator	Stelligkeit	Präzedenz	Assoziativität
Objekt-Member Zugriff	`.`	2	16	links
Array Zugriff	`[ ]`	2	16	links
Methodenaufruf	`( )`	2	16	links
Postfix Inkrement/Dekrement	`++ --`	1	15	links
Präfix Inkrement/Dekrement	`++ --`	1	14	rechts
Plus, Minus, Logisches Nicht	`+ - !`	1	14	rechts
Typcast	`( )`	1	13	rechts
Objekterstellung	`new`	1	13	rechts
Multiplikativ	`* / %`	2	12	links
Additiv	`+ -`	2	11	links
Stringkonkatination	`+`	2	11	links
Vergleiche	`< <= > >=`	2	9	links
Typvergleich	`instanceof`	2	9	links
(Nicht-)Gleichheit	`== !=`	2	8	links
Logisches Und	`&&`	2	4	links
Logisches Oder	`||`	2	3	links
Konditional	`? :`	3	2	rechts
Zuweisungen	`= += -= *= /= %=`	2	1	rechts

Operatoren: Tabelle - Erklärungen

- Die Stelligkeit gibt die Anzahl der Operanden an
- Eine höhere Präzedenz bedeutet stärkere Bindung
- Bei gleicher Präzedenz wird gemäss der Assoziativität ausgewertet

7. Sicheres Programmieren: Assertions

Assertions

Fehlerquellen

- Fehler, die der Compiler findet:
  syntaktische und manche semantische Fehler
- Fehler, die der Compiler nicht findet:
  Laufzeitfehler (immer semantisch)

Fehlerquellen vermeiden

1. Genaue Kenntnis des gewünschten Programmverhaltens

   ≫ It's not a bug, it's a feature !!≪
2. Überprüfe an vielen kritischen Stellen, ob das Programm auf dem richtigen Weg ist!
3. Hinterfrage auch das (scheinbar) Offensichtliche, es könnte sich ein simpler Tippfehler eingeschlichen haben!

Gegen Laufzeitfehler: *Assertions*

```
assert expr;
```

- wirft einen Fehler und hält das Programm an, falls der boolesche Ausdruck `expr` nicht wahr ist
- kann beim Starten der Java-VM ein- oder ausgeschaltet werden

Alternativ: `assert expr : expr2;`

- Wenn die Assertion nicht hält wird zusätzlich der Wert von `expr2` in der Konsole angezeigt

Div-Mod Identität `a/b * b + a%b == a`

Überprüfe, ob das Programm auf dem richtigen Weg ist...

```
Out.println("Dividend a =? ");
int a = In.readInt();

Out.println("Divisor b =? ");
int b = In.readInt();

// check input
assert b != 0 : "User error: b must not be zero";
```

Eingabe der Argumente für die Berechnung

Vorbedingung für die weitere Berechnung

Div-Mod Identität `a/b * b + a%b == a`

. . . und hinterfrage das Offensichtliche!

```
// check input
assert b != 0 : "User error: b must not be zero";

// compute result
int div = a / b;
int mod = a % b;

// check result
assert div * b + mod == a;
...
```

⟵ Div-Mod Identität

8. Kontrollanweisungen

Auswahlanweisungen, Iterationsanweisungen, Terminierung, Blöcke, Sichtbarkeit, Lokale Variablen, While-Anweisung, Do-Anweisung, Sprunganweisungen

Anweisungen (Statements)

Eine Anweisung ist . . .

- vergleichbar mit einem Satz in der natürlichen Sprache
- eine komplette Ausführungseinheit
- immer mit einem *Semikolon* abgeschlossen

Beispiel

```
f = 9f * celsius / 5 + 32 ;
```


Anweisungenarten

Gültige Anweisungen sind:

- Deklarationsanweisung
- Wertzuweisungen
- Inkrement / Dekrement Ausdrücke
- Methodenaufrufe
- Objekterzeugungs-Ausdrücke
- Nullanweisung

Anweisungenarten

Beispiele

```
float aValue;
aValue = 8933.234;
aValue++;
Out.println(aValue);
new Student();
;
```


Blöcke

Ein Block ist . . .

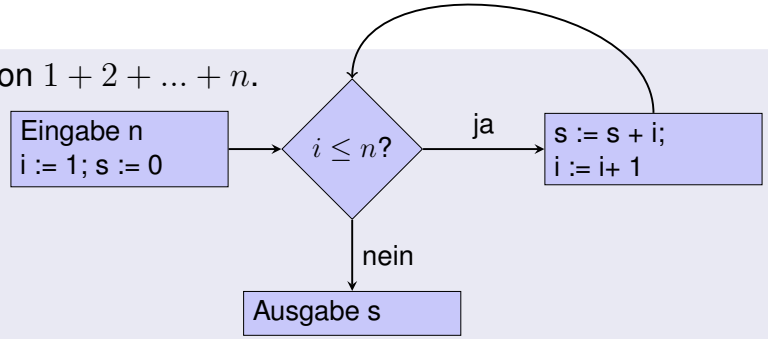
- eine Gruppe von Anweisungen
- überall erlaubt wo Anweisungen erlaubt sind
- durch geschweiften Klammern markiert

```
{
  statement1
  statement2
  ⋮
}
```


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

```
int a = In.readInt();
if (a % 2 == 0) {
    Out.println("even");
}
```

Ist *condition* wahr, dann wird *statement* ausgeführt.

- *statement*: beliebige Anweisung (*Rumpf* der `if`-Anweisung)
- *condition*: Ausdruck vom Typ `boolean`

`if-else`-Anweisung

`if` (*condition*)
    statement1
else
    statement2

```
int a = In.readInt();
if (a % 2 == 0){
    Out.println("even");
} else {
    Out.println("odd");
}
```

Ist *condition* wahr, so wird *statement1* ausgeführt, andernfalls wird *statement2* ausgeführt.

- *condition*: Ausdruck vom Typ `boolean`
- *statement1*: *Rumpf* des `if`-Zweiges
- *statement2*: *Rumpf* des `else`-Zweiges

Layout!

```
int a = In.readInt();
if (a % 2 == 0){
    Out.println("even");   <-- Einrückung
} else {
    Out.println("odd");    <-- Einrückung
}
```


Iterationsanweisungen

realisieren „Schleifen”:

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

Berechne $1 + 2 + \ldots + n$

```
// input
Out.print("Compute the sum 1+...+n for n=?");
int n = In.readInt();

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

// output
Out.println("1+...+" + n + " = " + s);
```


`for`-Anweisung am Beispiel

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

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

`i`		`s`
`i==1`	wahr	`s == 1`
`i==2`	wahr	`s == 3`
`i==3`	falsch	

`s == 3`

`for`-Anweisung: Syntax

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

- *init-statement*: Ausdrucksanweisung, Deklarationsanweisung, Nullanweisung
- *condition*: Ausdruck vom Typ `boolean`
- *expression*: beliebiger Ausdruck
- *statement* : beliebige Anweisung (*Rumpf* der for-Anweisung)

`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
  - falsch: `for`-Anweisung wird beendet.

Harmonische Zahlen

- Die n-te Harmonische Zahl ist

$$H_n = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{i} \approx \ln n.$$

- Diese Summe kann vorwärts oder rückwärts berechnet werden, was mathematisch gesehen natürlich äquivalent ist.

Harmonische Zahlen (Fliesskomma Regel 2)

```
Out.print("Compute H_n for n =? ");
int n = In.readInt();

float fs = 0;
for (int i = 1; i <= n; ++i){
    fs += 1.0f / i;
}
Out.println("Forward sum = " + fs);

float bs = 0;
for (int i = n; i >= 1; --i){
    bs += 1.0f / i;
}
Out.println("Backward sum = " + bs);
```


Harmonische Zahlen (Fliesskomma Regel 2)

Ergebnisse:

-
```
Compute H_n for n =?  10000000
Forward sum = 15.4037
Backward sum = 16.686
```
-
```
Compute H_n for n =?  100000000
Forward sum = 15.4037
Backward sum = 18.8079
```


Harmonische Zahlen

Beobachtung:

- Die Vorwärtssumme wächst irgendwann nicht mehr und ist “richtig” falsch.
- Die Rückwärtssumme approximiert H_n gut.

Erklärung:

- Bei $1 + 1/2 + 1/3 + \cdots$ sind späte Terme zu klein, um noch beizutragen.

`for`-Anweisung: Terminierung

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

Hier und meistens:

- *expression* ändert einen Wert, der in *condition* vorkommt.
- Nach endlich vielen Iterationen wird *condition* falsch: *Terminierung*.

Endlosschleifen

- Endlosschleifen sind leicht zu produzieren:

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

  - Die *leere condition* ist wahr.
  - 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 Java Programm, das für jedes Java- 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.[5]

[5] Alan Turing, 1936. Theoretische Fragestellungen dieser Art waren für Alan Turing die Hauptmotivation für die Konstruktion seiner Rechenmaschine.

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:

```
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 $d = n$.

Rekapitulation: Blöcke

- Beispiel: Rumpf der main Funktion

```
public static void main(String[] args) {
    ...
}
```

- Beispiel: Schleifenrumpf

```
for (int i = 1; i <= n; ++i) {
    s += i;
    Out.println("partial sum is " + s);
}
```


Sichtbarkeit

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

```
public static void main(String[] args)
{
    {
        int i = 2;
    }
    Out.println(i); // Fehler: undeklarierter Name
}
```

main block, block, „Blickrichtung” ←

Kontrollanweisung definiert Block

Kontrollanweisungen verhalten sich in diesem Zusammenhang wie Blöcke.

```
public static void main(String[] args) {
{
    for (int i = 0; i < 10; ++i){
        s += i;
    }
    Out.println(i); // Fehler: undeklarierter Name
}
```

block

Gültigkeitsbereich einer Deklaration

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

Im Block

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

scope

Im Funktionsrumpf

```
void main(String[] args) {
    int i = 2;
    ...
}
```

scope

In Kontrollanweisung

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

scope

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)

Lokale Variablen

```
public static void main(String[] args) {
    int i = 5;
    for (int j = 0; j < 5; ++j) {
        Out.println(++i); // outputs 6, 7, 8, 9, 10
        int k = 2;
        Out.println(--k); // outputs 1, 1, 1, 1, 1
    }
}
```

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

`while` Anweisung

`while` (*condition*)
  statement

- *statement*: beliebige Anweisung, Rumpf der `while` Anweisung.
- *condition*: Ausdruck vom Typ `boolean`.

`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 (int i = 1; i <= n; ++i){
    s += i;
}
```

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

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

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

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

Die Collatz-Folge in Java

```
// Input
Out.println("Compute Collatz sequence, n =? ");
int n = In.readInt();

// Iteration
while (n > 1) {      // stop when 1 reached
    if (n % 2 == 0) { // n is even
        n = n / 2;
    } else {          // n is odd
        n = 3 * n + 1;
    }
    Out.print(n + " ");
}
```

Die Collatz-Folge in Java

```
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*: Ausdruck vom Typ `boolean`.

`do` Anweisung

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

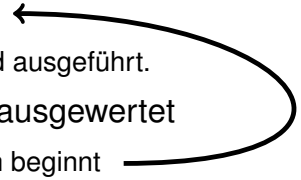
ist äquivalent zu

```
statement
while ( expression )
  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

Summiere ganze Zahlen (bei 0 ist Schluss):

```
int a;    // next input value
int s = 0; // sum of values so far
do {
    Out.print("next number =? ");
    a = In.readInt();
    s += a;
    Out.println("sum = " + s);
} 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

- `break`
- `continue`

`break`-Anweisung

```
break;
```

- umschliessende Iterationsanweisung wird sofort beendet.
- nützlich, um Schleife „in der Mitte” abbrechen zu können [6]

[6] und unverzichtbar bei switch-Anweisungen.

Taschenrechner mit `break`

Summiere ganze Zahlen (bei 0 ist Schluss):

```
int a;
int s = 0;
do {
    Out.print("next number =? ");
    a = In.readInt();
    // irrelevant in letzter Iteration:
    s += a;
    Out.println("sum = " + s);
}  while (a != 0);
```


Taschenrechner mit `break`

Unterdrücke irrelevante Addition von 0:

```
int a;
int s = 0;
do {
    Out.print("next number =? ");
    a = In.readInt();
    if (a == 0) break; // Abbruch in der Mitte
    s += a;
    Out.println("sum = " + s);
} while (a != 0)
```


Taschenrechner mit `break`

Äquivalent und noch etwas einfacher:

```
int a;
int s = 0;
for (;;) {
    Out.print("next number =? ");
    a = In.readInt();
    if (a == 0) break; // Abbruch in der Mitte
    s += a;
    Out.println("sum = " + s);
}
```

Taschenrechner mit `break`

Version ohne break wertet a stets zweimal aus und benötigt zusätzlichen Block.

```
int a = 1;
int s = 0;
for (;a != 0;) {
    Out.print("next number =? ");
    a = In.readInt();
    if (a != 0) {
        s += a;
        Out.println("sum = " + s);
    }
}
```


`continue`-Anweisung

```
continue;
```

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

Taschenrechner mit `continue`

Ignoriere alle negativen Eingaben:

```
for (;;)
{
    Out.print("next number =? ");
    a = In.readInt();
    if (a < 0) continue; // springe zu }
    if (a == 0) break;
    s += a;
    Out.println("sum = " + s);
}
```


Äquivalenz von Iterationsanweisungen

Wir haben gesehen:

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

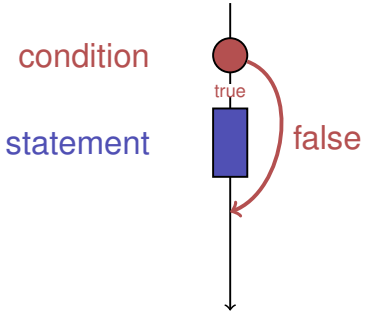
Es gilt aber sogar: Nicht ganz so einfach falls ein continue im Spiel ist!

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

Kontrollfluss

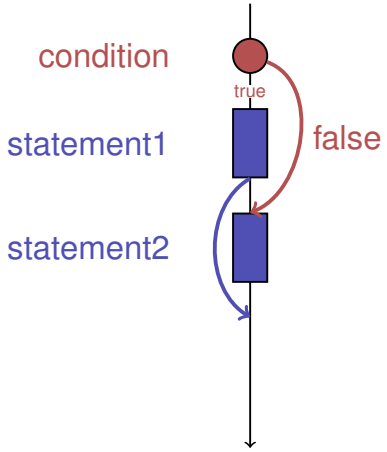
Reihenfolge der (wiederholten) Ausführung von Anweisungen

- Grundsätzlich von oben nach unten...
- ...ausser in Auswahl- und Kontrollanweisungen



`if` (*condition*)
    statement

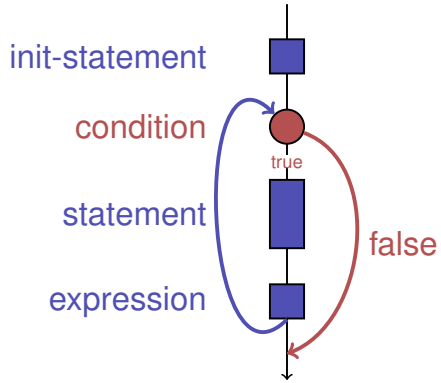
Kontrollfluss `if else`



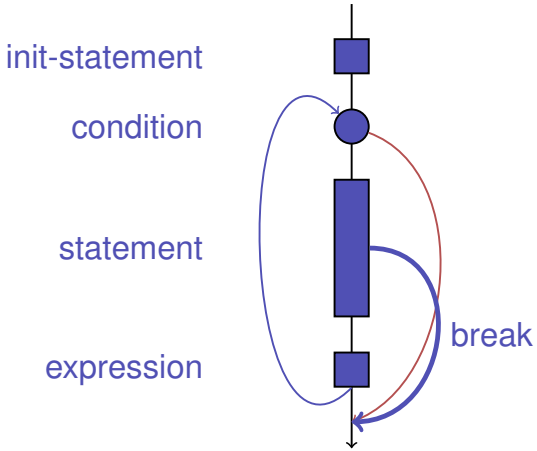
`if` (*condition*)
    statement1
else
    statement2

Kontrollfluss `for`

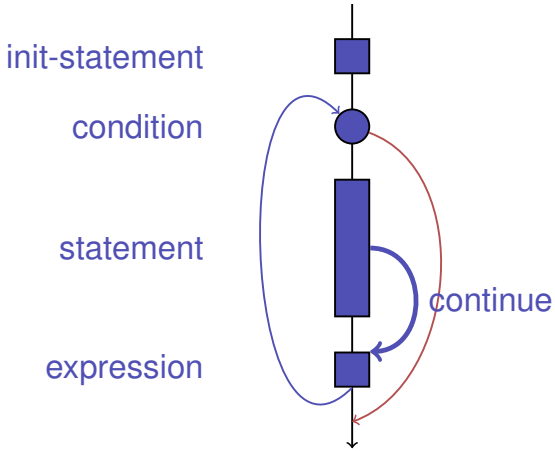
`for` (*init statement* *condition* `;` *expression*)
    statement



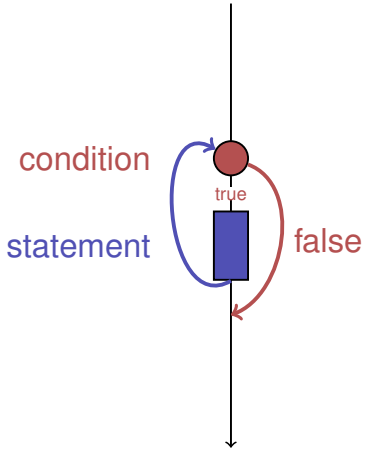
Kontrollfluss `break` in for



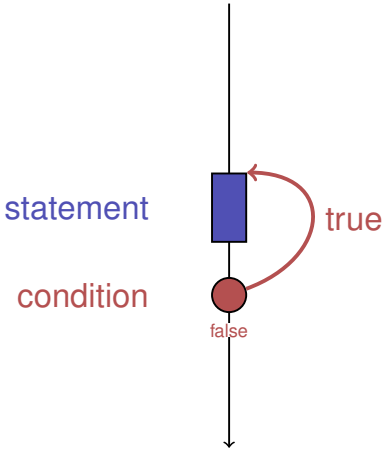
Kontrollfluss `continue` in for



Kontrollfluss `while`



Kontrollfluss `do while`



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 (int i = 0; i < 100; ++i) {
    if (i % 2 == 0){
        continue;
    }
    Out.println(i);
}
```


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

Weniger Anweisungen, *weniger* Zeilen:

```
for (int i = 0; i < 100; ++i) {
    if (i % 2 != 0){
        Out.println(i);
    }
}
```


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

Weniger Anweisungen, *einfacherer* Kontrollfluss:

```
for (int i = 1; i < 100; i += 2) {
    Out.println(i);
}
```

Das ist hier die “richtige” Iterationsanweisung!

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

Die `switch`-Anweisung

`switch` (*condition*)
statement

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

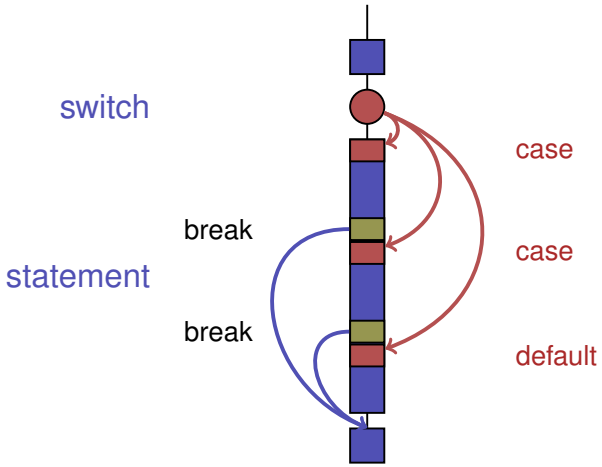
```
int Note;
...
switch (Note) {
    case 6:
        Out.print("super!");
        break;
    case 5:
        Out.print("gut!");
        break;
    case 4:
        Out.print("ok!");
        break;
    default:
        Out.print("schade.");
}
```


Semantik der `switch`-Anweisung

`switch` (*condition*)
statement

- `condition` wird ausgewertet.
- Beinhaltet `statement` eine `case`-Marke mit (konstantem) Wert von `condition`, wird dorthin gesprungen.
- Sonst wird, sofern vorhanden, an die `default`-Marke gesprungen. Wenn nicht vorhanden, wird `statement` übersprungen.
- Die `break`-Anweisung beendet die `switch`-Anweisung.

Kontrollfluss `switch`



Kontrollfluss `switch` allgemein

Fehlt `break`, geht es mit dem nächsten Fall weiter.

7: Keine Note!
6: bestanden!
5: bestanden!
4: bestanden!
3: oops!
2: ooops!
1: oooops!
0: Keine Note!

```
switch (Note) {
    case 6:
    case 5:
    case 4:
        Out.print("bestanden!");
        break;
    case 1:
        Out.print("o");
    case 2:
        Out.print("o");
    case 3:
        Out.print("oops!");
        break;
    default:
        Out.print("Keine Note!");
}
```