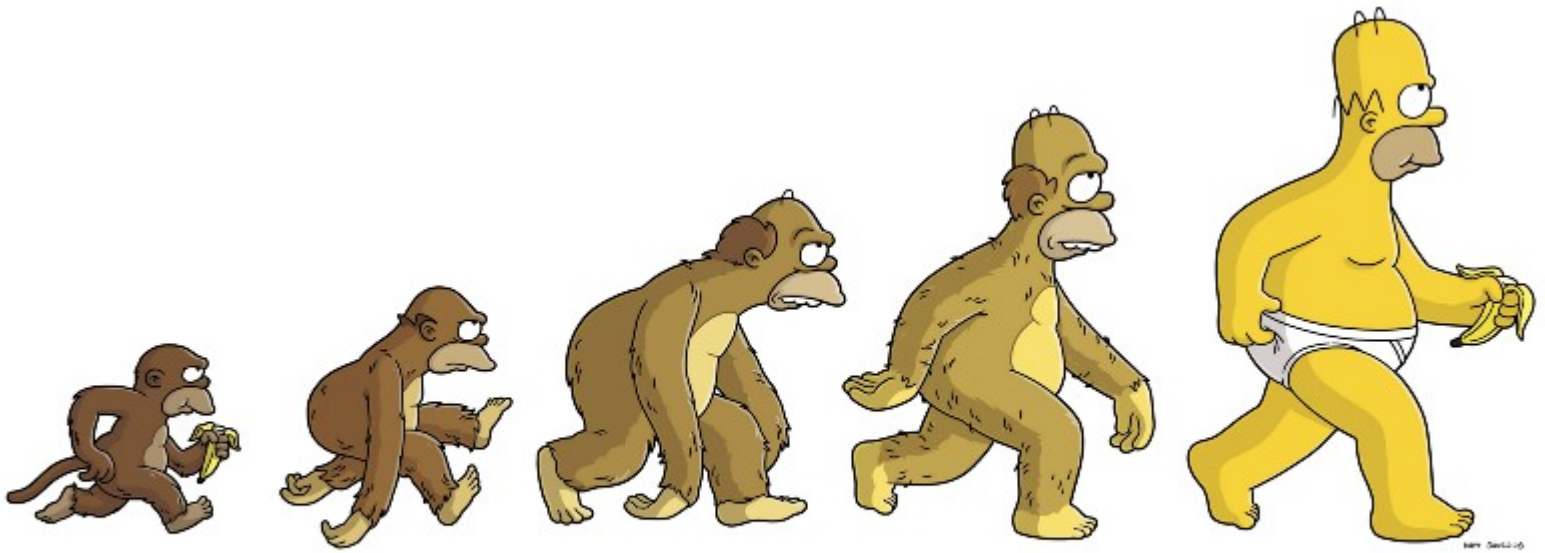
Funktionale Programmierung in Java

Lambda Calculus


MACHINE
ASSEMBLY
PROCEDURAL
OBJECT ORIENTED
FUNCTIONAL

Übersicht

- Geschichte
- Konzepte
- Lambda-Ausdrücke
- funktionale Interfaces
- Streams + Operations
- Methodenreferenzen

Geschichte der funktionalen Programmierung

- 30s => Lambda-Kalkül
- 60s => die Programmiersprache LISP (inspiriert vom Lambda-Kalkül)
- ....
- Heute =>
  - Erlang
  - Haskell
  - Scala
  - ...
  - + (JS, Java,...??)

Funktionales Programmieren

- basiert auf Mathematik
- ist deklarativ (nicht imperativ)
- Innerhalb des Paradigmas ist der Ablauf eines Programms nicht definiert
- In eingeschränkter Form ist funktionale Programmierung die Programmierung ohne veränderliche Variablen, ohne Zuweisung und ohne Kontrollstrukturen.

Eigenschaften funktionaler Sprachen

- Keine Variablen
- keine Seiteneffekte (pure functions)
- keine Zuweisung
- keine imperativen Kontrollstrukturen
- Funktionen => First Class Citizen

Forget everything you know, you must. Yeesssssss.

Funktionen => First Class Citizen

- Wie alle Daten können Funktionen innerhalb von Funktionen definiert werden
- Wie alle Daten können Funktionen an Funktionen übergeben und zurückgegeben werden
- Funktionen lassen sich mit anderen Funktionen zu neuen Funktionen verknüpfen
- Insbesondere gibt es Funktionen, die andere Funktionen auf Datenstrukturen anwenden

Funktionales Programmieren

- Programmieren = Definition von Funktionen
- Ausführung = Auswertung von Ausdrücken
- Resultat Einziges Resultat ist der Rückgabewert

$$\text{Resultat} = \text{Funktion}(\text{Argument}_1, \ldots, \text{Argument}_n)$$

Lambdas

- ist ein Ausdruck, dessen Wert eine Funktion ist

```
btn.setOnAction(new EventHandler<ActionEvent>() {
    @Override
    public void handle(ActionEvent event) {
        System.out.println("Hello World!");
    }
});

btn.setOnAction(
    event -> System.out.println("Hello World!“)
);
```

Lambda Ausdrucks

- Java Lambdas **stammen von funktionalen Sprachen**
- **Anonyme Methode**
- **Prägnante Syntax, weniger Code, lesbarer**
- **ad-hoc Implementierung von Funktionalität**

lambda = **ArgList** "->" **Body**

(int x, int y) -> { return x+y; }

ArgList = Identifier

| "(" Identifier ["," Identifier]* ")"

| "(" Type Identifier ["," Type Identifier]* ")“

Body = Expression

| "{" [Statement ";"]+ "}"

Beispiele

- (int x, int y) -> { return x+y; }
- // Argument type is inferred:

  (x, y) -> { return x+y; }
- // No brackets needed if only one argument

  x -> { return x+1; }
- // No arguments needed

  () -> { System.out.println("I am a Runnable"); }

Beispiele

- // Lambda using a statement block

  a -> {

  if (a.balance() < limit) a.alert();

  else a.okay();

  }
- // Single expression

  a -> (a.balance() < limit) ? a.alert() : a.okay()
- // returns Account

  (Account a) -> { return a; }
- // returns int

  () -> 5;

Beispiele

```
class Person {
     private String name;
     private int age;

     public Person(String name, int age) {
        this.name = name;
        this.age = age;
     }

     public String getName() { return name; }
     public int getAge() { return age; }
     public String toString() {
        return "Person[" + name + ", " + age + "]";
     }
}

List<Person> persons = Arrays.asList(
    new Person("Hugo", 55),
    new Person("Amalie", 15),
    new Person("Anelise", 32)
);
```

Beispiele

```
Collections.sort(
persons,
new Comparator<Person>() {
    @Override
    public int compare(Person o1, Person o2) {
    return o1.getAge() - o2.getAge();
    }
 });

 Collections.sort( persons,
    (Person o1, Person o2)
    -> { return o1.getAge() - o2.getAge(); }
 );

Collections.sort( persons,
    (o1, o2) -> o1.getAge() - o2.getAge()
);
```

Typen von Lambdas

- Functional Interface
- ≈ Interface mit einer abstrakten Methode

```
Consumer<Account> myLambda =
 (Account a) -> {if (a.balance() < limit)
a.alert();
};
```

Functional Interface

- Vordefinierte Functional Interfaces
- Consumer: Kein Resultat
- Function: Produziert Resultat
- Operator: Produziert Resultat vom Argument-Typ
- Supplier: Produziert Resultat ohne Argument
- Predicate: Produziert boolean-Resultat

Predicate

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;
import java.util.function.Predicate;

public class Lambda_Ex {
  static <T> List<T> filterList(List<T> l, Predicate<T> pred) {
    List<T> res = new LinkedList<>();
    for (T x: l) {
      if (pred.test(x)) {
        res.add(x);
      }
    }
    return res;
 }

public static void main(String[] args) {
    List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
    System.out.println(
    filterList(
    l,
    (x) -> x%2 == 0
    ));
 }

}
```

Consumer

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.List;
import java.util.function.Consumer;

class WorkerOnList<T> implements Consumer<List<T>> {
   private Consumer<T> action;

   public WorkerOnList(Consumer<T> action) {
     this.action = action;
   }

  @Override
  public void accept(List<T> l) {
    for(T x: l) {
      action.accept(x);
    }
   }
}

public class Ex {
   public static void main(String[] args) {
      List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
      WorkerOnList<Integer> worker =
        new WorkerOnList<>( (i) -> System.out.println(i*10) );
      worker.accept(l);
   }
}
```

Function

```
import java.util.Arrays;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;
import java.util.function.Function;

class ListTransformer<T,R> implements Function<List<T>, List<R>> {
  private Function<T, R> fun;

  public ListTransformer(Function<T, R> fun) {
    this.fun = fun;
   }

  @Override
  public List<R> apply(List<T> l) {
    List<R> res = new LinkedList<>();
    for(T x: l) {
      res.add(fun.apply(x));
    }
    return res;
   }

}

public class Lambda_Ex {
  public static void main(String[] args) {
  List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
  ListTransformer<Integer, Integer> worker = new
    ListTransformer<>( (i) -> i*10 );
  System.out.println(worker.apply(l));
 }
}
```

Methoden-Referenzen

- existierende Methode (einer Klasse) als Lambda Ausdruck verwenden können
- Brauchen Kontext, damit korrekter Ziel-Typ abgeleitet werden kann
- Weniger Code, verständlicher

Methode als Predicate

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;
import java.util.function.Predicate;

public class Lambda_Ex {
 static <T> List<T> filterList(List<T> l, Predicate<T> pred) {
    List<T> res = new LinkedList<>();
    for (T x: l) {
      if (pred.test(x)) {
        res.add(x);
      }
    }
    return res;
  }
 static boolean even(int x) {
    return x % 2 == 0;
 }

public static void main(String[] args) {
  List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
  System.out.println(
  filterList(
  l,
  Lambda_Ex::even
  ));
 }
}
```

Erweiterungen bei Collections

forEach(Consumer<T> c)

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.List;

public class Lambda_Ex {
   public static void main(String[] args) {
     List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
     l.forEach( x -> System.out.println(x) );
   }
}
```

Erweiterungen bei Collections

removeIf(Predicate<T> p)

```
import java.util.Arrays;
import java.util.LinkedList;
import java.util.List;

public class Lambda_Ex {
   public static void main(String[] args) {
      List<Integer> l = new LinkedList<>(Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,
      l.removeIf( x -> x % 2 != 0 );
      l.forEach( x -> System.out.println(x) );
   }
}
```

Erweiterungen bei Collections

replaceAll(UnaryOperator<T> operator)

```
import java.util.Arrays;
import java.util.List;

public class Lambda_Ex {
   public static void main(String[] args) {
      List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
      l.replaceAll( x -> 2 * x );
      l.forEach( x -> System.out.println(x) );
   }
}
```

Scoping

- Lambdas haben Zugriff auf lokale Variablen vom umschliessenden Scope
- Lambdas führen keinen neuen Scope ein
- Variablen müssen final sein

```
int x = 5;
return y -> {x = 6; return x + y;};
// does not work!
```

Streams

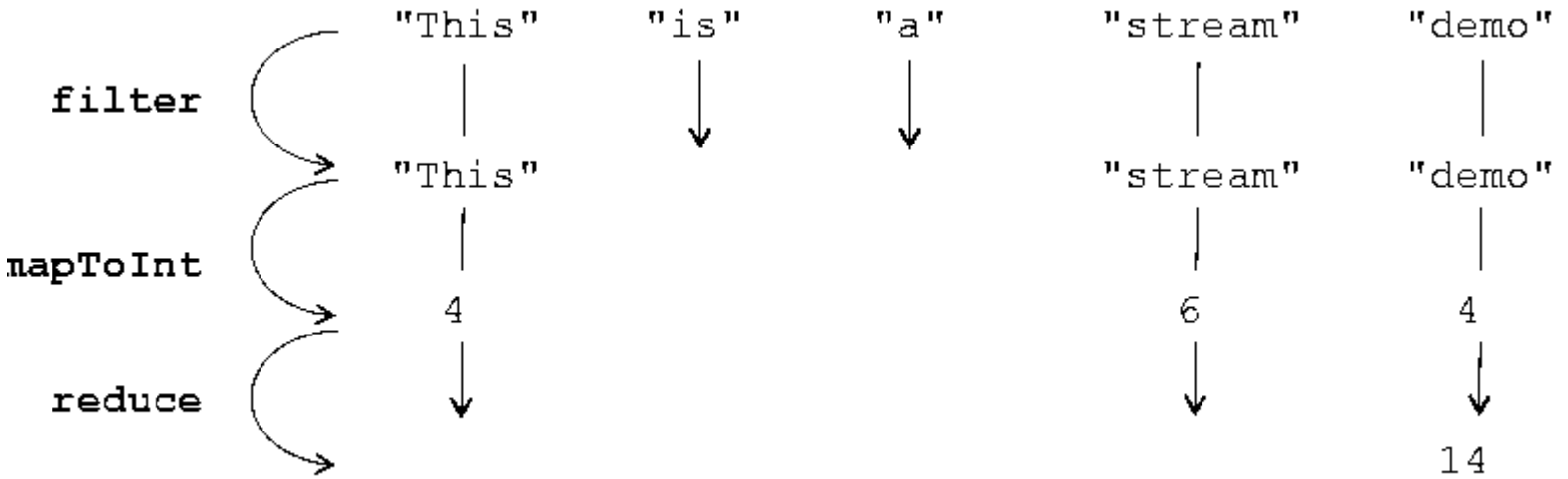
- interface java.util.stream.Stream<T>
- A sequence of elements supporting sequential and parallel aggregate operations
- Funktionales Bearbeiten und Behandeln von Sequenzen
- Streams unterstützen filter, map, reduce, findAny, skip, peek
- Haben nichts mit java.io.InputStream, resp. java.io.OutputStream zu tun! -> als ob! ^^

Streams

- Stream<T> ist der Typ der Streams mit Objekten vom Typ T
- Streams für Elemente von diesen drei primitiven Datentypen
  - IntStream
  - DoubleStream
  - LongStream
- diese „primitive“ Versionen erben nicht von Stream
- Dies Streams mit primitiven Daten arbeiten in vielen Fällen effizenter

Beispiel

```
String[] txt = { "This", "is", "a", "stream", "demo"};
Arrays.stream(txt)
    .filter(s -> s.length() > 3)
    .mapToInt(s -> s.length())
    .reduce(0, (l1, l2) -> l1 + l2);
```



Beispiel

```java
import java.util.Arrays;
import java.util.List;
import java.util.stream.Collectors;

public class Ex {
   public static void main(String[] args) {
    List<Integer> l = Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
    List<Integer> ll = l.stream() // list -> stream
    .filter( (x) -> x%2 == 0 )
    .map( (x) -> 10*x )
    .collect( Collectors.toList() ); // back to a list

    ll.forEach( x -> System.out.println(x) );
   }
}
```

Erzeugung von Streams

- statische Methoden in Arrays

```
IntStream isP = Arrays.stream( new int[] {1,2,3,4,5,6,7,8,9,0}); // Stream of primitive data

Stream<Integer> isO = Arrays.stream( new Integer[] {1,2,3,4,5,6,7,8,9,0}); // Stream of objects
```

Erzeugung von Streams

- statische Methoden in java.util.stream.Stream
- mit iterate und generate hat man eine einfache Möglichkeit unendliche Ströme zu erzeugen

```
Stream<Integer> is1a = Stream.of(1,2,3,4,5,6,7,8,9,0); // Object-Stream 1, 2, ... 9, 0

IntStream is1b = IntStream.of(1,2,3,4,5,6,7,8,9,0); // int-Stream 1, 2, ... 9, 0

Stream<Integer> is2 = Stream.iterate(1, ((x) -> x+1)); // (infinite) Stream 1, 2, ...

int[] z = new int[]{1};

Stream<Integer> is3 = Stream.generate((() -> z[0]++)); // (infinite) Stream 1, 2, ...
```

Erzeugung von Streams

- statische range-Methoden in IntStream und LongStream
- Die Interfaces IntStream und LongStream enthalten jeweils zwei statische range-Methoden mit denen Streams erzeugt werden können.

```
IntStream isPrimA = IntStream.range(1, 10);
// 1,2, .. 9

IntStream isPrimA =
IntStream.rangeClosed(1, 10); // 1,2, .. 9, 10
```

Erzeugung von Streams

- nicht-statische Methoden der Kollektionen
- Das Interface Collection enthält die Methode stream mit der die jweilige Kollektion in einen Stream umgewandelt werden kann.

```
Stream<Integer> is =
Arrays.asList(1,2,3,4,5,6,7,8,9,0).stream();
```

Pipeline-Operationen

- Streams werden typischerweise in einer Pipeline-artigen Struktur genutzt
- Verarbeitungs-Operationen transformieren die Elemente eines Streams
- Erzeugung
- Folge von Verarbeitungs-/Tranformationsschritten
- Abschluss mit einer terminalen Operation

Verarbeitungsoperationen

- filter(Predicate<T> pred)

  Entfernt alle Elemente für die das übergebene Prädikat false liefert / Belässt alle Elemente im Stream für die das übergebene Prädikat true liefert

- map(Function<? super T,? extends R> mapper)

  Wendet auf jedes Element die übergebene Funktion an.

Verarbeitungsoperationen

- flatMap(Function<? super T, ? extends Stream<? extends R>> mapper)

  Wendet auf jedes Element die übergebene – Stream-erzeugende – Funktion an und „klopft die entstehenden Stream flach“

- peek(Consumer<? super T> action)

  Wendet die übergebene ergebnislose Funktion auf alle Elemente an, ohne dabei den Stream selbst zu verändern (Debug-Hilfe)

Beispiel

```java
import java.util.List;
import java.util.stream.Collectors;
import java.util.stream.IntStream;

public class Ex {
   public static void main(String[] args) {
      List<Integer> is = IntStream.range(1,10)
      .filter( (i) -> i%2 != 0)
      .peek( (i) -> System.out.println(i) )
      .map( (i) -> 10*i )
      .boxed()
      .collect( Collectors.toList() );

      System.out.println(is);
   }
}
```

Verarbeitungsoperationen

- Zustandsbehaftete Verarbeitungsoperationen
- distinct()
- sorted()

  Sortiert die Elemente eines Stream nach ihrer natürlichen Ordnung.
- sorted(Comparator<? super T> comparator)
- limit(long maxSize)
- skip(long n)

Beispiel

```java
import java.util.List;
import java.util.stream.Collectors;
import java.util.stream.Stream;

public class Ex {
   public static void main(String[] args) {
      List<Integer> lst =
      Stream.of(9, 0, 3, 1, 7, 3, 4, 7, 2, 8, 5, 0, 6, 2)
      .distinct()
      .sorted( (i,j) -> i-j )
      .skip(1)
      .limit(3)
      .collect( Collectors.toList() );

      System.out.println(lst);
    }
}
```

Streams

- Es gibt Stream-Operationen, welche
- wieder einen Stream produzieren: `filter()`, `map()`
  - intermediate
- etwas anderes tun: `forEach()`, `reduce()`, `collect()`
  - terminal
- intermediate-Streams werden nicht direkt ausgewertet

Terminale Operation

- ohne Ergebnis
- forEach

```
Stream.of(9, 0, 3, 1, 7, 3, 4, 7, 2, 8, 5, 0, 6, 2)
.distinct()
.sorted( (i,j) -> i-j )
.limit(3)
.forEach( System.out::println );
```

Terminale Operation

- mit Array-Ergebnis
- toArray
- Die Methode toArray erzeugt einen Array aus den Elementen des Streams

```
Object[] a = Stream.of("1", "2", "3")
.map( Integer::parseInt )
.toArray();
```

Terminale Operation

- mit Kollektions-Ergebnis
- collect
- erzeugt eine Kollektion aus den Elementen des Streams
- Für die Erzeugung einer Kollektion verwendet man typischerweise einen vordefinierten Collector aus java.util.stream.Collectors.

```
List<Integer> l1 = Stream.of(1, 2, 3)
.collect(Collectors.toList());
```

Terminale Operation

- mit Kollektions-Ergebnis
- collect
- erzeugt eine Kollektion aus den Elementen des Streams
- In Collectors findet sich auch Kollektoren mit denen Maps erzeugt werden können

```
Map<String, Integer> m = Stream.of("1", "2", "3")

.collect(Collectors.toMap((s) -> s, Integer::parseInt));
```

Terminale Operation

- Gruppieren und partitionieren

```java
import java.util.List;
import java.util.Map;
import java.util.stream.Stream;
import static java.util.stream.Collectors.groupingBy;
import static java.util.stream.Collectors.partitioningBy;
import static java.util.stream.Collectors.counting;

public class Ex {
   public static void main(String[] args) {
      Map<Boolean, List<Integer>> oddAndEven =
        Stream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6 ,7 ,8, 9, 0)
      .collect( partitioningBy( (x) -> x%2 == 0 ) );
      Map<Integer, List<Integer>> groupedMod3 =
        Stream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6 ,7 ,8, 9, 0)
      .collect( groupingBy( (x) -> x%3 ) );
      Map<Integer, List<String>> groupedByLength =
        Stream.of("one", "two", "three", "four",
       "five", "six", "seven", "eight", "nine")
      .collect( groupingBy( (s) -> s.length() ) );
      Map<Integer, Long> countGroupsByLength =
        Stream.of("one", "two", "three", "four",
       "five", "six", "seven", "eight", "nine")
      .collect( groupingBy( String::length, counting() ) );
   }
 }
```

Terminale Operation

- Summe, Minimum, Maximum, Durchschnitt

```java
import java.util.OptionalDouble;
import java.util.stream.IntStream;
import java.util.stream.Stream;

public class Ex {
   public static void main(String[] args) {
      long count = Stream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
      .count();

      System.out.println("count = " + count);
      long sum = IntStream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
      .sum();

      System.out.println("sum = " + sum);
      OptionalDouble av = IntStream.of(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)
      .average();

      System.out.println("average = " + av);
   }
}
```

Terminale Operation

```java
boolean allEven = Stream.of(2, 4, 6)
    .allMatch( (x) -> x%2 == 0 );
System.out.println(allEven); // => true

boolean anyEven = Stream.of(1, 2, 3, 4)
    .anyMatch( (x) -> x%2 == 0 );
System.out.println(anyEven); // => true

boolean noneEven = Stream.of(1, 2, 3, 4, 5)
    .noneMatch( (x) -> x%2 == 0 );
System.out.println(noneEven); // => false
```

```java
String concat = Stream.of
  ("one", "two", "three", "four",
    "five", "six", "seven", "eight", "nine")
 .collect( joining("+") );

System.out.println(concat);
// => one+two+three+four+five+six+seven+eight+nine
```

Terminale Operation

- reduzierende Operationen
- Produziert einzelnes Resultat aus allen Elementen

```
Optional<Integer> sumOfAll =
Stream.of(1, 2, 3, 4, 5) .reduce( (a, x) ->
a+x );

Optional<Integer> subOfAll =
Stream.of(1, 2, 3, 4, 5) .reduce( (a, x) ->
a-x );
```

Beispiel

```
import java.util.Iterator;
import java.util.stream.IntStream;
import java.util.stream.Stream;

public class Fibonacci {
   static IntStream fibs() {
    int[] start = {1, 1};
    Stream<int[]> pairStream = Stream.iterate(start,
      (int[] p) -> new int[]{p[1], p[0]+p[1]});
    return pairStream.mapToInt((p) -> p[1]);
   }

  static int getNthFib(int n) {
     return fibs().skip(n-1).findFirst().getAsInt();
   }

  public static void main(String[] args) {
    Iterator<Integer> iter = fibs().iterator();
    int i = 1;
    while (iter.hasNext()) {
      int f = iter.next();
      System.out.println(i++ + " : " + f);
      if (i >= 10) break;
    }
    for (int n=1; n<10; n++) {
      System.out.println(n + " : " + getNthFib(n));
    }
  }
}
```