TECHNISCHE UNIVERSITÄT
KAISERSLAUTERN

Software Entwicklung 1

Annette Bieniusa

AG Softech
FB Informatik
TU Kaiserslautern

Überblick für heute

Funktionale Programmierung mit Java Lambdas

- Syntax von Lambda-Ausdrücken
- Streams
- **Beispiele**
- Behind the Scenes: Wie sind die Lambda-Ausdrücke in Java eingebettet?

TAKIPI

Wiederholung: Funktionen höherer Ordnung im Lambda-Kalkül I

- Funktion, die eine (oder mehrere) Funktionen als Argument nimmt oder als Ergebnis liefert
- Parametrisierung über eine Berechnung möglich!
- **Beispiel**: Anwendung von Funktion auf alle Elemente einer Liste

```
map (\x -> x + 2) [1,2,3,4]   = [3,4,5,6]
map (\y -> 3 * y) [1,2,3,4]   = [3,6,9,12]
```

Wiederholung: Funktionen höherer Ordnung im Lambda-Kalkül II

- **Beispiel**: Filtern von Elementen

```
filter (\x -> x < 10)      [1,32,7]   = [1,7]
filter (\x -> x % 2 == 0)  [1,32,8]   = [32,8]
```

- **Beispiel**: Faltung von Listelementen, ausgehend von Initialwert, mittels einer Funktion zu einem Wert

```
foldl (\y x -> y + x) 0 [1,2,3]
= (((0 + 1) + 2) + 3)
= 6
```

Lambda-Ausdrücke in Java

- Bis Java 8: Trennung von Daten und Programmlogik
- Mit Java: Einführung von Lambda-Ausdrücken
  ($\Rightarrow$ "Methoden ohne Namen")
- Erlauben die Parametrisierung von Berechnungen
- Sehr kompakte Syntax erlaubt elegantes Programmieren
- Viele Möglichkeiten zur Optimierung durch den Compiler und die Laufzeitumgebung (JVM)

Syntax von Lambda-Ausdrücken I

```
(x, y) -> x + y
```

- Formale Parameter + Pfeil -> + Funktionsrumpf
- Rückgabetyp und Exceptions nicht spezifiziert, sondern vom Compiler inferiert
- Syntax sehr vielseitig

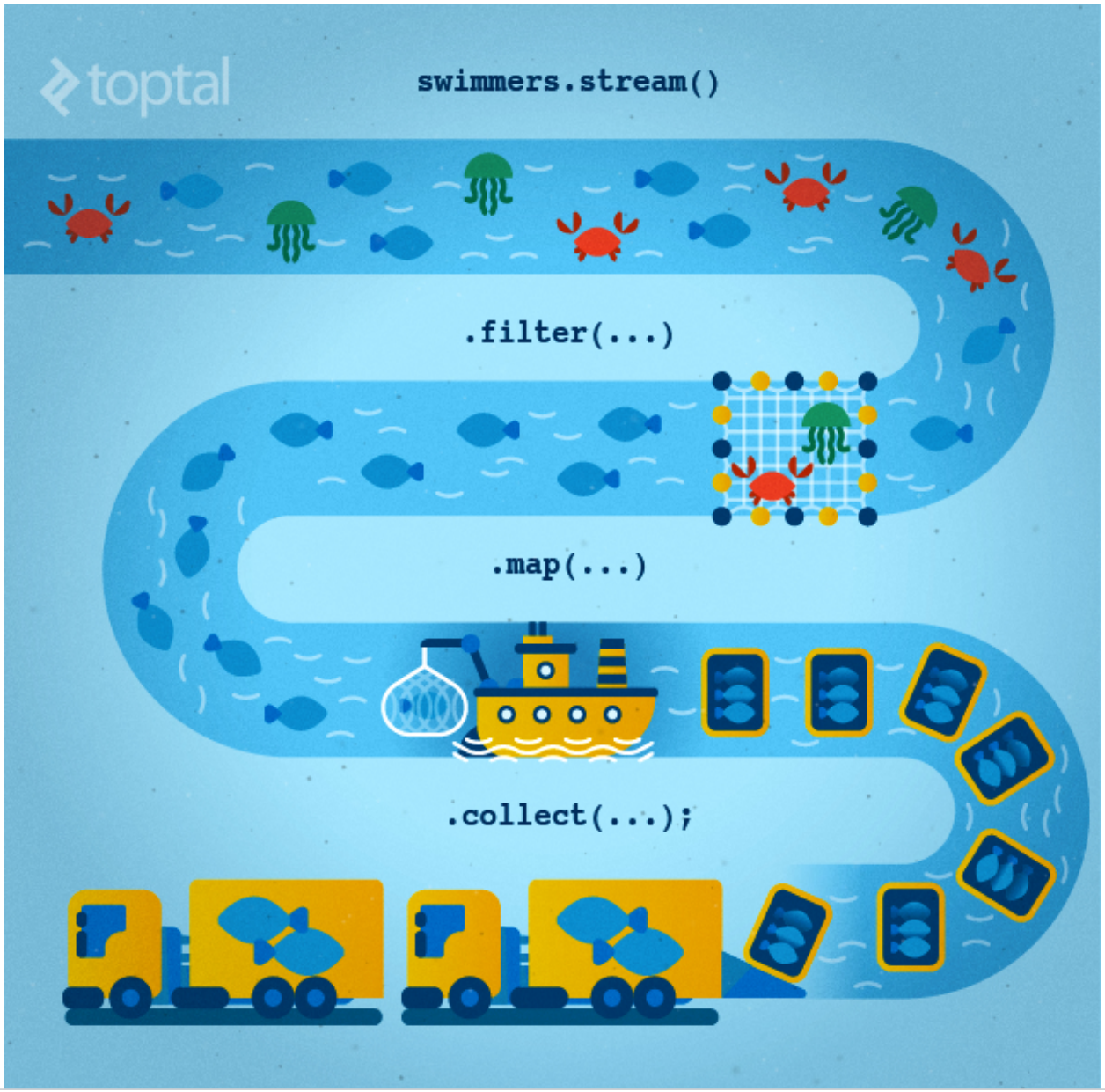
```
(int x)   ->   x + 1   //Parameter mit expliziter Typangabe
x         ->   x + 1   //Parameter ohne explizite Typangabe
()        ->   5       //leere Parameterliste
```

Syntax von Lambda-Ausdrücken II

- Funktionsrumpf ist entweder ein Ausdruck oder ein Anweisungsblock mit abschließender `return`-Anweisung

```
(x, y) -> x * y
(x, y) -> { ... /* weitere Anweisungen */
            return x * y; }
```

- Die Parameternamen in Lambda-Ausdrücken dürfen nicht bereits als Variablen in der umschließenden Methode definiert sein.


toptal
swimmers.stream()
.filter(...)
.map(...)
.collect(...);

Beispiele: Listen von Integern bearbeiten I

```
List<Integer> list = ....


// Sammelt alle Elemente der Liste um 1 inkrementiert
// in einer neuen Liste
// Variante mit Lambdas
List<Integer> incremented2 = list.stream()
        .map(x -> x + 1)
        .collect(Collectors.toList());


// Variante mit Iterator
List<Integer> incremented = new ArrayList<Integer>();
for(int n : list) {
  incremented.add(n+1);
}
```

Beispiele: Listen von Integern bearbeiten II

```
// Skaliert die Element in der Liste um den Faktor s
// und addiert dazu jeweils t;
// sammelt das Ergebnis in einer neuen Liste
final int s = 2;
final int t = 1;
List<Integer> scaled = list.stream()
        .map(x -> s * x + t)
        .collect(Collectors.toList());


// Filtert alle geraden Elemente aus der Liste
// und sammelt sie in einer neuen Liste
List<Integer> even = list.stream()
        .filter(x -> x % 2 == 0)
        .collect(Collectors.toList());
```

Beispiele: Listen von Integern bearbeiten III

```
// Summiert die Elemente in der Liste
int summe_reduce = 0;
for(int n : list) {
  summe_reduce += n;
}


// Variante mit Lambdas
int summe_reduce2 = list.stream()
        .reduce(0, (a, b) -> a + b);
```

Streams

Streams

- Ein **Datenstrom** (engl. *Stream*) ist eine (potentiell unendliche) Folge von Daten gleicher Art.
- Wird von einer (oder mehreren) Quellen versorgt
- Auch verwendet bei Input-/Outputstreams bzw. Reader/Writer
- Hier: Deklarative Datenverarbeitung

Beispiel: Streams

```
public static void listStream(List<String> list) {
    Stream<String> s1 = list.stream();
    Stream<Integer> s2 = s1.map(x -> Integer.valueOf(x));
    Stream<Integer> s3 = s2.filter(x -> x > 0);
    long i = s3.count();
    System.out.println("i = " + i);
}
```

- **Intermediären Operationen** nehmen Elemente aus einem Strom und erzeugen einen neuen Strom
  - Können hintereinander geschaltet werden
  - **Beispiel**e: `map`, `filter`
- **Terminale Operationen** aggregieren ein Ergebnis
  - Konsumieren einen Strom
  - **Beispiel**: `count` (Reduktion auf einen Wert), Umwandlung in Collections, ...

Erzeugen von Streams I

- Quellen:
  - Collections: `stream()` erzeugt einen (sequentiellen) Stream

```
List<String> list = ....;
Stream<String> liststream = list.stream();

Map<Integer, String> map = ...;
Stream<Map.Entry<Integer, String>> entrystream =
   map.entrySet().stream();
Stream<Integer> keystream = map.keySet().stream();
```

  - Arrays

```
String[] ar = ....;
Stream<String> arrstream = Arrays.stream(ar);
```

Erzeugen von Streams II

- Generatorfunktionen

```
Stream<Double> random =
    Stream.generate(() -> Math.random());
Stream<Double> seq    =
    Stream.iterate(1, x -> x + 1);
```

- I/O-Kanäle

```
try (Stream<String> filestream =
    Files.lines(Paths.get("data.txt"))) {
      .... // Verwendung von filestream
  }
```

Operationen auf Streams: map

- Wendet eine Funktion auf alle Elemente im Stream an und liefert den Ergebnis-Stream

```
// wandelt alle Strings in Kleinbuchstaben um:
Stream<String> words = ...
words.map(s -> s.toLowerCase())

// Quadriert alle Zahlen im Stream:
Stream<Integer> numbers = ...
numbers.map(x -> x*x)
```

Operationen auf Streams: map

- Filtert alle Elemente aus einem Stream heraus, die eine gegebene Bedingung erfüllen, und liefert einen Stream mit diesen Elementen

```
// Liefert alle positiven Zahlen aus dem Stream:
numbers.filter(x -> x > 0)

// liefert die Strings, die das Wort "toll" enthalten
words.filter(s -> s.contains("toll"))
```

Operationen auf Streams: reduce

- Wendet *zweistellige Funktion* $\oplus$ auf die Elemente des Streams an und reduziert diese so zu einem einzelnen Wert

$$x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 ...$$

- Auch bekannt im Lambda-Kalkül als `fold`
- Reihenfolge der Auswertung nicht definiert
  $\Rightarrow$ Funktion sollte assoziativ sein

$$(((x_1 \oplus x_2) \oplus x_3) \oplus x_4) = ((x_1 \oplus x_2) \oplus (x_3 \oplus x_4))$$

- *Variante 1:* Faltet zweistellige Funktion über die Elemente im Stream
  - Bei leerem Stream: leeres `Optional`
  - Sonst: `Optional` mit Wert

```
// Aufsummieren der Zahlen im Stream:
Optional<Integer> sum = numbers.reduce((x,y) -> x+y)
System.out.println(sum.getIfPresent());
```

Operationen auf Streams: reduce

- Variante 2: Faltungsfunktion mit zusätzlichem Startwert
  - Liefert immer ein direktes Ergebnis, kein `Optional`
  - Bei leerem Stream: Startwert
  - Startwert sollte Identität in Bezug auf Faltungsfunktion sein

```
// Aufsummieren der Zahlen im Stream:
numbers.reduce(0, (x,y) -> x+y);
// Aufmultiplizieren der Zahlen im Stream:
numbers.reduce(1, (x,y) -> x*y);
```

Quizz

Gegeben eine Liste von Integern `list` mit Einträgen `3, 17, 9, 1, 0 -3`.
Was liefern die folgende Ausdrücke?

```
list.stream()
  .filter(x -> x < 10 && x > 0)
  .reduce((x,y) -> {if (x > y)
      then return x
      else return y;})
```

```
list.stream()
   .map(x -> 2 * x)
   .filter(x -> x % 2 == 1)
   .reduce((x,y) -> x + y)
```

Quizz: Auflösung

Gegeben eine Liste von Integern `list` mit Einträgen `3, 17, 9, 1, 0 -3`.
Was liefern die folgende Ausdrücke?

```
list.stream()
  .filter(x -> x < 10 && x > 0)   // [3,9,1]
  .reduce((x,y) -> {if (x > y)
      then return x
      else return y;})      // Optional<Integer> mit 9

list.stream()
   .map(x -> 2 * x)             //  [6, 34, 18, 2, 0, -6]
   .filter(x -> x % 2 == 1)     //  []
   .reduce((x,y) -> x + y)      //  Optional<Integer>.empty()
```

Operationen auf Streams: collect

- Baut das Ergebnis in einem (veränderbaren) Objekt auf

```
// Stream von Strings in einer ArrayList speichern:
words.collect(
   () -> new ArrayList<String>(),          // initial
   (list, s) -> list.add(s),               // akkumuliert
   (list1, list2) -> list1.addAll(list2) // kombiniert
)
```

- Häufig in `Collector` zusammengefasst

```
// Stream von Strings in einer Liste speichern:
List<String> l = words1.collect(Collectors.toList());
// Stream von Strings in einer Menge speichern:
Set<String> s = words2.collect(Collectors.toSet());
// Elemente durch Komma getrennt als String:
String str = words3.collect(Collectors.joining(", "));
```

Operationen auf Streams: forEach

- Terminale Operation ohne Ergebnis
- Ruft eine Funktion ohne Ergebnis für jedes Element im Stream auf
- Achtung: Reihenfolge nicht spezifiziert!
- Alternative: `forEachOrdered()`

```
// Alle Strings im Stream ausgeben:
words.forEach(w -> {
    System.out.println(w);
});
```

Vergleichen und Sortieren mit Lambdas

- Wiederholung: Interface `Comparator<T>` mit Methode `int compare(T x, T y)`
- Verkürzte Schreibweise mit Lambdas

```
Comparator<String> nachLaenge = (x, y) -> {
    if (x.length() > y.length()) {
        return 1;
    } else if (x.length() < y.length()) {
        return -1;
    } else {
        return x.compareTo(y);
    }
};
```

Sortieren von Listen mit Comparators

- `sort` ist statische Methode der Klasse `java.util.Collections`
- Sortiert eine Liste mit Hilfe eines `Comparator` aufsteigend

```
// Liste nach Laenge der Strings sortieren:
List<String> list = Arrays.asList("aaaa", "b", "ccc",
                                  "dd", "e");

Collections.sort(list, nachLaenge);

System.out.println(list);
// Ausgabe: [b, dd, ccc, aaaa]
```

Sortieren von Listen mit Comparators

- `sorted` ist Sortiermethode für Streams
- Sortiert die Elemente aus einem Stream mit Hilfe eines `Comparator` aufsteigend
- Liefert sortierten Stream

```
List<String> list = Arrays.asList("aaaa", "b", "ccc",
    "dd", "e");
List<String> sorted = list.stream()
        .sorted(nachLaenge)
        .collect(Collectors.toList());

System.out.println(list);
// Ausgabe: [aaaa, b, ccc, dd, e]
// list ist nicht veraendert!

System.out.println(sorted);
// Ausgabe: [b, dd, ccc, aaaa]
```

Weiteres Vergleichsmöglichkeiten I

- `Comparator.naturalOrder()`: natürliche Ordnung für Subtypen von `Comparable`
- `Comparator.reverseOrder()`: invertierte Ordnung
- `Comparator.comparing`: Ordnung auf `f(x)` und `f(y)` für Funktion `f`

```
// Strings nach ihrer Laenge vergleichen:
Comparator<String> nachLaenge =
    Comparator.comparing(s -> s.length());
```

Weiteres Vergleichsmöglichkeiten II

- `Comparator.thenComparing()` erweitert eine Ordnung
- Bei gleichen Elementen wird eine weitere Ordnung verwendet

```
// Strings erst nach Laenge, dann nach natuerlicher
    Ordnung vergleichen:
Comparator<String> nachLaenge = Comparator
        .comparing((String s) -> s.length())
        .thenComparing(Comparator.naturalOrder());
```

Weiteres Vergleichsmöglichkeiten III

```
// Orte erst nach ihrer Postleitzahl und dann nach ihrem
    Namen sortieren:
Comparator<Ort> ortVergleicher =
    Comparator
        .comparing((Ort o) -> o.getPostleitzahl())
        .thenComparing(o -> o.getName());

// Addressen bei gleichem Ort nach Strasse, dann nach
    Hausnummer ordnen:
Comparator<Addresse> addressVergleicher =
    Comparator
        .comparing((Addresse a) -> a.getOrt(), ortC)
        .thenComparing(a -> a.getStrasse())
        .thenComparing(a -> a.getHausNummer());
```

Weiteres Vergleichsmöglichkeiten IV

```
Comparator<Ort> ortVergleicher =
    Comparator
        .comparing((Ort o) -> o.getPostleitzahl())
        .thenComparing(o -> o.getName());


// Variante mit Methodenreferenzen:
Comparator<Ort> ortVergleicher =
    Comparator
        .comparing(Ort::getPostleitzahl)
        .thenComparing(Ort::getName);
```

Auswertung von Streamoperationen und Seiteneffekte

- Kombination von Streams und Lambdas ermöglicht deklaratives Programmieren in Java
- *Wie* die Verarbeitung passiert, ist offengelassen

```
9       public static void listIteration(Collection<Integer> coll)
        {
10          // Variante 1: Iteration mit Iterator
11          Iterator<Integer> it = coll.iterator();
12          while (it.hasNext()) {
13              int i = it.next();
14              System.out.print(i + " ");
15          }
16          // Variante 2: Explizites Iterieren
17          for (int i : coll) {
18              System.out.print(i + " ");
19          }
20          // Variante 3: Implizites Iterieren
21          coll.stream().forEach(i -> System.out.print(i + " "));
22      }
```

Problem: Seiteneffekte

- Funktionen in der rein-funktionalen Programmierung frei von Seiteneffekten
- Kein Verändern von Attributen, globalen Variablen, Konsole, ...
- Ergebnis (d.h. der Effekt) der Funktionsauswertung hängt allein von den Parametern ab
- Gleiche Parameterwerten $\Rightarrow$ gleiches Ergebnis
- Konzepte "Methode" und "Funktion" werden in Java nicht sauber getrennt
- **Ziel:** Seiteneffekte beschränken auf geordnete / sortierte Streams

```
Arrays.asList("Amsel", "Drossel", "Affe", "Kamel").stream()
    .filter(s -> s.startsWith("A"))
    .map(s-> s.toUpperCase())
    .forEachOrdered(s -> System.out.println(s));
```

Lazy-Auswertung von Operationen

- Auswertung erfolgt nur dann, wenn das Ergebnis zwingend erforderlich
- Erlaubt unendliche Datenströme!
- Braucht terminale Operation, um die Verarbeitung eines Streams zu erzwingen

```
List<Integer> seq = Stream
  .iterate(1,x -> x+1)
  .limit(5)   // Nur die ersten 5 Elemente aus Stream
  .collect(Collectors.toList());
```

Frage: Was ist die Ausgabe?

```
List<String> list = Arrays.asList("Apfel", "Birne", "Kiwi");
String res = list.stream()
  .map(o -> {
      System.out.println("map " + o);
      return o.toLowerCase();
  })
  .filter(o -> {
      System.out.println("filter " + o);
      return o.startsWith("b");
  })
  .findFirst()
  .get();

System.out.println("res = " + res);
```

Frage: Was ist die Ausgabe?

```
List<String> list = Arrays.asList("Apfel", "Birne", "Kiwi");
String res = list.stream()
  .map(o -> {
      System.out.println("map " + o);
      return o.toLowerCase();
  })
  .filter(o -> {
      System.out.println("filter " + o);
      return o.startsWith("b");
  })
  .findFirst()
  .get();

System.out.println("res = " + res);
```

```
map Apfel
filter apfel
map Birne
filter birne
res = birne
```

Wiederverwendung von Streams

Streams können nicht "wiederverwendet" werden.

```
List<String> l = Arrays.asList("a", "b", "c");

Stream<String> s1 = l.stream();
Stream<String> s2 = s1.map(s -> "!");
Stream<String> s3 = s1.map(s -> "?");
// IllegalStateException: stream has already been operated
  upon or closed
```

Nach der terminalen Operation ist der Stream auch nicht mehr verfügbar.

Behind the Scenes: Wie funktionieren Lambda-Ausdrücke in Java? I

- Wie können Lambda-Ausdrücke in Java-Typsystem integriert werden?
  $\Rightarrow$ *Funktionale Interfaces*: Interface-Typen mit nur einer einzige abstrakten Methode
- Passender Interface-Typ wird nicht vom Programmierer spezifiziert, sondern vom Compiler aus dem Kontext abgeleitet

Interface	**Lambda-Ausdruck**	**Auswertungsmethode**
`Function<T,R>`	`x -> x+1;`	`apply(T x)`
`BiFunction<T,U,R>`	`(x,y) -> x*y;`	`apply(T x, U y)`
`BinaryOperator<T>`	`(x,y) -> x-y;`	`apply(T x, T y)`
`Predicate<T>`	`x -> x<0;`	`test(T x)`

Behind the Scenes: Wie funktionieren Lambda-Ausdrücke in Java? II

```
1  import java.util.function.*;
2
3  public class Funktionen {
4
5      public static void functionReferences() {
6          int a = 3;
7          int b = 4;
8
9          Function<Integer, Integer> f = (x) -> x * x - 1;
10         BiFunction<Integer, Integer, Integer> g =
11           (x, y) -> x * x + 2 * x - 1;
12
13         System.out.println("f(" + a + ") = " + f.apply(a));
14         System.out.println("g(" + a + "," + b + ") = " + g.
       apply(a, b));
15     }
16
17 }
```

Operationen auf Streams (Auszug)

- `Stream<T> filter(Predicate<? super T> p)`
  Beispiel: `stream.filter(x -> x>5)`
- `Stream<R> map(Function<? super T, ? super R> f)`
  Beispiel: `stream.map(x -> x * x)`
- `T reduce(T start, BinaryOperator<T> f)`
  Beispiel `stream.reduce(0,(x,y) -> x * y)`

Zusammenfassung

- Lambda-Ausdrücke erlauben es knapp und prägnant in Java zu programmieren
- Programme verlieren ihren prozeduralen Charakter
- Ausblick: Parallelisierung von Berechnungen (Vertiefung in SE3)
  - Verteilung von Berechnungen in Multi-core Prozessoren
  - Berechnungen, die unabhängig voneinander sind, können auf verschiedenen Prozessoren **gleichzeitig** durchgeführt werden
    $\Rightarrow$ Reduziert gesamte Berechnungszeit
  - Idee: Parallele Streams mit automatischer Aufgabenverteilung
  - Probem: Ressourcenkonflikte wegen Nichtdeterminismus