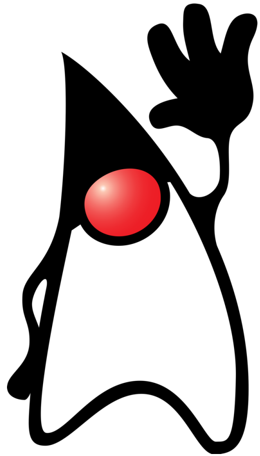
Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Wichtige Meilensteile in der Java-Historie



Java 1
OOP

Java 5
Generische Typen

Java 8
Funktionale Programmierung und Streams

Java 9
Module

...

Java 20

Java 21

...

Neue Versionen halbjährlich

1996 | 2004 | 2014 | 2017 | 03/23 | 09/23 | ...

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Beispiel: ActionListener mit anonymer innerer Klasse

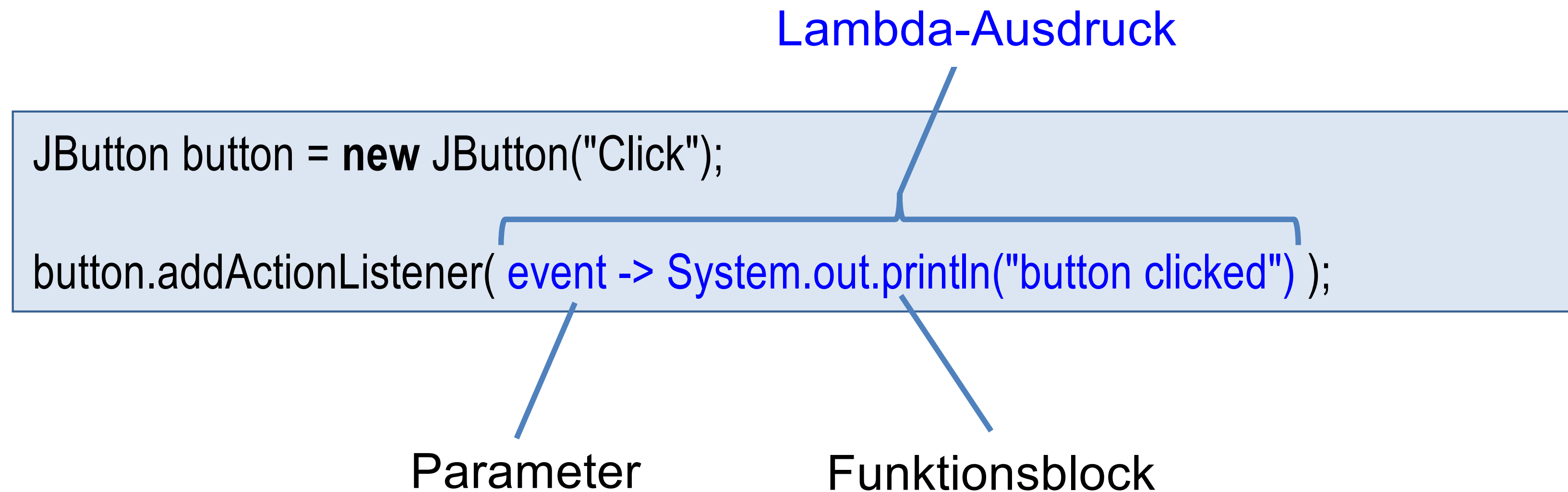
- Das folgende Beispiel zeigt typischen Java-Code, um ein bestimmtes Verhalten (Ausgabe von "button clicked" auf die Console) mit einer Swing-Komponente JButton zu verknüpfen.

```
JButton button = new JButton("Click");
button.addActionListener( new ActionListener() {
        public void actionPerformed(ActionEvent event)
                System.out.println("button clicked");
        }
} );
```

- Es wird zuerst ein neues Objekt erzeugt, das das Interface ActionListener implementiert. Dazu muss die Methode actionPerformed() implementiert werden.
- Das Objekt ist damit Instanz einer anonymen, inneren Klasse.
- Das Objekt wird mit der Methode addActionListener() bei der Swing-Komponente button registriert.
- Es muss ein großer syntaktischer Aufwand betrieben werden, um ein gewünschtes Verhalten mit einer Swingkomponente zu verknüpfen.

Beispiel: ActionListener mit Lambda-Ausdruck

- Mit einem Lambda-Ausdruck geht es prägnanter:



- Lambda-Ausdrücke sind anonyme (d.h. namenlose) Funktionen.
- Beachte: der Parameter event muss nicht typisiert werden.
  Der Parametertyp wird vom Java-Compiler hergeleitet.

Beispiel: Comparator mit anonymer innerer Klasse

- Im folgenden Beispiel wird eine Integer-Liste absteigend sortiert mit Hilfe eines Comparator-Objekts.
- Das Comparator-Objekt wird neu erzeugt und implementiert das Interface Comparator und ist damit Instanz einer anonymen, inneren Klasse.

```
List<Integer> intList = Arrays.asList(5, 2, 7, 8, 9, 1, 4, 3, 6, 10);

intList.sort( new Comparator<Integer>(){
        public int compare(Integer x, Integer y) {
                return y.compareTo(x);
        }
} );
```

- Es muss ein großer syntaktischer Aufwand betrieben werden, um das Sortierverfahren mit der gewünschten Vergleichsmethode zu parameterisieren.
- Beachte: seit Java 8 bietet das Interface List<E> auch eine Sortiermethode (stabiles Sortierverfahren) an:

```
void sort(Comparator<? super E> c)
```

Beispiel: Comparator mit Lambda-Ausdruck

- Mit einem Lambda-Ausdruck geht es prägnanter:

```
List<Integer> intList = Arrays.asList(5, 2, 7, 8, 9, 1, 4, 3, 6, 10);
intList.sort( (x,y) -> y.compareTo(x) );
```

Lambda-Ausdruck

- Beachte: hier hat der Lambda-Ausdruck zwei Parameter x, y.
  Parameter müssen nicht typisiert werden.
  Parametertyp wird vom Java-Compiler hergeleitet.

Lambda-Ausdrücke (1)

- Lambda-Ausdrücke haben die allgemeine Bauart:

```
(Parameterliste) -> Funktionsblock
```

- Beispiel:

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

- Die Parameterliste kann leer sein:

```
( ) -> System.out.println("Hallo");
```

- Hat die Parameterliste genau einen nicht typisierten Parameter, dann kann die Klammer entfallen.

```
(x) -> x+1
x -> x+1
```

- Die Parameter können typisiert werden (in manchen Situationen ist das auch erforderlich). Die Klammer muss dann geschrieben werden.

```
(String s) -> s + "!"
(int x, int y) -> x + y
```

Lambda-Ausdrücke (2)

- Der Funktionsblock bei Lambda-Termen folgt den gleichen Regeln wie bei Methoden.
- Wird ein Rückgabewert erwartet, dann muss ein return erfolgen (Kurzschreibweise möglich: siehe unten). Erfolgt kein Rückgabewert, dann kann return entfallen.

```
(int n) -> {
        int p = 1;
        for (int i = 1; i <= n; i++)
                p *= i;
        return p;
}
```

```
(int n) -> {
        for (int i = 1; i <= n; i++)
                System.out.println();
}
```

- Besteht der Funktionsblock nur aus einer return-Anweisung oder einem Funktionsaufruf, dann gibt es folgende Kurzschreibweisen:

```
(int n) -> n + 1
```

statt

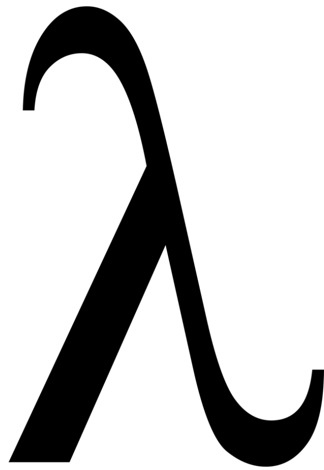
```
(int n) -> {
        return n + 1;
}
```

```
() -> System.out.println("Hallo")
```

statt

```
() -> {
        System.out.println("Hallo");
}
```

Historisches: λ-Kalkül



- Der Begriff der Lambda-Ausdrücke stammt aus dem λ-Kalkül, der von den beiden US-amerikanischen Mathematikern und Logikern Alonzo Church und Stephen Cole Kleene in den 30er-Jahren entwickelt wurde.
  Church und Kleene gehören zu den Begründern der theoretischen Informatik.

- Der λ-Kalkül ist auch theoretische Grundlage der funktionalen Programmiersprachen wie z.B. Lisp (1958) und Haskell (1990).

- Der λ-Kalkül formalisiert Konzepte wie Funktionsanwendung (Applikation) und Funktionsbildung (λ-Abstraktion):

MN	Applikation: wende λ-Term M auf N an
λx.M	λ-Abstraktion: binde die Variable x im λ-Term M

- Die Auswertung von λ-Termen wird mit Reduktionsregeln festgelegt:

$\lambda x.x+1 \rightarrow \lambda y.y+1$	α-Konversion (gebundene Umbenennung)
$(\lambda x.x+1)\ 2 \rightarrow 2+1$	β-Konversion (Funktionsanwendung; ersetze x durch 2 in x+1

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Interface: default-Methoden und abstrakte Methoden

- In einem Interface dürfen Methoden vordefiniert werden: default-Methoden.
  Sie werden dazu mit dem Schlüsselwort default gekennzeichnet.
- Default-Methoden dürfen in implementierenden Klassen oder abgeleiteten Interfaces überschrieben werden.
- Methoden, die dagegen nur deklariert werden, werden auch abstrakt genannt.
- Wichtiger Unterschied zu abstrakten Klassen:
  in einem Interface sind keine Instanzvariablen möglich.

```
interface Set<E> extends Iterable<E> {
    boolean contains(E e);
    default boolean containsAll(Set<E> s) {
        for (E e : s)
            if ( ! contains(e) )
                return false;
        return true;
    }
}
```

Funktionales Interface

- Ein funktionales Interface ist ein Interface mit genau einer abstrakten Methode.
- Default- und statische Methoden dürfen dagegen in beliebiger Anzahl vorkommen.
- Ein funktionales Interface deklariert mit seiner abstrakten Methode den Typ einer Funktion.
- Annotation verwenden: @FunctionalInterface

```
@FunctionalInterface
interface BiFunction {
    double apply(double x, double y);
}
```

BiFunction beschreibt den Typ von Funktionen, die zwei double-Werte auf einen double-Wert abbilden:

Mathematisch:

$$\text{double} \times \text{double} \rightarrow \text{double}$$

```
@FunctionalInterface
interface Predicate {
    boolean test(int x);
}
```

Predicate beschreibt den Typ von Funktionen, die einen int-Wert auf einen Booleschen Wert abbilden.

Mathematisch:

$$\text{int} \rightarrow \text{boolean}$$

Solche Funktionen werden auch Prädikate genannt (siehe Prädikatenlogik).

Lambda-Ausdrücke und funktionale Interfaces (1)

- Ein Lambda-Ausdruck wird immer im Kontext eines funktionalen Interfaces definiert.
- Dabei legt das funktionale Interface den Typ des Lambda-Ausdrucks fest.
- Durch die abstrakte Methode des funktionalen Interface wird festgelegt, wie der Lambda-Ausdruck benutzt (aufgerufen) werden kann.

```
interface BiFunction {
	double apply(double x, double y);
}
```

```
BiFunction add = (x,y) -> x+y;
BiFunction mult = (x,y) -> x*y;
BiFunction max = (x,y) -> {
		if (x >= y)
			return x;
		else
			return y;
	};

System.out.println(add.apply(4, 5));
System.out.println(mult.apply(4, 5));
System.out.println(max.apply(4, 5));
```

Definition von Lambda-Ausdrücken

Benutzung (Aufruf) der Lambda-Ausdrücke

Lambda-Ausdrücke und funktionale Interfaces (2)

- Lambda-Ausdrücke können auch als Parameter übergeben werden.

```
interface Predicate {
	boolean test(int x);
}
```

```
boolean forAll(int[ ] a, Predicate p) {
	for (int x : a)
		if (! p.test(x))
			return false;
	return true;
}
```

forAll(a, p) prüft, ob
alle Elemente aus dem Feld a
das Prädikat p erfüllen.

```
Predicate isPositive = x -> x >= 0;

int [ ] a = {3, 5, -6, 5};
System.out.println(forAll(a, isPositive));
```

isPositive prüft, ob ein
Element x positiv ist.

prüfe, ob alle Elemente
aus Feld a positiv sind.

Typinferenz

- Die Parameter der Lambda-Ausdrücke müssen in der Regel nicht typisiert werden.
- Der Parametertyp wird vom Java-Compiler aus dem funktionalem Interface hergeleitet (Typinferenz)

```
interface BiFunction {
        double apply(double x, double y);
}
```

```
BiFunction add_V1 = (doube x, double y) -> x+y;
BiFunction add_V2 = (x, y) -> x+y;
```

Lambda-Ausdrücke sind gleichwertig

Funktionale Interfaces in java.util.function

- Das in Java 8 eingeführte Paket java.util.function enthält sehr viele funktionale Interfaces.

Funktionales Interface	Abstrakte Methode	Beschreibung
Predicate<T>	boolean test(T t)	1-stelliges Prädikat vom Typ $T \rightarrow$ boolean
BiPredicate<T, U>	boolean test(T t, U u)	2-stelliges Prädikat vom Typ $T \times U \rightarrow$ boolean
Function<T, R>	R apply(T t)	1-stellige Funktion vom Typ $T \rightarrow R$
BiFunction<T, U, R>	R apply(T t, U u)	2-stellige Funktion vom Typ $T \times U \rightarrow R$
UnaryOperator<T>	T apply(T t)	1-stelliger Operator vom Typ $T \rightarrow T$ (ist abgeleitet von Function<T, T>)
BinaryOperator<T>	T apply(T t, T u)	2-stelliger Operator vom Typ $T \times T \rightarrow T$ (ist abgeleitet von BiFunction<T, T, T>)
Consumer<T>	void accept(T t)	Funktion, die ein T-Parameter entgegen nimmt.
Supplier<T>	T get()	Funktion, die ein T-Element zurückliefert.

- Für Basisdatentypen int, long und double gibt es außerdem noch spezielle Interfaces, die analog aufgebaut sind.

Beispiele

```
Predicate<Integer> isEven = x -> x%2 == 0;

IntPredicate isEven = x -> x%2 == 0;

Predicate<String> endsWithDollar = s -> s.endsWith("$");

BiPredicate<String,Integer> endsWithInt = (s, x) -> s.endsWith(String.valueOf(x));
System.out.println(endsWithInt.test("Hallo123",123));
```

isEven mit
int-spezifischem Interface

```
BinaryOperator<Double> sumSquares = (x, y) -> x*x + y*y;

DoubleBinaryOperator sumSquares = (x, y) -> x*x + y*y;

BinaryOperator<String> pair = (s1, s2) -> "("  + s1 + ", " + s2 + ")";
```

sumSquares mit
double-spezifischem Interface

```
Consumer<Person> persPrinter = p -> System.out.println(p.getName());

Supplier<Point> newZeroPoint = () -> { return new Point(0,0); };
```

Funktionales Interface Predicate und default-Methoden

- Viele funktionale Interfaces in der Java API enthalten nicht nur die für ein funktionales Interface notwendige abstrakte Methode sondern auch noch verschiedene default-Methoden.
- Das Interface Predicate enthält beispielsweise die default-Methoden and, or und negate, mit denen Prädikate aussagenlogisch verknüpft werden können.

```
@FunctionalInterface
interface Predicate<T> {
    boolean test(T x);
    default Predicate<T> and(Predicate<? super T> other);
    default Predicate<T> or(Predicate<? super T> other);
    default Predicate<T> negate( );
}
```

```
Predicate<Integer> isEven = x -> x%2==0;
Predicate<Integer> isPositive = x -> x > 0;
Predicate<Integer> isEvenAndPositive = isEven.and(isPositive);
```

Funktionen höherer Ordnung

- and, or und negate werden auch Funktionen höherer Ordnung genannt:
  Parameter und/oder return-Werte sind Funktionen.

```
@FunctionalInterface
interface Predicate<T> {
        boolean test(T x);
        default Predicate<T> and(Predicate<? super T> other);
        ...
}
```

```
Predicate<Integer> isEvenAndPositive = isEven.and(isPositive);
```

- and nimmt 2 Prädikate entgegen (this und other) und
  liefert ein Prädikat als return-Wert zurück.

- mathematisch geschrieben :

$$\text{and: } \underbrace{(T \rightarrow \text{boolean})}_{\text{this}} \times \underbrace{(T \rightarrow \text{boolean})}_{\text{other}} \rightarrow \underbrace{(T \rightarrow \text{boolean})}_{\text{return}}$$

  other darf auch vom Typ $T^+ \rightarrow \text{boolean}$ sein, wobei $T <: T^+$ ist.

- Funktionen höherer Ordnung sind typisch für funktionale Programmiersprachen.

Funktionales Interface Function

- Das Interface Function enthält die default-Methoden andThen und compose zur Komposition von Funktionen:

```
interface Function<T, R> {
        R apply(T x);
        default <V> Function<T,V> andThen(Function<? super R, ? extends V> after)
        default <V> Function<V,R> compose(Function<? super V, ? extends T> before)
}
```

```
Function<Double, Double> square = x -> x*x;
Function<Double, Double> incr3 = x -> 3 + x;

Function<Double, Double> f = square.andThen(incr3);    } gleichwertig
Function<Double, Double> g = incr3.compose(square);    }
Function<Double, Double> h = square.compose(incr3);

System.out.println(f.apply(2.0));     // 7.0
System.out.println(g.apply(2.0));     // 7.0
System.out.println(h.apply(2.0));     // 25.0
```

- Typ der Methode andThen mathematisch geschrieben:

$$\text{andThen:}\quad \underbrace{(T \rightarrow R)}_{\text{this}} \times \underbrace{(R \rightarrow V)}_{\text{after}} \rightarrow \underbrace{(T \rightarrow V)}_{\text{return}}$$

after darf auch vom Typ $R^+ \rightarrow V^-$ sein, wobei $R <: R^+$ und $V^- <: V$ ist.

Funktionales Interface Comparator (1)

- abstrakte Methode: compare(x,y)
- zusätzlich: verschiedene statische Methoden comparing
- Beispiel: comparing(keyExtractor) nimmt eine Funktion keyExtraktor, die aus einem Objekt einen Comparable-Schlüssel extrahiert, entgegen und liefert einen Comparator zurück.

```
@FunctionalInterface
interface Comparator<T> {
    int compare(T x, T y);

    static <T, U extends Comparable<? super U>>
    Comparator<T> comparing(Function<? super T, ? extends U> keyExtractor);
    ...
}
```

```
Comparator<Person> cmp1 = (p1, p2) -> p1.getName().compareTo(p2.getName());
```

```
Comparator<Person> cmp2 = Comparator.comparing( p -> p.getName() );
```

cmp1 und cmp2 sind gleichwertig

```
List<Person> persList = new LinkedList<>();
persList.add(new Person("Maier"));  ...

persList.sort(cmp2);
```

Funktionales Interface Comparator (2)

- zusätzlich: verschiedene Default-Methoden.
- this.reversed() liefert die Umkehrrelation zu this zurück.
- this.thenComparing(other) baut aus this und other einen zweistufigen lexikographischen Vergleich zusammen

```
@FunctionalInterface
interface Comparator<T> {
        default Comparator<T> reversed();
        default Comparator<T> thenComparing(Comparator<? super T> other)
        ...
}
```

```
Comparator<Person> cmpAge = Comparator.comparing( p -> p.getAge());
Comparator<Person> cmpName = Comparator.comparing( p -> p.getName());
```

```
List<Person> persList = new LinkedList<>(); ...
persList.sort(cmpAge);                      // sortiere Personen nach dem Alter aufsteigend
persList.sort(cmpAge.reversed());           // sortiere Personen nach dem Alter absteigend
persList.sort(cmp.thenComparing(cmpName);   // sortiere Personen nach dem Alter aufsteigend und innerhalb
                                            // der gleichen Altersstufe alphabetisch nach dem Namen
```

Nicht jedes Interface ist funktional!

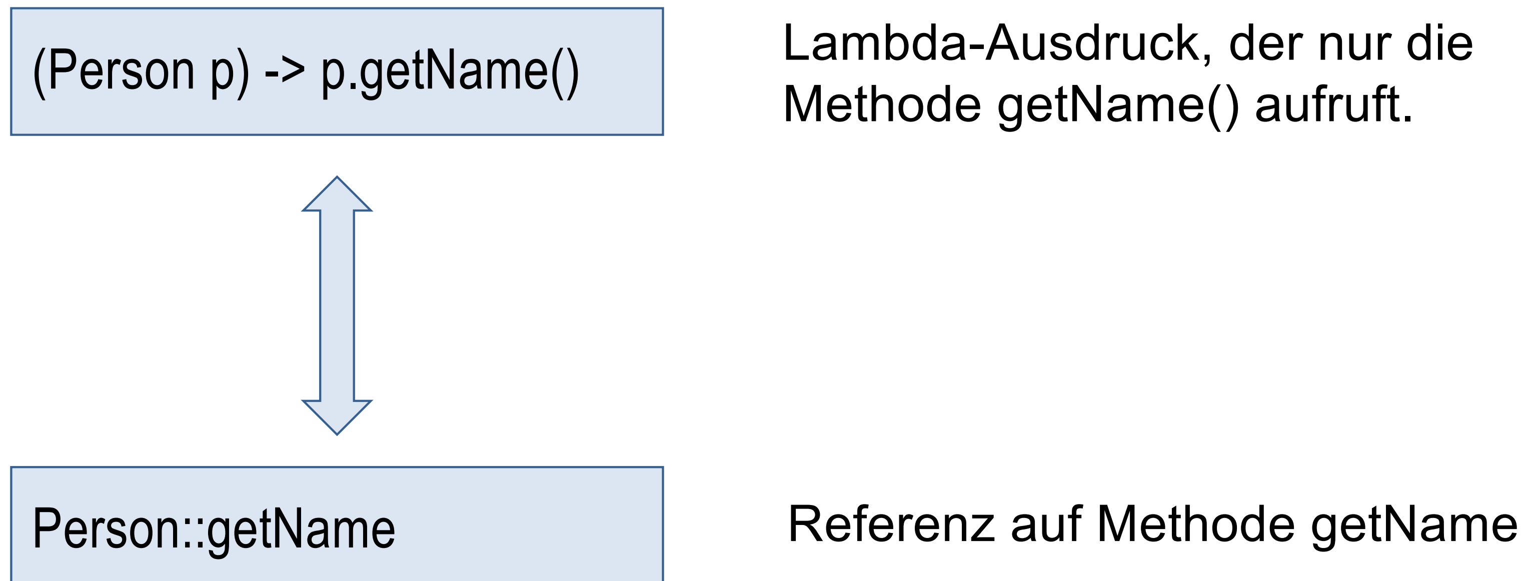
- Die Java-API enthält Interfaces, die genau eine abstrakte Methode enthalten, aber nicht als funktionale Interfaces intendiert sind.
- Es fehlt dann die Annotation @FunctionalInterface.
- Beispiele: Iterable, Comparable
- Lambda-Ausdrücke haben im Gegensatz zu herkömmlichen Objekten keine Instanzvariablen. Daher wäre ein Lambda-Ausdrück, der Comparable oder Iterable wäre, sinnlos.

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Methoden-Referenz für Lambda-Ausdruck

- Lambda-Ausdrücke, die genau ein Methodenaufruf darstellen, lassen sich durch den Namen der Methode ersetzen (Methodenreferenz):



4 Arten von Methodenreferenzen

	Methodenreferenz	Lambda-Ausruck
Statische Methode	C::m	(x,y,...) –> C.m(x,y,...)
Instanzmethode	C::m	(self,x,y,...) -> self.m(x,y,...)
Instanzmethode mit Bindung auf Objekt obj	obj::m	(x,y,...) -> obj.m(x,y,...)
Konstruktor	C::**new**	(x,y,...) -> **new** C(x,y,...)

Beispiel für Referenz auf statische Methode

```
class Utilities {
	public static boolean isNotPrime(int n) { ... }
}
```

```
List<Integer> intList = new LinkedList<>();
for (int i = 1; i < 50; i++)
	intList.add(i);

intList.removeIf(Utilities::isNotPrime);
```

removeIf ist im Interface Collection als Default-Methode definiert:

```
default boolean removeIf(Predicate<? super E> filter)
```

col.removeIf(p) entfernt alle Elemente aus dem Container col, auf die das Prädikat p zutrifft.

Beispiele für Referenz auf Instanz-Methoden

```
List<String> nameList
    = Arrays.asList("Maria", "Peter", "Petra", "Robert");
nameList.replaceAll(String::toUpperCase);
System.out.println(nameList);
```

Die Methode toUpperCase aus der Klasse String

String toUpperCase()

wandelt Klein- in Großbuchstaben und liefert den gewandelten String zurück.

[MARIA, PETER, PETRA, ROBERT]

```
List<Object> objList
   = Arrays.asList(new Complex(2,1), 12.3, "Robert");
objList.replaceAll(Object::toString);
System.out.println(objList);
```

[2.0 + 1.0*i, 12.3, Robert]

replaceAll ist im Interface List als Default-Methode definiert:

default void replaceAll(UnaryOperator<E> operator)

list.replaceAll(f) ersetzt jedes Element x in list durch f(x).

Beispiel für Referenz auf Instanzmethode mit Objekt-Bindung

```
List<String> nameList
        = Arrays.asList("Maria", "Peter", "Petra", "Robert");
nameList.forEach(System.out::println);
```

Referenz auf Instanz-Methode mit Bindung an Objekt System.out.

forEach erwartet als Parameter eine Consumer-Funktion
(einstellige Funktion ohne Rückgabewert)

Beispiele für Referenz auf Konstruktor

```
Supplier<Complex> s = () -> new Complex();
Complex z = s.get();
```

```
Supplier<Complex> s = Complex::new ;
Complex z = s.get();
```

Referenz auf parameterlosen Konstruktor

```
Function<Double,Complex> f = x -> new Complex(x);
Complex z = f.apply(5.0);    // z = 5.0 + 0.0*i
```

```
Function<Double,Complex> f = Complex::new;
Complex z = f.apply(5.0);    // z = 5.0 + 0.0*i
```

Referenz auf einstelligen Konstruktor

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Zustandslose Funktionen

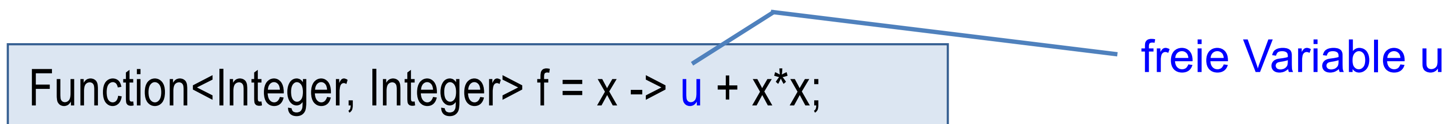
- In den meisten Fällen wird in Lambda-Ausdrücken nicht auf Variablen aus der Umgebung zugegriffen.
- Man erhält dann zustandslose Funktionen (stateless functions).
- Das bedeutet auch Funktionen ohne Seiteneffekte.
  D.h. Variablen aus der Umgebung werden nicht verändert.

```
Function<Integer, Integer> f = x -> x*x;
System.out.println(f.apply(5));     // 25
...
System.out.println(f.apply(5));     // 25
```

Jeder Aufruf liefert den denselben Wert zurück.

Lambda-Ausdrücke mit freien Variablen

- In einem Lambda-Ausdruck können auch auf Variablen aus der Umgebung zugegriffen werden.
  Die Variable ist dann nicht als Parameter im Lambda-Ausdruck gebunden und wird auch freie Variable genannt.



- Freie Variable ist lokale Variable oder Parameter:
  Dann muss die freie Variable effektiv final sein.
  Bei effektiv final darf einer Variablen nur einmal ein Wert zugewiesen werden.
  Beachte: lokale Variablen und Parameter sind im Stack gespeichert.

- Freie Variable ist Instanzvariable:
  Keine Einschränkung für die freie Variable.
  Beachte: Instanzvariablen sind im Heap gespeichert.

- Lambda-Ausdruck ist nur dann zustandslos, falls freie Variable nicht verändert wird.

- Die Bindung von freien Variablen an den Erstellungskontext nennt man auch Closure (Funktionsabschluss).

Beispiel: freie Variable ist lokal und Funktion ist zustandslos

```
class Demo {
	public void test() {
		int local = 5;
		// local++; nicht erlaubt!
		Function<Integer, Integer> f = x -> local + x*x;

		System.out.println(f.apply(5));  // 30
		System.out.println(f.apply(5));  // 30
	}

	public static void main(String[ ] args) {
		new Demo().test();
	}
}
```

Zugriff auf lokale Variable local
aus der Umgebung.

local muss effektiv final sein und darf nach der Initialisierung nicht mehr verändert werden.

Funktion f ist damit zustandslos.

Beispiel: freie Variable ist Instanzvariable und Funktion ist zustandsbehaftet

```
class Demo {
	private int instanceVar = 5;

	public void test() {
		Function<Integer, Integer> g = (x) -> {
			instanceVar++;
			return instanceVar + x*x;
		};

		System.out.println(g.apply(5)); // 31
		instanceVar + = 2;
		System.out.println(g.apply(5)); // 34
	}

	public static void main(String[ ] args) {
		new Demo().test();
	}
}
```

Zugriff auf Instanzvariable instanceVar der Klasse Demo.

instanceVar wird bei jedem Aufruf von Funktion g verändert.
g hat damit einen Seiteneffekt.

Funktion g ist außerdem zustandsbehaftet.

Beispiel: freie Variable ist lokal und Funktion ist zustandsbehaftet

```
class Demo {
	public static void main(String[ ] args) {

		MutableInt mutableLocal = new MutableInt();

		Function<Integer, Integer> f = x -> {
			mutableLocal.incr();
			return mutableLocal.get() + x*x;
		};


		System.out.println(f.apply(5)); // 26
		System.out.println(f.apply(5)); // 27
	}
}

class MutableInt {
	private int i = 0;
	public int get() { return i; }
	public void incr() { i++; }
}
```

Zugriff auf lokale Variable mutableLocal.

mutableLocal ist zwar effektiv final, ist aber eine Referenz auf ein mutables Objekt.

Die Funktion f ist zustandsbehaftet und hat einen Seiteneffekt.

MutableInt ist eine mutable Klasse, die ein int-Wert kapselt.

Beispiel: Ergänzung einer Funktion um einen Cache-Mechanismus [1)]

isPrime prüft für jedes n die Primzahleigenschaft

```
static boolean isPrime(long n) {
    for (int i = 2; i*i <= n; i++)
        if (n%i == 0)
            return false;
    return true;
}
```

makeCachable ergänzt Funktion f um einen Cache-Mechanismus.

```
static <T, R> Function<T, R> makeCachable(Function<T, R> f) {
    final Map<T, R> cache = new HashMap<>(); 2)
    return t -> {
        R r = cache.get(t);
        if (r == null) {
            r = f.apply(t);
            cache.put(t, r);
        }
        return r;
    };
}
```

Lokale Variable mit mutablem HashMap-Objekt.

Zurückgegebener Lambda-Ausdruck greift zwar auf mutable Umgebungsvariable cache zu, verhält sich aber wie ein zustandsloser Lambda-Ausdruck.

mit Cache-Mechanismus ausstatten

```
Function<Long, Boolean> isPrimeWithCache = makeCachable(n -> isPrime(n));

isPrimeWithCache.apply(1013L);    // hier wird isPrime(1013L) aufgerufen
isPrimeWithCache.apply(1013L);    // hier wird die in cache abgespeicherte Information verwendet
```

1) Beispiel aus [Prähofer]
2) HashMap wird in Algorithmen und Datenstrukturen behandelt. Im Vergleich zu TreeMap muss T nicht Comparable sein.

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Interface Iterable

- Interface Iterable wurde mit Java 8 um die default-Methode forEach erweitert.

```
default void forEach(Consumer<? super T> action)
```

Consumer-Funktion ist eine einstellige Funktion ohne Rückgabewert.

- Die Anwendung der forEach-Methode wird auch interne Iteration genannt.

```
List<String> nameList =
        Arrays.asList("Maria", "Peter", "Petra", "Robert");
```

```
nameList.forEach(name -> System.out.println(name));
```

forEach wendet das Consumer-Argument auf jedes Element des Iterable-Objekts an.

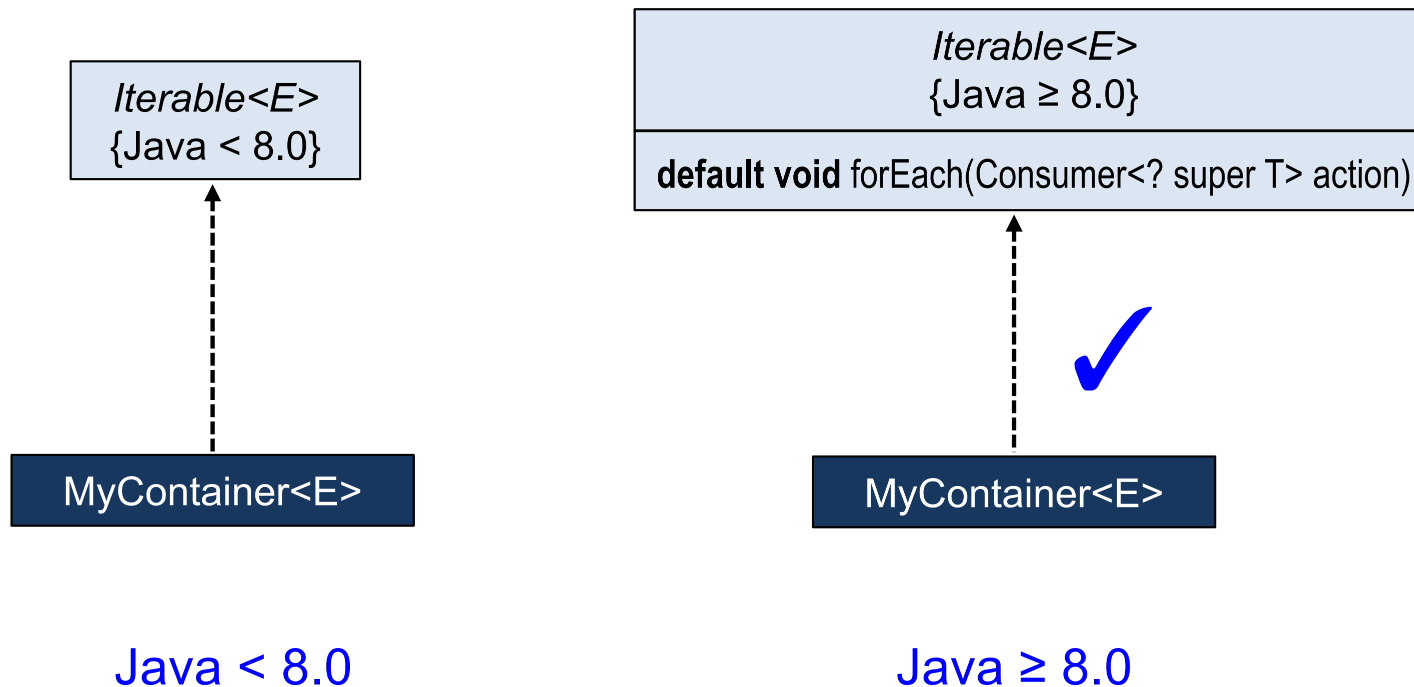
- Zum Vergleich: externe Iteration mit einer for-each-Schleife:

```
for (String s : nameList)
        System.out.println(s);
```

- Java-Entwickler haben die Möglichkeit, die forEach-Methode in einem Iterable-Container (z.B. ArrayList) geeignet zu überschreiben, um Effizienzgewinne zu erzielen (z.B. durch Parallelisierung).

Interface Iterable ist abwärtskompatibel

- default-Technik bei forEach sorgt für Abwärtskompatibiltät.
- Klassen, die Iterable implementieren und vor Java 8 entwickelt wurden, brauchen nicht geändert zu werden!



Weitere wichtige Default-Methoden

Interface	Default-Methode
Collection<E>	**boolean** removeIf(Predicate<? **super** E> filter)
List<E>	**void** replaceAll(UnaryOperator<E> operator) **void** sort(Comparator<? **super** E> c)

Interface	Default-Methode
Map<K,V>	compute computeIfAbsent computeIfPresent forEach getOrDefault merge putIfAbsent replace replaceAll

Details siehe Java-API. Anschauen!

Beispiel zu Default-Methoden aus Map

```
Map<String, Set<String>> besuchteLVen = new TreeMap<>();
```

Für jeden Student (String) wird Menge der besuchten Lehrveranstaltungen (Set<String>) in einer Map gespeichert.

```
if (besuchteLVen.get("Peter") == null)
    besuchteLVen.put("Peter", new TreeSet<>());
besuchteLVen.get("Peter").add("Prog2");
```

Peter besucht Prog2.

```
besuchteLVen.computeIfAbsent("Petra", s -> new TreeSet<>() ).add("Symo");
```

computeIfAbsent liefert zu key "Petra" aktuellen value zurück.

Lambda-Funktion berechnet value falls key "Petra" nicht vorhanden ist.

Petra besucht Symo.
Mit Dafault-Methode computeIfAbsent.

```
for (var e : besuchteLVen.entrySet())
    System.out.println(e.getKey() + ": " + e.getValue());
```

besuchteLVen zeilenweise ausgeben.

```
besuchteLVen.forEach((s, lv) -> System.out.println(s + ": " + lv));
```

besuchteLVen zeilenweise ausgeben mit Default-Methode forEach.

Klasse Optional<T>

- Optional<T> kapselt einen Wert vom Typ T, der null (leeres Optional) oder nicht-null sein kann.

Methode	Beschreibung
static <T> Optional<T> empty()	Liefert ein leeres Optional zurück
static <T> Optional<T> of(T value)	Liefert Instanz mit value zurück. value darf nicht null sein.
static <T> Optional<T> ofNullable(T value)	Liefert Instanz mit value zurück, falls value nicht null ist sonst ein leeres Optional.
boolean isPresent() **boolean** isEmpty()	Prüft, ob ein Wert bzw. kein Wert vorhanden ist.
V get()	Liefert Wert, falls vorhanden, sonst NoSuchElementException.
V orElse(V other)	Liefert Wert, falls vorhanden, sonst other.
...	

```
Optional<String> s1 = Optional.ofNullable(null);
Optional<String> s2 = Optional.of("abc");
Optional<String> s3 = Optional.empty();

System.out.println(s1.isEmpty());          // true
System.out.println(s2.isEmpty());          // false
System.out.println(s3.isEmpty());          // true
System.out.println(s1.orElse("???"));      // ???
System.out.println(s2.orElse("???"));      // abc
System.out.println(s3.orElse("???"));      // ???
```

Beispiel: Maximum eines Felds

Konventionelle Lösung mit Exception:

```
public static int max_V1(int[ ] a) {
    if (a == null || a.length == 0)
        throw new IllegalArgumentException();
    int max = a[0];
    for (int e : a)
        if (e > max)
            max = e;
    return max;
}
```

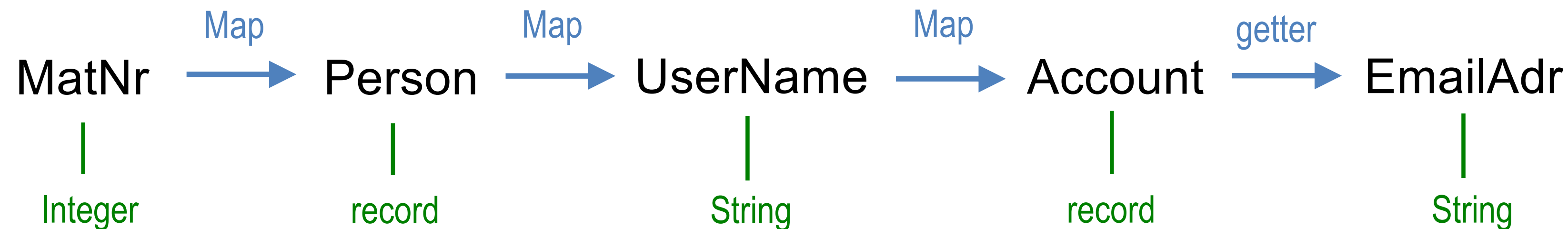
Lösung mit OptionalInt:
(OptionalInt ist ein leichtgewichtiger Ersatz für Optional<Integer>)

```
public static OptionalInt max_V2(int[ ] a) {
    if (a == null || a.length == 0)
        return OptionalInt.empty();
    int max = a[0];
    for (int e : a)
        if (e > max)
            max = e;
    return OptionalInt.of(max);
}
```

```
int[ ] a = ...
System.out.println(max_V1(a));
System.out.println(max_V2(a));
```

- `System.out.println(max_V1(a));` – Kann eine Exception auslösen.
- `System.out.println(max_V2(a));` – Geht immer.

Beispiel: Verkettung von Maps




```
record Person(String name, LocalDate geb) { }
record Account(String name, String email) { }

Map<Integer,Person> matNr2Pers = new HashMap<>();
Map<Person,String> pers2UserName = new HashMap<>();
Map<String,Account> userName2Account = new HashMap<>();

Person p1 = new Person("Peter Maier", LocalDate.of(2000,1,1));
// ...
matNr2Pers.put(12345, p1);
pers2UserName.put(p1, "maierpeter");
userName2Account.put("maierpeter", new Account("maierpeter","peter.maier@htwg-konstanz.de"));
// ...
```

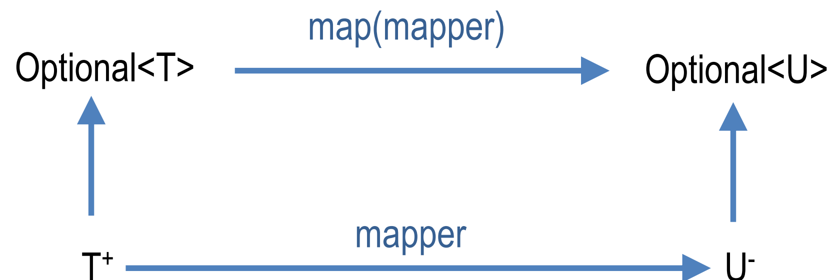
Konventionelle Ermittlung einer Email-Adresse mit if-Kaskaden

```
Integer matNr = 54321;
String email = "???";

Person pers = matNr2Pers.get(matNr);
if (pers != null) {
	String userName = pers2UserName.get(pers);
	if (userName != null) {
		Account acc = userName2Account.get(userName);
		if (acc != null) {
			email = acc.emailAdr();
		}
	}
}
System.out.println(matNr + ": " + email);
```

Optional mit map-Methode

```
class Optional<T> {
	public <U> Optional<U> map(Function<? super T, ? extends U> mapper) { ... }
	// ...
}
```

- Ausgangspunkt ist eine Funktion mapper: $T^+ \rightarrow U^-$.
- map(mapper) hebt mapper auf Optional<T> → Optional<U> hoch.



- o.map(mapper) bildet o vom Typ Optional<T> auf ein Objekt vom Typ Optional<U> ab.
- Wenn ein Wert in o vorhanden ist, wird ein Optional zurückgegeben, das das Ergebnis der Anwendung der Funktion mapper auf den Wert beinhaltet, andernfalls wird ein leeres Optional zurückgegeben.
- Wenn die Funktion mapper null liefert, dann gibt o.map(mapper) ein leeres Optional zurück.

Funktionale Ermittlung einer Email-Adresse mit Optional und map

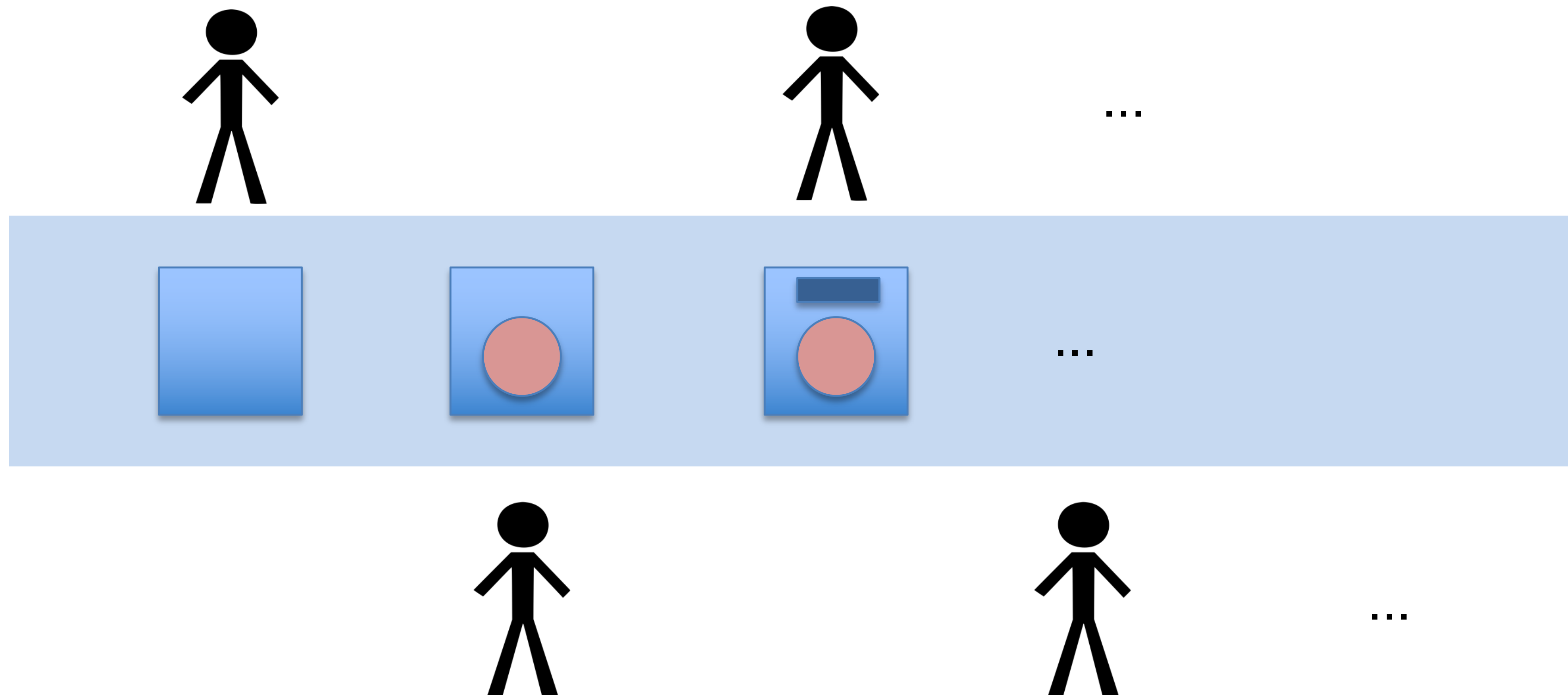
```
Integer matNr = 54321;

String email = Optional.ofNullable(matNr2Pers.get(matNr))
        .map(p -> pers2UserName.get(p))
        .map(u -> userName2Account.get(u))
        .map(a -> a.email())
        .orElse("???");

System.out.println(matNr + ": " + email);
```

- Im Vergleich zu den if-Kaskaden bei der konventionellen Ermittlung der Email-Adresse ist der funktionale Ausdruck abstrakter und prägnanter.
- Die neu eingeführte Klasse Optional spielt im Rahmen der funktionalen Programmierung eine wichtige Rolle.
- Die Klasse Optional wird sehr intensiv bei der Stromverarbeitung (später) verwendet.

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

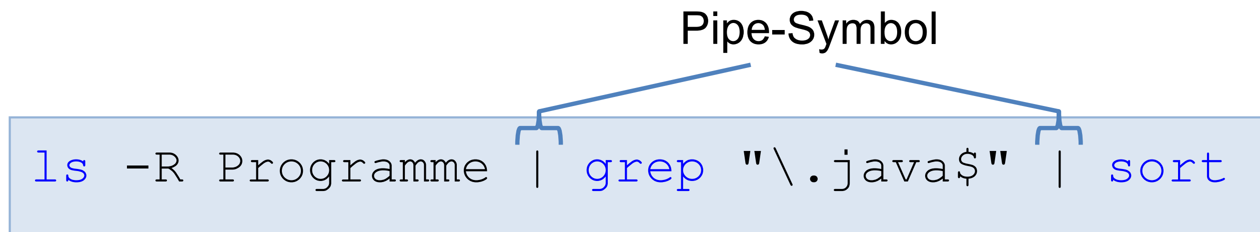
Fließband (pipeline)



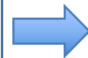
- Produktion einer Waschmaschine an einem Fließband
- Personen arbeiten parallel mit jeweils anderer Tätigkeit

Unix Pipes

- Der Pipe-Mechanismus wurde Anfang der 70er-Jahre in Unix eingeführt.
- Er gestattet den Austausch von Daten zwischen zwei Programmen.
- Damit lässt sich eine Kette von Programmen zusammenbauen:
  jedes Programm nimmt Daten entgegen, verarbeitet sie und reicht seine Ausgaben an das nächste Programm weiter (Pipeline-Verarbeitung).
- Die Programme laufen dabei (soweit möglich) parallel!



Mit `ls` wird eine Liste aller Dateinamen im Verzeichnis `Programme` und dessen Unterverzeichnisse erzeugt.



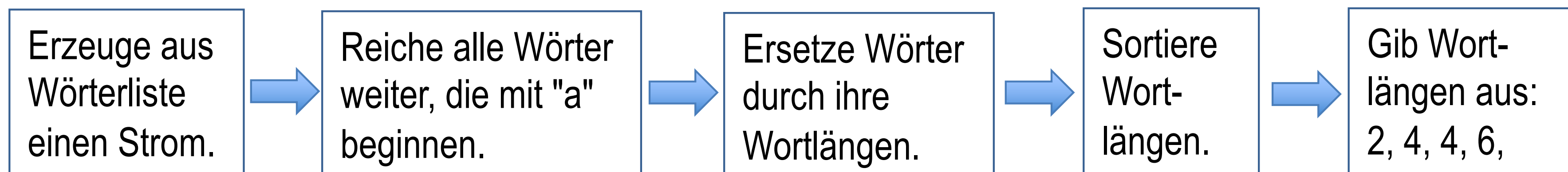
Mit `grep` werden die Dateinamen, die mit `".java"` enden, herausgesucht.

Mit `sort` wird die Ausgabe von `grep` entgegengenommen, sortiert und auf die Konsole ausgegeben.

Ströme (streams) in Java 8

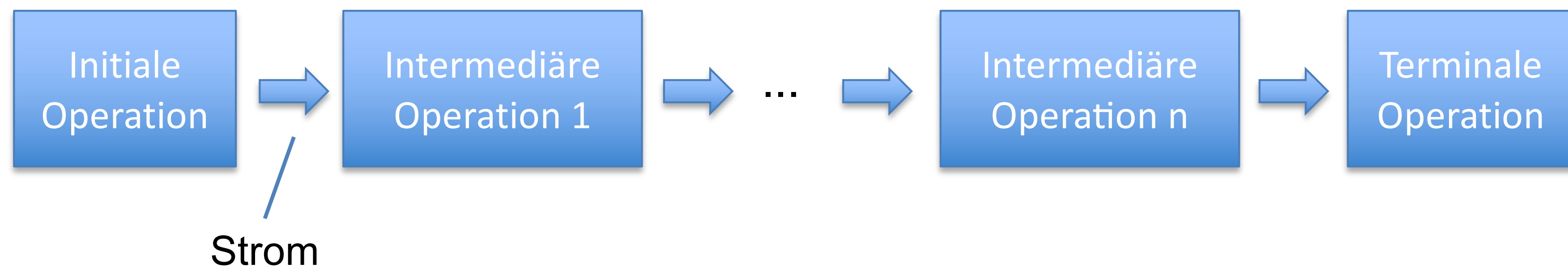
- Ströme sind eine (evtl. unendlich lange) Folge von Datenobjekte.
- Die Datenobjekte eines Stroms werden von Methoden verarbeitet und können dann zur nächsten Methode weitergereicht werden (Pipeline-Verarbeitung).
- Das Stromkonzept von Java hat damit große Ähnlichkeit zu den Unix-Pipes.

```
List<String> wordList = Arrays.asList("achten", "auch", "zum", "an", "bei", "aber", "vor");

wordList.stream()
        .filter( s -> s.startsWith("a") )
        .mapToInt( s -> s.length() )
        .sorted()
        .forEach( n -> System.out.print(n + ", ") );

System.out.println("");
```



Aufbau eines Stroms

- Mit einer initialen Operation wird ein Strom erzeugt.
  Initiale Strom-Operationen werden von verschiedenen Klassen der Java-API angeboten (wie z.B. Collection-Klassen, Arrays, diverse Fabrikmethoden aus stream-Klassen, ...)
- Mit (einer oder mehreren) intermediären Operationen (intermediate operations) werden Ströme transformiert.
  Rückgabewert einer intermediären Operation ist wieder ein Strom.
- Mit einer terminalen Operation (terminal operation) wird der Strom abgeschlossen.
  Terminale Operationen liefern ein Resultat (aber keinen Strom) zurück oder haben keinen Rückgabewert und evtl. einen Seiteneffekt.
- Intermediäre und terminale Operationen sind im Paket java.util.stream festgelegt.
  Neben den generischen Strömen Stream<T> gibt auch Ströme für Basisdatentypen wie IntStream, LongStream und DoubleStream.



Beispiel

```
long countPrimes =
        IntStream.range(2, 1000)
                .filter(n -> isPrime(n))
                .peek(n -> System.out.println(n))
                .count();

System.out.println(countPrimes);
```

Initiale Operation:

Erzeuge mit der Fabrikmethode range einen Zahlen-Strom von 2 (einschl.) bis 1000 ausschließlich.

Intermediäre Operation 1:

Lasse nur Primzahlen im Strom.

Intermediäre Operation 2:

Gib Zahl aus und reiche sie weiter.

Terminale Operation:

Bestimme die Anzahl der Zahlen im Zahlenstrom und liefere sie als long zurück.

Verzögerte Generierung der Ströme

- Ströme werden nie komplett im voraus generiert.
  Beachte: Ströme können prinzipiell unendlich lang werden.
- Es werden nur solange Daten für den Strom generiert, wie die terminale Operation noch Daten benötigt. Der Strom wird verzögert generiert (lazy evaluation).
- Beispiel:

```
new Random() .ints()
             .map( n -> Math.abs(n)%1000 )
             .peek( System.out::println )
             .anyMatch(n -> 10 <= n && n < 20);
```

  – Die initiale Operation ints() der Klasse Random erzeugt einen prinzipiell unendlichen Strom von Zufallszahlen.
  – Die intermediäre map-Operation transfomiert die Zufallszahlen in das Intervall [0,1000).
  – Die intermediäre peek-Operation gibt jede Zahl aus und reicht sie weiter.
  – Die terminale Operation anyMatch bricht mit Rückgabe von true ab, sobald eine Zahl im Intervall [10,20) liegt.

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Initiale Strom-Operationen für Datenbehälter

- Ströme können aus zahlreichen Datenbehälter der Java API erzeugt werden.

Collection<T>	Stream<T> stream() Stream<T> parallelStream()	sequentiellen bzw. parallelen Strom mit Elementen aus der Collection.
Arrays	**static** <T> Stream<T> stream(T[ ] a) ...	Strom mit Elementen aus Feld a. Weitere Methoden für Basisdatentypen.
String	IntStream chars()	Strom von Zeichen (als Integer-Strom) aus dem String.
BufferedReader	lines()	Strom aus Zeilen des BuffereredReader.
...		

- Beispiele:

```
List<String> wordList = Arrays.asList("achten", "auch", "zum", "an", "bei", "aber", "vor");
Stream<String> s1 = wordList.stream();      // Strom mit den Strings aus wordList

int[ ] a = new int[ ]{1,2,3,4,5};
IntStream s0 = Arrays.stream(a);      // Strom mit den int-Zahlen aus a

BufferedReader in = new BufferedReader(new FileReader("test.txt"));
Stream<String> s2 = in.lines();          // Strom mit Zeilen der Datei test.txt
```

Initiale Strom-Operationen aus Paket Stream

- Es gibt zahlreiche statische Fabrik-Methoden aus den Stream-Klassen Stream<T>, IntStream, DoubleStream, LongStream im Paket java.util.stream.

empty()	Leerer Strom.
of(...)	Strom mit vorgebenen Elementen
generate(s)	Generiere Strom durch wiederholtes Aufrufen von s: s(), s(), s(), ...
iterate(a,f)	Generiere Strom durch Iteration: a, f(a), f(f(a)), ...
range(a,b)	Generiere Integer-Strom von a einschl. bis b ausschl.
...	

- Beispiele:

```
IntStream s3 = IntStream.of(1, 2, 3, 4);        // Strom mit den Zahlen 1, 2, 3, 4

IntStream s4 = IntStream.iterate(1, x -> 2*x);        // Unendlicher Strom mit allen 2-er Potenzen

// Unendlicher Strom mit sin(x), wobei x eine Zufallszahl aus [0,1) ist:
DoubleStream s5 = DoubleStream.generate( () -> Math.sin( Math.random()) );

IntStream s6 = IntStream.range(1,10);        // Strom mit int-Zahlen von 1 bis 9 (einschl.).
```

Initiale Strom-Operationen aus Klasse Random

doubles()	Strom mit unendlich vielen zufälligen double-Zahlen aus [0,1)
doubles(streamSize)	Strom mit streamSize vielen zufälligen double-Zahlen aus [0,1)
doubles(streamSize, a, b)	Strom mit streamSize vielen zufälligen double-Zahlen aus [a,b)
ints()	Strom mit unendlich vielen zufälligen int-Zahlen
ints(streamSize)	Strom mit streamSize vielen zufälligen int-Zahlen
ints(streamSize, a, b)	Strom mit streamSize vielen zufälligen int-Zahlen aus {a, a+1, ..., b-1}

- Beispiele:

```
IntStream s1 = new Random().ints();              // unendl. Strom mit zufälligen int-Zahlen
IntStream s1 = new Random().ints(10);            // Strom mit 10 zufälligen int-Zahlen
IntStream s1 = new Random().ints(20, 0, 100);    // Strom mit 20 Zahlen aus {0, 1, ..., 99}
```

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Intermediäre Strom-Operationen

- Intermediäre Operationen transformieren Ströme.
- Rückgabewert ist wieder ein Strom.
- Damit ist die typische Verkettung von mehreren Strom-Operationen möglich.

```
strom.op_1(...)
     .op_2(...)

     ...

     .op_n();
```

Intermediäre Strom-Operationen

- Beispiele aus Paket java.util.stream:

filter(pred)	lasse nur Elemente x im Strom, für die das Prädikat pred(x) zutrifft.
map(f)	ersetze jedes Element x im Strom durch f(x).
flatMap(f)	ersetze jedes Element x im Strom durch einen von f(x) erzeugten Strom.
peek(action)	führe für jede Methode die rückgabelose Funktion action durch. Wird hauptsächlich zu Debugging-Zwecke eingesetzt.
sorted()	sortiere die Elemente im Strom (stabiles Sortierverfahren). Es gibt auch eine überladene Methode mit einem Comparator-Parameter.
distinct()	entferne Duplikate aus dem Strom.
skip(n)	entferne die ersten n Elemente aus dem Strom.
limit(n)	begrenze den Strom auf maximal n Elemente.
takeWhile(pred)	Lasse alle Elemente im Strom, solange das Prädikat pred zutrifft. Sobald Prädikat pred nicht mehr zutrifft, werden alle restlichen Elemente gelöscht.
dropWhile(pred)	Entferne alle Elemente von Beginn an, bis das Prädikat nicht mehr zutrifft.
...	

Beispiel mit map und flatMap

Datei test.txt:

```
Dies  ist  eine
kleine
Test   Datei
```

```
BufferedReader in = new BufferedReader(
                        new FileReader("test.txt"));

in.lines()
   .peek(System.out::println)
   .flatMap(line -> Arrays.stream(line.split(" +")))
   .map( s -> s.toUpperCase() )
   .forEach(System.out::println);
```

Ausgabe
(ohne peek-Aufruf):

```
DIES
IST
EINE
KLEINE
TEST
DATEI
```

Inititale Operation in.lines:
Erzeuge einen Strom mit den Zeilen der Datei test.txt. Jede Zeile ist vom Typ String.

Intermediäre Operation peek: Gib Zeile aus.

Intermediäre Operation flatMap:
Arrays.stream zerlegt jede Zeile in einen Strom von Strings. Die Ströme werden mit flatMap aneinandergehängt (flach gemacht).

Intermediäre Operation map:
Ersetze jeden String durch einen String mit Großbuchstaben.

Terminale Operation forEach:
Gib jeden String aus.

Beispiel: Stabiles Sortieren nach zwei Schlüsseln

```java
List<Person> persList = new LinkedList<>();
persList.add(new Person("Klaus", 1961));
persList.add(new Person("Peter", 1959));
persList.add(new Person("Maria", 1959));
persList.add(new Person("Petra", 1961));
persList.add(new Person("Albert", 1959));
persList.add(new Person("Anton", 1961));
persList.add(new Person("Iris", 1959));

persList.stream()
        .sorted(Comparator.comparing(Person::getName))
        .sorted(Comparator.comparing(Person::getGeb))
        .forEach(System.out::println);
```

Baue eine Liste von Personen auf, bestehend aus Name und Geburtsjahr.

Bilde aus der Personen-Liste einen Strom.

Sortierte zuerst Personen nach dem Namen.

Sortiere dann nach dem Geburtsjahr.

Sortierverfahren ist stabil:
Personen sind nach dem Geburtsjahr sortiert und innerhalb einer Jahrgangsstufe alphabetisch sortiert.

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Terminale Operationen

- Mit einer terminalen Operation wird der Strom abgeschlossen.
- Reduktionsoperationen liefern ein Resultat zurück (aber keinen Strom) wie z.B. sum():

```
int s = strom.sum();
```

- Operationen ohne Rückgabewert und Seiteneffekt wie z.B. forEach(action).

```
strom.forEach(System.out::println);
```

- Sind im Paket java.util.stream festgelegt.

Logische Operationen

anyMatch(pred)	liefert true, falls pred(x) für ein Element x des Stroms zutrifft.
allMatch(pred)	liefert true, falls pred(x) für alle Elemente x des Stroms zutrifft.
noneMatch(pred)	liefert true, falls pred(x) für kein Element x des Stroms zutrifft.

- Beispiele

```
new Random()  .ints()
              .map( n -> Math.abs(n) % 1000 )
              .peek(System.out::println)
              .anyMatch(n -> 10 <= n && n < 20);
```

Gibt solange zufällige Zahlen x aus, bis ein x $\in$ [10, 20) ist. Rückgabewert ist dann true.

```
new Random()  .ints()
              .map( n -> Math.abs(n)%1000 )
              .peek(System.out::println)
              .allMatch(n -> 10 <= n && n < 1000);
```

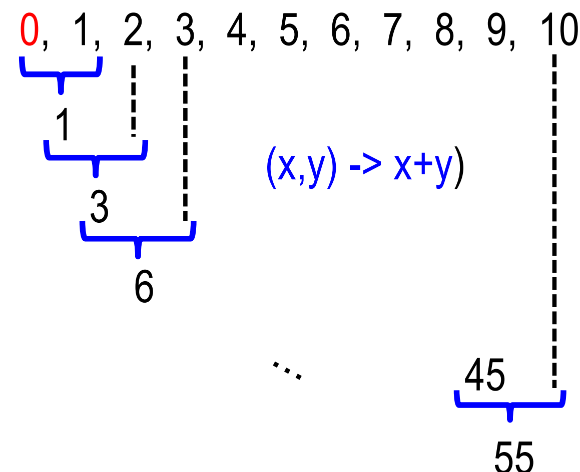
Gibt solange zufällige Zahlen x aus, bis ein x $\notin$ [10, 1000) ist. Rückgabewert ist dann false.

Algebraische Reduktions-Operationen

reduce(e, op)	reduziert einen Strom $x_0, x_1, x_2, \ldots$ zu dem Wert $(\ldots(((e \text{ op } x_0) \text{ op } x_1) \text{ op } x_2) \text{ op } \ldots$ Dabei ist op ein 2-stelliger assoziativer Operator und e das neutrale Element bzgl. op.
count()	Anzahl der Elemente im Strom.
min(cmp) max(cmp)	Liefert größtes bzw. kleinstes Element des Stroms bzgl. der Comparator-Funktion cmp. Beachte: Rückgabewerttyp ist Optional<T>.

- Beispiel: reduce(0, (x,y) -> x+y) berechnet die Summe aller Elemente des Stroms.

```
int sum = IntStream.range(1,11)
                   .reduce(0, (x,y) -> x+y);
System.out.println(sum);        // 55
```



Beispiel: harmonisches Mittel mit reduce-Operation

- Harmonisches Mittel von $x_0, x_1, ..., x_{n-1}$:

$$\bar{x}_{harm} = \frac{n}{\frac{1}{x_0} + \frac{1}{x_1} + \ldots + \frac{1}{x_{n-1}}}$$

- Anwendung: auf einer Teilstrecke von jeweils 1 km werden folgende Geschwindigkeiten gefahren: 50, 100, 80, 120, 90 km/h.

  Dann ist die Durchschnittsgeschwindigkeit der Gesamtstrecke gerade das harmonische Mittel der Einzelgeschwindigkeiten: v_{harm} = 80.71 km/h

```
double[ ] v_array = {50, 100, 80, 120, 90};  // Geschw. fuer jeweils 1 km

double v_harm =
        Arrays.stream(v_array)
                .reduce(0, (t,v) -> t + 1/v );
v_harm = v_array.length/v_harm;

System.out.println(v_harm); // 80.71
```

Erzeuge aus double-Feld einen Strom von double-Werten.

Terminale reduce-Operation:
Berechne für den Strom von double-Werten $v_0, v_1, v_2, ...$ den Wert:

$$(((0 + 1/v_0) + 1/v_1) + 1/v_2) \ldots$$

Einschub: Monoid

- Definition

Eine algebraische Struktur $(M, \oplus, e)$ heisst Monoid, falls:

(1) $\oplus$ ist eine 2-stellige Operation auf M:

$$\oplus : M \times M \rightarrow M$$

(1) e ist neutrales Element:

$$a \oplus e = e \oplus a = a$$

(2) $\oplus$ ist assoziativ

$$a \oplus (b \oplus c) = (a \oplus b) \oplus c$$

- Beispiele
  - $(\mathbb{Z}, +, 0)$
  - $(\mathbb{Z}, *, 1)$
  - (String, +, "")
    Strings mit Konkatination und leerem String als neutralem Element
  - $(\mathbb{R}^{nxn}, *, I)$ Matrizen mit Multiplikation

- Reihenfolge der Auswertung kann beliebig erfolgen.
  Daher gut für Parallelisierung geeignet.

$a \oplus (b \oplus (c \oplus (d \oplus (e \oplus f))))$	(Auswertung von rechts)
$= ((((a \oplus b) \oplus c) \oplus d) \oplus e) \oplus f$	(Auswertung von links)
$= (a \oplus b \oplus c) \oplus (d \oplus e \oplus f)$	(linker und rechter Teilausdruck lassen sich parallel auswerten)

- Für die Methode reduce(op, id) aus Stream<T> muss (T, op, id) ein Monoid sein.

Statistik-Operationen für Basisdatentypen

count(), sum() min(), max(), average()	Liefert Anzahl, Summe, Minimum, Maximum bzw. Durchschnittswert der Elemente eines Stroms zurück.
summaryStatistics( )	Liefert einen Wert vom Typ IntSummaryStatistics (bzw. DoubleIntSummaryStatistics, ...) zurück, der Anzahl, Summe, Minimum, Maximum und Durchschnittswert umfasst.

Beispiel: Zeilenstatistik für eine Datei

Datei test.txt:

```
a
bc
def
gehi
jklmn
opq
rs
```

```
BufferedReader in = new BufferedReader(
                        new FileReader("test.txt"));

DoubleSummaryStatistics stat =
    in.lines()
      .peek(System.out::println)
      .mapToDouble(s -> s.length())
      .summaryStatistics();

System.out.println(stat);
```

Erzeuge einen Strom mit den Zeilen der Datei test.txt

Ersetze jede Zeile durch ihre Länge (als double).

Terminale Operation: Bilde aus den double-Werten eine Statistik.

Ausgabe (ohne peek):

```
DoubleSummaryStatistics{count=7, sum=20,000000, min=1,000000, average=2,857143, max=5,000000}
```

Sammeln der Strom-Elemente in einem Behälter mit collect

Stream<T>	<R> R collect(Supplier<R> supplier, BiConsumer<R, ? **super** T> accumulator, BiConsumer<R,R> combiner)	collect sammelt Strom-Elemente vom Typ T in einem Behälter vom Typ R. supplier erzeugt einen initialen Behälter. Mit accumulator werden die Elemente von Typ T in den Behälter abgelegt. combiner beschreibt, wie 2 Container verschmolzen werden (ist für parallele Streams wichtig)

- Beispiele:

```
Stream<String> wordStream = ...
List<String> wordList = wordStream.collect(
        () -> new ArrayList<>(),            // supplier
        (list, w) -> list.add(w),           // accumulator
        (list1, list2) -> list1.addAll(list2)  // combiner
    );
```

Sammeln von Strings in einer Liste

```
String sentence = wordStream.collect(
        () -> new StringBuilder(),            // supplier
        (s, w) -> s.append(w).append(", "),   // accumulator
        (s1, s2) -> s1.append(s2)             // combiner
    ).toString();
```

Sammeln von Strings in einem StringBuilder

Interface Collector und Klasse Collectors

- Die für das Sammeln notwendige Funktionen können auch in einem Collector-Objekt zusammengefasst und der collect-Methode übergeben werden.

Stream<T>	<R, A> R collect(Collector<? **super** T, A, R> collector)	collect sammelt Strom-Elemente vom Typ T in einem Behälter vom Typ R mit Hilfe von collector A ist ein intermediärer Akkumulationstyp.

- In die Details eines Collector-Objekts soll hier nicht näher eingegangen werden.
- Es gibt in der Klasse Collectors bereits zahlreiche statische Methoden, um Collector-Objekte zu erzeugen.
- Beispiele auf folgenden beiden Folien (aus [Prähofer]).
- Gute Beispiele außerdem in der Java-API für die Klasse Collectors.

Collectors-Beispiele (1)

```
Stream<String> wordStream = ...
List<String> wordList = wordStream.collect(Collectors.toList());
```

Sammeln von Strings in einer Liste

```
Set<String> wordSet = wordStream.collect(Collectors.toSet() );
```

Sammeln von Strings in einem Set.
Dabei wird ein HashSet-Objekt eingesetzt.

```
Set<String> wordSet = wordStream.collect(
        Collectors.toCollection(TreeSet::new));
```

Sammeln von Strings in einem TreeSet.

```
Map<String, Integer> wordCount = wordStream.collect(
        Collectors.toMap(w -> w, w -> 1, (n1,n2) -> n1+n2));
```

- `w -> w`: Key Mapper
- `w -> 1`: Value Mapper
- `(n1,n2) -> n1+n2`: Merger: Beschreibt wie 2 Map-Einträge mit gleichem Schlüssel zusammengefasst werden

Erstellen einer Häufigkeitstabelle als Map.
(Kurzform von Aufgabe 1 ☺)

```
String wordString = wordStream.collect(Collectors.joining(( ", ",  "{",  "}" ));
```

- `", "`: Seperator-String
- `"{",  "}"`: Anfangs- und End-String

Verbinden von Strings zu einem Gesamt-String

Collectors-Beispiele (2)

```
Map<Character, List<String>> wordGroups =
        wordStream.collect(
                Collectors.groupingBy( w -> w.charAt(0) ));
```

Classifier: `w -> w.charAt(0)`

Gruppierung von Strings nach dem Anfangsbuchstaben in einer Map

```
Map<Boolean, List<String>> upperLowerWords =
        wordStream.collect(
                Collectors.partitioningBy( w -> Character.isUpperCase(w.charAt(0)) ));
```

Prädikat: `w -> Character.isUpperCase(w.charAt(0))`

Partionierung mit einem Prädikat.

```
Map<Character, SortedSet<String>> wordGroups =
        wordStream.collect(
                Collectors.groupingBy(w -> w.charAt(0), Collectors.toCollection(TreeSet::new) ));
```

Classifier: `w -> w.charAt(0)`

Down Stream Collector: `Collectors.toCollection(TreeSet::new)`
Verantwortlich für die Sammlung je Klasse.

Gruppierung von Strings nach dem Anfangsbuchstaben in einer Map.
Die Klassen sollen jeweils in einer SortedSet gespeichert werden.

Kapitel 13: Funktionales Programmieren und Streams mit Java 8

- Java-Historie und Java 8
- Lambda-Ausdrücke
- Funktionale Interfaces
- Ergänzungen zu Lambda-Ausdrücken
  - Methodenreferenz
  - Freie Variablen und Closures
- Erweiterungen der Java-API
  - Collection-Typen
  - Klasse Optional
- Ströme
  - Idee
  - Initiale Stromoperationen
  - Intermediäre Operationen
  - Terminale Operationen
  - Parallele Ströme

Parallele Ströme

- Ströme können parallelisiert werden.
- Mit einem Mehrkernprozessor kann damit die Performance verbessert werden.

```
int max = 10_000_000;
long numberOfPrimes
        = IntStream.range(1, max)
                   .filter(isPrime)
                   .count();
```

Sequentielle Berechnung der Anzahl der Primzahlen zwischen 1 und max.

```
int max = 10_000_000;
long numberOfPrimes
        = IntStream.range(1, max)
                   .parallel()
                   .filter(isPrime)
                   .count();
```

Parallele Berechnung der Anzahl der Primzahlen zwischen 1 und max.

Indeterministische Reihenfolge bei parallelen Strömen

- Bei der parallelen Bearbeitung eines Stroms ist die Reihenfolge, in der auf die Elemente des Stroms zugegriffen wird, nicht vorhersehbar.

```
IntStream.range(1, 21)
        .parallel()
        .forEach(System.out::println);
```

Elemente von 1 bis 20 werden in einer nicht vorhersehbaren Reihenfolge ausgegeben. Z.B.:

11, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 1, 2, 3, 4, 5, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 14, 15,

Vorsicht bei zustandsbehafteten Funktionen

- Es ist Vorsicht geboten bei Funktionen, die auf mutable Umgebungsvariablen zugreifen (zustandsbehaftete Funktionen, stateful functions).
- Das Ergebnis der Stromverarbeitung kann vom zeitlichen Ablauf der zustandsbehafteten Funktionsaufrufe abhängen (race condition)

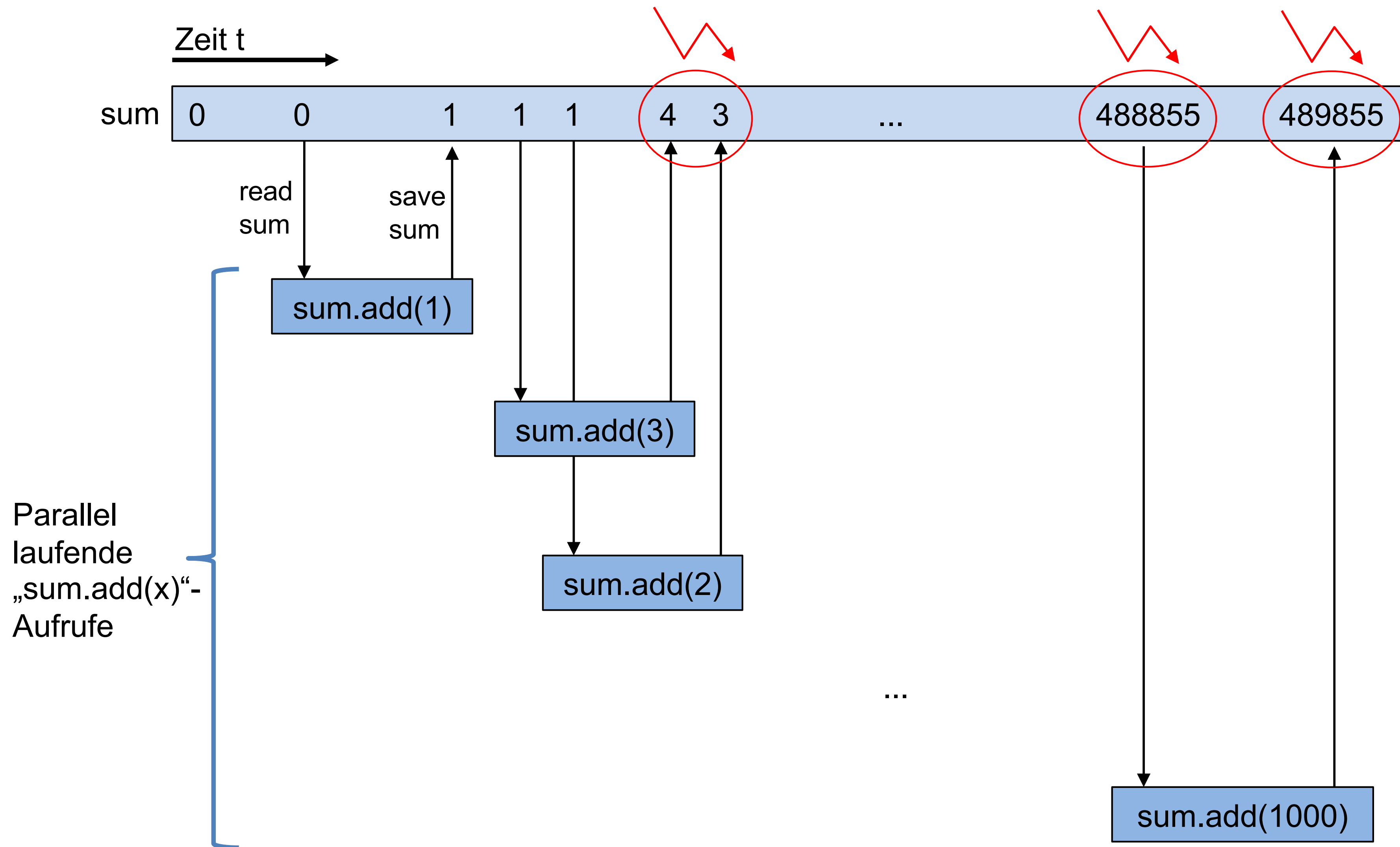
```
MutableInt sum = new MutableInt();
IntStream.range(1,1001)
            .parallel()
            .forEach( x -> sum.add(x) );
System.out.println(sum.get());
```

```
class MutableInt {
        int n = 0;
        int get() { return n; }
        void add(int x) { n += x; }
}
```

Es wird eine zustandsbehaftete Funktion aufgerufen, die auf die mutable Umgebungsvariable sum zugreift. (Variable sum ist außerhalb des Lambda-Ausdrucks definiert.)

Ergebnis sollte eigentlich
1 + 2 + 3 + ... + 1000 = 500500 sein,
liegt aber meistens unter 500000.

Race Condition



- Race Condition: die Berechnung von sum = 1 + 2 + 3 ... + 1000 = 500500 hängt vom zeitlichen Ablauf der „sum.add(x)“-Aufrufe ab.

Vermeidung von Race Conditions mit synchronisierten Datentypen

- Das Paket java.util.concurrent enthält verschiedene Datentypen, die eine nebenläufige Benutzung unterstützen, indem der Zugriff auf die Daten geeignet koordiniert (synchronisiert) wird.
  Beispielsweise darf höchstens ein Thread schreibend zugreifen.
- AtomicInteger kapselt einen Integer-Wert und führt Änderungen des Integer-Werts atomar („in einem Schritt“) durch.
- Daher keine Race Conditions.
- Beachte: Programm wird durch Synchronisierung langsamer.

```
AtomicInteger sumAtomic = new AtomicInteger(0);

IntStream.range(1,1001)
        .parallel()
        .forEach( x -> sumAtomic.addAndGet(x) );

System.out.println(sumAtomic.get());
```

Ergebnis ist immer 500500.

Bessere Lösung: auf zustandsbehaftete Funktionen verzichten!

```
int sum = IntStream.range(1,1001)
                   .parallel()
                   .sum();

System.out.println(sum);
```

Es wird die zustandslose Funktion sum() aufgerufen.

Ergebnis ist immer wie erwartet 500500.