

● Forelæsning Uge 5 – Torsdag

- **Funktionel programmering i Java (Kapitel 5)**
 - De dele af Java, som I har set indtil nu, er **imperative**
 - **Funktionelle** programmeringssprog fungerer på en helt anden måde, som vi skal se nærmere på om lidt
- **Forskellige slags objektsamlinger (Kapitel 6)**
 - **List** (liste) – kendt fra ArrayList
 - **Set** (mængde)
 - **Map** (afbildning / funktion)
 - Polymorfe variabler



● Imperative og funktionelle sprog

- **De dele af Java, som I har set indtil nu, er imperative**
 - En udførsel af et program forstås som en række **operationer**, der ændrer **systems tilstand**, f.eks. via **assignments** til feltvariabler
 - Objekt-orienterede sprog (og de fleste andre programmeringssprog) er (primært) imperative
 - Eksempler på imperative sprog: Java, C#, C og C++
- **Funktionelle programmeringssprog fungerer anderledes**
 - En udførsel af et program forstås som en **evaluering** af et **matematisk udtryk** (uden brug af assignments)
 - Programmer skrevet ved hjælp af funktionel programmering er ofte kortere, mere letlæselige og nemmere at bevise korrekte
 - Eksempler på funktionelle sprog: Standard ML, OCaml, F#, Lisp, Haskell og Erlang
- **Moderne sprog er ofte både imperative og funktionelle**
 - Java indeholder **lambda**'er (som I skal lære om i denne forelæsning)
 - OCaml indeholder **mutable** data (som kan ændres med assignments)

Lambda calculus

- **Funktionelle programmeringssprog bygger på lambda calculus**
 - Formalisme til beskrivelse af beregninger (introduceret i 1930)

- **Java**

```
public int addOne(int n) {  
    return n+1;  
}
```

Metode, der lægger 1 til parameteren
Funktion \approx metode, der
returnerer en værdi

- **Standard ML (funktionelt sprog)**

Tæt på den notation vi kender fra matematik

```
fun addOne(n) = n+1;
```

```
addOne(n) = n+1 for alle n
```

```
int  $\rightarrow$  int
```

Man behøver ikke at angive typerne
Dem deducerer oversætteren selv

```
fn (n) => n+1;
```

Anonym funktion (uden navn)
Kan bruges som parameter til
en anden funktion

- **Lambda calculus**

```
 $\lambda n. n+1$ 
```

Datalogistuderende vil lære meget
mere om λ -calculus i senere kurser

Funktionelle aspekter i Java

- **Java er (primært) et imperativt programmeringssprog**
 - Men de nyere versioner af Java (fra og med version 8 i 2014) indeholder også aspekter fra funktionelle programmeringssprog
 - Det gør sproget mere kompliceret (fordi der er flere ting at lære)
 - Til gengæld kan man (som I snart skal se) udtrykke visse ting simplere, mere elegant og mere læseligt
- **De funktionelle dele af Java vinder hurtigt indpas og er dermed et "must" for alle kompetente Java programmører**
 - De er bl.a. yderst velegnede til gennemsøgning og sortering af collections (objektsamlinger)
 - Om lidt vil vi se, at vi ved hjælp af funktionel programmering
 - kan omskrive vores fem algoritmeskabeloner, så de bliver mere kompakte og letlæselige
 - sortere uden selv at skulle skrive en compareTo eller compare metode

● Observationer af dyr (eksempel)

```
public class Sighting {  
    private final String animal;    // Which animal  
    private final int spotter;      // Who saw it  
    private final int count;        // How many  
    private final int area;         // Where  
    private final int period;       // When  
  
    public Sighting(String animal, int spotter,  
                     int count, int area, int period) {  
        this.animal = animal;  
        this.spotter = spotter;  
        ...  
    }  
  
    public String toString() {  
        return animal +  
            ", count = " + count +  
            ", area = " + area +  
            ", spotter = " + spotter +  
            ", period = " + period;  
    }  
    ...  
}
```

"Elephant, count = 24, area = 2, spotter = 3, period = 2"

- BlueJ bogen kalder metoden for getDetails
- Som vi skal se om et øjeblik, er det bedre at kalde den toString

AnimalMonitor klassen

addAll metoden i ArrayList klassen tager en Collection (af Sighting objekter) som parameter og tilføjer dem bagerst i arraylisten

```
import java.util.ArrayList;  
public class AnimalMonitor {
```

```
    private ArrayList<Sighting> sightings;
```

```
    public AnimalMonitor() {
```

```
        this.sightings = new ArrayList<>();
```

```
    // Add sightings from file
```

```
    public void addSightings(String filename) {  
        SightingReader reader = new SightingReader();  
        sightings.addAll(reader.getSightings(filename));  
    }
```

Returnerer en ArrayList<Sighting>

```
    public void printList() {  
        for(Sighting s : sightings) {  
            System.out.println(s);  
        }  
    }  
    ...
```

println metoden kalder automatisk toString på s

Elephant, count = 24, area = 2, spotter = 3, period = 2

● Lambda'er i Java

- **En lambda er en "kolestump"**
 - Kan bruges som parameter værdi i et metodekald
 - Den kaldte metode kan så udføre lambda'en ("kolestumpen")
 - Skellet mellem kode og data forsvinder

Imperativ kode

```
public void printList() {  
    for(Sighting s : sightings) {  
        System.out.println(s);  
    }  
}
```

For-each løkke

- Bruger kroppen på alle elementer

Funktionel kode

```
public void printList() {  
    sightings.forEach(s -> System.out.println(s));  
}
```

Lambda



forEach er en metode i ArrayList klassen (og andre collections)

- Tager en lambda som parameter
- Bruger lambda'en på alle elementerne i arraylisten (en efter en)

Java syntaks for Lambda'er

- Den generelle syntax er som følger

```
(P p, Q q, ...) ->
{
    code;
}
```

- **Simplifikationer**

- Vi kan (i de fleste tilfælde) udelade typerne på parametrene, idet oversætteren selv kan deducere dem
- Hvis der kun er én parameter (uden typeangivelse) kan vi udelade ()
- Hvis kroppen kun har én sætning kan vi udelade { } og semikolonnet

```
p -> code
```

Én parameter

```
(p, q, ...) -> code
```

Flere parametre

- **Eksemplet fra før**

```
sightings.forEach( s -> System.out.println(s) );
```

↑
Lambda

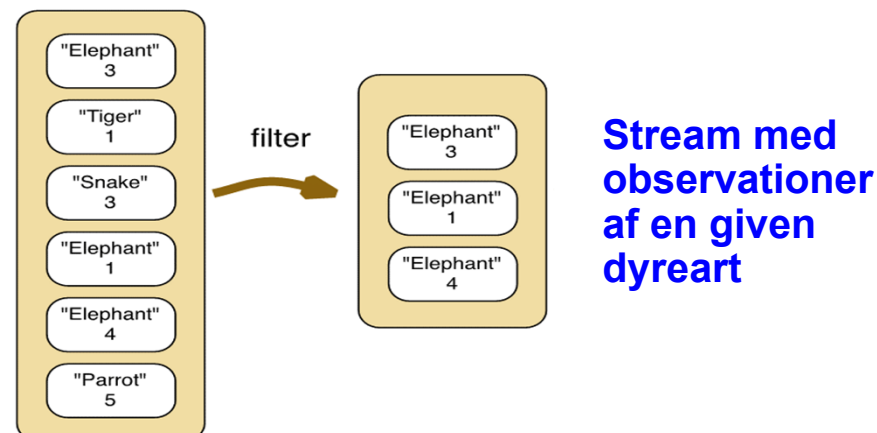
● Streams i Java (interfacet Stream<T>)

- **En stream er sekvens af data, f.eks.**
 - Elementerne i en Collection (f.eks. en arrayliste)
 - Tekstlinjer fra en tekstfil
 - Tegn (char værdier) fra en tekststreng (String)
 - Data der "strømmer" ind via et netværk
- **Karakteristika for streams**
 - Elementer tilgås ikke via et index (men i den rækkefølge, de kommer)
 - Streams er **immutable** (rækkefølgen og elementer kan ikke ændres), men man kan lave en ny stream ud fra den gamle
 - Streams kan være potentielt "uendelige" (have ubegrænset længde)
- **Elementer i en stream kan behandles parallelt på en multi-core maskine**
 - Potentiel stor **effektivitetsgevinst** uden ekstra programmeringsindsats
- **En arrayliste er ikke en stream**
 - Men ArrayList klassen har en metode, som skaber en stream ud fra arraylistens elementer (analogt for andre collections)

Streams har tre vigtige metoder (funktioner)

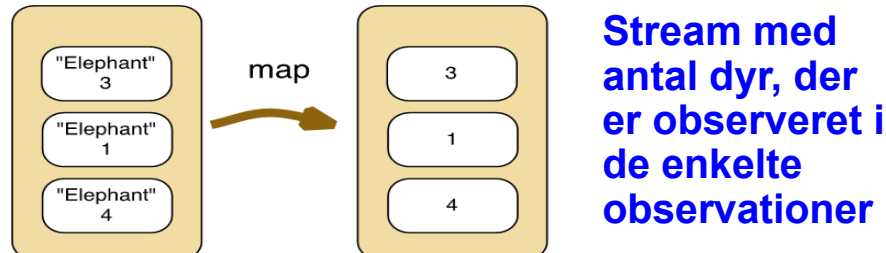
- **filter funktionen**

- Gennemløber en stream og skaber en ny stream indeholdende de elementer fra den gamle, som opfylder en given betingelse



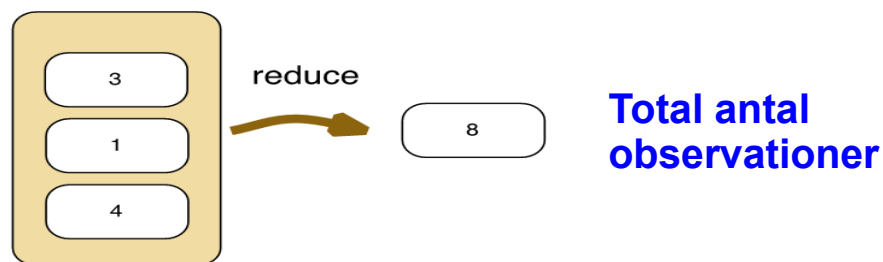
- **map funktionen**

- Gennemløber en stream og skaber en ny stream ved at bruge en lambda på hvert element i den gamle stream



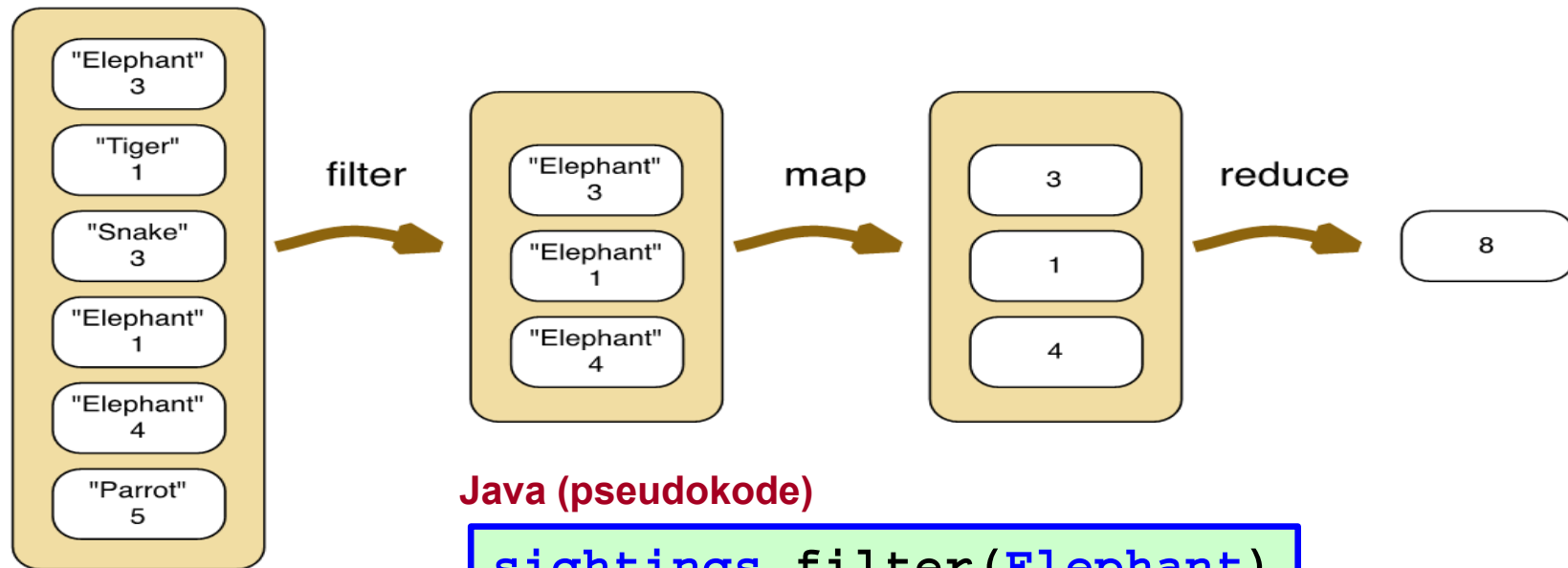
- **reduce funktion**

- Gennemløber en stream og returnerer en enkelt værdi (f.eks. ved at lægge alle værdierne i stream'en sammen)



Pipelines (sammensætning af funktioner)

- **Stream funktioner kan sættes sammen til en pipeline**
 - Nedenstående pipeline beregner hvor mange elefanter der er observeret



Java (pseudokode)

```
sightings.filter(Elephant)
          .map(count)
          .reduce(sum);
```

- **For at få eksekverbar Java kode mangler vi to ting**
 - Arraylisten sightings skal "omdannes" til en stream
 - Parametrene til filter, map og reduce funktionerne skal formaliseres

Opbygning af pipelines

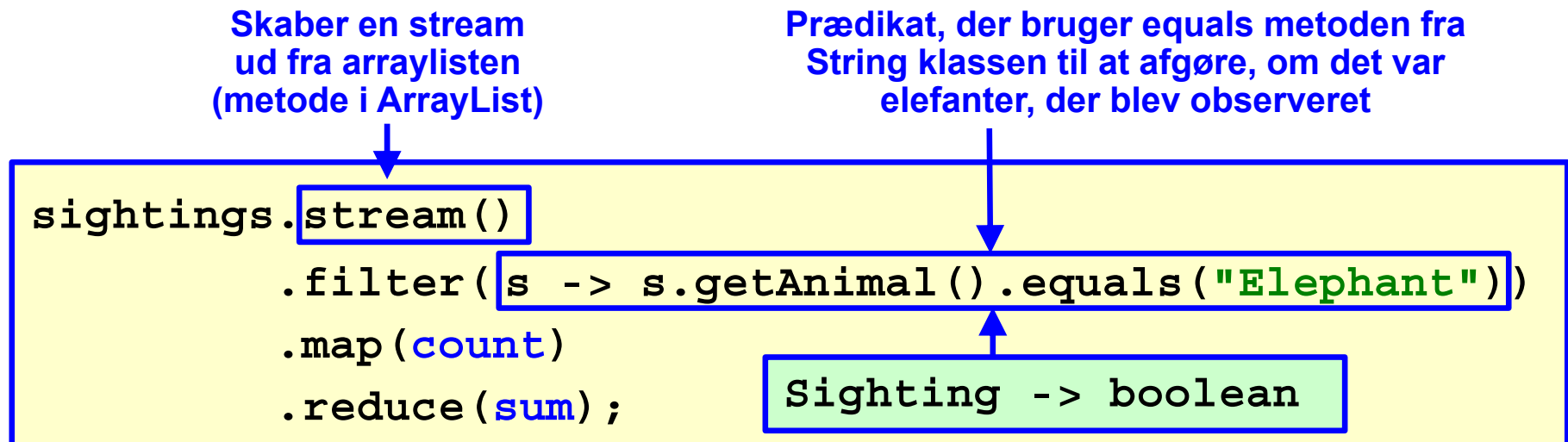
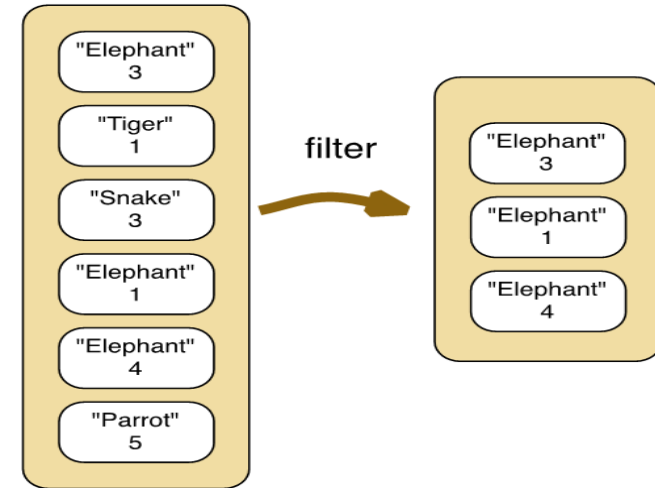
- **Pipelines er opbygget af**
 - en source (kilde)
 - et antal intermediate (mellemliggende) operationer
 - en terminal (afsluttende) operation, som producerer en værdi (eller har resultattypen void)
- **Hver intermediate operation producerer en ny stream**
- **Eksemplet fra før**
 - sightings er kilden
 - filter og map er intermediate
 - reduce er terminal
- **Man kan nemt lave andre beregninger**
 - Hvad gør denne pipeline?

```
sightings.filter(Elephant)  
          .map(count)  
          .reduce(sum) ;
```

```
sightings.filter(spotterID)  
          .filter(dayID)  
          .map(count)  
          .reduce(sum) ;
```

Filter funktionen

- Gennemløber en stream og skaber en ny indeholdende de elementer fra den gamle, som opfylder en given betingelse
 - Intermediate operation
 - Udvælgelsen sker via et **prædikat** (predicate), dvs. en lambda med returtype boolean
 - Input stream ændres ikke (streams er immutable)
 - Den nye stream har samme type objekter som den gamle, men der er ofte færre

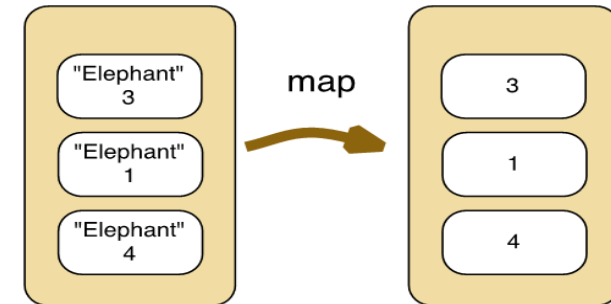


- Vi behøver ikke at specificere typen for variabelen s
- Oversætteren ved at sourcen leverer Sighting objekter

Map funktionen

- Gennemløber en stream og skaber en ny ved at bruge en **lambda** på hvert element i den gamle stream

- Intermediate operation
- Mapningen sker ved hjælp af en **lambda**
- Input stream ændres ikke (streams er immutable)
- Den nye stream har samme antal objekter som den gamle, men de er ofte af en anden type



```
sightings.stream()  
    .filter(s -> s.getAnimal().equals("Elephant"))  
    .map(s -> s.getCount())  
    .reduce(sum);
```

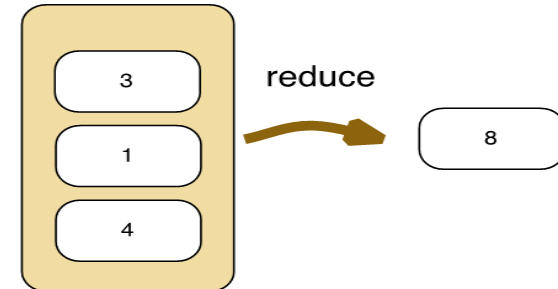
Sighting -> int

- Vi behøver ikke at specificere typen for variabelen `s`
- Oversætteren ved at sourcen, og dermed filter metoden, leverer Sighting objekter
- Den nye stream er af typen `Stream<Integer>`

Reduce funktionen

- **Gennemløber en stream og returnerer én værdi**

- Terminal operation
- Metoden har to parametre
 - Første parameter er en startværdi
 - Anden parameter er en lambda med to parametre, hvor den første er det hidtidige mellemresultat, mens den anden er det element, der pt behandles
- Input stream ændres ikke (streams er immutable)



```
sightings.stream()  
    .filter( s -> s.getAnimal().equals("Elephant") )  
    .map( s -> s.getCount() )  
    .reduce( 0, (res, s) -> res + s );
```

Startværdi

Lambda: `int * int -> int`

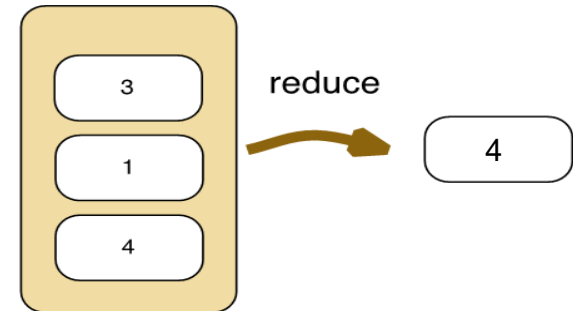
- **res** initialiseres til startværdien og holder det foreløbige resultat
- For hvert element **s** i stream'en bruges lambda'en til at beregne den nye værdi af **res**

(0,3) -> (3,1) -> (4,4) -> 8

I dette tilfælde findes **summen** af heltallene i stream'en

Alternativ reduce funktionen

- Det **maksimale** antal elefanter, set i en enkelt sighting, kan beregnes ved at ændre den lambda, der gives som parameter til reduce



```
sightings.stream()  
    .filter( s -> s.getAnimal().equals("Elephant"))  
    .map( s -> s.getCount() )  
    .reduce( 0, (res, s) -> Math.max(res, s) );
```

Startværdi

Lambda: $\text{int} * \text{int} \rightarrow \text{int}$

- res** initialiseres til startværdien og holder det foreløbige resultat
- For hvert element **s** i stream'en bruges lambda'en til at beregne den nye værdi af **res**

$(0, 3) \rightarrow (3, 1) \rightarrow (3, 4) \rightarrow 4$

I dette tilfælde findes det **maksimale** af heltallene i stream'en

Færdig metode (med streams og lambda'er)

```
/**
 * Return the number of sightings of the specified animal.
 * @param animal  Type of animal.
 * @return  Count of sightings of the given animal.
 */
public int getCount(String animal) {
    return sightings.stream() ● Stream<Sighting>
        ● ArrayList<Sighting> .filter( s -> s.getAnimal().equals(animal)) ● Stream<Sighting>
        .map( s -> s.getCount() ) ● Stream<Integer>
        .reduce( 0 , (res, s) -> res + s ); ● int
}
```

Vores pipeline (med parameteren **animal** indsat i stedet for konstanten "**Elephant**")

- Hvis man vil have parallel eksekvering af elementerne i stream'en og dermed åbne op for multi-core processering, skal man erstatte **stream()** med **parallelStream()**
- Giver kun en tidsgevinst, hvis man har **mange elementer**

Andre Stream metoder

- **Stream** interfacet har ca. 40 forskellige metoder, hvoraf vi i det følgende vil bruge nedenstående
 - **count** returnerer antallet af elementer i en Stream
 - **findFirst** returnerer første element i en stream af typen `Stream<T>` som et objekt af typen **Optional<T>**
- **Optional<T>** er et alternativ til at bruge **null** til at angive, at man ikke har et objekt
 - Buges i de funktionelle dele af Java
 - Metoden **isPresent** fortæller, om der er et T objekt eller ej
 - Hvis der er et T objekt, kan dette hentes via metoden **get**
 - Metoden **orElse(T other)** returnerer det objekt, der er gemt i Optional objektet (hvis der findes et sådan) og ellers værdien af parameteren **other**
 - Det betyder, at **orElse(null)** returnerer, det objekt der er gemt i Optional objektet (hvis der findes et sådan) og ellers **null**
 - Optional objekter er **immutable**

IntStream

- **Stream** interfacet har en metode, der kan producere en **IntStream**
 - **mapToInt** producerer en IntStream ud fra en Stream (ved hjælp af en brugerspecificeret lambda, der mapper hvert enkelt element i et heltal)
- **Det er vigtigt at skelne mellem IntStream og Stream<Integer>**
 - Begge er en sekvens af heltal, men IntStream har nogle metoder, som en "almindelig" Stream ikke har
 - **sum** returnerer summen af elementerne
 - **min** og **max** returnerer mindste og største element (som en OptionalInt)
 - **average** returnerer gennemsnittet (som en OptionalDouble)
- **Ved at bruge en IntStream, kan vi ofte slippe for at skrive vores egen reduce metode**

Hvorfor findes de ikke i Stream<Integer>?
Hvorfor returnerer de sidste en Optional?

```
.mapToInt ( s -> s.getCount () ) ● IntStream  
.sum () ;
```

```
.mapToInt ( s -> s.getCount () ) ● IntStream  
.max () ;
```

Analogt, kan man mappe en Stream til en DoubleStream eller en LongStream

● Algoritmeskabelonerne, findOne + findAll

- Vores fem algoritmeskabeloner kan implementeres via streams og lambda'er

```
public TYPE findOne( PARAM ) {  
    return LISTE.stream()  
        .filter( s -> TEST( s, PARAM ) )  
        .findFirst()  
        .orElse( null );  
}
```

- Den funktionelle version af findOne tester **alle** elementer **før** den finder det **første**, hvilket er ueffektivt
- Det slipper man for, når man bruger multi-core processing

Lav en stream
ud fra Arraylisten

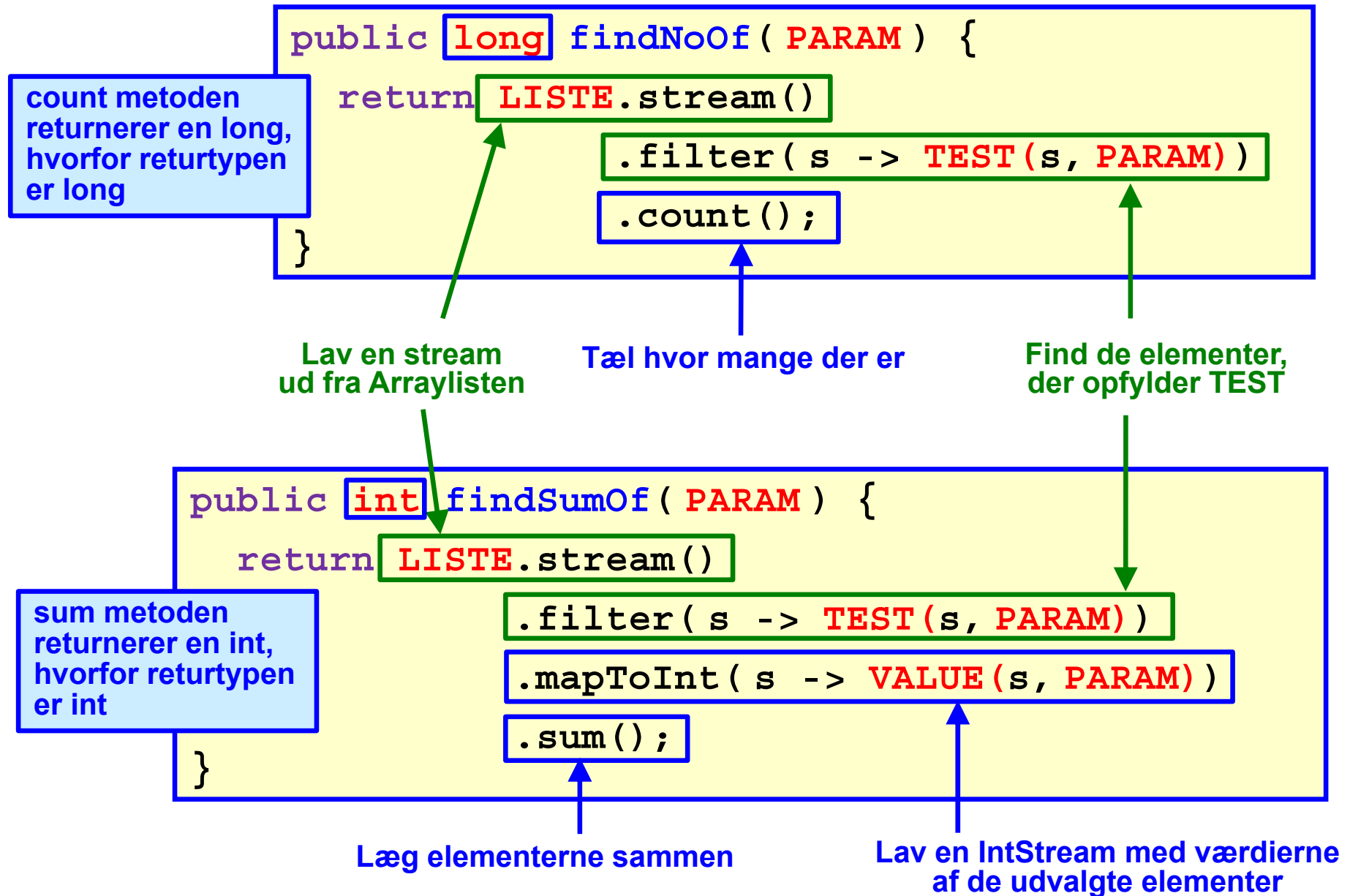
Returner det første
af disse (eller null)

Find de elementer,
der opfylder TEST

```
public List<TYPE> findAll( PARAM ) {  
    return LISTE.stream()  
        .filter( s -> TEST( s, PARAM ) )  
        .toList();  
}
```

- toList er en metode i Stream interface
- Returnerer de fundne elementer som en objektsamling af typen **List<Type>**
- List er et **interface** som ArrayList (og andre lister) implementerer
- List Introduceres i afsnit 6.17

findNoOf og findSumOf



findBest

```
public TYPE findBest( PARAM ) {  
    return LISTE.stream()  
        .filter( s -> TEST( s, PARAM ) )  
        .max( new BEST() )  
        .orElse( null );  
}
```

Lav en stream
ud fra Arraylisten

Find de elementer
der opfylder TEST

Returner bedste element (eller null)

- Ordningen bestemmes ved hjælp af et objekt fra en klasse **BEST**, der implementerer Comparator interfacet
- Men er det ikke "bøvlet" at skulle lave en sådan klasse?

- **Comparator interfacet har en klassesemote, der kan gøre det for os**

- Hvis man vil finde det objekt, der er **ældst** skriver man

```
.max( Comparator.comparing ( s -> s.getAge() ) )
```

- Hvis man vil finde det objekt, der er **mindst** skriver man

```
.min( Comparator.comparing ( s -> s.getSize() ) )
```

- Hvis man vil finde det objekt, hvis **navn** kommer **først** (alfabetisk), skriver man

```
.min( Comparator.comparing ( s -> s.getName() ) )
```

- **comparing** tager en **lambda** som parameter og returnerer et **Comparator objekt**
- Parameteren "udpeger" den feltvariabel, hvis værdier skal sammenlignes
- Sammenligningen sker via den naturlige ordning (i lambda'ens returtype)

Sammenligning af algoritmeskabelonerne

- De funktionelle er mere **kompakte og mere ens** end de imperative

De to første linjer i kroppen er helt ens

Det er kun de sidste 1-2 linjer og returtypen, der er forskellige

```
public ??? findXXX( PARAM ) {  
    return LISTE.stream()  
        .filter( s -> TEST( s, PARAM ) )  
    .???  
}
```

- Mange synes, at det er svært at huske, hvor de forskellige metoder ligger
- Men det skal man heldigvis heller ikke
- Det fremgår af den sammenhæng, de anvendes i

findOne

```
.findFirst()  
.orElse( null );
```

TYPE

findAll

```
.toList();
```

List<TYPE>

findNoOf

```
.count();
```

long

findSumOf

```
.mapToInt( s -> VALUE( s, PARAM ) )  
.sum();
```

int

findBest

```
.max( Comparator.comparing( s -> s.getFieId() ) )  
.orElse( null );
```

TYPE

Pause

For at bruge de funktionelle skabeloner skal man importere Collections, Comparator, og Optional via **import java.util.***

Ved køreprøven skal opgave 11 og 12 løses ved hjælp af **funktionel** programmering, dvs. Streams og lambda'er (samt de funktionelle algoritmeskabeloner)

● Sortering

- Indtil nu har vi sorteret ved at skrive en `compareTo` metode
 - For `Person` klassen ser dette ud, som vist nedenfor
 - Vi sorterer efter alder og hvis to personer er lige gamle alfabetisk efter navn

```
public int compareTo(Person p) {  
    if(this.age != p.age) {  
        return this.age - p.age;  
    }  
    // Alderen er identisk  
    return this.name.compareTo(p.name);  
}
```

← Fastlæggelse af ordning
via `compareTo` metode

```
public void printPersons() {  
    Collections.sort(persons);  
    for(Person p : persons {  
        System.out.println(p);  
    }  
}
```

← Sortering (via den naturlige ordning
fastlagt af vores `compareTo` metode)

← Udskrift af den
sorterede arrayliste

Funktionel sortering version 1

- Som vi har set, har **Comparator** interfacet en klassemetode, der gør det let at definere en ordning uden selv at skrive en **compareTo** metode
 - For **Persons** kan dette anvendes, som vist nedenfor
 - Som før sorteres efter alder, og hvis to personer er lige gamle alfabetisk efter navn

```
public void printPersons() {  
    Collections.sort(persons, Comparator.comparing(p -> p.getName()));  
    Collections.sort(persons, Comparator.comparing(p -> p.getAge()));  
    persons.forEach(p -> System.out.println(p));  
}
```

Udskrift af den sorterede arrayliste

Vi sorterer to gange

- Vil den sidste sortering ikke blot ødelægge den første?
- Nej, sorteringerne er stabile (stable). Det betyder, at de kun bytter om på elementer, når det er nødvendigt
- Derfor vil den første sortering stadig være gældende for de elementer, der har samme ordning i den anden sortering

- Sortering via to **Comparator** klasser (der anvender den naturlige ordning for henholdsvis **String** og **int**)
- Klassemetoden **comparing** returnerer et **Comparator** objekt
- Bemærk, at vi starter med det **mindst** betydende kriterie og slutter med det **mest** betydende
- Hvis man vil have de ældste først sætter man et **minus** på lambda'ens højre side

Funktionel sortering version 2

- **Man kan nøjes med én sortering**

- Før brugte vi to forskellige Comparator objekter, hvor det ene sorterede efter navn og det anden efter alder
- Nu bruger vi **ét** Comparator objekt, der primært sorterer efter alder og sekundært efter navn

Klassemetoden **comparing**
returnerer et **Comparator objekt**

Nu er det nødvendigt at hjælpe
oversætteren ved at angive p's type

```
public void printPersons() {  
    Collections.sort(persons, Comparator.comparing((Person p) -> p.getAge())  
                                           .thenComparing(p -> p.getName()));  
    persons.forEach(p -> System.out.println(p));  
}
```

- Bemærk, at **comparing** er en klassemetode, mens **thenComparing** er en almindelig metode
- Det fremgår af den sammenhæng, som de anvendes i

- Metode i Comparator interfacet, der kaldes på det **Comparator objekt**, som **comparing** returnerer
- **thenComparing** returnerer også et **Comparator objekt**, og det er dette der bestemmer den orden, der sorteres efter

Bemærk også, at vi nu starter med det mest betydende kriterie og slutter med det mindst betydende (hvilket gør koden mere logisk og lettere at forstå)

Funktionel sortering version 3 og 4

- I stedet for at sortere arraylisten kan vi sortere en stream

```
public void printPersons() {  
    persons.stream()  
        .sorted(Comparator.comparing((Person p) -> p.getAge())  
                .thenComparing(p -> p.getName()))  
        .forEach(p -> System.out.println(p));  
}
```

Metode i Stream klassen (fungerer analogt til sort metoden i ArrayList klassen)

- Bemærk at arraylisten og den Stream, der produceres ud fra den **ikke** ændres.
- Metoden sorted returnerer en ny Stream, der er sorteret (som angivet af Comparator objektet)

- Derudover kan vi erstatte de tre lambda'er med metode referencer

```
public void printPersons() {  
    persons.stream()  
        .sorted(Comparator.comparing(Person::getAge)  
                .thenComparing(Person::getName))  
        .forEach(System.out::println);  
}
```

Forkortelse for lambda'en
(Person p) -> p.getAge()

Forkortelse for lambda'en
p -> System.out.println(p)

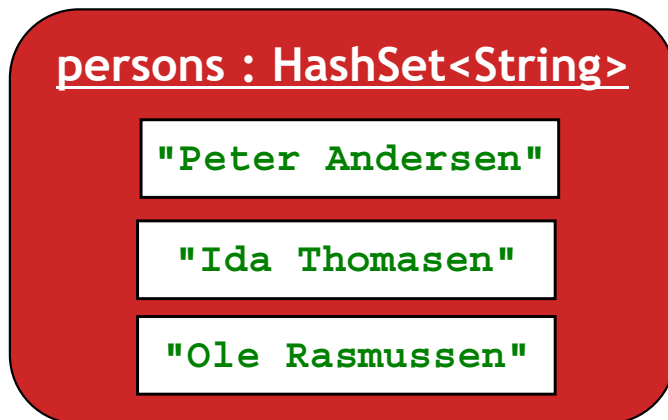
Forkortelse for lambda'en
(Person p) -> p.getName()

- Metode referencer er beskrevet på side 219-220 i BlueJ bogen
- De kan også bruges i findBest algoritmeskabelonen

reversed() metoden i Comparator klassen returnerer et Comparator objekt med omvendt sortering

● Set (mængde)

- **Matematisk mængde**
 - Et element kan højst forekomme **én gang** i mængden
 - Indsætter man elementet en gang til, har det ingen effekt
 - Der er mange forskellige implementationer af mængder – på samme måde, som der er forskellige implementationer af lister
 - Her vil vi se på **HashSet<E>** klassen
- **En mængde af personnavne kan modelleres via HashSet<String>**



Implementation af mængde af personer

```
import java.util.HashSet;
...
// Oprettelse af mængde
HashSet<String> persons = new HashSet<>();

// Indsættelse af personnavne
persons.add("Peter Andersen");
persons.add("Ida Thomassen");
persons.add("Ole Rasmussen");
System.out.println(persons.size());
...
// Indsæt et navn, der allerede er i mængden
persons.add("Ida Thomassen");
System.out.println(persons.size());
```

- add metoden indsætter elementer
- returnerer true, hvis mængden ændres

3

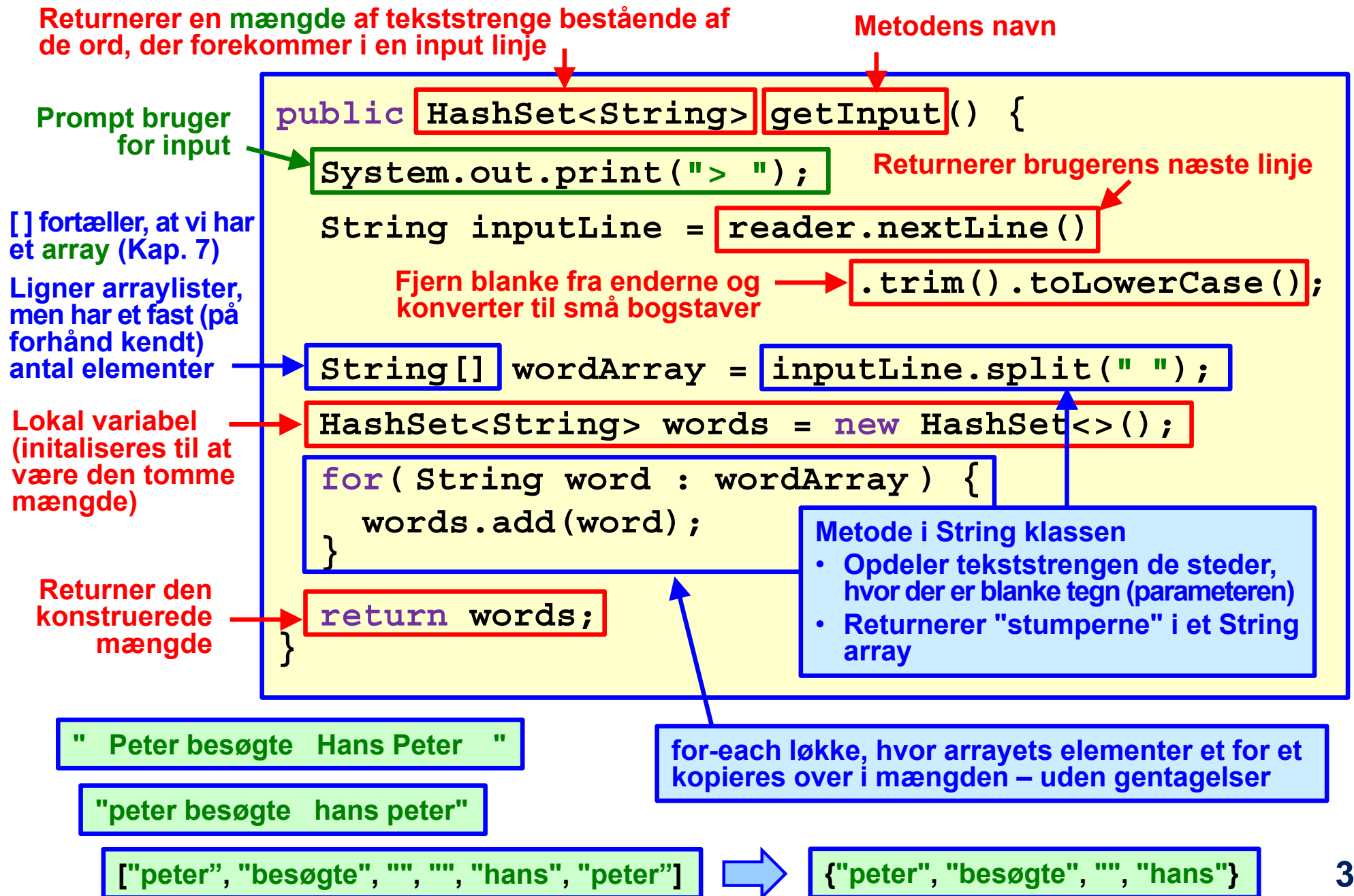
- size metoden fortæller, hvor mange elementer, der er i mængden

3

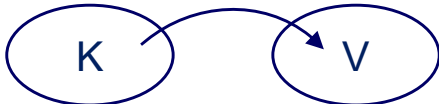
- add metoden returnerer false, hvis mængden ikke ændres
- size ændres ikke

- Det er **equals** metoden (for element typen E), der bruges til at afgøre, om elementet allerede forekommer i mængden
 - Object klassen (som alle klasser er underklasser af) har en equals metode
 - Dette sikrer at alle klasser har en equals metode

Eksempel: Indlæsning af kommandoer



● Map (afbildning / funktion)

- **Matematisk funktion (afbildning) fra en mængde til en anden**
 - Der er mange forskellige implementationer af maps – på samme måde, som der er forskellige implementationer af lister og mængder
 - Her vil vi se på **HashMap<K, V>** klassen
- **Parametriseret klasse med 2 type parametre**
 - Første parameter **K** angiver **keys (nøgler)** – den type der afbildes fra
 - Anden parameter **V** angiver **values (værdier)** – den type der afbildes til
- **Et Map objekt indeholder par på formen (k,v), hvor k er af typen K og v af typen V**
 - Hvis man kender nøglen **k**, kan man slå værdien **v** op (ved hjælp af Map objektet)
 - En værdi **v** kan være knyttet til flere nøgler (afbildningen behøver ikke være injektiv)
 - Omvendt har en nøgle højst én tilknyttet værdi (ellers ville det være en relation og ikke en afbildning)

Telefonliste

- **En telefonliste er et typisk eksempel på brug af Map**

- K er personer, mens V er deres telefonnumre
- Begge kan repræsenteres som tekststreng (String)

contacts : HashMap<String, String>

"Peter Andersen"	"2674 5681"
"Ida Thomasen"	"4525 2512"
"Ole Rasmussen"	"hemmeligt"

- **Alternativt kan man bruge HashMap<String, Integer>**

- Nu er værdierne heltal (og hemmeligt nummer angives som 0)

contacts : HashMap<String, Integer>

"Peter Andersen"	26745681
"Ida Thomasen"	45252512
"Ole Rasmussen"	0

Implementation af telefonliste

```
import java.util.HashMap;
...
// Oprettelse af kontaktliste
HashMap<String, String> contacts = new HashMap<>();
// Operettelse af kontakter
contacts.put("Peter Andersen", "2674 5681");
contacts.put("Ida Thomasen", "7412 3716");
contacts.put("Ole Rasmussen", "hemmeligt");
contacts.put("Ida Thomasen", "4525 2512");
// Opslag i kontaktlisten
String number = contacts.get("Ida Thomasen");
System.out.println(number);
```

- put metoden indsætter et nyt par
- Hvis nøglen allerede er i brug glemmes det gamle par

"4525 2512"

- get metoden laver opslag
- Returnerer den værdi, der er knyttet til den anvendte nøgle (null hvis nøglen ikke er i brug)

- **Andre metoder i HashMap**

- **size** metoden fortæller, hvor mange par, der er i afbildningen
- **keySet** metoden returnerer en **mængde** indeholdende alle de nøgler (keys), der er i brug
- I alt er der ca. 20 metoder (kan ses i Java API'en)

● Collections (objektsamlinger)

- **Forskellige måder at gruppere objekter**
 - ArrayList, LinkedList, ... (lister / sekvenser)
 - HashSet, LinkedHashSet, TreeSet, ... (mængder)
 - HashMap, LinkedHashMap, TreeMap, ... (afbildninger / funktioner)
 - **Sidste del** af navnet angiver, om det er en liste, mængde (set) eller afbildning (map)
 - **Første del** af navnet angiver implementationsmetoden
 - Der er ca. 30 forskellige slags collections (objektsamlinger)
- **Alle collections er parametriserede typer**
 - Parametrene skal være objekt typer
 - For de primitive typer bruges de tilsvarende wrapper typer
- **Alle collections bruger de samme metodenavne**
 - F.eks. **size**, **clear**, **isEmpty**, **get** og **remove**
 - Bemærk dog, at man i lister og mængder indsætter via **add** metoden, mens man i maps indsætter via **put** metoden

Polymorfe variabler

- Når vi skriver et program, behøver vi ikke fra start at fastlægge, hvilken type objektsamling vi vil anvende

- I stedet for at erklære en variabel til at referere til en arrayliste

```
ArrayList<Person> persons;
```

kan man med **stor fordel** nøjes med at angive, at den refererer til en liste

```
List<Person> persons;
```

Variablen persons er **polymorf**, fordi den kan pege på værdier af **forskellig type**

- Man kan så senere let **udskifte en liste implementation med en anden**

- Det eneste sted man skal ændre i koden er der, hvor listen oprettes. Her angiver man, hvilken liste implementation, man vil bruge

```
persons = new ArrayList<>();
```

```
persons = new LinkedList<>();
```

- Tilsvarende kan vi bruge **polymorfe variabler for mængder og afbildninger**

```
Set<Person> persons;
```

```
Map<Person, Person> farthers;
```

List, Set og Map er **interfaces** (som vi skal kigge nærmere på i Kap. 12)

● Opsumming

- **Funktionel programmering i Java (Kapitel 5)**

- Forskellen på imperative og funktionelle programmeringssprog
- Lambda'er (kdestumper, der kan bruges som parametre i et metodekald)
- Streams (sekvenser / strømme af data)
- De fem algoritmeskabeloner implementeret ved hjælp af streams og lambda'er
- Sortering ved hjælp af lambda'er

- **Forskellige objektsamlinger (Kapitel 6)**

- Liste (kendt fra ArrayList)
- Sæt (mængde)
- Maps (afbildning / funktion)
- Polymorfe variabler

Køreprøven

- Opgave 1-10 skal løses ved hjælp **imperativ programmering**. Man må altså **ikke** bruge streams og lambda'er
- Opgave 11-12 skal løses ved hjælp af **funktionel programmering**, dvs. streams, lambda'er (og de funktionelle algoritmeskabeloner)
- Testserveren bruges **ikke** under køreprøven

Husk at I **SKAL** tjekke køreprøveopgaverne ved hjælp af **testserveren**, før I afleverer dem

- Så ved I, at de virker
- Instruktorerne kigger på koden i testserveren

Resten af kapitel 6 i BlueJ bogen

- **Kapitel 6 er forholdsvis langt, men det indeholder mange ting, som I allerede er stødt på her i kurset og derfor vil have let ved at læse**
 - Læsning og skrivning af Java dokumentation
 - Brug af klassen Random til at generere tilfældige tal
 - Import af klasser og pakker fra Javas klassebibliotek
 - Automatisk konvertering af værdier mellem primitive typer og de tilhørende wrapper klasser
 - Brug af nøgleordene public og private
 - Klassevariabler og klassemetoder (static)
 - Konstanter (final)
- **Læs kapitlet grundigt – uden at springe afsnit over**
 - Det er nyttig repetition og tilføjer **mange nye detaljer**

Status

- **Forelæsninger**

- Dagens forelæsning er den sidste før køreprøve og efterårsferie
- I har nu haft 10 forelæsninger og mangler kun 7

- **Når I når frem til køreprøven, har I afleveret**

- 6 programmeringsopgaver (Raflebæger, Skildpadde og Billedredigering)
- 7 køreprøvesæt
- 5 quizzes

- **I mangler så kun 7 programmeringsopgaver**

- De er noget større end dem, som I hidtil har haft, men de enkelte dele er ikke meget sværere
- Al erfaring viser, at hvis I kan klare opgaverne frem til køreprøven, kan I også klare de sidste syv
- Der er stort set ingen, der falder fra i kursets sidste halvdel

Forberedelse til køreprøven

- **Husk at se videoerne om køreprøvesættene**
 - Hvis du ikke allerede har set videoerne om Phone og Pirate er det **på høje tid**, at du ser dem nu
 - Er du usikker på brugen af algoritmeskabeloner bør du også se Car og Turtle
 - Se også Penguin (der løses ved hjælp af funktionel programmering)
- **Det er ikke nok at se videoerne**
 - Efter hvert sæt, bør I **selv** prøve at løse opgaverne
 - Hvis det kniber, ses videoerne igen
 - Bliv ved, indtil I kan løse sættet hurtigt og sikkert (tag tid)
- **Løs tidligere opgavesæt**
 - Kan findes på Brightspace siden "Køreprøvesæt fra tidligere år" under "Øvelser"
 - Det er helt normalt, at det på nuværende tidspunkt tager 1 time at løse et opgavesæt
 - Til køreprøven kan de fleste studerende klare det på 30 minutter
 - Test din besvarelse ved hjælp af testserveren (gælder også de sæt, der er på videoerne, og de sæt, som I skal aflevere i uge 5 og 6)
- **Deltag i prøve-køreprøven ved første øvelsesgang i uge 7**

Træning i mundtlig præsentation

- **I kurset sidste halvdel er der intensiv træning i, hvordan man går til mundtlig eksamen**
 - I skal hver især lave 2 præsentationer af et eksamensspørgsmål
 - Det er den eneste gang under jeres studier, at I får systematisk oplæring i og feedback omkring, hvordan man laver en god mundtlig præsentation
 - Kan få stort betydning for jeres fremtidige eksaminer og jeres fremtidige job
- **Held og lykke med køreprøven**
 - Hvis I forbereder jer godt, har I intet at frygte
 - Sidste år afleverede 83% fuld besvarelse, mens 94% nåede mindst 4 tjekpunkter og 99% nåede mindst 2 tjekpunkter
 - Rekorden for fuld besvarelse er imponerende 9 minutter og 55 sekunder (indehaves af Mads Odgaard)
 - Husk at skrive til mig, hvis I skal have forlænget tid (35 min i stedet for 30 min) eller har behov for høretelefoner / andre hjælpemidler

Det var alt for nu.....

... spørgsmål

