17. Java Collections

Generische Typen, Interfaces, Java Collections, Iteratoren

Daten Organisieren

- Datenstrukturen, die wir kennen
  - Arrays – Sequenzen fixer Grösse
  - Strings – Buchstabensequenzen
  - Verkettete Listen (bisher: für festen Elementtyp selbstgemacht)

Heute:

- Allgemeines Collection Konzept der Java API[6]
  - ArrayList auf generischem Elementtyp – dynamischer als Arrays
  - LinkedList, Sets, Queues
- Allgemeines Map Konzept der Java API

[6] API = Application Programming Interface = Anwendungsprogrammierschnittestelle

Genererische Liste in Java: `java.util.List`

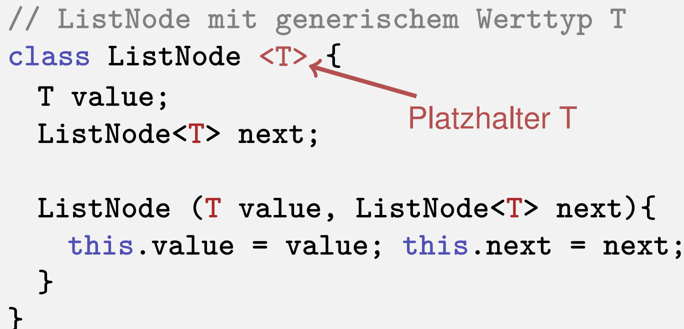
```java
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
...
// Liste von Strings
List<String> list = new ArrayList<String>();

list.add("abc");
list.add("xyz");
list.add(1,"123"); // Fuege 123 an Position 1 ein
System.out.println(list.get(0)); // abc
```

Generische Liste in Java: `java.util.List`

```
import java.util.ArrayList;
import java.util.List;
...
// Liste von Strings
List<String> list = new ArrayList<String>();
         ?                        ?
list.add("abc");
list.add("xyz");
list.add(1,"123"); // Fuege 123 an Position 1 ein
System.out.println(list.get(0)); // abc
```

Typ Parameter („Parametrischer Polymorphisums”)

In Java kann man eine Klasse mit einem Typ parametrisieren



```
// ListNode mit generischem Werttyp T
class ListNode <T> {
  T value;
  ListNode<T> next;

  ListNode (T value, ListNode<T> next){
    this.value = value; this.next = next;
  }
}
```

Konkreter Typ `string` wird für T in `ListNode` eingesetzt.

Verwendung:

```
ListNode<String> n = new ListNode<String>("ETH", null);
```

Beispiel: Generischer Stack

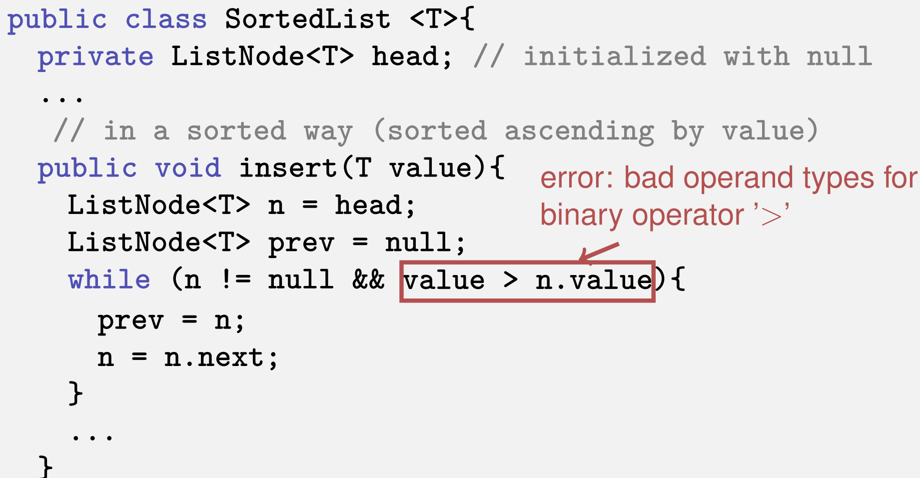
```
public class Stack<T>{
  private ListNode<T> top_node; // initialized with null
  public void push(T value){
    top_node = new ListNode<T>(value, top_node);
  }
  public T pop(){...}
  public void output(){...}
}

...

Stack<String> s = new Stack<String>();
s.push("ETH");
s.push("Hello");
s.output(); // Hello ETH
```

Stack von Integers

- Java Generics können nur auf Objekten operieren
- Fundamentaltypen `int`, `float` (etc.) sind keine Objekte
- Java bietet Wrapperklassen für Fundamentaltypen an, z.B. den Typ `Integer`
- Java macht *autoboxing* und packt einen Fundamentaltyp automatisch in eine Wrapperklasse ein, wo nötig.

```
Stack<Integer> s = new Stack<Integer>();
s.push(3);         // auto boxing: int -> Integer
int a = s.pop(a); // auto unboxing: Integer -> int
```

Sortierte Liste?



Sortierte Liste!

```
public class SortedList <T extends Comparable<T>>{
  private ListNode<T> head; // initialized with null
  ...
   // in a sorted way (sorted ascending by value)
  public void insert(T value){
    ListNode<T> n = head;
    ListNode<T> prev = null;
    while (n != null && value.compareTo(n.value)>0){
      prev = n;
      n = n.next;
    }
    ...
  }
```

`extends Comparable<T>` stellt sicher, dass die Methode T.compareTo existiert.

Interfaces

Ein Interface (übersetzt: Schnittstelle) definiert Funktionalität einer potentiellen Implementation durch eine Klasse

```
public interface Comparable<T>
{
  public int compareTo (T o);
}
```

Jede Klasse `T`, welche `Comparable<T>` implementiert, muss die Methoden des Interfaces `Comparable<T>` anbieten.

```
public class Present implements Comparable<Present>{
  // must contain this
  public int compareTo(Present o){...}
}
```

Vergleichbare Geschenke

```
public class Present implements Comparable<Present>{
  int value;
  String content;

  public Present(int value, String content){
    this.value = value; this.content = content;
  }
  // returns if this present is more valuable than the other
  public int compareTo(Present other){
    if (this.value > other.value){ return 1;
    } else if (this.value < other.value){ return -1;
    } else { return 0; }
  }
}
```

Geschenke Sortiert

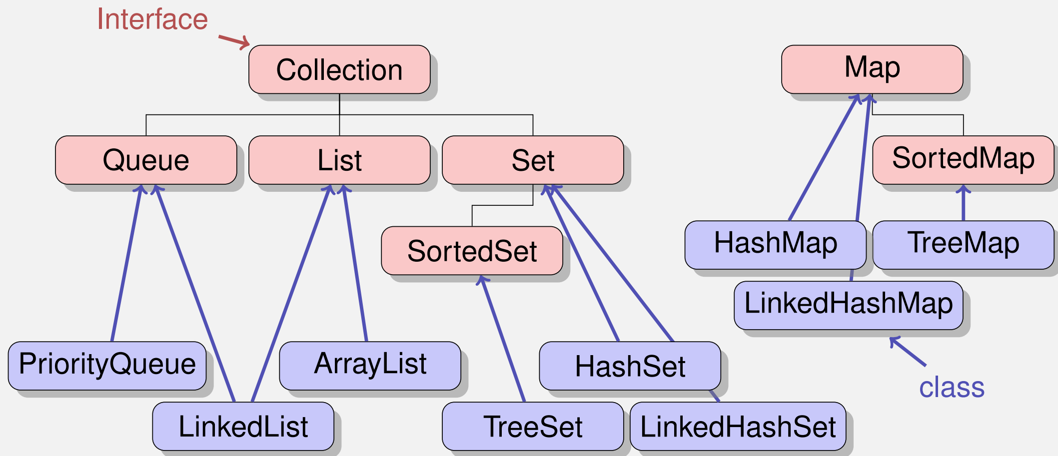
```
public class Present implements Comparable<Present>{
  ...
  public int compareTo(Present o){...}
  public String toString(){
    return content + ":" + value;
  }
}
...

SortedList<Present> list = new SortedList<Present>();
list.insert(new Present("Buch",17));
list.insert(new Present("Juwelen",1000));
list.insert(new Present("Socken",12));
list.output(); // Socken:12 -> Buch:17 -> Juwelen:1000 -> NIL
```

Interfaces und Wrapperklassen

Die Wrapperklassen `Integer` und `Double` implementieren das Interface `Comparable`.

Klassen können in Java nur von einer Klasse erben (eine Klasse erweitern), aber Klassen können mehrere Interfaces implementieren.

Java Collections / Maps



`Interface Collection<E>` (Ausschnitt)

`boolean add(E e)`: Fügt `e` zur Collection hinzu, gibt zurück, ob die Collection geändert wurde.

`boolean contains(Object o)`: Gibt zurück, ob `o` in der Collection enthalten ist.

`boolean remove(Object o)`: Entfernt maximal eine Instanz des Objekts `o` von der Collection. Gibt zurück, ob `o` enthalten war.

`boolean isEmpty()`: Gibt zurück, ob die Collection leer ist

`int size()`: Gibt die Anzahl Elemente dieser Collection zurück.

`Iterator<E> iterator()`: Gibt einen Iterator zurück, mit dem die Elemente der Collection durchlaufen werden können

Vollständige Liste: `https://docs.oracle.com/javase/10/docs/api/java/util/Collection.html`

Warum so viele Collections?

Collection definiert das *gemeinsame Interface* verschiedener möglicher Implementationen.

Verschiedene *Anwendungen / Algorithmen benötigen verschiedene Operationen*, möglicherweise zusätzlich zum Interface der Collection: Wahlfreier Zugriff, Hinzufügen am Anfang / am Ende, etc.

Beispiel

Eine Undo-Funktion im Texteditor ist mit Operationen push und pop implementiert.
Eine Matrixmultiplikation benötigt wahlfreien Zugriff.

Warum so viele Collections?

Collection definiert das *gemeinsame Interface* verschiedener möglicher Implementationen.

Verschiedene Datenstrukturen (Arrays, Verkettete Listen, Bäume, etc.) unterschieden sich in Ihrer *Eignung für unterschiedliche Operationen*.

Beispiel

Verkettete Listen sind sehr gut geeignet für Einfügen und Löschen, aber ziemlich ungeeignet für wahlfreien Zugriff (also Zugriff per Index). Bei Array-basierten Datenstrukturen ist es eher umgekehrt.

`Iterator<E>`

Das Interface `Iterator<E>` stellt Methoden zum Durchlaufen aller Elemente einer Collection zur Verfügung. Jede Collection bietet einen Iterator an.

`boolean hasNext()`: Gibt zurück, ob noch weitere Elemente auf diesem Iterator bereitstehen.

`E next()`: Gibt das nächste Element der Iteration zurück.

`void remove()`: Entfernt das zuletzt zurückgegebene Element von der Collection (muss nicht implementiert sein)

Beispiel Iterator

```
Collection<String> list = new ArrayList<String>();
list.add("Hello");
list.add("at");
list.add("ETH");
for (Iterator<String> it = list.iterator(); it.hasNext();){
        String s = it.next(); // Iterator fährt weiter
        Out.print(s);
}
```

Beispiel Iterator

```
Collection<String> list = new ArrayList<String>();
list.add("Hello");
list.add("at");
list.add("ETH");
for (Iterator<String> it = list.iterator(); it.hasNext();){
        String s = it.next(); // Iterator fährt weiter
        Out.print(s);
}
```

Äquivalente Kurzform obiger Schleife:

```
for (String s: list){
        Out.print(s);
}
```

List

Zusätzlich zum Interface `Collection`:

- Wahlfreier Zugriff

```
E get (int index)
E set (int index, E element)
int indexOf(Object o)
```

- Einfügen und Löschen an Position

```
void add(int index, E element);
void remove(int index;
```

Implementationen: `ArrayList`, `LinkedList`

ArrayList versus LinkedList

Laufzeitmessungen für 10000 Operationen (auf [code]expert)

	ArrayList	LinkedList
Einfügen am Ende	**469µs**	1787µs
Einfügen am Anfang	37900µs	**761µs**
Iterieren	1840µs	2050µs
Wahlfreier Zugriff	**426µs**	110600µs
Einfügen in der Mitte	**31ms**	301ms
Enthält (erfolgreich)	38ms	141ms
Enthält (erfolglos)	228ms	1080ms
Entfernen am Ende	648µs	757µs
Entfernen am Anfang	58075µs	**609µs**

Interface `Set<E>`

Set (Menge): eine Collection, welche keine Duplikate enthält. Jedes Element kommt maximal einmal vor. Kein wahlfreier Zugriff

Implementationen:

- `HashSet<E>`: Datenstruktur, welche Einfügen und sehr effizientes Suchen (Methode `contains`) von Elementen unterstützt.
- `LinkedHashMap<E>`: Datenstruktur, welche Einfügen und effizientes Suchen unterstützt und welche beim Iterieren die *Einfügereihenfolge* respektiert.
- `TreeSet<E>`: Datenstruktur, welche Einfügen und effizientes Suchen unterstützt und welche die Daten *sortiert* speichert (Elemente müssen vergleichbar sein).

`Set<E>` und `List<E>`

Laufzeitmessungen für 10000 Operationen (auf [code]expert)

	`List`	`HashSet`	`LinkedSet`	`TreeSet`
Einfügen	$350\mu s$	$958\mu s$	$930\mu s$	$1126\mu s$
Iterieren	$360\mu s$	$394\mu s$	$345\mu s$	$555\mu s$
Enthält	$49953\mu s$	**$380\mu s$**	**$380\mu s$**	**$960\mu s$**
Enthält nicht	$304289\mu s$	**$179\mu s$**	**$203\mu s$**	**$400\mu s$**

`PriorityQueue<E>`

Eine Warteschlange, bei der immer das kleinste Element vorne (zum Extrahieren bereit) steht.

`void add(E e)` fügt das Element in die Prioritätswarteschlange ein

`E remove()` extrahiert das erste Element der Prioritätswarteschlange

	`PriorityQ`	`TreeSet`
Einfügen	**423μs**	1714μs
Kleinstes Element extrahieren	2400μs	2000μs

Einen Datensatz suchen

Beispiel: wir speichern alle Studenten dieser Vorlesung in einer Datenstruktur.

```
class Student {
        String name;
        String id;
}
```

Wir wollen möglichst schnell einen Studenten nach Legi-Nr finden.
Wir wollen die Studenten nach Einfügedatum ausgeben können.

Welche Datenstruktur? `LinkedHashSet<Student>`?

Problem

Welche Datenstruktur? `LinkedHashSet<Student>`?

Das Problem: das Set weiss nicht, nach welchem Kriterium es suchen muss und kann eigentlich auch nur `contains`. Aber selbst das schlägt fehl:

```
HashSet<Student> set = new HashSet<Student>();
Student a = new Student("bobo","123−456−789");
Student b = new Student("bobo","123−456−789");
set.add(a);
Out.println(set.contains(a)); // true
Out.println(set.contains(b)); // false: a != b.
```

[Nebenbemerkung]

Man *kann* die Datenstruktur `Student` dazu bringen, dass contains wie oben gewünscht funktioniert (wenn man will ...).

```
class Student{
  String name;
  String id;
  public Student(String name, String id){
    this.name = name; this.id = id;
  }
  public int hashCode(){ // Suchkriterium
    return id.hashCode();
  }
  public boolean equals(Object other){ // Vergleichskriterium
    return id.equals(((Student)other).id);
  }
}
```

Assoziative Datenstruktur

Assoziative Datenstrukturen speichern Paare: Schlüssel (Suchkriterium) / Wert (Daten)

Key-Value Paare

Key	Value
123-456-789	Student name = bobo, id = 123-456-789
007-420-312	Student name = pipi, id = 007-420-312, ...
...	

`Map<K,V>`: Tabelle, welche effizient nach Schlüssel durchsucht werden kann.

List versus Maps

List / Array			Map		
0	$\rightarrow$	obj1	"18-101-008"	$\rightarrow$	obj1
1	$\rightarrow$	obj2	"18-389-221"	$\rightarrow$	obj2
2	$\rightarrow$	obj3	"18-761-891"	$\rightarrow$	obj3
3	$\rightarrow$	obj4	"17-234-365"	$\rightarrow$	obj4
4	$\rightarrow$	obj5	"18-120-861"	$\rightarrow$	obj5
...	...	...	...	...	...

Interface `Map<K,V>` (Ausschnitt)

`V put(K key, V value)` assoziiert den Wert `value` mit dem Schlüssel `key` in dieser Map.

`V get(Object key)` gibt den zu `key` assoziierten Wert zurück (null sonst).

`V remove(Object key)` entfernt das key-value pair, wenn der Schlüssel `key` vorhanden ist.

`Collection<V> values()` gibt die Werte der Map als Collection zurück

`Set<K> keySet()` gibt die Schlüssel der Map als Set zurück

Beispiel

```
HashMap<String,Integer> mountains = new HashMap<String,Integer>();
mountains.put("Matterhorn",4478);
mountains.put("Jungfrau",4158);
...
Out.print("enter mountain name: ");  // enter mountain name:
String name = In.readLine();          // Eiger

Integer height = mountains.get(name);
if (height != null){
  Out.println(name + ": " + height + "m"); // Eiger: 1800m
} else {
  Out.println("?");
}
```

Implementationen von `Map<K,V>`

`HashMap<K,V>` Assoziativer Container von key-value Paaren. Keine Reihenfolgengarantien. Null key und null value erlaubt.

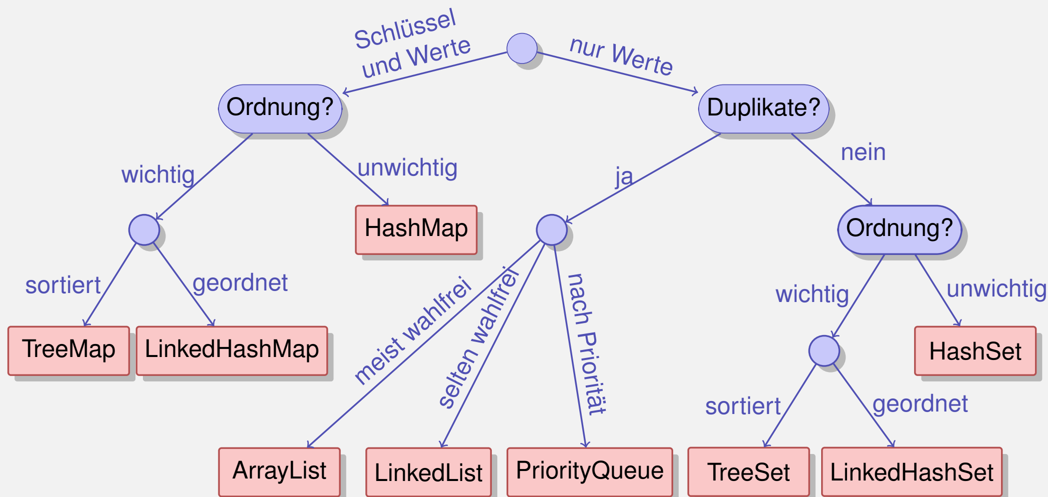
`LinkedHashMap<K,V>`Assoziativer Container mit Reihenfolgengarantie: beim Iterieren wird die Einfügereihenfolge erhalten.

`TreeMap<K,V>`Assoziativer Container mit Reihenfolgengarantie: die Map ist sortiert nach der natürlichen Ordnung der Schlüssel.

Übersicht

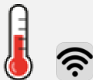
Implementation	Interface	Ordnung	Duplikate
ArrayList	List	Index	ja
LinkedList	List , Queue	Index	ja
PriorityQueue	Queue	Priorität	ja
HashSet	Set	keine	nein
LinkedHashSet	Set	Einfügereihenfolge	nein
TreeSet	Set	sortiert	nein
HashMap	Map	keine	nein
LinkedHashMap	Map	Einfügereihenfolge	nein
TreeMap	Map	sortiert	nein

Entscheidungshilfe



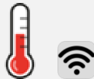
Anwendungsbeispiel: Sensoren!

$id = 69$
$typ = humid$



$id = 2282$
$typ = temp$

$id = 124$
$typ = humid$



$id = 2$
$typ = temp$

id	Standort	typ	...
69	Turm	humid	...
2282	Keller	temp	...
124	Turm	temp	...
2	Kessel	humid	...
⋮	⋮	⋮	⋱

(Viele) Sensoren senden (viele) Messwerte.

Sensoren!

Sensoren liefern Messwerte

id	Zeitstempel	Wert
2282	12:34:21.000	24.80
69	12:34:20.998	40.03
2282	12:34:22.010	24.30
2282	12:34:23.040	24.17
69	12:34:25.998	41.00
2282	12:34:24.000	24.01
124	12:34:24.000	40.88
⋮	⋮	⋮

Beachte die „falsche“ Reihenfolge der Daten (nicht nach Zeitstempel geordnet)

Sensoren!

Sensoren liefern Messwerte

id	Zeitstempel	Wert
2282	12:34:21.000	24.80
69	12:34:20.998	40.03
2282	12:34:22.010	24.30
2282	12:34:23.040	24.17
69	12:34:25.998	41.00
2282	12:34:24.000	24.01
124	12:34:24.000	40.88
⋮	⋮	⋮

Beachte die „falsche“ Reihenfolge der Daten (nicht nach Zeitstempel geordnet)

```
class Sensor{
  int id;
  String loc;
  int type; // 0 (temperature)
           // or 1 (humidity)
        ...
}

class Measurement{
  int id;
  int timestamp;
  double value;
}
```

Sensoren!

Aufgabe: wir wollen die ankommenden Temperaturen der Sensoren (sortiert nach Zeitstempel) mit Ort ausgeben.

Welche Datenstruktur verwenden wir für die *Tabelle der Sensoren*?

Sensoren!

Aufgabe: wir wollen die ankommenden Temperaturen der Sensoren (sortiert nach Zeitstempel) mit Ort ausgeben.

Welche Datenstruktur verwenden wir für die *Tabelle der Sensoren*?

`HashMap<Integer,Sensor>` (map: id $\to$ Sensor)

denn wir benötigen schnelles Nachschlagen nach sensor id.

Sensoren!

Welche Datenstruktur verwenden wir für die Tabelle der *Messdaten*?

`PriorityQueue<Measurement>`[7] mit folgender Vergleichsmethode

```
class Measurement implements Comparable<Measurement>{
  int timestamp;
  ...
  public int compareTo(Measurement other){
    return new Integer(timestamp).compareTo(other.timestamp);
  }
}
```

denn damit können wir die Messdaten schnell einfügen und nach Zeitdatum sortiert extrahieren

[7] oder `TreeSet<Measurement>`

Sensoren!

Welche Datenstruktur verwenden wir für die Speicherung der *Tabelle (Zeitstempel / Ort / Temperatur)* ?

[8] oder `LinkedList<Temperature>`

Sensoren!

Welche Datenstruktur verwenden wir für die Speicherung der *Tabelle (Zeitstempel / Ort / Temperatur)* ?

`ArrayList<Temperature>`[8] mit

```
class Temperature {
  Time time;
  String location;
  double value;
  ...
}
```

denn das ist ist die einfachste Datenstruktur, mit welcher wir die Daten einfach iterieren können.

[8] oder `LinkedList<Temperature>`