Algorithmen und Datenstrukturen

Vorlesung #03 – Einführung in Java Teil 3

Benjamin Blankertz

Lehrstuhl für Neurotechnologie, TU Berlin

benjamin.blankertz@tu-berlin.de

24 · Apr · 2019

Themen der heutigen Vorlesung

- Javadoc Kommentare
- *Design by Contract*
- Behandlung von Ausnahmen (*exceptions*)
- Assertionen (*assertions*)
- JUnit Tests
- Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`
- Vorrangwarteschlange (*priority queue*, Prioritätenschlange)
- indizierte Vorrangwarteschlange

Ein Kommentar zu Kommentaren

- Kommentare tragen nichts zum Ablauf eines Programmes bei.
- Sie sind dennoch extrem wichtig.
- Kommentieren sollte man möglichst direkt beim Programmieren.
- Nur beim Programmieren in der Vorlesung dürfen die Kommentare weggelassen werden :) bzw. werden mündlich gegeben.

Standardisierte Javadoc Kommentare

- Kommentare, die im **Javadoc** Format geschrieben werden, können automatisch in eine API im HTML Format übersetzt werden.
- Die Kommentare zur Beschreibung von Klassen und Methoden werden von `/**` und `*/` eingeklammert, also mit doppeltem Stern in der Eröffnung.

Standardisierte Javadoc Kommentare

- Kommentare, die im **Javadoc** Format geschrieben werden, können automatisch in eine API im HTML Format übersetzt werden.
- Die Kommentare zur Beschreibung von Klassen und Methoden werden von `/**` und `*/` eingeklammert, also mit doppeltem Stern in der Eröffnung.
- In diesen Doc Kommentaren können bestimmte Elemente durch Tags, die mit `@` beginnen gekennzeichnet werden, siehe Tabelle unten.
- Es können HTML Befehle wie `<em>`, `</em>`, `<i>`, `</i>` und `<p>` verwendet werden.
- Siehe `https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/tools/unix/javadoc.html`

Tag & Parameter	Usage
@code *literal*	Formatiert Text im Code Font
@author *name*	Name des Autors
@version *version*	Versionsnummer, höchstens eine pro Klasse/ Interface
@param *name description*	Beschreibt einen Parameter der Methode.
@return *description*	Beschreibt den Rückgabewert.
@link *reference*	Erzeugt einen Link auf eine Klasse, Interface oder Methode

Beispiel für Doc Kommentare

```
/**
 *  The {@code Stack} class represents a last-in-first-out (LIFO) stack of generic items.
 *  It supports the usual <em>push</em> and <em>pop</em> operations, along with methods
 *  for peeking at the top item, testing if the stack is empty, and iterating through
 *  the items in LIFO order.
 *  <p>
 *  This implementation uses a singly linked list with a static nested class for
 *  linked-list nodes. See {@link LinkedStack} for the version from the
 *  textbook that uses a non-static nested class.
 *  See {@link ResizingArrayStack} for a version that uses a resizing array.
 *  The <em>push</em>, <em>pop</em>, <em>peek</em>, <em>size</em>, and <em>is-empty</em>
 *  operations all take constant time in the worst case.
 *  <p>
 *  For additional documentation,
 *  see <a href="https://algs4.cs.princeton.edu/13stacks">Section 1.3</a> of
 *  <i>Algorithms, 4th Edition</i> by Robert Sedgewick and Kevin Wayne.
 *
 *  @author Robert Sedgewick
 *  @author Kevin Wayne
 *
 *  @param <Item> the generic type of an item in this stack
 */
public class Stack<Item> implements Iterable<Item> {
// ...
```

Beispiel für Doc Kommentare

```
// two exemplary methods of class Stack (taken from Sedgewick & Wayne as indicated below)
    /**
     * Adds the item to this stack.
     *
     * @param  item the item to add
     */
    public void push(Item item) {
        Node<Item> oldfirst = first;
        first = new Node<Item>();
        first.item = item;
        first.next = oldfirst;
        n++;
    }
    /**
     * Removes and returns the item most recently added to this stack.
     *
     * @return the item most recently added
     * @throws NoSuchElementException if this stack is empty
     */
    public Item pop() {
        if (isEmpty()) throw new NoSuchElementException("Stack underflow");
        Item item = first.item;        // save item to return
        first = first.next;            // delete first node
        n--;
        return item;                   // return the saved item
    }
```

API in HTML Code generiert mit Javadoc

Class Stack<Item>

Object
edu.princeton.cs.algs4.Stack<Item>

Type Parameters:

`Item` - the generic type of an item in this stack

All Implemented Interfaces:

Iterable<Item>

```
public class Stack<Item>
extends Object
implements Iterable<Item>
```

The `Stack` class represents a last-in-first-out (LIFO) stack of generic items. It supports the usual *push* and *pop* operations, along with methods for peeking at the top item, testing if the stack is empty, and iterating through the items in LIFO order.

This implementation uses a singly linked list with a static nested class for linked-list nodes. See `LinkedStack` for the version from the textbook that uses a non-static nested class. See `ResizingArrayStack` for a version that uses a resizing array. The *push*, *pop*, *peek*, *size*, and *is-empty* operations all take constant time in the worst case.

For additional documentation, see Section 1.3 of *Algorithms, 4th Edition* by Robert Sedgewick and Kevin Wayne.

Author:

Robert Sedgewick, Kevin Wayne

API in HTML Code generiert mit Javadoc

push

```
public void push(Item item)
```

Adds the item to this stack.

Parameters:

`item` - the item to add

pop

```
public Item pop()
```

Removes and returns the item most recently added to this stack.

Returns:

the item most recently added

Throws:

`NoSuchElementException` - if this stack is empty

Fehler- und Ausnahmebehandlung zur Laufzeit

Es gibt unterschiedliche Methoden, um Fehler und unerwartetes Verhalten zu vermeiden oder aussagekräftige Reaktionen zu veranlassen:

- APIs sind eine Methode eine Übereinkunft zwischen Personen, die ADT implementieren und denen, die sie nutzen.
- Schnittstellen and abstrakte Methoden erlauben es, Fehler beim Kompilieren aufzudecken.

Fehler- und Ausnahmebehandlung zur Laufzeit

Es gibt unterschiedliche Methoden, um Fehler und unerwartetes Verhalten zu vermeiden oder aussagekräftige Reaktionen zu veranlassen:

- APIs sind eine Methode eine Übereinkunft zwischen Personen, die ADT implementieren und denen, die sie nutzen.
- Schnittstellen and abstrakte Methoden erlauben es, Fehler beim Kompilieren aufzudecken.
- Viele Fehler lassen sich allerdings erst zur Laufzeit feststellen.
- Zur Überprüfung und zum Abfangen von Fehlern durch die Implementation selbst bietet Java das Konzept der **Ausnahmen** (*exceptions*).
- Darüber hinaus können mit **Assertionen** (*assertions*) frühzeitig Bedingungen abgefangen werden, die später zu Ausnahmen führen (würden).

Programmiermodel *Design-by-Contract*

Gemäß dem Programmiermodel *Design-by-Contract* (dt. Entwurf gemäß Vertrag) wird für jede Methode definiert:

- Vorbedingungen (*preconditions*): Bedingungen, die der Client beim Aufruf einhalten muss.
- Nachbedingungen (*postconditions*): Bedingungen, die die Implementation bezüglich der Rückgabe der Methode zusichert.
- Nebeneffekte (*side effects*): Zustandsänderungen, die die Methode verursachen kann.

Programmiermodel *Design-by-Contract*

Gemäß dem Programmiermodel *Design-by-Contract* (dt. Entwurf gemäß Vertrag) wird für jede Methode definiert:

- Vorbedingungen (*preconditions*): Bedingungen, die der Client beim Aufruf einhalten muss.
- Nachbedingungen (*postconditions*): Bedingungen, die die Implementation bezüglich der Rückgabe der Methode zusichert.
- Nebeneffekte (*side effects*): Zustandsänderungen, die die Methode verursachen kann.

Im Minimalfall kann der *Design by Contract* in der API definiert werden. Darüber hinaus sollten die Bedingungen über *exceptions* und *assertions* geprüft werden.

Der *Design by Contract* ergänzt Verfahren wie *unit testing* zur Fehlervermeidung.

Ausnahmenbehandlung

- In C zeigen Funktionen Fehler die, z.B. durch den Aufruf mit unzulässigen Parametern verursacht werden durch einen speziellen Rückgabewert an, z.B. `-1`, `0` oder `NULL`. Nachteile:
  - Damit liegt die Verantwortung, Fehler zu behandeln ganz in der Verantwortung der Programmierenden.
  - Der Programmcode wird durch (teilweise kaskadierte) `if`-Abfragen des Rückgabewertes schlechter lesbar.

Ausnahmenbehandlung

- In C zeigen Funktionen Fehler die, z.B. durch den Aufruf mit unzulässigen Parametern verursacht werden durch einen speziellen Rückgabewert an, z.B. `-1`, `0` oder `NULL`. Nachteile:
  - Damit liegt die Verantwortung, Fehler zu behandeln ganz in der Verantwortung der Programmierenden.
  - Der Programmcode wird durch (teilweise kaskadierte) `if`-Abfragen des Rückgabewertes schlechter lesbar.
- In Java können Methoden bei Ausnahmen und Fehler eine **`exception`** auslösen, bzw. 'werfen' (**`throw`**).
- Die aufrufende Methode kann Exceptions mit **`try`** ... **`catch`** Anweisungen abfangen und entsprechend reagieren, oder nach oben weiterleiten.
- Exceptions die nirgends abgefangen werden führen zu einem Programmabburch.

Ausnahmenbehandlung

- In C zeigen Funktionen Fehler die, z.B. durch den Aufruf mit unzulässigen Parametern verursacht werden durch einen speziellen Rückgabewert an, z.B. `-1`, `0` oder `NULL`. Nachteile:
  - Damit liegt die Verantwortung, Fehler zu behandeln ganz in der Verantwortung der Programmierenden.
  - Der Programmcode wird durch (teilweise kaskadierte) `if`-Abfragen des Rückgabewertes schlechter lesbar.
- In Java können Methoden bei Ausnahmen und Fehler eine **`exception`** auslösen, bzw. 'werfen' (**`throw`**).
- Die aufrufende Methode kann Exceptions mit **`try`** ... **`catch`** Anweisungen abfangen und entsprechend reagieren, oder nach oben weiterleiten.
- Exceptions die nirgends abgefangen werden führen zu einem Programmabburch.
- In den Java Bibliotheken gibt es verschiedene Exceptions. Bei `catch` gibt man als Argument an, welche Exception Art(en) abgefangen weden soll(en). Man kann auch eigene Exceptions definieren, die von der Klasse `Exception` aus `java.lang` abgeleitet werden müssen.

Beispiel: ohne Ausnahmenbehandlung

Das folgende Programm nimmt eine Eingabe in einem Dialogfenster entgegen und wandelt diese in eine `int` Zahl um.

```
public class readNumberNaiv
{
  public static void getInteger() {
    // Eingabedialog öffnen:
    String str = javax.swing.JOptionPane.showInputDialog("Zahl eingeben: ");
    int number = Integer.parseInt(str);
    System.out.println("Die Zahl " + number + " war lecker!");
  }

  public static void main(String[] args) {
    getInteger();
  }
}
```

Falls die Eingabe nicht in einen `int` umgewandelt werden kann, bricht die Methode `Integer.parseInt()` mit einer `NumberFormatException` ab.

Beispiel: Ausnahmenbehandlung

```
public class readNumber
{
  public static void getInteger()
  {
    int number = 0;
    String str = "";
    while (true) {
      try {           // Fehler im try-Block führen nicht zum Programmabbruch
                      // sondern zur Ausführung des catch-Blocks
        str = javax.swing.JOptionPane.showInputDialog("Zahl eingeben: ");
        number = Integer.parseInt(str);
        break;                              // while Schleife verlassen
      } catch (NumberFormatException e) {   // Fehlerbehandlung
        System.err.println("'" + str + "' schmeckt mir nicht.");
      }
    }
    System.out.println("Die Zahl " + number + " war lecker!");
  }

  public static void main(String[] args) { ... }   // wie zuvor
}
```

Beispiel: selbst eine Ausnahme werfen

```
public static void getInteger(int low, int high)  // Zahl zwischen low und high
{
  int number = 0;
  String str = "";
  while (true) {
    try {
      String msg = "Zahl eingeben (" + low + "-" + high + "): ";
      str = javax.swing.JOptionPane.showInputDialog(msg);
      number = Integer.parseInt(str);
      System.out.println("n = " + number);
      break;
    } catch (NumberFormatException e) {
      System.err.println("'" + str + "' schmeckt mir nicht.");
    }
  }
  if (number < low || number > high) {  // Exception auslösen
    throw new InputMismatchException("Zahl nicht im angegebenen Intervall!");
  }
  System.out.println("Die Zahl " + number + " war lecker!");
}
```

Mehr Details zu Ausnahmen gibt es unter dem unten angebenen Link.

Assertionen

- Mit einer **Assertion** kann angezeigt werden, dass an der entsprechenden Stelle im Programmcode die angegebene Bedingung erfüllt sein muss.
- Als Anwendung einer Assertion soll die Methode `moveTo()` der `Token` Klasse sicherstellen, dass die Zielposition innerhalb des Spielfeldes liegt.

Assertionen

- Mit einer **Assertion** kann angezeigt werden, dass an der entsprechenden Stelle im Programmcode die angegebene Bedingung erfüllt sein muss.
- Als Anwendung einer Assertion soll die Methode `moveTo()` der `Token` Klasse sicherstellen, dass die Zielposition innerhalb des Spielfeldes liegt.
- Bisher kennt die `Token` Klasse allerdings die Größe des Spielfeldes gar nicht.
- Daher führen wir noch eine `Board` Klasse ein.
- Das Spielbrett (`Board`) enthält einen Stapel von Spielsteinen (`Token`) als Attribut.
- Jeder `Token` hat das `Board` als Attribut.
- So hat jeder Spielstein Information über die Brettgröße und `moveTo()` kann sicherstellen, dass der Stein nicht vom Brett gezogen wird.

Assertionen Beispiel (Vorbereitung)

```
public class Board
{
  public int sizeX, sizeY;      // wir machen es uns einfach: public!
  private Stack<Token> tokens;  // die Spielsteine auf dem Brett

  Board(int sizeX, int sizeY) {
    this.sizeX = sizeX;
    this.sizeY = sizeY;
    tokens = new Stack<>();
  }

  protected void addToken(Token token) {
    tokens.push(token);
  }

  public String toString() {
    return "Board of size " + sizeX + "x" + sizeY;
  }
}
```

Assertionen Beispiel

```
public class Token {
  private Board board;
  private int xPos, yPos;

  Token(Board board, int x, int y)
  {
    this.board= board;
    xPos = x;
    yPos = y;
  }

  protected void moveTo(int x, int y)
  {
    assert x >= 0 && x < board.sizeX : "x-Wert außerhalb des Spielbrettes";
    assert y >= 0 && y < board.sizeY : "y-Wert außerhalb des Spielbrettes";
    xPos= x;
    yPos= y;
  }
}
```

Assertionen Beispiel Ausführen

Um das Beispiel ausführen zu können, benötigen wir eine `main()` Methode in der `Board` Klasse:

```
public static void main(String[] args)     // Methode in der Klasse Board
{
  Board board = new Board(5, 7);           // Spielbrett der Größe 5x7 erzeugen
  Token token1 = new Token(board, 0, 0);   // Ein Spielstein erzeugen
  board.addToken(token1);                  //   und hinzufügen
  token1.moveTo(8, 8);                     // Auf verbotene Position setzen
  System.out.println("Token 1: " + token1);
}
```

Assertionen Beispiel Ausführen

Um das Beispiel ausführen zu können, benötigen wir eine `main()` Methode in der `Board` Klasse:

```
  public static void main(String[] args)     // Methode in der Klasse Board
  {
    Board board = new Board(5, 7);           // Spielbrett der Größe 5x7 erzeugen
    Token token1 = new Token(board, 0, 0);   // Ein Spielstein erzeugen
    board.addToken(token1);                  //   und hinzufügen
    token1.moveTo(8, 8);                     // Auf verbotene Position setzen
    System.out.println("Token 1: " + token1);
  }
```

In der Grundeinstellung sind Assertionen bei der Ausführung ausgeschaltet. Mit der Option `-ea` bzw. `-enableassertions` werden sie in der JVM eingeschaltet. In IDEA gibt man dies bei *VM Options* unter *Run* | *Edit Configurations ...* an.

```
> javac Board.java
> java -ea Board
Exception in thread "main" java.lang.AssertionError: x-Wert außerhalb des ...
        at Token.moveTo(Token.java:18)
        at Board.main(Board.java:28)
```

Bemerkungen zu Assertionen

- Assertationen sind dazu geeignet, wichtige Aspekte des *Design-by-Contract* umzusetzen (siehe Seite 8).
- So lassen sich Vor- und Nachbedingungen sicherstellen.

Bemerkungen zu Assertionen

- Assertationen sind dazu geeignet, wichtige Aspekte des *Design-by-Contract* umzusetzen (siehe Seite 8).
- So lassen sich Vor- und Nachbedingungen sicherstellen.
- Darüber hinaus können eigene Annahmen über den Zustand in einer bestimmen Codezeile geprüft werden:

```
if (i % 3 == 0) {
  // ...
} else if (i % 3 == 1) {
  // ...
} else {
  assert i % 3 == 2 : i;
  // ...
}
```

In diesem Beispiel scheint die `assert` Bedingung sicher erfüllt zu sein

Bemerkungen zu Assertionen

- Assertationen sind dazu geeignet, wichtige Aspekte des *Design-by-Contract* umzusetzen (siehe Seite 8).
- So lassen sich Vor- und Nachbedingungen sicherstellen.
- Darüber hinaus können eigene Annahmen über den Zustand in einer bestimmen Codezeile geprüft werden:

```
if (i % 3 == 0) {
  // ...
} else if (i % 3 == 1) {
  // ...
} else {
  assert i % 3 == 2 : i;
  // ...
}
```

In diesem Beispiel scheint die `assert` Bedingung sicher erfüllt zu sein (stimmt aber für `i<0` nicht).

Bemerkungen zu Assertionen

- Assertationen sind dazu geeignet, wichtige Aspekte des *Design-by-Contract* umzusetzen (siehe Seite 8).
- So lassen sich Vor- und Nachbedingungen sicherstellen.
- Darüber hinaus können eigene Annahmen über den Zustand in einer bestimmen Codezeile geprüft werden:

```
if (i % 3 == 0) {
  // ...
} else if (i % 3 == 1) {
  // ...
} else {
  assert i % 3 == 2 : i;
  // ...
}
```

In diesem Beispiel scheint die `assert` Bedingung sicher erfüllt zu sein (stimmt aber für `i<0` nicht). Besonders bei komplexeren Fällen kann ein `assert` hilfreich sein. Der Code im letzten `else`-Block könnte bei Änderungen in den oberen `if`-Bedingungen ungültig werden.

Weitere Informationen, auch darüber wozu Assertionen nicht benutzt werden sollen, stehen auf der unten angegebenen Internetseite.

Modultests und testgetriebene Entwicklung

- **Modultests** (*unit tests*) sind ein wichtiges Werkzeug der Softwareentwicklung.
- Sie werden benutzt, um einzelne Komponenten auf korrekte Funktionalität zu prüfen.
- Besonders wichtig sind sie in größeren Projekten, um sicherzustellen, dass korrekt implementierte Module auch bei Weiterentwicklungen und Überarbeitungen korrekt bleiben.

Modultests und testgetriebene Entwicklung

- **Modultests** (*unit tests*) sind ein wichtiges Werkzeug der Softwareentwicklung.
- Sie werden benutzt, um einzelne Komponenten auf korrekte Funktionalität zu prüfen.
- Besonders wichtig sind sie in größeren Projekten, um sicherzustellen, dass korrekt implementierte Module auch bei Weiterentwicklungen und Überarbeitungen korrekt bleiben.
- Die nächste Teststufe auf hörerer Ebene heißt *Integrationstest* und wird hier nicht behandelt.
- Bei der **testgetriebenen Entwicklung** (*test-driven development*) werden die Tests zuerst geschrieben, als vor der zu testenden Methode.
- Dadurch wird der Anforderungsrahmen an die Implementation gesteckt.
- Dann werden die Tests bei der Entwicklung automatisiert ausgeführt.

JUnit Tests

- Die Erfahrung aus der Softwareentwicklung zeigt: Mit automatisch ausgeführten Test sinken die Fehlerraten deutlich und der Entwicklungsprozess ist schneller.
- Der Qualitätssicherung durch Tests kann natürlich nur so gut sein, wie die Tests. Diese sind also mit Bedacht zu entwerfen.

JUnit Tests

- Die Erfahrung aus der Softwareentwicklung zeigt: Mit automatisch ausgeführten Test sinken die Fehlerraten deutlich und der Entwicklungsprozess ist schneller.
- Der Qualitätssicherung durch Tests kann natürlich nur so gut sein, wie die Tests. Diese sind also mit Bedacht zu entwerfen.
- Für Java sind **JUnit Tests** als Framework für Modultests verbreitet.
- IDEs unterstützen die Entwicklung von Modultests.
- Sie können auch im Code anzeigen, welche Teile von Tests abgedeckt sind (*coverage*).
- Live Demo: JUnit Tests

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- Neben `Iterable` und `Iterator` gibt es ein weiteres Paar wichtiger Schnittstellen: **`Comparable`** und **`Comparator`**
- Diese sind allerdings kein zusammengehöriges Paar, sondern zwei Varianten für unterschiedliche Fälle.

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- Neben `Iterable` und `Iterator` gibt es ein weiteres Paar wichtiger Schnittstellen: **`Comparable`** und **`Comparator`**
- Diese sind allerdings kein zusammengehöriges Paar, sondern zwei Varianten für unterschiedliche Fälle.
- Klassen sollten eine dieser Schnittstellen implementieren, wenn Methoden benutzt werden sollen, die auf einer Ordnung basieren, z.B. Sortieren.
- Die Schnittstelle `Comparable` befindet sich in dem Paket `java.lang` und `Comparator` in `java.util`.

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

Die Schnittstelle Comparable

public interface Comparable<T>

`int`	`compareTo(T o)`	vergleicht dieses Objekt mit Objekt `o` bezüglich einer Ordnung

- Die Schnittstelle `Comparable` sollte implementiert werden, wenn es nur eine sinnvolle Ordnung auf den Objekten der Klasse gibt (genannt 'natürliche Ordnung').

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

Die Schnittstelle Comparable

public interface Comparable<T>

`int`	`compareTo(T o)`	vergleicht dieses Objekt mit Objekt o bezüglich einer Ordnung

- Die Schnittstelle `Comparable` sollte implementiert werden, wenn es nur eine sinnvolle Ordnung auf den Objekten der Klasse gibt (genannt 'natürliche Ordnung').

Die Schnittstelle Comparator

public interface Comparator<T>

`int`	`compare(T o1, T o2)`	vergleicht die gegeben Objekte bezüglich einer Ordnung
	`...`	weitere Methoden, Implementation optional

- Wenn es alternative Möglichkeiten gibt, kann die Klasse mehrere Ordnungen über die `Comparator` Schnittstelle definieren.
- So kann z.B. eine Sortierfunktion mit unterschiedlichen Ordnungen aufgerufen werden.

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- In beiden Varianten sollen `v.compareTo(w)` bzw. `compare(v, w)` Werte `-1`, `0`, oder `1` zurückliefern, und zwar
  - `-1` für v<w
  - `0` für v=w und
  - `1` für v>w.
- wobei die rechte Seite eine sinnvolle Ordnung für die Elemente der Klassen darstellt.

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- In beiden Varianten sollen `v.compareTo(w)` bzw. `compare(v, w)` Werte `-1`, `0`, oder `1` zurückliefern, und zwar
  - `-1` für v<w
  - `0` für v=w und
  - `1` für v>w.
- wobei die rechte Seite eine sinnvolle Ordnung für die Elemente der Klassen darstellt.

Damit diese Relation eine sinnvolle Ordnung induziert, muss Folgendes erfüllt sein:

- Sie muss für alle Paare von Objekten definiert sein (total)

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- In beiden Varianten sollen `v.compareTo(w)` bzw. `compare(v, w)` Werte `-1`, `0`, oder `1` zurückliefern, und zwar
  - `-1` für v<w
  - `0` für v=w und
  - `1` für v>w.
- wobei die rechte Seite eine sinnvolle Ordnung für die Elemente der Klassen darstellt.

Damit diese Relation eine sinnvolle Ordnung induziert, muss Folgendes erfüllt sein:

- Sie muss für alle Paare von Objekten definiert sein (total)
- Für alle v gilt v=v, d.h. `v.compareTo(v)==0` (reflexiv)

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- In beiden Varianten sollen `v.compareTo(w)` bzw. `compare(v, w)` Werte `-1`, `0`, oder `1` zurückliefern, und zwar
  - `-1` für v<w
  - `0` für v=w und
  - `1` für v>w.
- wobei die rechte Seite eine sinnvolle Ordnung für die Elemente der Klassen darstellt.

Damit diese Relation eine sinnvolle Ordnung induziert, muss Folgendes erfüllt sein:

- Sie muss für alle Paare von Objekten definiert sein (total)
- Für alle v gilt v=v, d.h. `v.compareTo(v)==0` (reflexiv)
- Wenn v<w ist, dann auch w>v; wenn v=w dann auch w=v (anti/symmetrisch)

Die Schnittstellen `Comparable` und `Comparator`

- In beiden Varianten sollen `v.compareTo(w)` bzw. `compare(v, w)` Werte `-1`, `0`, oder `1` zurückliefern, und zwar
  - `-1` für v<w
  - `0` für v=w und
  - `1` für v>w.
- wobei die rechte Seite eine sinnvolle Ordnung für die Elemente der Klassen darstellt.

Damit diese Relation eine sinnvolle Ordnung induziert, muss Folgendes erfüllt sein:

- Sie muss für alle Paare von Objekten definiert sein (total)
- Für alle v gilt v=v, d.h. `v.compareTo(v)==0` (reflexiv)
- Wenn v<w ist, dann auch w>v; wenn v=w dann auch w=v (anti/symmetrisch)
- Aus u<v und v<w folgt u<w (transitiv)

Implementationsbeispiel Comparator 1/3

```java
import java.util.ArrayList;

public class Person {
  protected String name;
  protected int age;
  protected double height;

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

  public String toString() {
    return "(" + name + ", " + age + "y, " + height + "cm)";
  }

  // main() Methode folgt
}
```

Implementationsbeispiel Comparator 2/3

```
import java.util.Comparator;
// Die Comparator könnten auch als anonyme Klassen im Aufruf implementiert werden.
// siehe Beispiele im git in Material/Code/Lecture03

public class SortByAge implements Comparator<Person> {
  public int compare(Person person1, Person person2) {
    return Integer.compare(person1.age, person2.age);
  }
}

public class SortByName implements Comparator<Person> {
  public int compare(Person person1, Person person2) {
    return person1.name.compareTo(person2.name);
  }
}

public class SortByHeight implements Comparator<Person> {
  public int compare(Person person1, Person person2) {
    return Double.compare(person1.height, person2.height);
  }
}
```

Implementationsbeispiel Comparator 3/3

```
// main() Methode der Klasse 'Person'

  public static void main(String[] args) {
    ArrayList<Person> personen = new ArrayList<>();
    personen.add(new Person("Peter", 80, 175.8));
    personen.add(new Person("Paul",  81, 178.7));
    personen.add(new Person("Mary",  82, 177.2));

    personen.sort(new SortByAge());
    System.out.println("Sorted by Age:\n" + personen);

    personen.sort(new SortByName());
    System.out.println("Sorted by Name:\n" + personen);

    personen.sort(new SortByHeight());
    System.out.println("Sorted by Height:\n" + personen);

    personen.sort(new SortByHeight().reversed());
    System.out.println("Descending by Height:\n" + personen);
  }
```

Implementationsbeispiel Comparable

```
public class Person implements Comparable<Person> {
    protected String name;
    protected int age;

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

    public String toString()           { return "(" + name + ", " + age + "y)"; }
    public int compareTo(Person other) { return Integer.compare(this.age, other.age); }

    public static void main(String[] args) {
        ArrayList<Person> personen = new ArrayList<>();
        personen.add(new Person("Mary", 82));
        personen.add(new Person("Peter",80));
        personen.add(new Person("Paul", 81));

        personen.sort(null);                              // null: nutze compareTo()
        System.out.println("Sorted by Age:\n" + personen);

        Collections.sort(personen);                       // Alternative
        System.out.println("Sorted by Age:\n" + personen);

        Collections.sort(personen, Collections.reverseOrder());
        System.out.println("Descending by Age:\n" + personen);
    }
}
```

Vorrangwarteschlange

- Wir besprechen im Folgenden die Datenstruktur Vorrangwarteschlange (*priority queue*, Prioritätenschlange).
- Sie wurde in dem vorigen Kurs *IntroProg* eingeführt, insbesondere die binären Halden (*binary heaps*), auf denen eine effiziente Implementation basiert.

Vorrangwarteschlange

- Wir besprechen im Folgenden die Datenstruktur Vorrangwarteschlange (*priority queue*, Prioritätenschlange).
- Sie wurde in dem vorigen Kurs *IntroProg* eingeführt, insbesondere die binären Halden (*binary heaps*), auf denen eine effiziente Implementation basiert.
- Wie bei einer Warteschlange, können Werte elementweise der Vorrangwarteschlange zugefügt werden.
- Der Abruf erfolgt allerdings nicht chronologisch, sondern nach einer gegebenen Ordnung.
- So kann z.B. immer das 'größte Element' abgerufen und entfernt werden.
- Das Kriterium der Abrufreihenfolge (die Priorität) wird über einen `Comparator` bzw. ein `Comparable` realisiert.

Vorrangwarteschlange

- Diese Datenstruktur wird in späteren Algorithmen (insbesondere Graphalgorithmen) benötigt.
- Die Vorrangwarteschlange bietet auch andere effiziente Einsatzmöglichkeiten.

Vorrangwarteschlange

- Diese Datenstruktur wird in späteren Algorithmen (insbesondere Graphalgorithmen) benötigt.
- Die Vorrangwarteschlange bietet auch andere effiziente Einsatzmöglichkeiten.
- Sie bieten z.B. eine gute Möglichkeit für folgende Aufgabe:
  - Von einem sehr großen Eingabestrom sollen die Werte mit den M größten Schlüsseln herausgesucht werden.
  - **Möglichkeit 1:** Unsortierte Liste mit den Werten der aktuell M größten Schlüsseln speichern und neue Elemente mit all diesen Werten vergleichen: uneffizient.

Vorrangwarteschlange

- Diese Datenstruktur wird in späteren Algorithmen (insbesondere Graphalgorithmen) benötigt.
- Die Vorrangwarteschlange bietet auch andere effiziente Einsatzmöglichkeiten.
- Sie bieten z.B. eine gute Möglichkeit für folgende Aufgabe:
  - Von einem sehr großen Eingabestrom sollen die Werte mit den M größten Schlüsseln herausgesucht werden.
  - **Möglichkeit 1:** Unsortierte Liste mit den Werten der aktuell M größten Schlüsseln speichern und neue Elemente mit all diesen Werten vergleichen: uneffizient.
  - **Möglichkeit 2:** Mit einer sortierten Liste geht es schneller, bedeutet aber größeren Aufwand, um sie sortiert zu halten.

Vorrangwarteschlange

- Diese Datenstruktur wird in späteren Algorithmen (insbesondere Graphalgorithmen) benötigt.
- Die Vorrangwarteschlange bietet auch andere effiziente Einsatzmöglichkeiten.
- Sie bieten z.B. eine gute Möglichkeit für folgende Aufgabe:
  - Von einem sehr großen Eingabestrom sollen die Werte mit den M größten Schlüsseln herausgesucht werden.
  - **Möglichkeit 1:** Unsortierte Liste mit den Werten der aktuell M größten Schlüsseln speichern und neue Elemente mit all diesen Werten vergleichen: uneffizient.
  - **Möglichkeit 2:** Mit einer sortierten Liste geht es schneller, bedeutet aber größeren Aufwand, um sie sortiert zu halten.
  - **Möglichkeit 3:** Implementation durch eine Vorrangwarteschlange mit geeigneter Halde erlaubt einen Mittelweg mit einer teilweisen Sortierung, die die benötigte Funktionalität bei großer Effizienz gewährleistet.

API für eine Vorrangwarteschlange

API für eine Vorrangwarteschlange

public class MaxPQ<K extends Comparable<K>>

	`public MaxPQ(int capacity)`	Erzeugt Vorrangwarteschlange mit Kapazität `capacity`.
void	`add(K item)`	Fügt ein Element hinzu.
K	`poll()`	Entfernt den größten Schlüssel und gibt ihn zurück.
boolean	`isEmpty()`	Prüft, ob die Warteschlange leer ist.
int	`size()`	Gibt Anzahl der Elemente zurück.

API für eine Vorrangwarteschlange

API für eine Vorrangwarteschlange

public class MaxPQ<K extends Comparable<K>>

	`public MaxPQ(int capacity)`	Erzeugt Vorrangwarteschlange mit Kapazität `capacity`.
void	`add(K item)`	Fügt ein Element hinzu.
`K`	`poll()`	Entfernt den größten Schlüssel und gibt ihn zurück.
boolean	`isEmpty()`	Prüft, ob die Warteschlange leer ist.
int	`size()`	Gibt Anzahl der Elemente zurück.

- Ebenso kann eine `MinPQ` Vorrangwarteschlange definiert werden, bei der `poll()` den kleinsten Schlüssel entfernt und zurückgibt.
- Wir implementieren eine allgemeine `PriorityQueue`, bei der man im Konstruktor angibt, ob eine aufsteigend oder absteigene Ordnung realisiert werden soll (Argument `int sign` mit `-1` für `MinPQ` und `1` für `MaxPQ`).

Eine Vorrangwarteschlange implementieren

- Eine Vorrangwarteschlange könnte als einfache Warteschlange implementiert werden, wobei dann die Methode `poll()` den minimalen Schlüssel in der unsortierten Schlange suchen müsste. Dies hätte eine Laufzeit von $\boldsymbol{O}(N)$.

Eine Vorrangwarteschlange implementieren

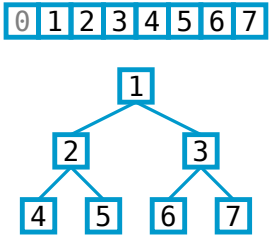
- Eine Vorrangwarteschlange könnte als einfache Warteschlange implementiert werden, wobei dann die Methode `poll()` den minimalen Schlüssel in der unsortierten Schlange suchen müsste. Dies hätte eine Laufzeit von $\boldsymbol{O}(N)$.
- Wenn man ein geordnetes Feld benutzt, könnte das größte oder kleinste Element zwar in $\boldsymbol{O}(1)$ gefunden werden, aber das Einfügen eines neuen Elementes hätte eine *worst case* Laufzeit von $\boldsymbol{O}(N)$.

Eine Vorrangwarteschlange implementieren

- Eine Vorrangwarteschlange könnte als einfache Warteschlange implementiert werden, wobei dann die Methode `poll()` den minimalen Schlüssel in der unsortierten Schlange suchen müsste. Dies hätte eine Laufzeit von $\boldsymbol{O}(N)$.
- Wenn man ein geordnetes Feld benutzt, könnte das größte oder kleinste Element zwar in $\boldsymbol{O}(1)$ gefunden werden, aber das Einfügen eines neuen Elementes hätte eine *worst case* Laufzeit von $\boldsymbol{O}(N)$.
- Mit einem binären Heap kann eine Vorrangwarteschlange mit einer Laufzeit von $\boldsymbol{O}(\log N)$ für `poll()` und `add()` realisiert werden.

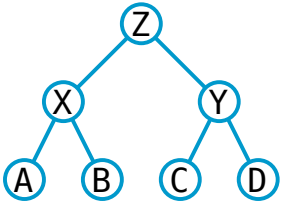
Binärer Heap

- Ein binärer Heap (Halde) ist ein Feld A, das als vollständiger (linksvoller) Binärbaum interpretiert wird und für den eine Ordnungsbedingung gilt.
- Die Wurzel ist `A[1]`. (Index `0` wird nicht benutzt.)
- Für Knoten k ist $\lfloor k/2 \rfloor$ der übergeordnete Knoten und $2k$ und $2k+1$ die beiden untergeordneten Knoten.



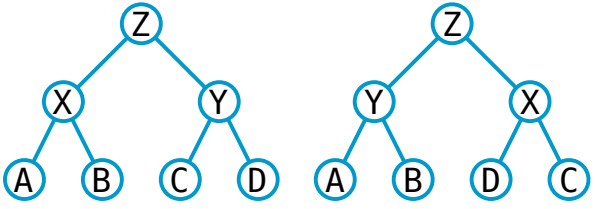
Binärer Heap

- Ein binärer Heap (Halde) ist ein Feld `A`, das als vollständiger (linksvoller) Binärbaum interpretiert wird und für den eine Ordnungsbedingung gilt.
- Die Wurzel ist `A[1]`. (Index `0` wird nicht benutzt.)
- Für Knoten k ist $\lfloor k/2 \rfloor$ der übergeordnete Knoten und $2k$ und $2k+1$ die beiden untergeordneten Knoten.
- Die Heap Ordnung besagt, dass jeder Schlüssel größer (bzw. kleiner für `MinPQ`) ist als die Schlüssel an den beiden untergeordneten Knoten.



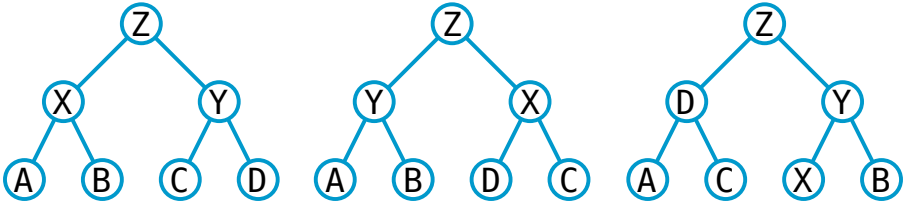
Binärer Heap

- Ein binärer Heap (Halde) ist ein Feld `A`, das als vollständiger (linksvoller) Binärbaum interpretiert wird und für den eine Ordnungsbedingung gilt.
- Die Wurzel ist `A[1]`. (Index `0` wird nicht benutzt.)
- Für Knoten k ist $\lfloor k/2 \rfloor$ der übergeordnete Knoten und $2k$ und $2k+1$ die beiden untergeordneten Knoten.
- Die Heap Ordnung besagt, dass jeder Schlüssel größer (bzw. kleiner für `MinPQ`) ist als die Schlüssel an den beiden untergeordneten Knoten.
- Dadurch sind die Positionen der Schlüssel nicht vollständig festgelegt.



Binärer Heap

- Ein binärer Heap (Halde) ist ein Feld `A`, das als vollständiger (linksvoller) Binärbaum interpretiert wird und für den eine Ordnungsbedingung gilt.
- Die Wurzel ist `A[1]`. (Index `0` wird nicht benutzt.)
- Für Knoten k ist $\lfloor k/2 \rfloor$ der übergeordnete Knoten und $2k$ und $2k+1$ die beiden untergeordneten Knoten.
- Die Heap Ordnung besagt, dass jeder Schlüssel größer (bzw. kleiner für `MinPQ`) ist als die Schlüssel an den beiden untergeordneten Knoten.
- Dadurch sind die Positionen der Schlüssel nicht vollständig festgelegt.



Aufrechterhaltung der Heap-Ordnung (hier für MaxPQ)

- Ist *ein* Schlüssel im Heap am falschen Platz, z.B. durch Einfügen oder Ändern, so kann die Heap Ordnung durch die beiden folgenden Operationen wiederhergestellt werden.

Aufrechterhaltung der Heap-Ordnung (hier für MaxPQ)

- Ist *ein* Schlüssel im Heap am falschen Platz, z.B. durch Einfügen oder Ändern, so kann die Heap Ordnung durch die beiden folgenden Operationen wiederhergestellt werden.
- **`swim()`**: Ist der Schlüssel größer als der Schlüssel des übergeordneten Knoten, wird er solange nach oben getauscht, bis er an der richtigen Stelle ist (“nach oben schwimmen”).

Aufrechterhaltung der Heap-Ordnung (hier für MaxPQ)

- Ist *ein* Schlüssel im Heap am falschen Platz, z.B. durch Einfügen oder Ändern, so kann die Heap Ordnung durch die beiden folgenden Operationen wiederhergestellt werden.
- **`swim()`**: Ist der Schlüssel größer als der Schlüssel des übergeordneten Knoten, wird er solange nach oben getauscht, bis er an der richtigen Stelle ist (“nach oben schwimmen”).
- **`sink()`**: Ist der Schlüssel kleiner als ein (oder beide) Schlüssel der untergeordneten Knoten, so wird er mit dem größeren jener beiden vertauscht - iterativ bis er richtig platziert ist (“nach unten absinken”).

Aufrechterhaltung der Heap-Ordnung (hier für MaxPQ)

- Ist *ein* Schlüssel im Heap am falschen Platz, z.B. durch Einfügen oder Ändern, so kann die Heap Ordnung durch die beiden folgenden Operationen wiederhergestellt werden.
- **`swim()`**: Ist der Schlüssel größer als der Schlüssel des übergeordneten Knoten, wird er solange nach oben getauscht, bis er an der richtigen Stelle ist ("nach oben schwimmen").
- **`sink()`**: Ist der Schlüssel kleiner als ein (oder beide) Schlüssel der untergeordneten Knoten, so wird er mit dem größeren jener beiden vertauscht - iterativ bis er richtig platziert ist ("nach unten absinken").
- Mit diesen beiden Verfahren kann die Heap Ordnung wiederhergestellt werden, siehe Vorlesung *IntroProg* oder Referenz unten.

Implementation mit Binärem Heap und Laufzeitbetrachtung

- Zum Einfügen eines Elementes fügt man es am Ende des Heaps hinzu und lässt es nach oben schwimmen (Methode `swim()`).

Implementation mit Binärem Heap und Laufzeitbetrachtung

- Zum Einfügen eines Elementes fügt man es am Ende des Heaps hinzu und lässt es nach oben schwimmen (Methode `swim()`).
- Das größte Element befindet sich immer an der Wurzel des Heaps (keine Suche notwendig).
- Um es zu Entfernen, holt man das letzte Element des Heaps an die Wurzel und lässt es absinken (Methode `sink()`).

Implementation mit Binärem Heap und Laufzeitbetrachtung

- Zum Einfügen eines Elementes fügt man es am Ende des Heaps hinzu und lässt es nach oben schwimmen (Methode `swim()`).
- Das größte Element befindet sich immer an der Wurzel des Heaps (keine Suche notwendig).
- Um es zu Entfernen, holt man das letzte Element des Heaps an die Wurzel und lässt es absinken (Methode `sink()`).
- Die Laufzeit $\boldsymbol{O}(\log N)$ ergibt sich aus der Beobachtung, dass bei `swim()` und `sink()` die Anzahl der Iterationen durch die Höhe des Binärbaums begrenzt ist. Die Höhe eines Binärbaums mit N Elementen ist $\log(N)$.

Implementation einer Vorrangwarteschlange

```
public class PriorityQueue<E extends Comparable<E>>
{
  private E[] pq;
  private int N;
  private int sign;        // +1 MaxPQ, -1 MinPQ

  public PriorityQueue(int capacity, int sign)
  {
    pq = (E[]) new Comparable[capacity+1];
    this.sign = sign;
  }
  public PriorityQueue(int capacity)
  {
    this(capacity, 1);     // Default ist MaxPQ
  }

  public int size()        { return N; }
  public boolean isEmpty() { return N == 0; }
```

Implementation einer Vorrangwarteschlange (2)

```
public void add(E e)
{
  pq[++N] = e;
  swim(N);
}

public E poll()
{
  E head = pq[1];
  swap(1, N);
  pq[N--] = null;
  sink(1);
  return head;
}

private boolean order(int i, int j) {    // '>=' für MaxPQ und '<=' für MinPQ
  return sign * pq[i].compareTo(pq[j]) >= 0;
}
```

Implementation einer Vorrangwarteschlange (3)

```
private void swap(int i, int j) {
  E e = pq[i];  pq[i] = pq[j];  pq[j] = e;
}

private void swim(int k) {
  while (k > 1 && !order(k/2, k)) {
    swap(k/2, k);
    k = k/2;
  }
}

private void sink(int k) {
  while (2*k <= N) {
    int j = 2*k;
    if (j < N && !order(j, j+1))
      j++;
    if (order(k, j)) break;
    swap(k, j);
    k = j;
  }
}
```

Anwendung einer Vorrangwarteschlangen

Das folgende Client Programm extrahiert aus dem Eingabefeld `testArray` die $M = 4$ größten Zahlen unter Benutzung einer `MinPQ`:

```
public static void main(String[] args)
{
  int[] testArray = {4, 2, -17, 5, 23, 45, 0, 34, -7, 2, 0, 34};
  int M = 4;

  PriorityQueue<Integer> pq = new PriorityQueue<>(M+1, -1);
  for (int k : testArray) {
    pq.add(k);
    if (pq.size() > M)
      pq.poll();
  }
  // Ausgabe der extrahierten Zahlen:
  while (pq.size() > 0) {
    int k = pq.poll();
    System.out.println("Element: " + k);
  }
}
```

Laufzeit der **PriorityQueue** aus den *Java Collections*

Bei der `PriorityQueue` ist zu beachten, dass ein Ändern der Priorität durch Entfernen (`remove(Object o)`) und wieder Einfügen (`add(E e)`) realisiert werden muss, was in einer linearen Laufzeit resultiert. Im Folgenden wird die `IndexPriorityQueue` eingeführt, die dies in logarithmischer Zeit erlaubt, sofern Indizes für die Elemente verfügbar sind.

PriorityQueue (*worst case*)	
`add(E e)`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`contains(Object o)`	$\boldsymbol{O}(N)$
`peek()`	$\boldsymbol{O}(1)$
`poll()`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`remove()`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`remove(Object o)`	$\boldsymbol{O}(N)$

Index-basierte Vorrangwarteschlangen

- Vorrangwarteschlangen haben den Nachteil, dass das Löschen eines Schlüssels nicht effizient realisiert werden kann: $\boldsymbol{O}(N)$.
- Außerdem haben die Schlüssel in vielen Anwendungen einen Index und es ist praktisch, auch über den Index auf die Schlüssel zugreifen zu können zusätzlich zu der Möglichkeit mit `poll()`, z.B. auch um einen Schlüssel zu verändern.

Index-basierte Vorrangwarteschlangen

- Vorrangwarteschlangen haben den Nachteil, dass das Löschen eines Schlüssels nicht effizient realisiert werden kann: $\boldsymbol{O}(N)$.
- Außerdem haben die Schlüssel in vielen Anwendungen einen Index und es ist praktisch, auch über den Index auf die Schlüssel zugreifen zu können zusätzlich zu der Möglichkeit mit `poll()`, z.B. auch um einen Schlüssel zu verändern.
- Diese Möglichkeit bieten **Indizierte Vorrangwarteschlangen**.
- Über den Index können dann Elemente in $\boldsymbol{O}(\log N)$ gelöscht werden.

API für indizierte Vorrangwarteschlangen

API für eine indizierte Vorrangwarteschlange

public class IndexMaxPQ<K extends Comparable<K>>

	`public IndexMaxPQ(int c)`	Erzeugt indizierte Vorrangwarteschlange mit Kapazität `c`.
void	`add(int i, K key)`	Fügt Schlüssel `key` mit Index `i` hinzu.
void	`change(int i, K key)`	Ändert den Schlüssel mit Index `i` in `key`.
void	`remove(int i)`	Löscht den Eintrag mit Index `i`.
int	`poll()`	Entfernt den Schlüssel vom Kopf und liefert seinen Index.
K	`peek()`	Liefert den Schlüssel vom Kopf der Schlange.
K	`peekIndex()`	Liefert den Index des Schlüssels vom Kopf der Schlange.
K	`keyOf(int i)`	Gibt den Schlüssel zu Index `i` zurück.
boolean	`contains(int i)`	Gibt es einen Schlüssel mit Index `i`?
boolean	`isEmpty()`	Prüft, ob die Warteschlange leer ist.
int	`size()`	Gibt Anzahl der Elemente zurück.

API für indizierte Vorrangwarteschlangen

API für eine indizierte Vorrangwarteschlange

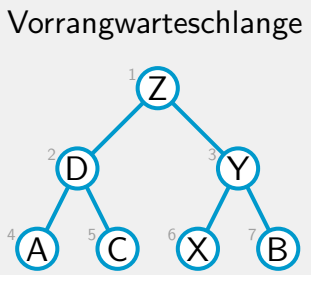
public class IndexMaxPQ<K extends Comparable<K>>

	`public IndexMaxPQ(int c)`	Erzeugt indizierte Vorrangwarteschlange mit Kapazität `c`.
void	`add(int i, K key)`	Fügt Schlüssel `key` mit Index `i` hinzu.
void	`change(int i, K key)`	Ändert den Schlüssel mit Index `i` in `key`.
void	`remove(int i)`	Löscht den Eintrag mit Index `i`.
int	`poll()`	Entfernt den Schlüssel vom Kopf und liefert seinen Index.
K	`peek()`	Liefert den Schlüssel vom Kopf der Schlange.
K	`peekIndex()`	Liefert den Index des Schlüssels vom Kopf der Schlange.
K	`keyOf(int i)`	Gibt den Schlüssel zu Index `i` zurück.
boolean	`contains(int i)`	Gibt es einen Schlüssel mit Index `i`?
boolean	`isEmpty()`	Prüft, ob die Warteschlange leer ist.
int	`size()`	Gibt Anzahl der Elemente zurück.

Durch die Index Funktionen `add`, `change` und `keyOf` beinhaltet eine indizierte Vorrangwarteschlange u.a. die Funktionalität eines Arrays.

Implementieren der indiziereten Vorrangwarteschlange

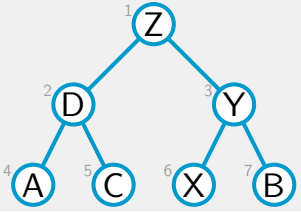
- Vorrangwarteschlangen verwenden ein Feld als binären Heap für die Schlüssel.



Implementieren der indiziereten Vorrangwarteschlange

- Vorrangwarteschlangen verwenden ein Feld als binären Heap für die Schlüssel.
- Indizierte Vorrangwarteschlangen verwenden drei Felder:

Vorrangwarteschlange

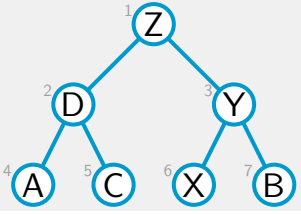


indizierte Vorrangwarteschlange

Implementieren der indiziereten Vorrangwarteschlange

- Vorrangwarteschlangen verwenden ein Feld als binären Heap für die Schlüssel.
- Indizierte Vorrangwarteschlangen verwenden drei Felder:
- Die Schlüssel werden unter ihrem angegeben Index in einem Feld key gespeichert.

Vorrangwarteschlange

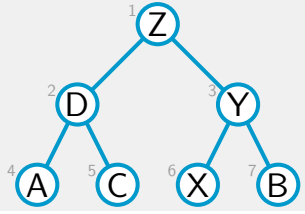


indizierte Vorrangwarteschlange

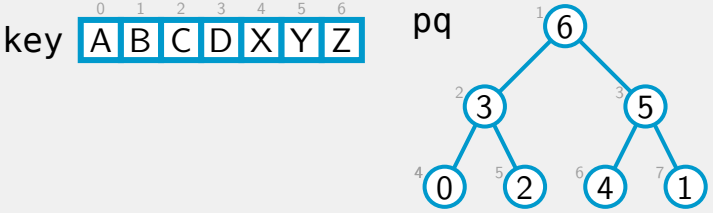
Implementieren der indiziereten Vorrangwarteschlange

- Vorrangwarteschlangen verwenden ein Feld als binären Heap für die Schlüssel.
- Indizierte Vorrangwarteschlangen verwenden drei Felder:
- Die Schlüssel werden unter ihrem angegeben Index in einem Feld key gespeichert.
- In einem binären Heap pq werden die Schlüssel-Indizes in der Heap Ordnung bezüglich der Schlüssel gespeichert.

Vorrangwarteschlange

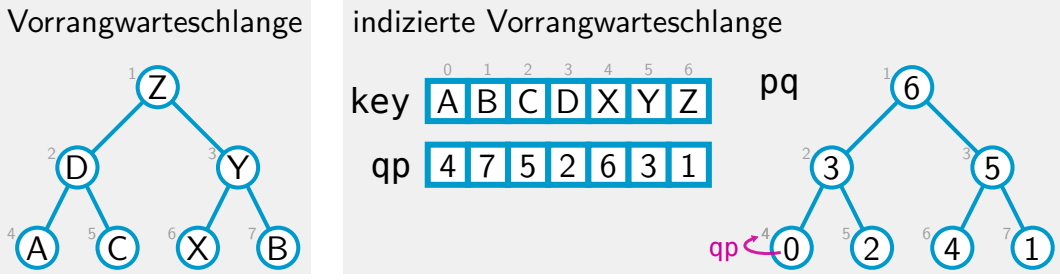


indizierte Vorrangwarteschlange



Implementieren der indiziereten Vorrangwarteschlange

- Vorrangwarteschlangen verwenden ein Feld als binären Heap für die Schlüssel.
- Indizierte Vorrangwarteschlangen verwenden drei Felder:
- Die Schlüssel werden unter ihrem angegeben Index in einem Feld key gespeichert.
- In einem binären Heap pq werden die Schlüssel-Indizes in der Heap Ordnung bezüglich der Schlüssel gespeichert.
- Ein weiteres Feld qp speichert die inverse Abbildung, vom Schlüssel-Index zum Index im Heap.



Implementation einer indizierten Vorrangwarteschlange

```
public class IndexPQ<K extends Comparable<K>>
{
  private K[] keys;
  private int[] pq;
  private int[] qp;         // pq[qp[i]] = qp[pq[i]] = i
  private int N;
  private int sign;         // +1 IndexMaxPQ, -1 IndexMinPQ

  public IndexPQ(int capacity, int sign) {
    keys = (K[]) new Comparable[capacity];
    pq = new int[capacity + 1];
    qp = new int[capacity];
    for (int i = 0; i < capacity; i++)
      qp[i] = -1;           // qp[i]==-1 <=> es gibt keinen Schlüssel zu Index i
    this.sign = sign;
  }

  public int size()              { return N; }
  public boolean isEmpty()       { return N == 0; }
  public boolean contains(int i) { return qp[i] != -1; }
```

Implementation einer indizierten Vorrangwarteschlange (2)

```
public void add(int i, K key) {
  keys[i] = key;
  qp[i] = ++N;
  pq[N] = i;
  swim(N);
}

public void change(int i, K key) {
  keys[i] = key;
  swim(qp[i]);
  sink(qp[i]);
}

public int peekIndex()
    { return pq[1]; }
public K peek() {
    { return keys[pq[1]]; }
public K keyOf(int i)
    { return keys[i]; }
```

```
public int poll() {
  int head = pq[1];
  swap(1, N--);
  sink(1);
  qp[head] = -1;
  keys[head] = null;
  pq[N+1] = -1;
  return head;
}

public void remove(int i) {
  int index = qp[i];
  swap(index, N--);
  swim(index);
  sink(index);
  keys[i] = null;
  qp[i] = -1;
}
```

Implementation einer indizierten Vorrangwarteschlange (3)

```
// Methoden swim und sink wie zuvor
// siehe rechte Seite
// Bei order und swap kleine Änderungen

  private boolean order(int i, int j)
  {
    return sign *
      keys[pq[i]].compareTo(keys[pq[j]])
      >= 0;
  }

  private void swap(int i, int j)
  {
    int tmp = pq[i];
    pq[i] = pq[j];
    pq[j] = tmp;
    qp[pq[i]] = i;
    qp[pq[j]] = j;
  }
```

```
  private void swim(int k)
  {
    while (k > 1 && !order(k/2, k)) {
      swap(k/2, k);
      k = k/2;
    }
  }

  private void sink(int k)
  {
    while (2*k <= N) {
      int j = 2*k;
      if (j < N && !order(j, j+1))
        j++;
      if (order(k, j)) break;
      swap(k, j);
      k = j;
    }
  }
}
```

Laufzeitbetrachtung einer indizierten Vorrangwarteschlange

- Wie bei der Vorrangwarteschlange sind auch bei der indizierten Version `swim()` und `sink()` die einzigen Methoden, die Schleifen enthalten abgesehen von der Initialisierung von `qp` im Konstruktor.
- Diese beiden Methoden haben auch hier eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$, wobei N für die Anzahl der Elemente in der Schlage steht.

Laufzeitbetrachtung einer indizierten Vorrangwarteschlange

- Wie bei der Vorrangwarteschlange sind auch bei der indizierten Version `swim()` und `sink()` die einzigen Methoden, die Schleifen enthalten abgesehen von der Initialisierung von `qp` im Konstruktor.
- Diese beiden Methoden haben auch hier eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$, wobei N für die Anzahl der Elemente in der Schlage steht.
- Entsprechend haben alle Methoden, die `swim()` oder `sink()` aufrufen, eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$.
- Dabei ist zu beachten, dass auch der Aufruf beider Funktionen die Wachstumsordnung nicht ändert (konstanter Faktor 2).

Laufzeitbetrachtung einer indizierten Vorrangwarteschlange

- Wie bei der Vorrangwarteschlange sind auch bei der indizierten Version `swim()` und `sink()` die einzigen Methoden, die Schleifen enthalten abgesehen von der Initialisierung von `qp` im Konstruktor.
- Diese beiden Methoden haben auch hier eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$, wobei N für die Anzahl der Elemente in der Schlage steht.
- Entsprechend haben alle Methoden, die `swim()` oder `sink()` aufrufen, eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$.
- Dabei ist zu beachten, dass auch der Aufruf beider Funktionen die Wachstumsordnung nicht ändert (konstanter Faktor 2).
- Somit ist die Laufzeit von `add()`, `change()`, `poll()` und `remove()` in $\boldsymbol{O}(\log N)$, während alle anderen Methoden eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(1)$ haben.

Laufzeitbetrachtung einer indizierten Vorrangwarteschlange

- Wie bei der Vorrangwarteschlange sind auch bei der indizierten Version `swim()` und `sink()` die einzigen Methoden, die Schleifen enthalten abgesehen von der Initialisierung von `qp` im Konstruktor.
- Diese beiden Methoden haben auch hier eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$, wobei N für die Anzahl der Elemente in der Schlage steht.
- Entsprechend haben alle Methoden, die `swim()` oder `sink()` aufrufen, eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(\log N)$.
- Dabei ist zu beachten, dass auch der Aufruf beider Funktionen die Wachstumsordnung nicht ändert (konstanter Faktor 2).
- Somit ist die Laufzeit von `add()`, `change()`, `poll()` und `remove()` in $\boldsymbol{O}(\log N)$, während alle anderen Methoden eine Laufzeit in $\boldsymbol{O}(1)$ haben.
- Wie in der letzten Vorlesung ist dies eine Minimal Implementierung, bei der viele wichtige Überprüfungen weggelassen wurden.

Laufzeiten der indizierten Vorrangwarteschlange

IndexPQ (*worst case*)	
`IndexPQ(int N, int sign)`	$\boldsymbol{O}(N)$
`add(int i, K key)`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`change(int i, K key)`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`contains(int i)`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`keyOf(int i)`	$\boldsymbol{O}(1)$
`peek()`	$\boldsymbol{O}(1)$
`peekIndex()`	$\boldsymbol{O}(1)$
`poll()`	$\boldsymbol{O}(\log N)$
`remove(int i)`	$\boldsymbol{O}(\log N)$

Verbesserung der Laufzeit

Folgende Maßnahmen können den konstanten Faktor in der Laufzeit verbessern:

- `swim()` und `sink()` können effizienter implementiert werden: In dem Heap wird nach oben bzw. nach unten die Zielposition gesucht und dann nur ein Tausch durchgeführt.

Verbesserung der Laufzeit

Folgende Maßnahmen können den konstanten Faktor in der Laufzeit verbessern:

- `swim()` und `sink()` können effizienter implementiert werden: In dem Heap wird nach oben bzw. nach unten die Zielposition gesucht und dann nur ein Tausch durchgeführt.
- Anstelle von `change()` können die Methoden `decreaseKey()` und `increaseKey()` implementiert werden, die jeweils nur `swim()` bzw. nur `sink()` aufrufen.

Verbesserung der Laufzeit

Folgende Maßnahmen können den konstanten Faktor in der Laufzeit verbessern:

- `swim()` und `sink()` können effizienter implementiert werden: In dem Heap wird nach oben bzw. nach unten die Zielposition gesucht und dann nur ein Tausch durchgeführt.
- Anstelle von `change()` können die Methoden `decreaseKey()` und `increaseKey()` implementiert werden, die jeweils nur `swim()` bzw. nur `sink()` aufrufen.
- Es gibt alternative Implementationen von (indizierten) Vorrangwarteschlangen, die eine bessere asymptotische Laufzeit haben, als die mit binären Heaps, z.B.:
- Fibonacci, Strict Fibonacci und Brodal, allerdings sind die Implementationen deutlich aufwändiger.

Rückschau

Nach dieser Vorlesung sollten Sie folgende Konzepte verinnerlicht haben:

- JavaDoc Kommentare
- Design-by-contract
- Exceptions abfangen und selbst werfen
- Assertionen benutzen
- Vorrangwarteschlangen mit binären Heaps
- Indizierte Vorrangwarteschlangen

Literatur

- Sedgewick R & Wayne K, **Introduction to Programming in Java: An Interdisciplinary Approach.** 2. Auflage, Addison-Wesley Professional, 2017. Onlinefassung: `https://introcs.cs.princeton.edu/java`
- Ullenboom C, **Java ist auch eine Insel.** 13. Auflage, Rheinwerk Computing, 2018. Onlinefassung: `http://openbook.rheinwerk-verlag.de/javainsel`
- `https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/guides/language/assert.html`

Danksagung. Die Folien wurden mit LaTeX erstellt unter Verwendung vieler Pakete, u.a. beamer, listings, lstbackground, pgffor und colortbl sowie eine Vielzahl von Tipps auf `tex.stackexchange.com` und anderen Internetseiten.

Bildreferenzen I

- Die mit Javadoc generierten APIs auf Seiten 6f sind Screenshots von der Webseite `https://algs4.cs.princeton.edu/code/edu/princeton/cs/algs4/Stack.java.html`.

Index