

# Algorithmen und Datenstrukturen

## B3. ADTs , Bags, Stack and Queues

Marcel Lüthi and Gabriele Röger

Universität Basel

21. März 2019

# Abstrakte Datentypen

# Abstrakte Datentypen : Definition

## Abstrakter Datentyp

Die Beschreibung eines Datentyps durch eine Zusammenfassung von Daten und anwendbaren Operationen.

Beispiele:

- Integer mit arithmetischen Operationen
- Komplexe Zahlen mit Operationen add und subtract
- Mengen mit Operationen union, intersection und setminus
- Geordnete Sequenz von von Objekten

# Informatikerin des Tages



Barbara Liskov

- Eine der ersten Frauen in USA mit Doktor in Informatik
- Gewinnering des Turing Awards
- Hat Konzept von „Abstrakt Data Types“ eingeführt.

Liskov, Barbara, and Stephen Zilles. Programming with abstract data types. ACM Sigplan Notices. ACM, 1974.

# Abstrakte Datentypen und Klassen

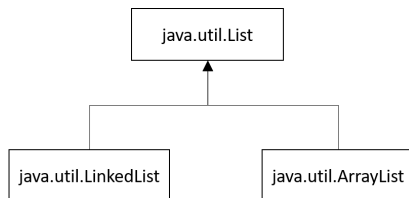
- Abstrakte Datentypen entsprechen Klassen in OO Programmierung

```
public class Complex {  
  
    private double real;  
    private double imag;  
  
    public Complex(double real, double imag) { ... }  
    public Complex(double magnitude, double phase) { ... }  
  
    public Complex add(Complex c1, Complex c2) { ... }  
    public Complex subtract(Complex c1, Complex c2) { ... }  
    ...  
}
```

# Vorteile von Abstrakten Datentypen

- Nutzer programmiert gegen Schnittstelle
- **Verwendete Datenstruktur** (Repräsentation) ist versteckt (gekapselt)
  - Repräsentation kann jederzeit ausgetauscht werden
- Verständnis auf zwei Ebenen
  - ① Was macht der Datentyp (Schnittstelle)
  - ② Wie wird es gemacht (Interne Datenstruktur)
- Erlaubt komplexe Sachverhalte zu abstrahieren

# Beispiel: Listen in Java



```
interface List<E>:
    E get(int index);
    void add(E element);
    void add(int pos, E element);
    ...
```

## Achtung

Verschiedene Listen haben dieselbe Schnittstelle, aber Operationen haben nicht dieselbe Komplexität.

# Datentypdesign

Wir werden für jeden Datentyp folgende Punkte besprechen

- Beschreiben der Schnittstelle (API)
- Beispielanwendungen (Client) die die Schnittstelle nutzen
- Implementation



# Quiz: Abstrakte Datentypen

- Ist eine verkettete Liste ein Datentyp oder eine Datenstruktur?
- Ist ein Array nur eine Datenstruktur oder auch Abstrakter Datentyp?
  - Was wären die Operationen auf einem Array, welche den ADT Array Charakterisieren?
  - Welche Datenstruktur würden Sie für die Implementation eines Array Datentyps verwenden?
- Was ist die Gefahr, bei der Verwendung eines abstrakten Datentypen?

# Multimengen, Warteschlange und Stapel

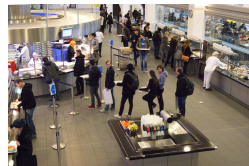
# Ein Besuch in der Mensa



(Teller-)Stapel



Multimenge (von  
Essen)



Schlange

Stapel, Multimenge und Schlange sind wichtige Datentypen, die wir vom täglichen Leben kennen.

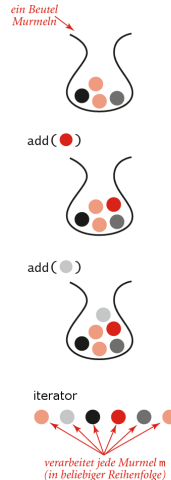
# Multimengen (Bag)

```
class Bag[Item]:  
  # Element hinzufuegen  
  def add(item : Item) -> Item  
  
  # Ist die Multimenge leer?  
  def isEmpty() -> bool  
  
  # Wieviele Elemente sind in der Menge?  
  def size() -> int  
  
  # Abstraktion um ueber Elemente zu iterieren  
  def iterator() -> Iterator[Item]  
}
```

- Anmerkung: Typ Annotation angelehnt an Python Typing Module (PEP 484)

# Multimenge (bag)

- Undefinierte Reihenfolge der Elemente
  - Welches Element man nimmt ist undefiniert.
  - Aber: Jedes Element wird nur einmal entnommen
- Nicht zu verwechseln mit Liste / Array, die die Reihenfolge garantieren.



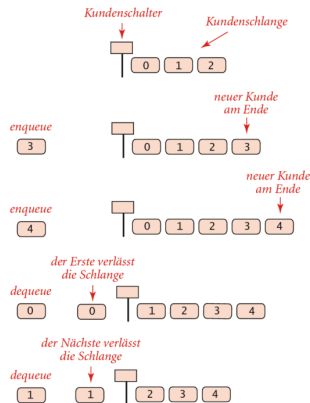
Quelle: Abbildung 1.30 - Algorithms,  
Sedgewick & Wayne

# Warteschlange (Queue)

```
class Queue[Item] {  
  
  # Element zu Schlange hinzufuegen  
  def enqueue(item : Item)  
  
  # Element von Schlange entfernen  
  def dequeue() -> Item  
  
  # Anzahl Elemente in der Schlange  
  def size() -> int //  
  
  # Ist die Schlange leer?  
  def isEmpty() -> bool  
  
}
```

# Warteschlange (queue)

- Reihenfolge: First in - first out.
  - Elemente werden nur von vorne entnommen
  - Elemente werden nur von hinten hinzugefügt.
- Anwendung:  
Zwischenspeicher von Elementen, ohne dass die Reihenfolge verändert wird.



Quelle: Abbildung 1.31, Algorithmen, Sedgewick & Wayne

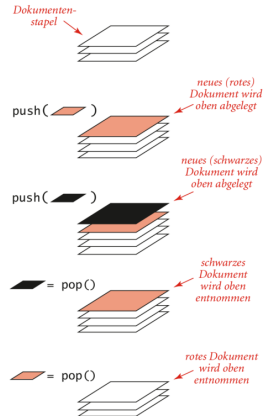
# Stapel (Stack)

```
class Stack[Item] {  
  
    # Element zu Stapel hinzufuegen  
    def push(item : Item)  
  
    # Element von Stapel entfernen  
    def pop() -> Item // Element entnehmen  
  
    # Ist Stapel leer?  
    def isEmpty() -> Boolean  
  
    # Anzahl Element in Stapel  
    def size() -> int  
  
}
```



# Stapel (Stack)

- Reihenfolge: last in - first out (LIFO)
  - Jedes element wird oben den Stapel gelegt.
  - Nur oberstes Element kann entfernt werden.
- Anwendung: Stapeln und Schachtelung von Dingen
  - Verschachtelte Funktionen / arithmetische Ausdrücke
  - E-Mail organisation
  - Browser history (back button)



Quelle: Abbildung 1.32,  
Algorithmen, Sedgewick & Wayne

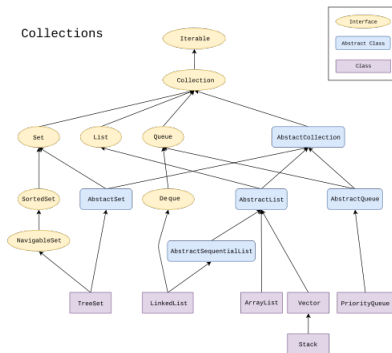
# Multimengen, Warteschlangen und Stapel

- Nichts Neues: Nur Listen mit eingeschränkter Funktionalität
- In Python: Alle Operationen definiert im Datentype `List`  
Siehe: <https://docs.python.org/3.1/tutorial/datastructures.html>

Einschränkungen helfen Intention und Nutzung klar zu machen und Fehler in Nutzung zu verhindern.

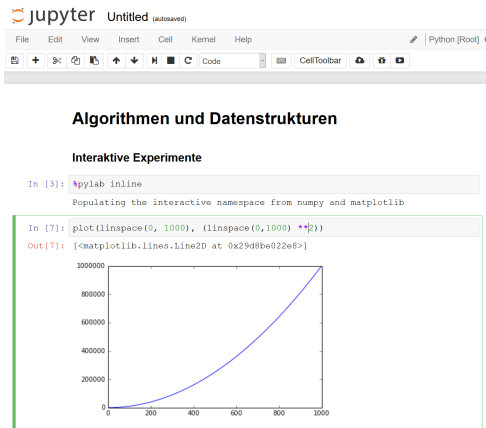
# ADTs in Bibliotheken (Java)

- ADTs sind heute Teil jeder Standardbibliothek



Quelle: By RamImn - Own work, CC BY-SA 4.0,  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=64043967>

# Beispiele und Implementation



IPython Notebooks: fundamental-adts.ipynb

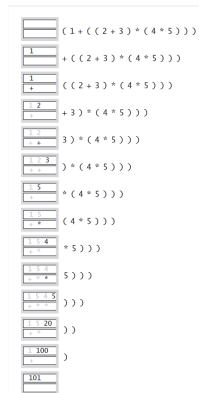
# Anwendung von Stacks

# Auswerten arithmetischer Operationen

Beispiel:  $(1 + ((2 + 3) * (4 * 5)))$

## Two-Stack Algorithmus (Dijkstra)

- Wert: **push** auf Wertestapel
- Operator: **push** auf Operatorenstapel
- Linke Klammer: Ignorieren
- Rechte Klammer: **pop** Operator und zwei Werte
  - Operation auf Werte anwenden
  - **push** Resultat der Operation auf Wertestapel



Quelle: <https://algs4.cs.princeton.edu/lectures/13StacksAndQueues-2x2.pdf>

# Warum funktioniert das?

Beobachtung:

- Nach Auswertung eines geklammerten Ausdrucks ist der Stack im selben Zustand wie wenn der Wert anstelle des Ausdrucks gestanden hätte.
  - $(1 + ((2 + 3) * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * (4 * 5)))$

# Warum funktioniert das?

Beobachtung:

- Nach Auswertung eines geklammerten Ausdrucks ist der Stack im selben Zustand wie wenn der Wert anstelle des Ausdrucks gestanden hätte.
  - $(1 + ((2 + 3) * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * (4 * 5)))$
  - $(1 + (5 * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * 20))$



# Warum funktioniert das?

Beobachtung:

- Nach Auswertung eines geklammerten Ausdrucks ist der Stack im selben Zustand wie wenn der Wert anstelle des Ausdrucks gestanden hätte.
  - $(1 + ((2 + 3) * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * (4 * 5)))$
  - $(1 + (5 * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * 20))$
  - $(1 + (5 * 20))$  wird zu  $(1 + 100)$

# Warum funktioniert das?

Beobachtung:

- Nach Auswertung eines geklammerten Ausdrucks ist der Stack im selben Zustand wie wenn der Wert anstelle des Ausdrucks gestanden hätte.
  - $(1 + ((2 + 3) * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * (4 * 5)))$
  - $(1 + (5 * (4 * 5)))$  wird zu  $(1 + (5 * 20))$
  - $(1 + (5 * 20))$  wird zu  $(1 + 100)$
  - $(1 + 100)$  wird zu 101

# Priority Queues

# Vorrangwarteschlangen (Priority Queue)

Anwendung:

- Grösste Elemente müssen verarbeitet werden. Nicht alle auf einmal.

Beispiele:

- Job-Scheduling (Elemente: Prioritäten von Prozessen)
- Numerische Berechnung: (Elemente: Berechnungsfehler, die zuerst zu beheben sind)
- Simulationssysteme (Elemente (Schlüssel): Ereignisszeiten)

# Priority Queue ADT

```
class MaxPQ[Item]:  
  
    # Element einfuegen  
    def insert(k : Item) -> None  
  
    # Groesstes Element zurueckgeben  
    def max() -> Item  
  
    # Groesstes Element entfernen und zurueckgeben  
    def delMax() -> Item  
  
    # Ist die Queue leer?  
    def isEmpty() -> bool  
  
    # Anzahl Elemente in der Priority Queue  
    def size() -> int
```

# Einfache Implementationen

## Arrayrepräsentation (ungeordnet)

- Insert: Schlüssel zu Array hinzufügen
- max: Suche grössten Schlüssel
  - - Swap mit letztem Element
  - - Siehe: Selection sort

## Arrayrepräsentation (geordnet)

- Insert: Schlüssel an richtiger Stelle im Array hinzufügen
  - - Siehe: Insertion sort
- max: Letztes Element in Array zurückgeben.

# Einfache Implementationen

## Arrayrepräsentation (ungeordnet)

- Insert: Schlüssel zu Array hinzufügen
- max: Suche grössten Schlüssel
  - - Swap mit letztem Element
  - - Siehe: Selection sort

## Arrayrepräsentation (geordnet)

- Insert: Schlüssel an richtiger Stelle im Array hinzufügen
  - - Siehe: Insertion sort
- max: Letztes Element in Array zurückgeben.

Datenstruktur	Einfügen	Grösstes Element entfernen
Ungeordnetes Array	1	$N$
Geordnetes Array	$N$	1

# Beispielclient

**Gegeben:** Sehr grosser Stream von  $N$  Elementen  $N$  so gross, dass Speichern nicht möglich ist.

**Gesucht:**  $M$  grösste Elemente.



# Beispielclient

**Gegeben:** Sehr grosser Stream von  $N$  Elementen  $N$  so gross, dass Speichern nicht möglich ist.

**Gesucht:**  $M$  grösste Elemente.

## Einfachste Implementierungen (Nicht praktikabel)

- Daten werden in Array gespeichert
- Daten werden sortiert und  $M$  grösste Elemente zurückgegeben

# Beispielclient

**Gegeben:** Sehr grosser Stream von  $N$  Elementen  $N$  so gross, dass Speichern nicht möglich ist.

**Gesucht:**  $M$  grösste Elemente.

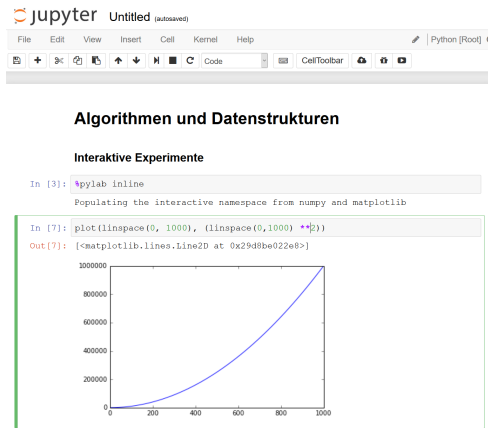
## Einfachste Implementierungen (Nicht praktikabel)

- Daten werden in Array gespeichert
- Daten werden sortiert und  $M$  grösste Elemente zurückgegeben

## Bessere Idee

Halte  $M$  grösste Elemente in Priority Queue.

# Implementation



IPython Notebooks: PQ.ipynb

# Komplexität Beispielclient

Implementation	Zeit	Speicher
Sortier-Client	$N \log N$	$N$
PQ (einfache Implementation)	$NM$	$M$

- Grosse Vorteile in Laufzeit und Speicherkomplexität wenn  $M \ll N$

# Ausblick: Heaps - Ideale Datenstruktur für Priority Queues

## Datenstruktur

Datenstruktur	Einfügen	Grösstes Element entfernen
Geordnetes Array	$N$	1
Ungeordnetes Array	1	$N$
Heap	$\log N$	$\log N$

## Testclient

Implementation	Zeit	Speicher
Sortier-Client	$N \log N$	$N$
PQ (einfache Implementation)	$NM$	$M$
Heap Implementation	$N \log M$	$M$