

Kapitel 9

Arrays

Ziele

- Die Datenstruktur der Arrays kennenlernen
- Grundlegende Algorithmen auf Arrays in Java implementieren können
- Mit Arrays von Objekten arbeiten können

Erweiterungen zur Behandlung von Arrays: Überblick

Bisher

Klassendeklarationen

Objekte und Objekthalde (Heap)

Grunddaten- und Klassentypen

Werte

Operationen

Ausdrücke

Typisierung

Auswertung bzgl.

Zustand (Stack + Heap)

Deklarationsanweisung

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

Kapitel 9

Arrayobjekte (kurz: Arrays)

Arraytypen

Referenzen auf Arrayobjekte

==, != für solche Referenzen

Arrayzugriff, Arrayerzeugung

Arrayobjekte auf dem Heap

Arrayinitialisierung

Arrays: Einführung (1)

In vielen Anwendungen werden Tupel (Reihungen/Folgen) von Elementen mit einer bestimmten Länge benutzt.

Beispiel: Zahlenfolgen

- [1.0, 1.0]
- [0.2, 1.2, 7.0]

Beispiel: Zeichenfolgen

- ['L', 'M', 'U']
- ['C', 'A', 'M', 'P', 'U', 'S']

Solche Tupel können durch Arrays dargestellt werden.

Arrays: Einführung (2)

- Ein **Array** ist ein Tupel von Elementen gleichen Typs.
- Auf die einzelnen Elemente (Komponenten) kann über einen Index direkt zugegriffen werden.
- Mathematisch kann ein Array mit n Komponenten eines Typs \mathbb{T} als eine Abbildung vom Indexbereich $\{0, \dots, n-1\}$ in den Wertebereich von \mathbb{T} aufgefasst werden.

Beispiel: $a:$ $['C', 'A', 'M', 'P', 'U', 'S']$
 Index: 0 1 2 3 4 5

$a: \{0, \dots, 5\} \rightarrow \text{char}$

$$a[i] = \begin{cases} 'C' & \text{falls } i = 0 \\ 'A' & \text{falls } i = 1 \\ \dots & \\ 'S' & \text{falls } i = 5 \end{cases}$$

Arraytypen und Arrayobjekte

Type = *PrimitiveType* | *ClassType* | ***ArrayType*** (← neu)

ArrayType = *Type* "[]"

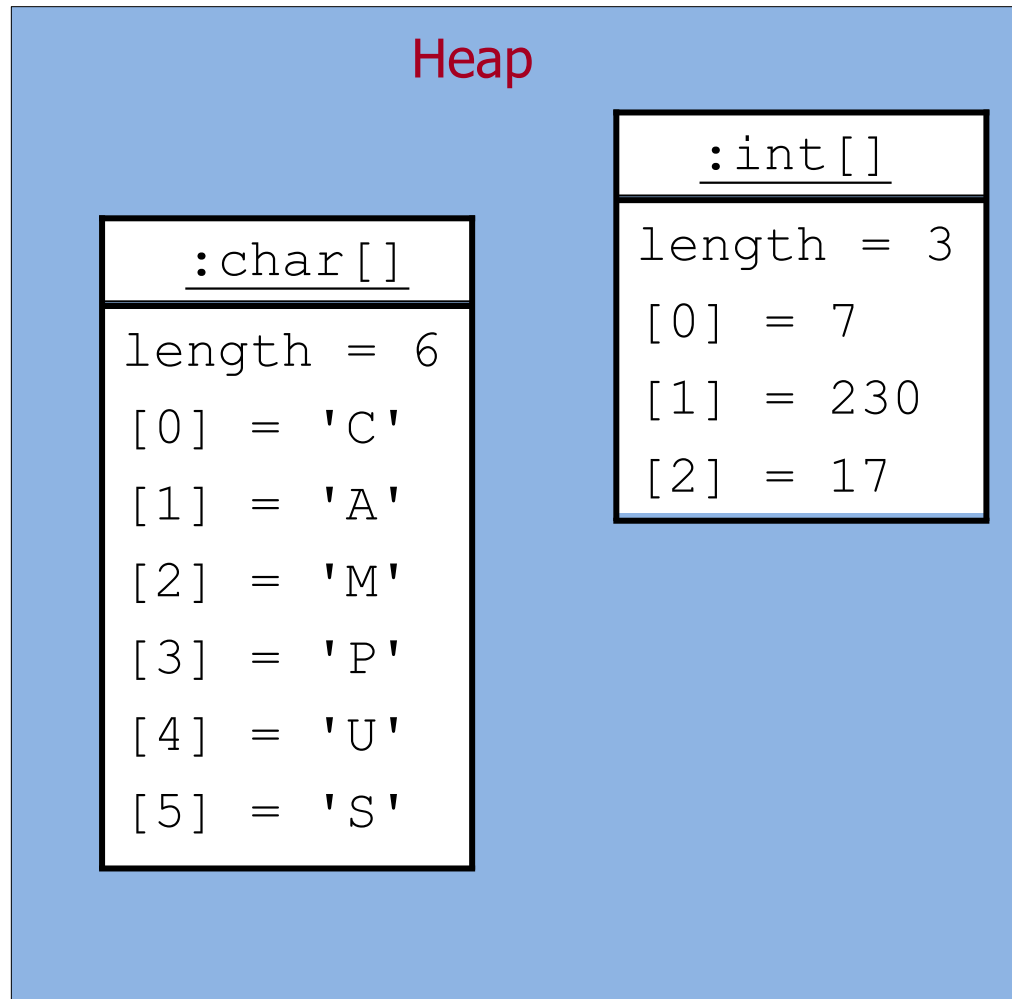
Beispiele:

```
int[], boolean[], char[], double[], String[], Point[],  
double[][] //2-dimensionale Arrays mit double-Werten  
Point[][][][] // 4-dimensionale Arrays von Punkten
```

Arrayobjekte eines Arraytyps $T[]$ besitzen

- ein unveränderbares Attribut `length`, das die Anzahl n der Komponenten des Arrays angibt, und
- eine der Reihe nach angeordnete Folge von n Elementen des Typs T , die mit den Indizes $0, \dots, n-1$ durchnummeriert sind.

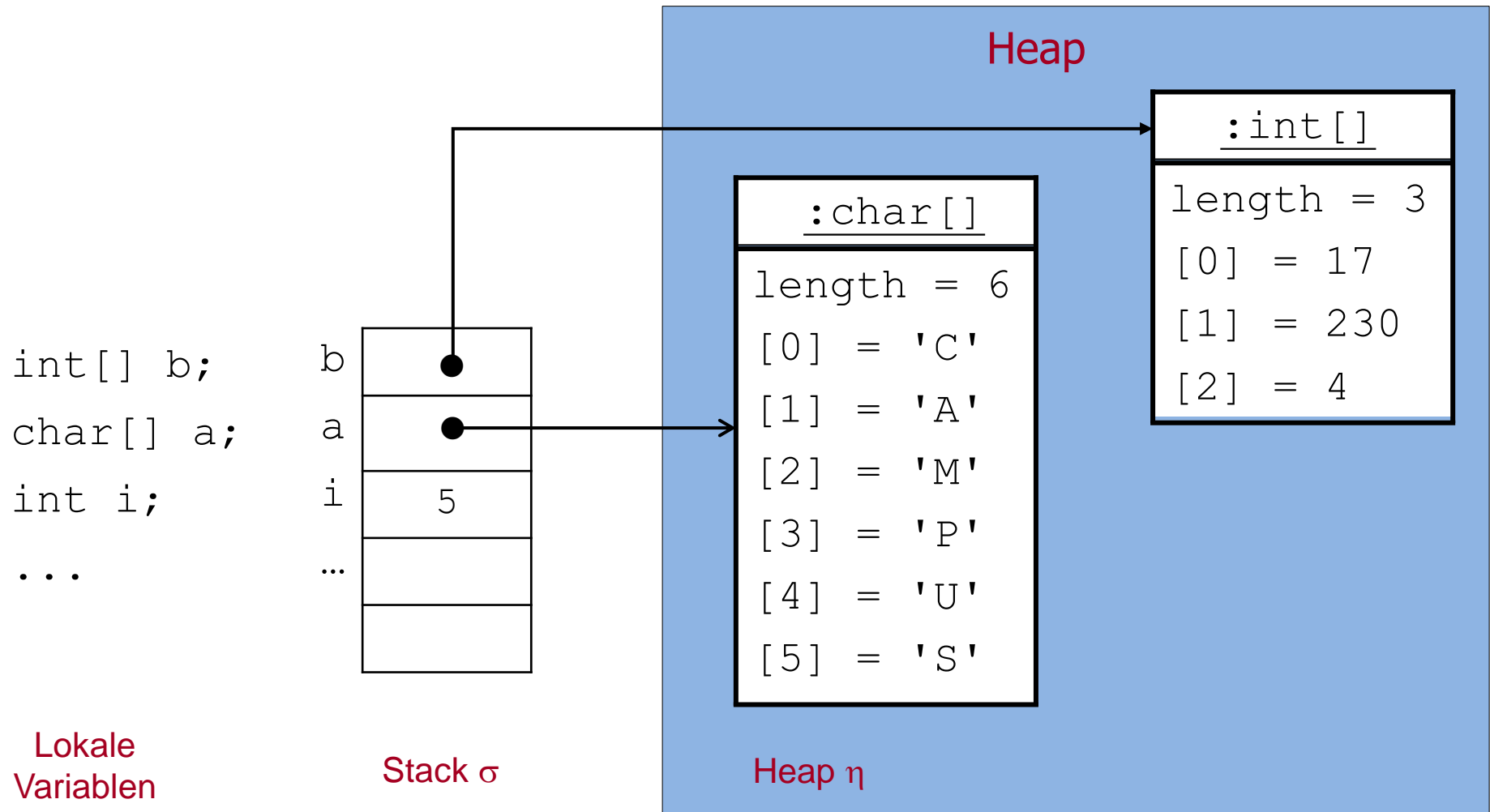
Speicherdarstellung von Arrayobjekten



Werte von Arraytypen

- Die **Werte** eines Arraytyps `T[]` sind **Referenzen** auf Arrayobjekte des Typs `T[]` sowie (wie bei Klassentypen) die leere Referenz `null`.
- Dementsprechend speichern lokale Variablen eines Arraytyps Referenzen auf ein Arrayobjekt oder den Wert `null`.
- Array-Referenzen können mit den Operationen `==` und `!=` auf Gleichheit bzw. Ungleichheit getestet werden (nicht empfehlenswert, da die Referenzen und nicht die einzelnen Komponenten der Arrays verglichen werden).

Zustand mit Arrays



Erweiterungen zur Behandlung von Arrays (Wdh.)

Bisher

Klassendeklarationen

Objekte und Objekthalde (Heap)

Grunddaten- und Klassentypen

Werte

Operationen

Ausdrücke

Typisierung

Auswertung bzgl.

Zustand (Stack + Heap)

Deklarationsanweisung

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

Kapitel 9

Arrayobjekte (kurz: Arrays)

Arraytypen

Referenzen auf Arrayobjekte

==, != für solche Referenzen

Arrayzugriff, Arrayerzeugung

Arrayobjekte auf dem Heap

Arrayinitialisierung

Grammatik für Ausdrücke mit Arrays

Expression = *Variable* | *Value* | *Expression BinOp Expression* |
UnOp Expression | "(" *Expression* ")" |
MethodInvocation | *InstanceCreation*

Variable = *NamedVariable* | *FieldAccess* |
ArrayAccess (← neu)

NamedVariable = *Identifier*

FieldAccess = *Expression* "." *Identifier*

ArrayAccess = *Expression* "[" *Expression* "]" (← neu)

Value = *IntegerValue* | *FloatingPointValue* | *CharacterValue* | *BooleanValue* | "null"

Grammatik für Methodenaufruf, Objekt- und Arrayerzeugung

MethodInvocation =

Expression "." *Identifer* "(" [*ActualParameters*] ")" "

ActualParameters = *Expression* {"," *Expression*}

InstanceCreation = *ClassInstanceCreation* | ***ArrayCreation*** (← neu)

ClassInstanceCreation =

"new" *ClassType* "(" [*ActualParameters*] ")" "

ArrayCreation = "new" *Type* *DimExprs* {"[" "]"} (← neu)

DimExprs = "[" *Expression* "]" {"[" *Expression* "]" }

Typ und Auswertung der Array-Ausdrücke

- Ein Ausdruck ist, wie bisher, **typkorrekt**, wenn ihm ein Typ zugeordnet werden kann.
- Die **Auswertung** eines Ausdrucks e erfolgt (weiterhin) unter einem **Zustand** (σ, η) , d.h. wir berechnen $e \models_{(\sigma, \eta)} \dots$
- Der Arrayzugriff "`[]`" hat (wie der Attributzugriff "`.`") die höchste Präzedenz 15.

Wir bestimmen nun Regeln für Typkorrektheit und Auswertung für die neu hinzugekommenen Array-Ausdrücke.

Arrayzugriff: Typkorrektheit

ArrayAccess = *Expression* "[" *Expression* "]"

- Der erste *Expression*-Ausdruck (Array-Referenzausdruck) muss einen Arraytyp $T[]$ haben und der zweite *Expression*-Ausdruck (Indexausdruck) muss den Typ `int` (oder einen kleineren Typ) haben.
- *ArrayAccess* hat dann den Typ T der Arrayelemente.

Beispiel:

Seien `char[] a; int[] b; double[][] c; int i, j;` lokale Variable.

`a[3], a[i], a[-8+2*i], a[a.length-1], a[b[i]-3], a[b[i-3]]`
haben den Typ `char`.

`b[0], b[a.length], b[b[i]+7]` haben den Typ `int`.

`c[i]` hat den Typ `double[]`, `c[i][j]` hat den Typ `double`.

Arrayzugriff: Auswertung

Sei $e[a]$ ein Arrayzugriffs-Ausdruck.

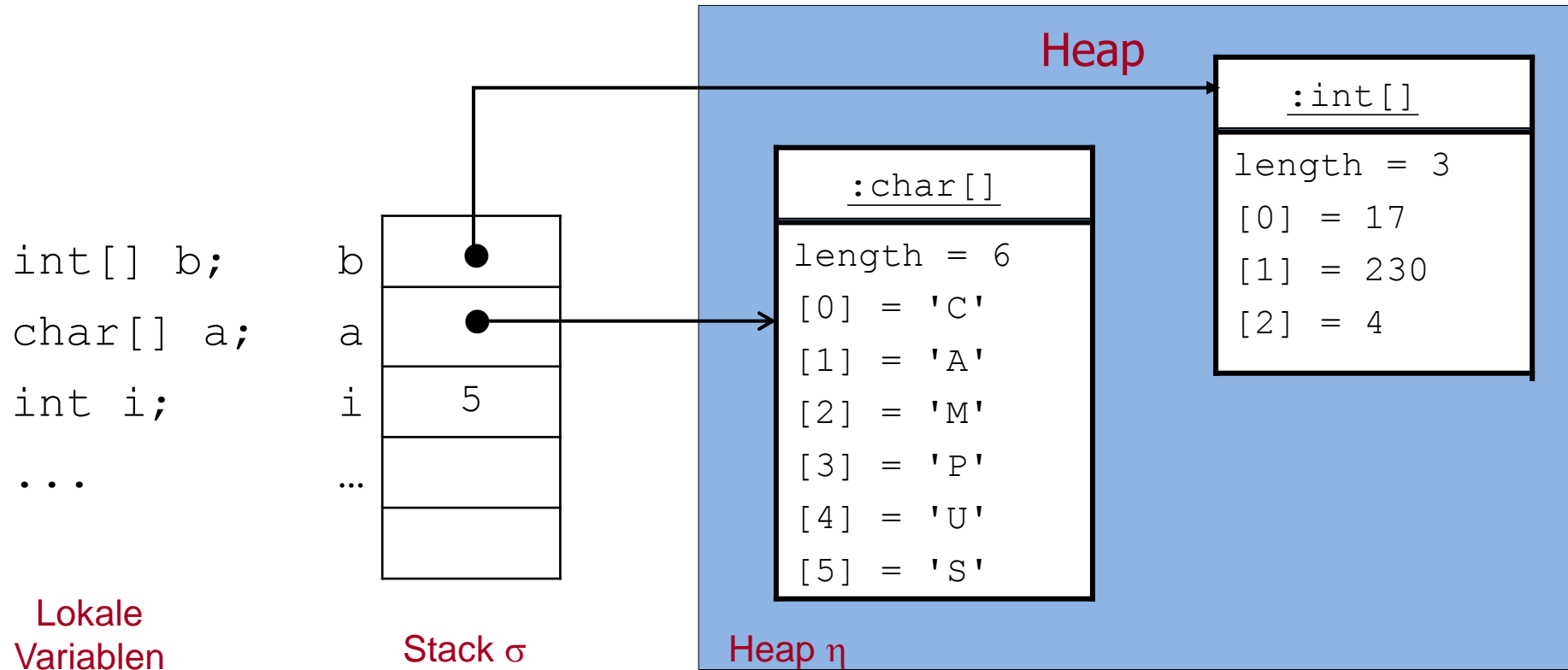
Sei e ein Ausdruck mit Arraytyp $T[]$.

1. Der Referenzausdruck e wird im aktuellen Zustand (σ, η) ausgewertet.
Falls der Wert `null` ist, erfolgt ein Laufzeitfehler (`NullPointerException`),
andernfalls wird die erhaltene Arrayreferenz p gemerkt.
2. Der Wert v des Indexausdrucks a wird berechnet.
Falls v negativ ist oder größer gleich der Länge des mit p referenzierten Arrays
ist, erfolgt ein Laufzeitfehler (`IndexOutOfBoundsException`).
Ansonsten wird das an der Position v gespeicherte Element des mit p
referenzierten Arrays geliefert.

Beachte: Falls bei der Auswertung von e keine Exception ausgelöst wird:

- $e[0]$ liefert das erste Element des Arrays und $e[e.length-1]$ das letzte.
- $e[e.length]$ führt zu einer `IndexOutOfBoundsException`.

Arrayzugriff: Beispiel



- $a[3]_{(\sigma, \eta)} = 'P'$, $a[i]_{(\sigma, \eta)} = 'S'$, $a[-8+2*i]_{(\sigma, \eta)} = 'M'$, $a[a.length-1]_{(\sigma, \eta)} = 'S'$,
- $a[b[i-3]]_{(\sigma, \eta)} = 'U'$, $a[b.length]_{(\sigma, \eta)} = 'P'$,
- $a[a.length]$ und $a[b[i]-3]$ -> `IndexOutOfBoundsException`.

Arrayerzeugung: Typkorrektheit

ArrayCreation = "new" *Type* *DimExprs* {"[" "]}

DimExprs = "[" *Expression* "]" {"[" *Expression* "]" }

- Für jede Dimension muss der *Expression*-Ausdruck den Typ `int` (oder einen kleineren Typ) haben.
- *ArrayCreation* hat dann den Typ `Type [][]...` mit so vielen Klammerpaaren, wie Dimensionen angegeben wurden.

Beispiel:

`new char[6]`, `new char[22]` **haben den Typ** `char[]`.

`new int[3]` **hat den Typ** `int[]`, `new String[8]` **hat den Typ** `String[]`.

`new double[4][7]`, `new double[4][]` **haben den Typ** `double[][]`.

Arrayerzeugung: Auswertung

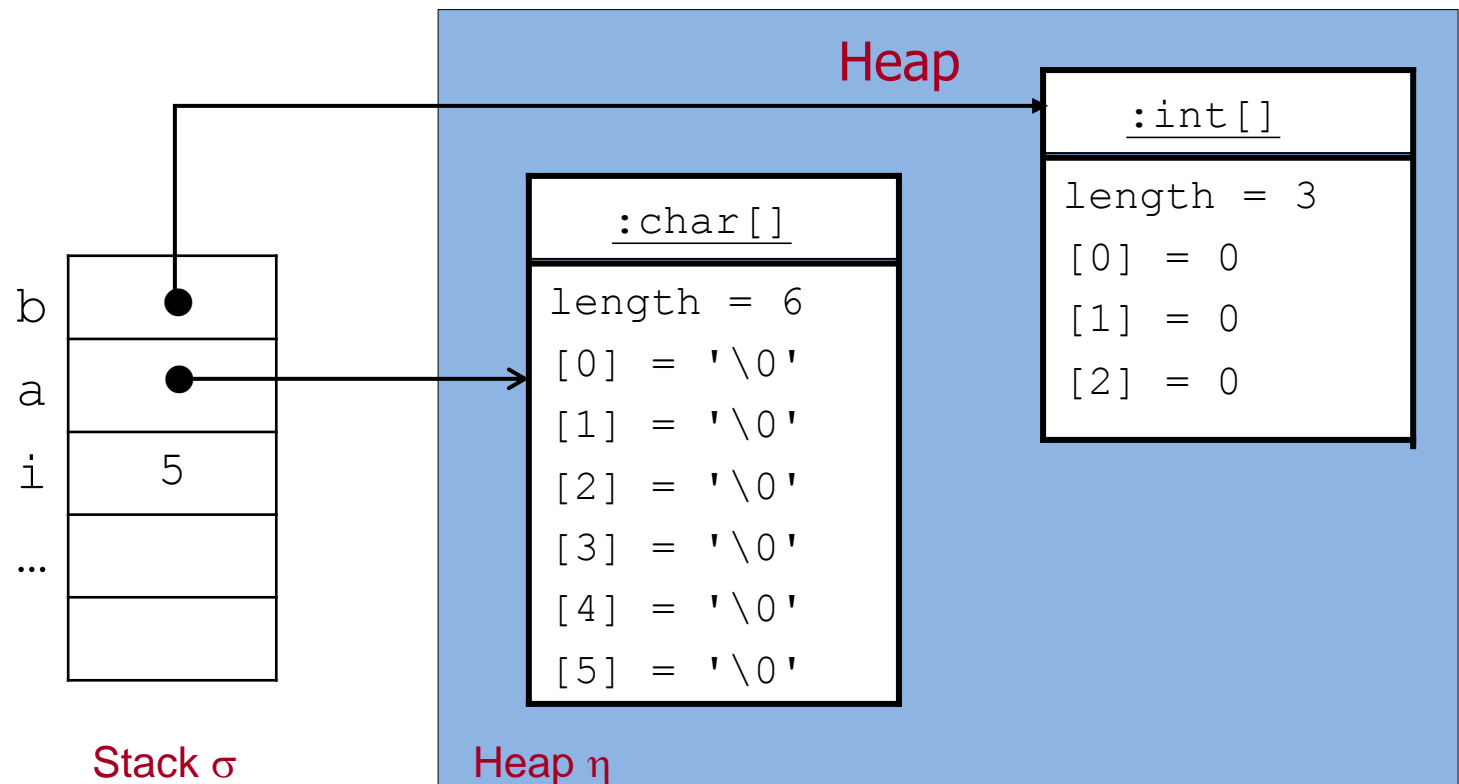
Sei `new T[d1][d2][d3]` ein Arrayerzeugungs-Ausdruck.

1. Die Werte der Dimensionsausdrücke d_1, \dots, d_n werden ausgehend vom aktuellen Zustand von links nach rechts berechnet. Falls ein Wert negativ ist, erfolgt ein Laufzeitfehler (`NegativeArraySizeException`) und die Auswertung bricht ab.
2. Ein neues Array-Objekt für den Typ `T[][][]` wird erzeugt, dessen Länge der Wert von d_1 ist, und auf den Heap gelegt.
3. Die Komponenten des Array-Objekts werden mit Default-Werten initialisiert. (0 bei `int`, `false` bei `boolean`, `'\0'` bei `char`, `null` bei Klassen- und Arraytypen).
4. Solange n noch nicht erreicht ist, wird dieser Vorgang für die einzelnen Komponenten des gerade angelegten Arrays wiederholt.

Z.B. wird bei $n = 2$ für jede Komponente `a[i]` ($i = 0, \dots, d_1 - 1$) des zuletzt erzeugten Arrays `a` ein Array der Länge d_2 angelegt.

Arrayerzeugung: Beispiel

```
...  
int i = 5;  
char[] a = new char[6];  
int[] b = new int[3];
```



Erweiterungen zur Behandlung von Arrays (Wdh.)

Bisher

Klassendeklarationen

Objekte und Objekthalde (Heap)

Grunddaten- und Klassentypen

Werte

Operationen

Ausdrücke

Typisierung

Auswertung bzgl.

Zustand (Stack + Heap)

Deklarationsanweisung

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

erweitert um

Kapitel 9

Arrayobjekte (kurz: Arrays)

Arraytypen

Referenzen auf Arrayobjekte

==, != für solche Referenzen

Arrayzugriff, Arrayerzeugung

Arrayobjekte auf dem Heap

Arrayinitialisierung

Intialisierung von Arrays

Durch Einzelzuweisungen an die Komponenten:

```
type[] arr = new type[n];  
arr[0] = v0;  
    ⋮  
arr[n-1] = vn-1;
```

Durch sofortige Initialisierung des gesamten Arrays:

```
type[] arr = {v0, ..., vn-1};
```

Arrayinitialisierung ist eine Deklarationsanweisung. Die Syntax von Deklarationsanweisungen wird dementsprechend erweitert.

Initialisierung von Arrays: Beispiel

- Einzelzuweisungen an die Komponenten:

```
char[] a = new char[6];  
a[0] = 'C';  
a[1] = 'A';  
a[2] = 'M';  
a[3] = 'P';  
a[4] = 'U';  
a[5] = 'S';
```

- Sofortige Initialisierung des gesamten Arrays:

```
char[] a = { 'C', 'A', 'M', 'P', 'U', 'S' };
```

Der Typ von `a` ist `char[]`, d.h. der Typ eines eindimensionalen Arrays mit Elementen aus `char`.

Veränderung von Arrays

- Arrayzugriffs-Ausdrücke sind Variablen!
- Infolgedessen kann man ihnen Werte zuweisen und damit den Zustand eines Arrays ändern.
- Die Länge eines Arrays kann nicht verändert werden.

Beispiel:

Man kann beliebige einzelne Buchstaben durch Zuweisungen ändern, z.B. für den Array `a` von oben:

```
a[4] = 'E';
```

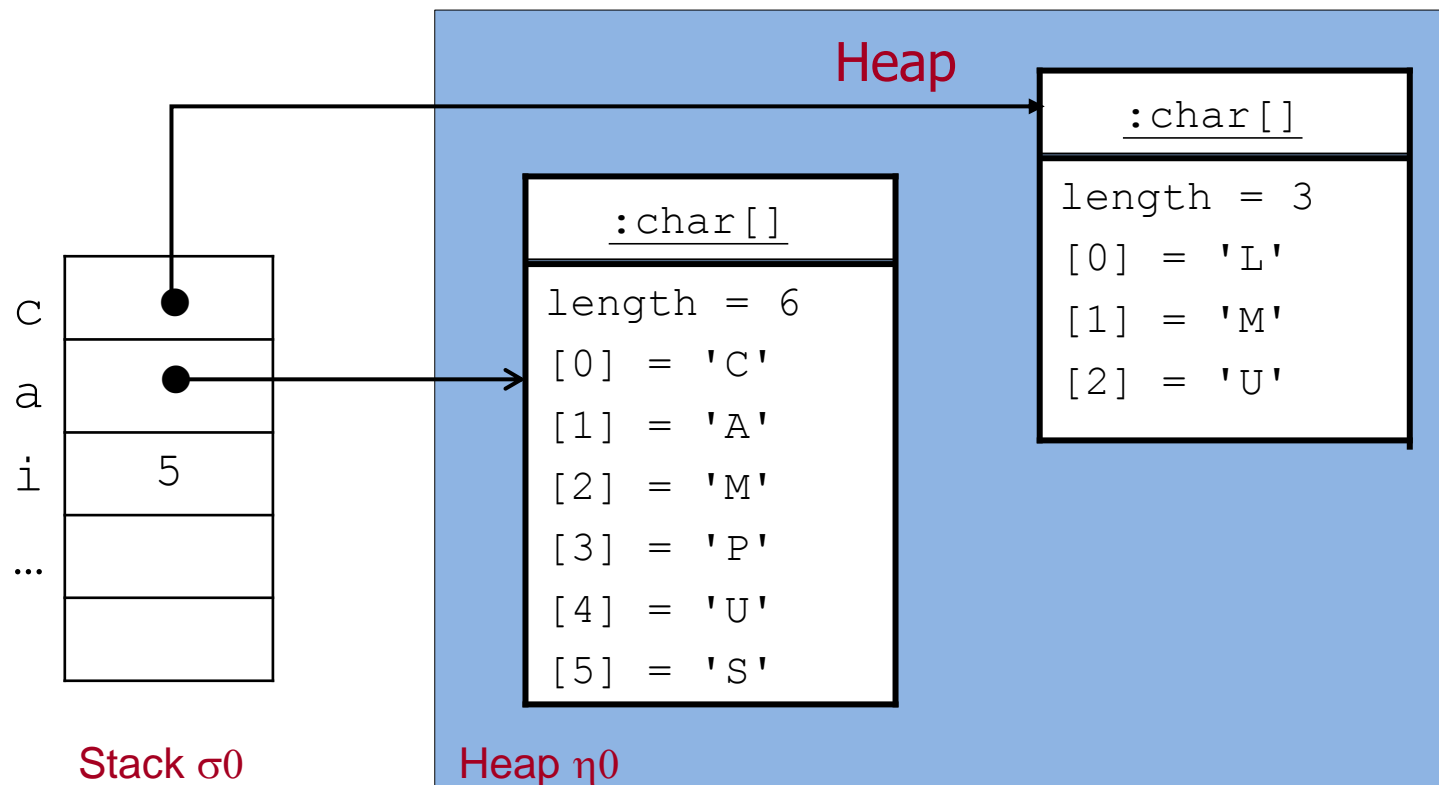
```
a[5] = 'R';
```

```
for (int i = 0; i < a.length; i++) {  
    System.out.print(a[i]);  
}
```

druckt dann CAMPER

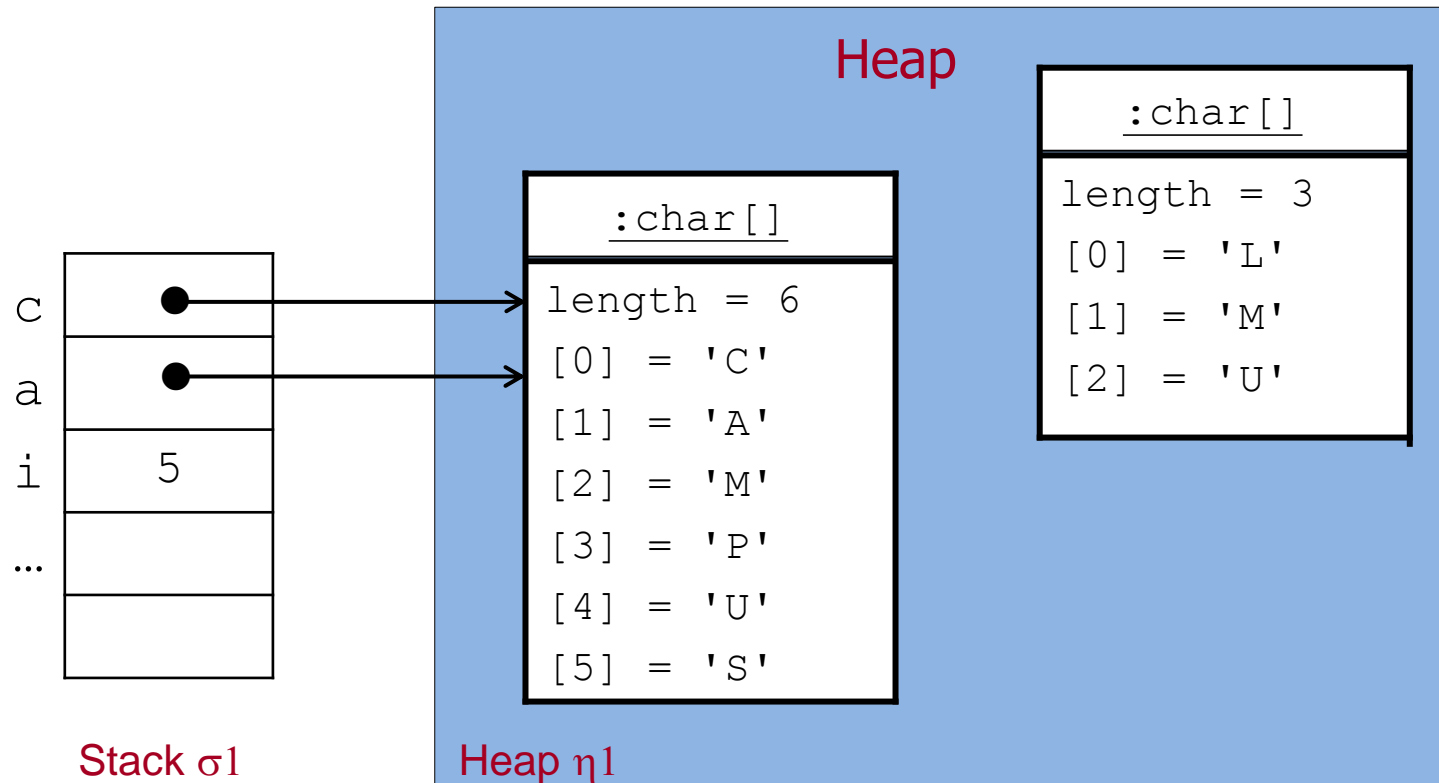
Zuweisungen und Arrays (1)

```
char[] a = {'C', 'A', 'M', 'P', 'U', 'S'};  
char[] c = {'L', 'M', 'U'};
```



Zuweisungen und Arrays (2)

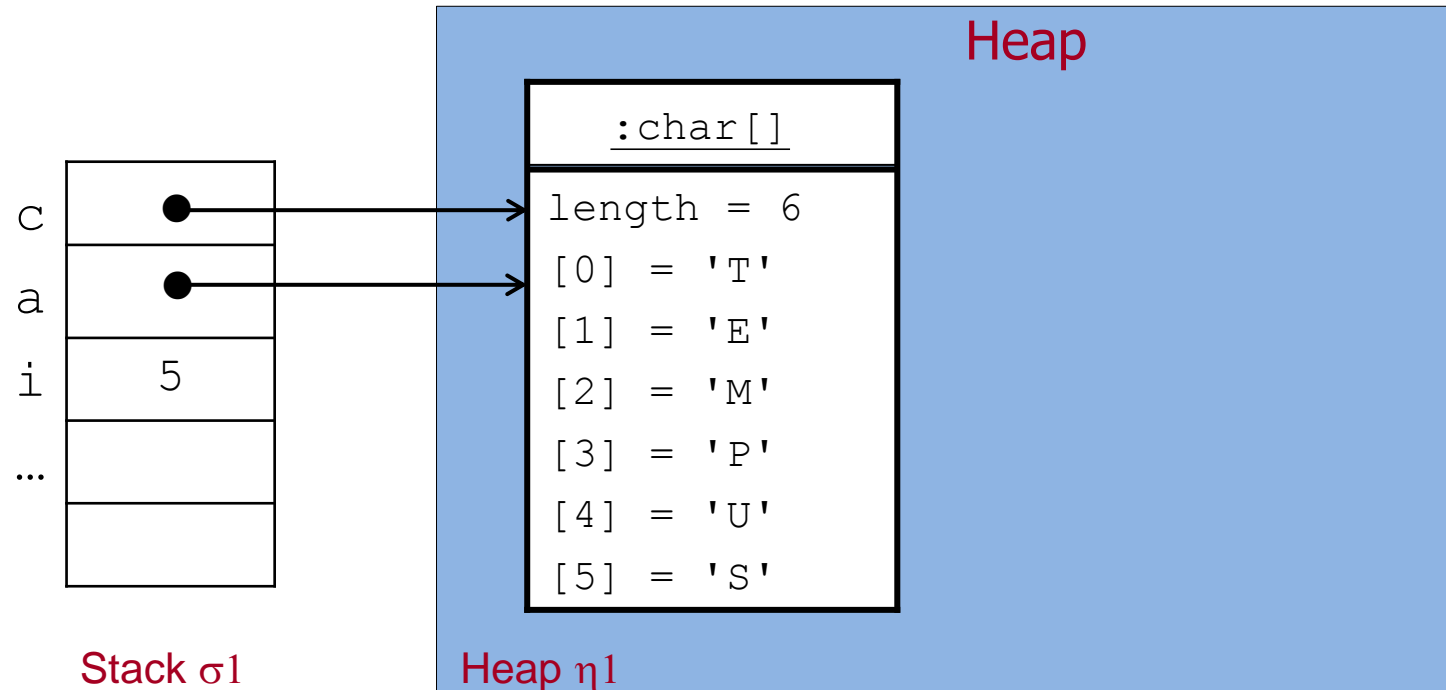
`c = a;` führt zu folgendem Zustand:



Nach Speicherbereinigung (Garbage Collection) wird das nicht mehr zugreifbare Arrayobjekt entfernt.

Zuweisungen und Arrays (3)

`c[0] = 'T'; c[1] = 'E';` führt zu:



```
for (int i = 0; i < a.length; i++) {  
    System.out.print(a[i]);  
}
```

druckt TEMPUS

Suche nach dem Index eines minimalen Elements eines Arrays

Beispiel:

a:	[3,	-1,	15,	2,	-1]
Index:	0	1	2	3	4		

Algorithmus:

- Verwende eine Variable `minIndex` vom Typ `int` für den Index eines minimalen Elements.
- Initialisierung: `minIndex = 0;`
- Durchlaufe das ganze Array von links nach rechts.
Im i -ten Schritt vergleiche das Arrayelement ab Index i mit Index `minIndex` (d.h. `a[minIndex]`) mit dem Wert des aktuellen Elements (d.h. `a[i]`).
Falls `a[i] < a[minIndex]` setze `minIndex = i`.
- Danach ist der Wert von `minIndex` der Index eines minimalen Elements des Arrays (und `a[minIndex]` ein minimales Element).

Java Implementierung

```
public static void main(String[] args) {  
  
    int[] a = {3, -1, 15, 2, -1};  
  
    int minIndex = 0;  
    for (int i = 1; i < a.length; i++) {  
        if (a[i] < a[minIndex]) {  
            minIndex = i;  
        }  
    }  
  
    System.out.println("Index eines minimalen Elements: " + minIndex);  
    System.out.println("Minimales Element: " + a[minIndex]);  
}
```

Statische Methode `findMinIndex`

```
public static int findMinIndex(int[] arr){
    int minIndex = 0;
    for (int i = 1; i < arr.length; i++) {
        if (arr[i] < arr[minIndex]) {
            minIndex = i;
        }
    }
    return minIndex;
}
```

Benutzung:

```
public static void main(String[] args){
    int[] a = {3, -1, 15, 2, -1};
    int min = findMinIndex(a);
    System.out.println(" Index eines minimalen Elements: " + min);
    System.out.println(" Minimales Element: " + a[min]);
}
```

Verdoppeln der Werte eines Arrays

```
public static void doubleValues(int[] a){
    for (int i = 0; i < a.length; i++) {
        a[i] = 2*a[i];
    }
}
```

Benutzung:

```
public static void main(String[] args){
    int[] a = {3, -1, 15, 2, -1};
    doubleValues(a);
    for (int i = 0; i < a.length; i++) {
        System.out.print(a[i]);
    }
}
```

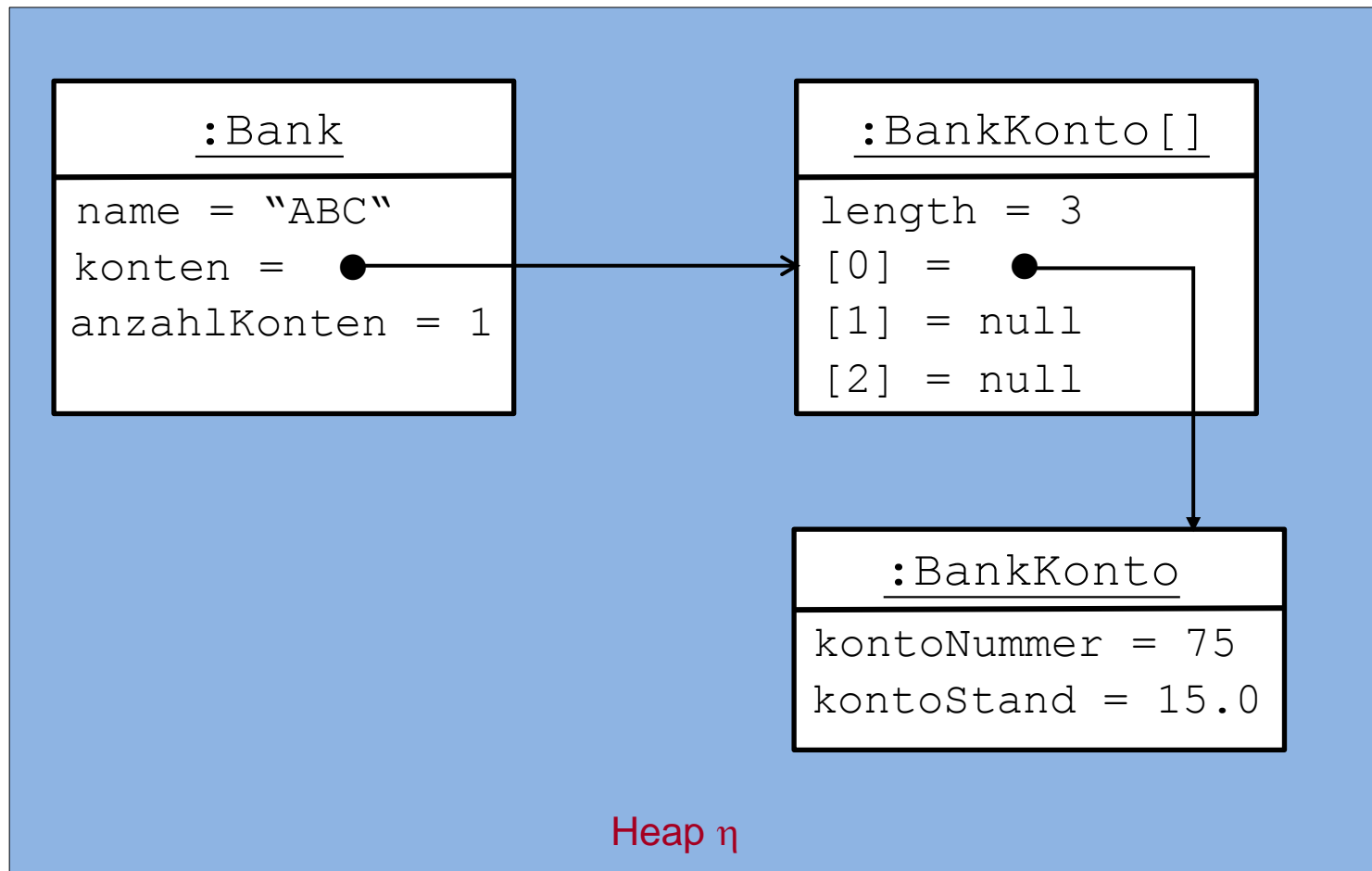
Arrays von Objekten: Bank mit Bankkonten

Bank
-String name
-BankKonto[] konten
-int anzahlKonten
...

BankKonto
-int kontoNummer
-double kontoStand
...

- Die Konten einer Bank werden in einem Array des Typs `BankKonto[]` gespeichert. Dafür wird das Attribut `konten` verwendet.
- Das Attribut `anzahlKonten` gibt an, wieviele Komponenten des Arrays aktuell mit Referenzen auf Objekte der Klasse `BankKonto` belegt sind.
- Diese Referenzen sind der Reihe nach bis zum Index `anzahlKonten-1` im Array `konten` gespeichert.
- Ein neues Konto muss beim Index `anzahlKonten` eingefügt werden.
- Wir sprechen von einem **partiellen Array** zur Verwaltung der Konten.

Heap mit einer Bank



Klasse BankKonto mit Konstruktor und Methoden

BankKonto
<pre>-int kontoNummer -double kontoStand</pre>
<pre>+BankKonto(int kontoNummer, double anfangsBetrag) +int getKontoNummer() +double getKontoStand() +void einzahlen(double x) +void abheben(double x)</pre>

Klasse BankKonto in Java

```
public class BankKonto {
    private int kontoNummer;
    private double kontoStand;
    public BankKonto(int kontoNummer, double anfangsBetrag) {
        this.kontoNummer = kontoNummer;
        this.kontoStand = anfangsBetrag;
    }
    public int getKontoNummer() {
        return this.kontoNummer;
    }
    public double getKontoStand() {
        return this.kontoStand;
    }
    public void einzahlen(double x) {
        this.kontoStand = this.kontoStand + x;
    }
    public void abheben(double x) {
        this.kontoStand = this.kontoStand - x;
    }
}
```

Klasse Bank mit Konstruktor und Methoden

Bank
-String name -BankKonto[] konten -int anzahlKonten
+Bank(String name, int maxAnzahlKonten) +String getName() +boolean kontoEroeffnen(int kontoNummer, double anfangsBetrag) +BankKonto sucheBankkonto(int kontoNummer) +boolean einzahlen(int kontoNummer, double betrag) +boolean abheben(int kontoNummer, double betrag) +double kontoStand(int kontoNummer) +double gesamtSaldo()

Klasse Bank in Java (1)

```
/**
 * Repräsentation einer Bank mit einem Namen und einer Liste von Konten.
 * @author Annabelle Klarl
 */
public class Bank {
    private String name;
    private BankKonto[] konten;
    private int anzahlKonten;
    /**
     * Konstruktor
     * @param name
     * @param maxAnzahlKonten
     */
    public Bank(String name, int maxAnzahlKonten) {
        this.name = name;
        this.konten = new BankKonto[maxAnzahlKonten];
        this.anzahlKonten = 0;
    }
}
```

Klasse Bank in Java (2)

```
/**
 * Diese Methode liefert den Namen der Bank
 *
 * @return Name der Bank
 */
public String getName() {
    return this.name;
}
```

Klasse Bank in Java (3)

```
/**
 * Diese Methode eröffnet ein Konto mit der gegebenen Kontonummer und dem
 * gegebenen Anfangsbetrag. Dazu wird zunächst ein neues Objekt der Klasse
 * {@link BankKonto} erzeugt, dieses der Bank an der nächsten freien Position
 * hinzugefügt und true zurückgegeben. Ist die Bank schon voll (d.h. wird die
 * Maximalanzahl an Konten für diese Bank überschritten), wird das Konto nicht
 * eröffnet und false zurückgegeben.
 * @param kontoNummer
 * @param anfangsBetrag
 * @return false falls die Maximalanzahl an Konten überschritten würde,
 *         true sonst
 */
public boolean kontoEroeffnen(int kontoNummer, double anfangsBetrag) {
    if (this.anzahlKonten < this.konten.length) {
        this.konten[this.anzahlKonten] =
            new BankKonto(kontoNummer, anfangsBetrag);
        this.anzahlKonten++;
        return true; }
    else return false;
}
```

Klasse Bank in Java (4)

```
/**
 * Diese Methode sucht in der Liste der Konten der Bank das Konto mit der
 * gegebenen Kontonummer. Wird ein Konto gefunden, wird dieses zurückgegeben.
 * Falls kein Konto mit dieser Kontonummer existiert, wird null zurückgegeben.
 *
 * @param kontoNummer
 * @return das Objekt der Klasse {@link BankKonto} mit der gegebenen
 *         Kontonummer; null falls kein Konto mit dieser Kontonummer
 *         existiert.
 */
private BankKonto sucheBankkonto(int kontoNummer) {
    for (int i = 0; i < this.anzahlKonten; i++) {
        BankKonto aktuellesKonto = this.konten[i];
        if (aktuellesKonto.getKontoNummer() == kontoNummer) {
            return aktuellesKonto;
        }
    }
    return null;
}
```

Klasse Bank in Java (5)

```
/**
 * Diese Methode zahlt auf ein Konto mit einer gegebenen Kontonummer einen
 * gegebenen Betrag ein. Falls kein Konto mit dieser Kontonummer existiert,
 * wird false zurückgegeben, sonst true.
 *
 * @param kontoNummer
 * @param betrag
 * @return false falls kein Konto mit dieser Kontonummer existiert,
 *         true sonst
 */
public boolean einzahlen(int kontoNummer, double betrag) {
    BankKonto aktuellesKonto = this.sucheBankkonto(kontoNummer);
    if (aktuellesKonto != null) {
        aktuellesKonto.einzahlen(betrag);
        return true; }
    else return false;
}

//Methode abheben wird analog implementiert
```


Klasse Bank in Java (6)

```
/**
 * Diese Methode gibt den Kontostand des Kontos mit der gegebenen
 * Kontonummer aus. Falls kein Konto mit dieser Kontonummer existiert, wird
 * {@link Integer#MIN_VALUE} zurückgegeben.
 *
 * @param kontoNummer
 * @return der Kontostand des Kontos oder {@link Integer#MIN_VALUE}, falls
 *         kein Konto mit der gegebenen Kontonummer existiert
 */
public double kontoStand(int kontoNummer) {
    BankKonto aktuellesKonto = this.sucheBankkonto(kontoNummer);
    if (aktuellesKonto != null) {
        return aktuellesKonto.getKontoStand();
    }
    else {
        return Integer.MIN_VALUE;
    }
}
```

Klasse Bank in Java (7)

```
/**
 * Diese Methode gibt die Gesamtsumme aller Kontostände zurück.
 *
 * @return der Gesamtsaldo aller Konten dieser Bank
 */
public double gesamtSaldo() {
    double gesamtSaldo = 0.0;
    for (int i = 0; i < this.anzahlKonten; i++) {
        BankKonto aktuellesKonto = this.konten[i];
        gesamtSaldo = gesamtSaldo + aktuellesKonto.getKontoStand();
    }
    return gesamtSaldo;
}

} //Ende Klasse Bank
```