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		*Kapitel 9*
Klassendeklarationen		
Objekte und Objekthalde (Heap)	**erweitert um**	**Arrayobjekte (kurz: Arrays)**
Grunddaten- und Klassentypen	**erweitert um**	**Arraytypen**
Werte	**erweitert um**	**Referenzen auf Arrayobjekte**
Operationen	**erweitert um**	**`==`, `!=` für solche Referenzen**
Ausdrücke	erweitert um	Arrayzugriff, Arrayerzeugung
Typisierung		
Auswertung bzgl.		
Zustand (Stack + Heap)	**erweitert um**	**Arrayobjekte auf dem Heap**
Deklarationsanweisung	erweitert um	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 `T` als eine Abbildung vom Indexbereich `{0,…,n-1}` in den Wertebereich von `T` aufgefasst werden.

Beispiel:

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

$$\texttt{a}: \{0, \ldots, 5\} \to \texttt{char}$$

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

Arraytypen und Arrayobjekte

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

ArrayType = *Type* "[ ]"

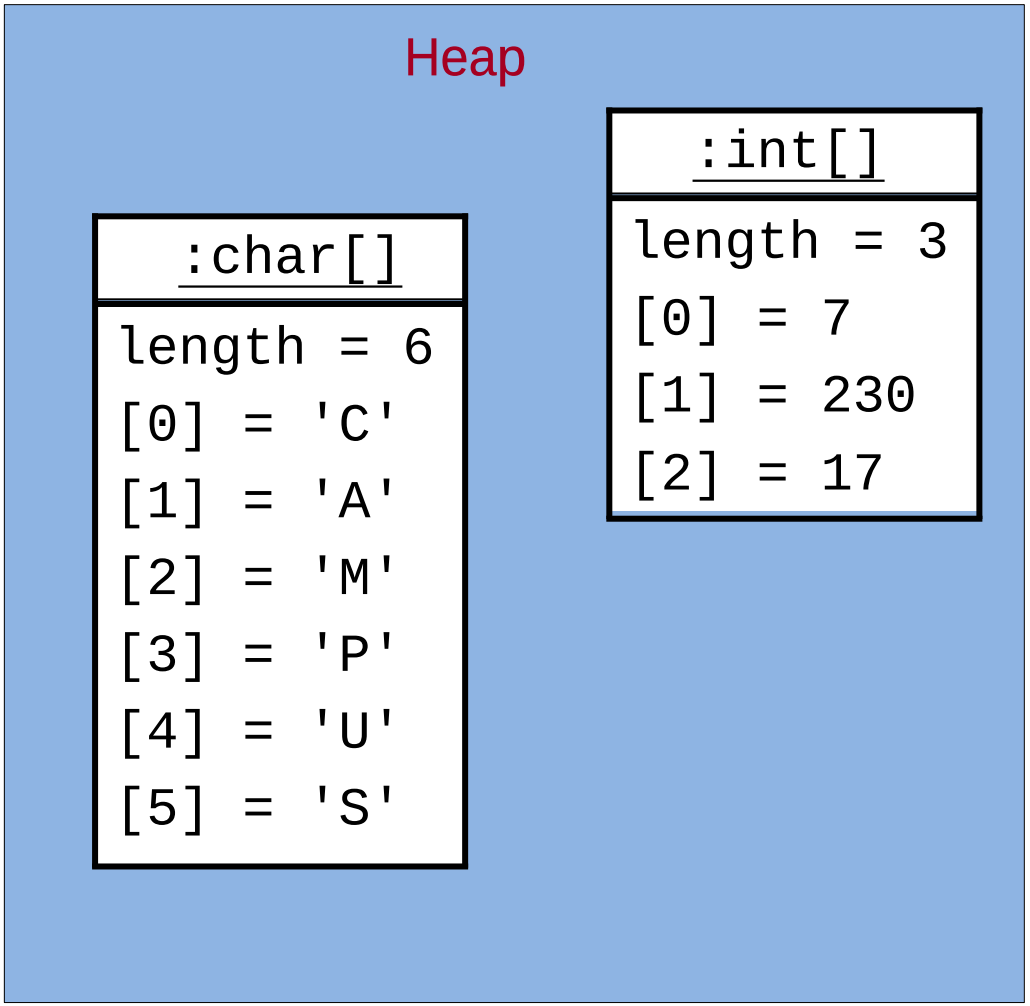
Beispiele:

```
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,…,n-1` durchnummeriert sind.

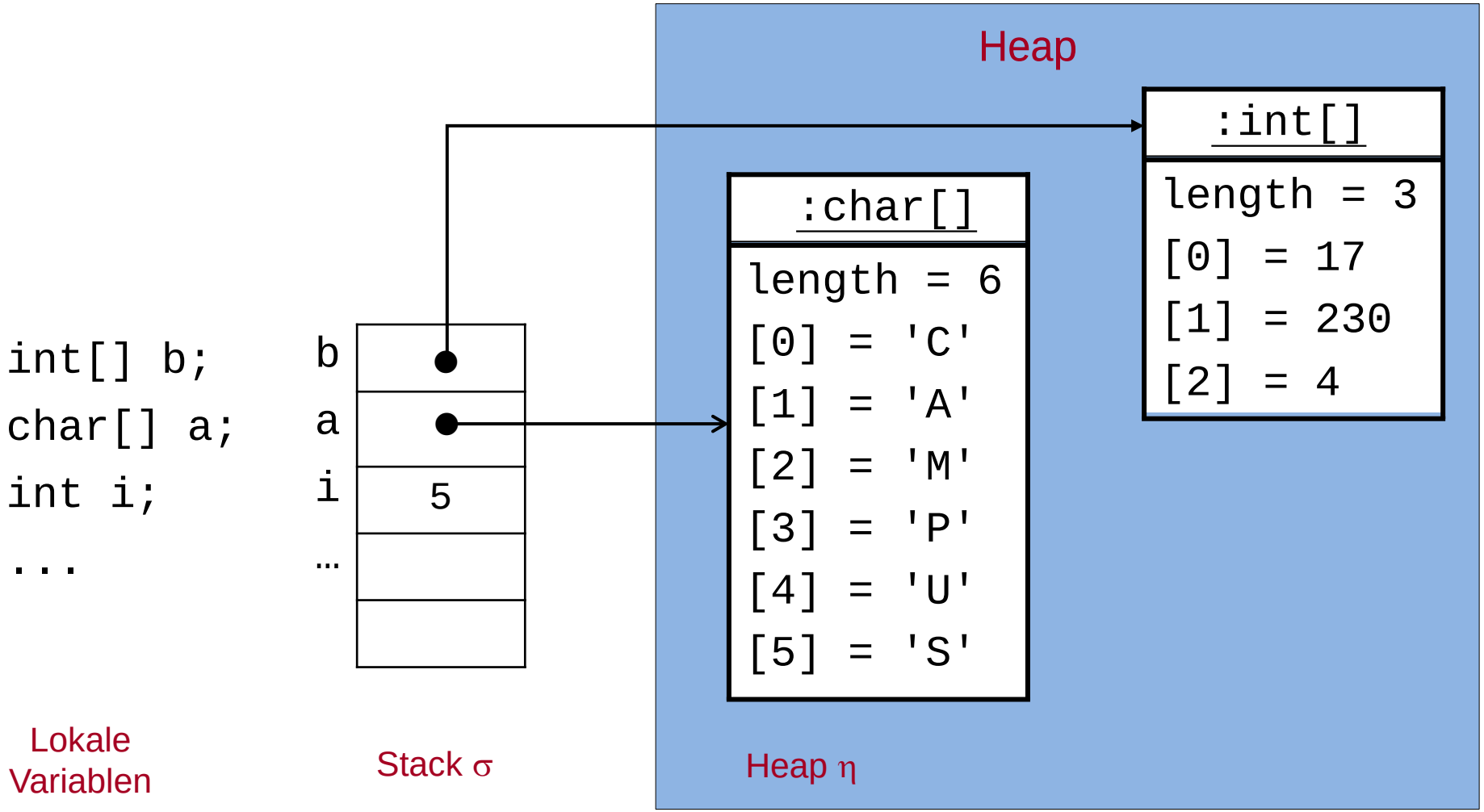
Speicherdarstellung von Arrayobjekten



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		*Kapitel 9*
Klassendeklarationen		
Objekte und Objekthalde (Heap)	erweitert um	Arrayobjekte (kurz: Arrays)
Grunddaten- und Klassentypen	erweitert um	Arraytypen
Werte	erweitert um	Referenzen auf Arrayobjekte
Operationen	erweitert um	`==`, `!=` für solche Referenzen
Ausdrücke	**erweitert um**	**Arrayzugriff, Arrayerzeugung**
Typisierung		
Auswertung bzgl.		
Zustand (Stack + Heap)	erweitert um	Arrayobjekte auf dem Heap
Deklarationsanweisung	erweitert um	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 "." *Identifier* "(" [*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 $=_{(\sigma,\eta)}$ ...
- 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.

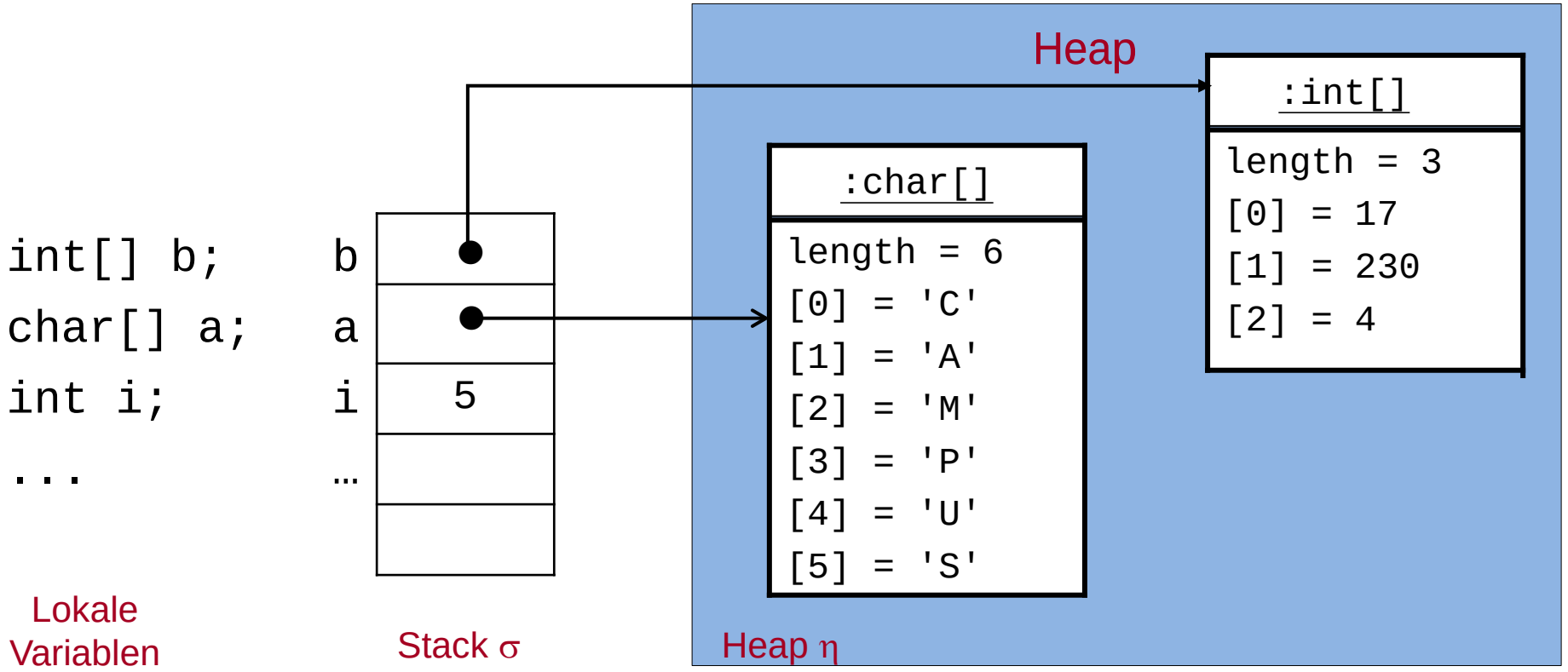
Sei `e` ein Ausdruck mit Arraytyp `T[]`.

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

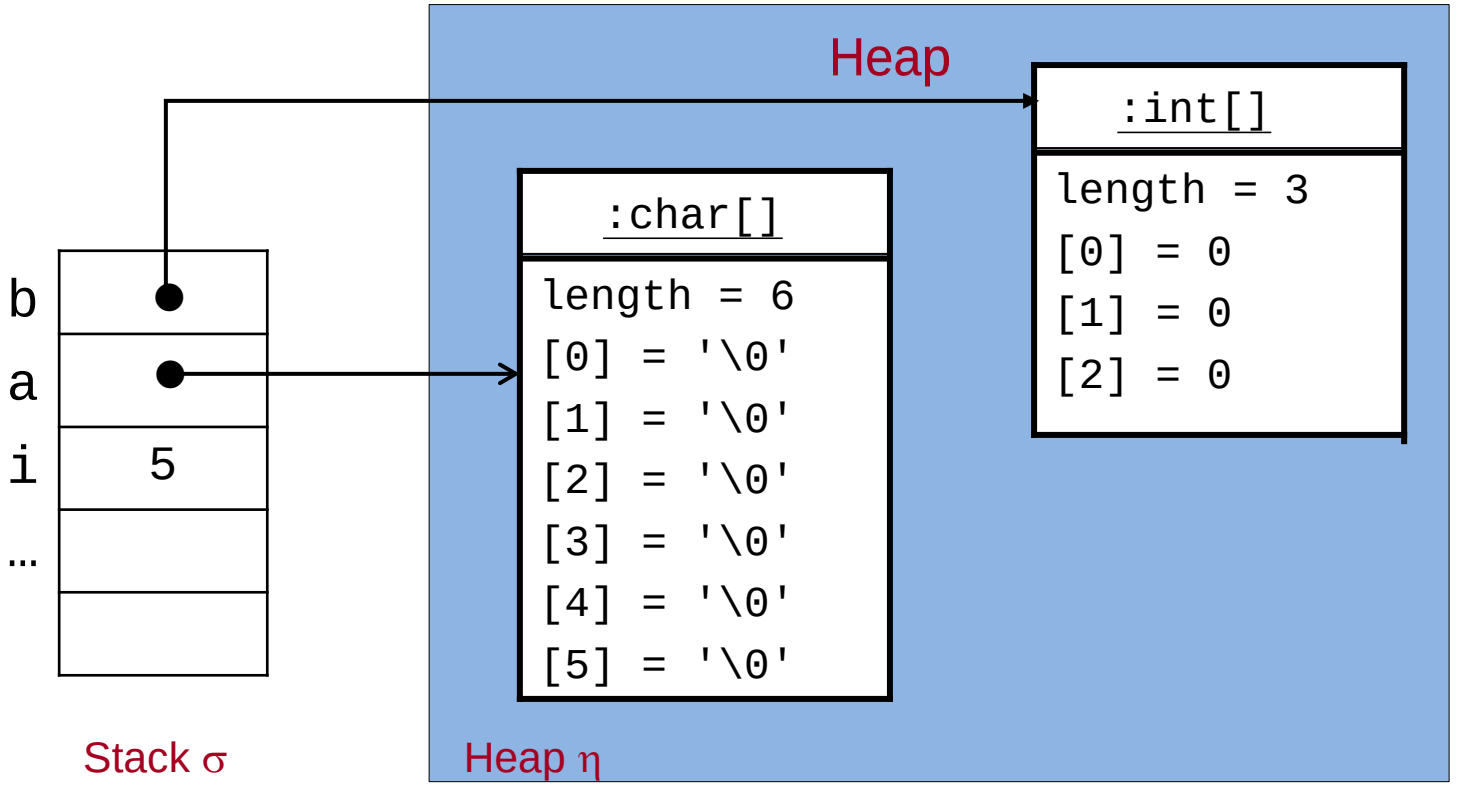
Sei `new T[`d_1`]…[`d_n`][]…[]` ein Arrayerzeugungs-Ausdruck.

1. Die Werte der Dimensionsausdrücke $d_1, \ldots, d_n$ 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,..,` 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		*Kapitel 9*
Klassendeklarationen		
Objekte und Objekthalde (Heap)	erweitert um	Arrayobjekte (kurz: Arrays)
Grunddaten- und Klassentypen	erweitert um	Arraytypen
Werte	erweitert um	Referenzen auf Arrayobjekte
Operationen	erweitert um	`==`, `!=` für solche Referenzen
Ausdrücke	erweitert um	Arrayzugriff, Arrayerzeugung
Typisierung		
Auswertung bzgl.		
Zustand (Stack + Heap)	erweitert um	Arrayobjekte auf dem Heap
Deklarationsanweisung	**erweitert um**	**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:

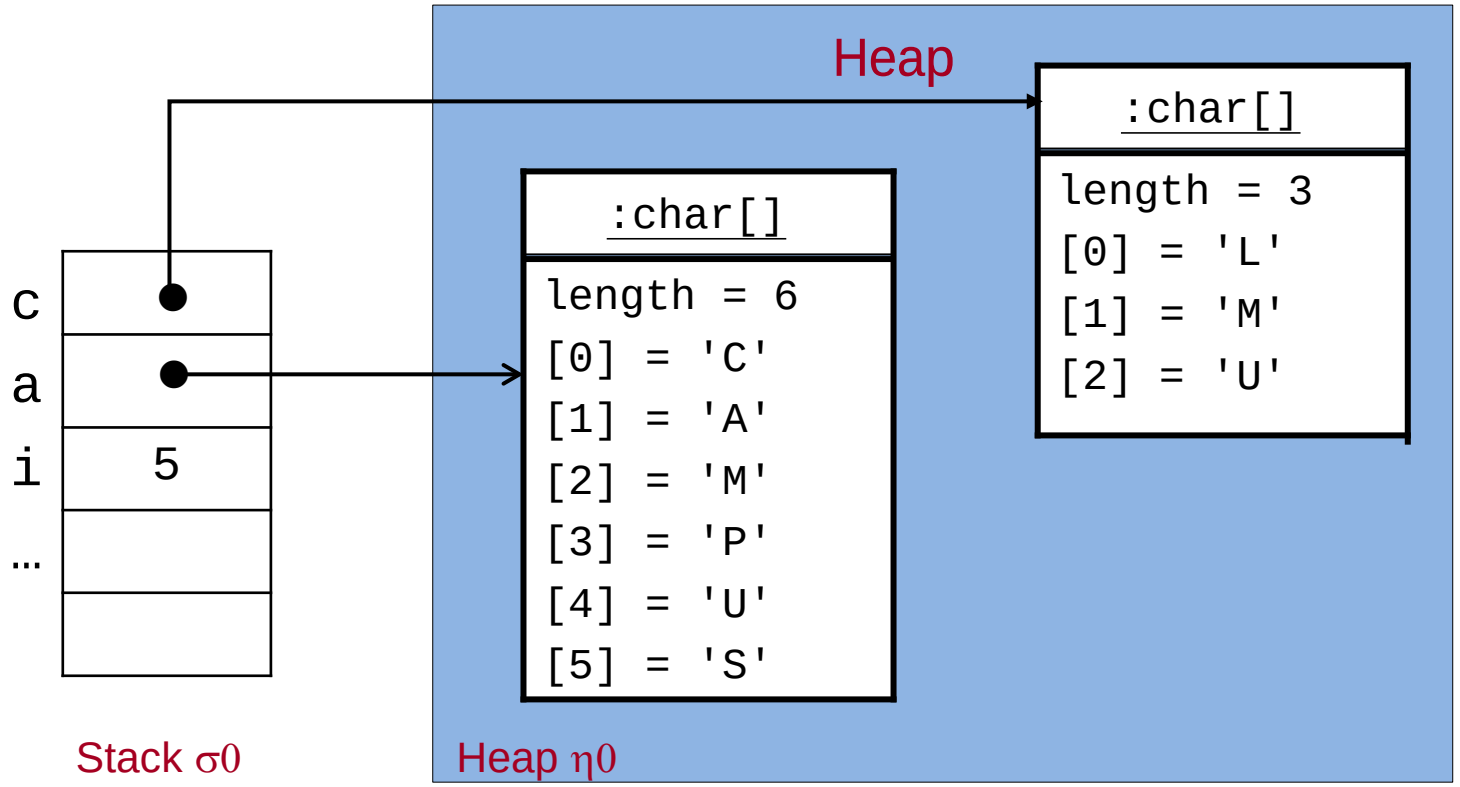
```
a[4] = 'E';
a[5] = 'R';
```

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

druckt dann CAMPER

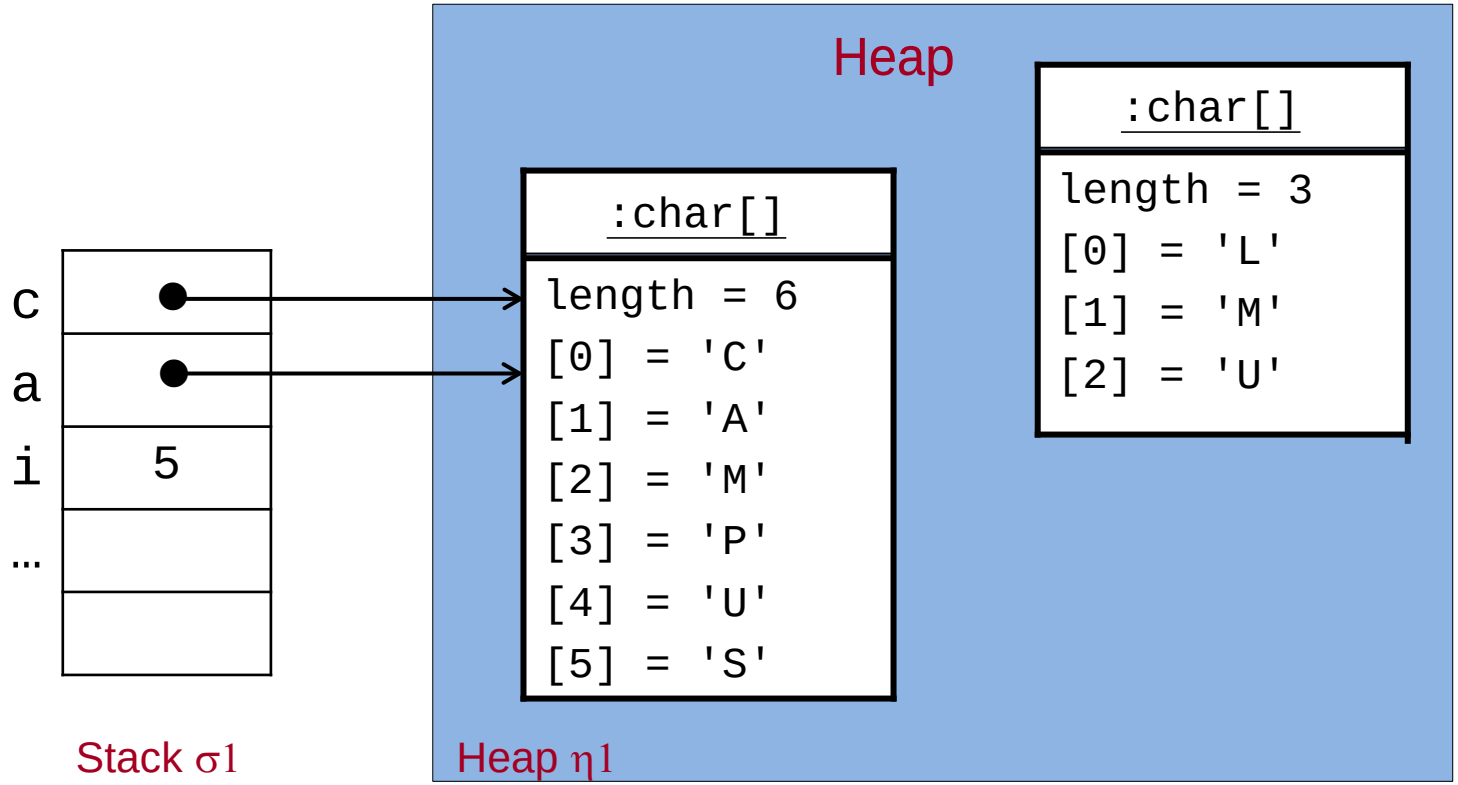
Zuweisungen und Arrays (1)

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



Zuweisungen und Arrays (2)

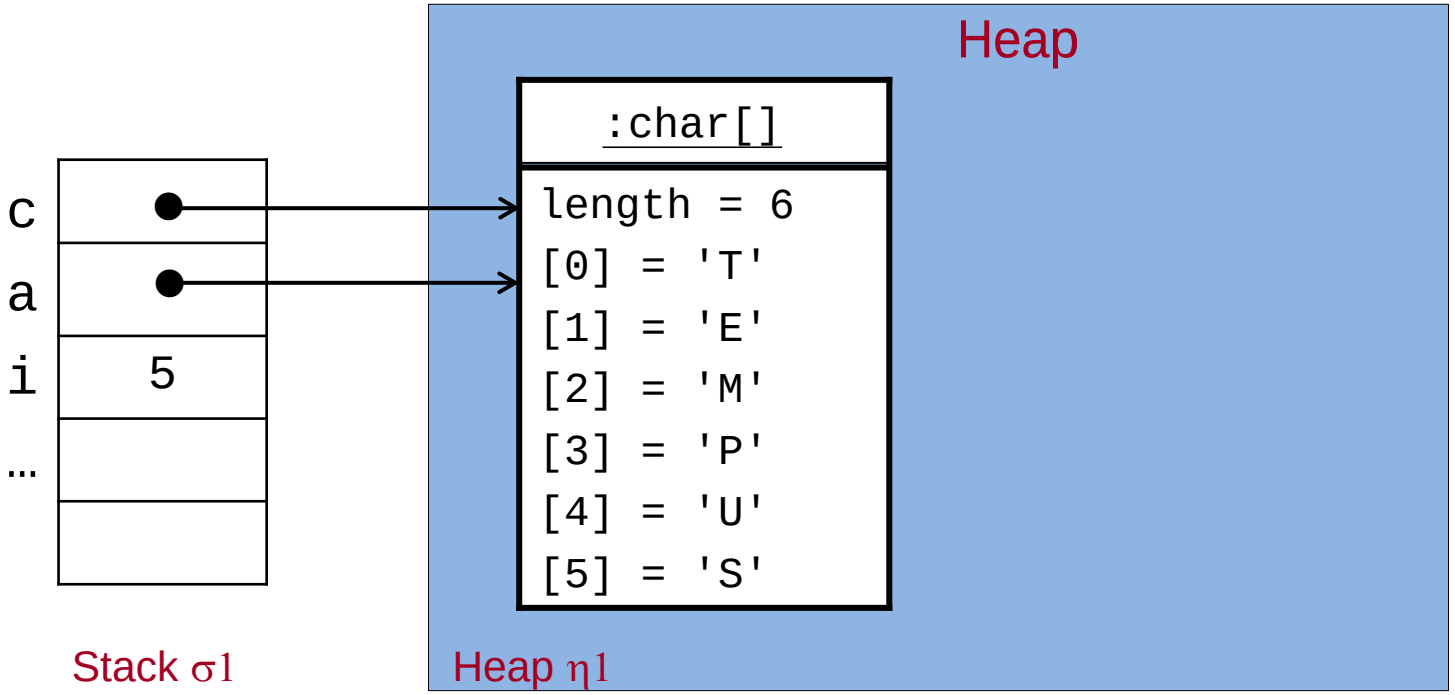
`c = a;` führt zu folgendem Zustand:



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 ab Index `1`.
  Im i-ten Schritt vergleiche das Arrayelement 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];
    }
}
```

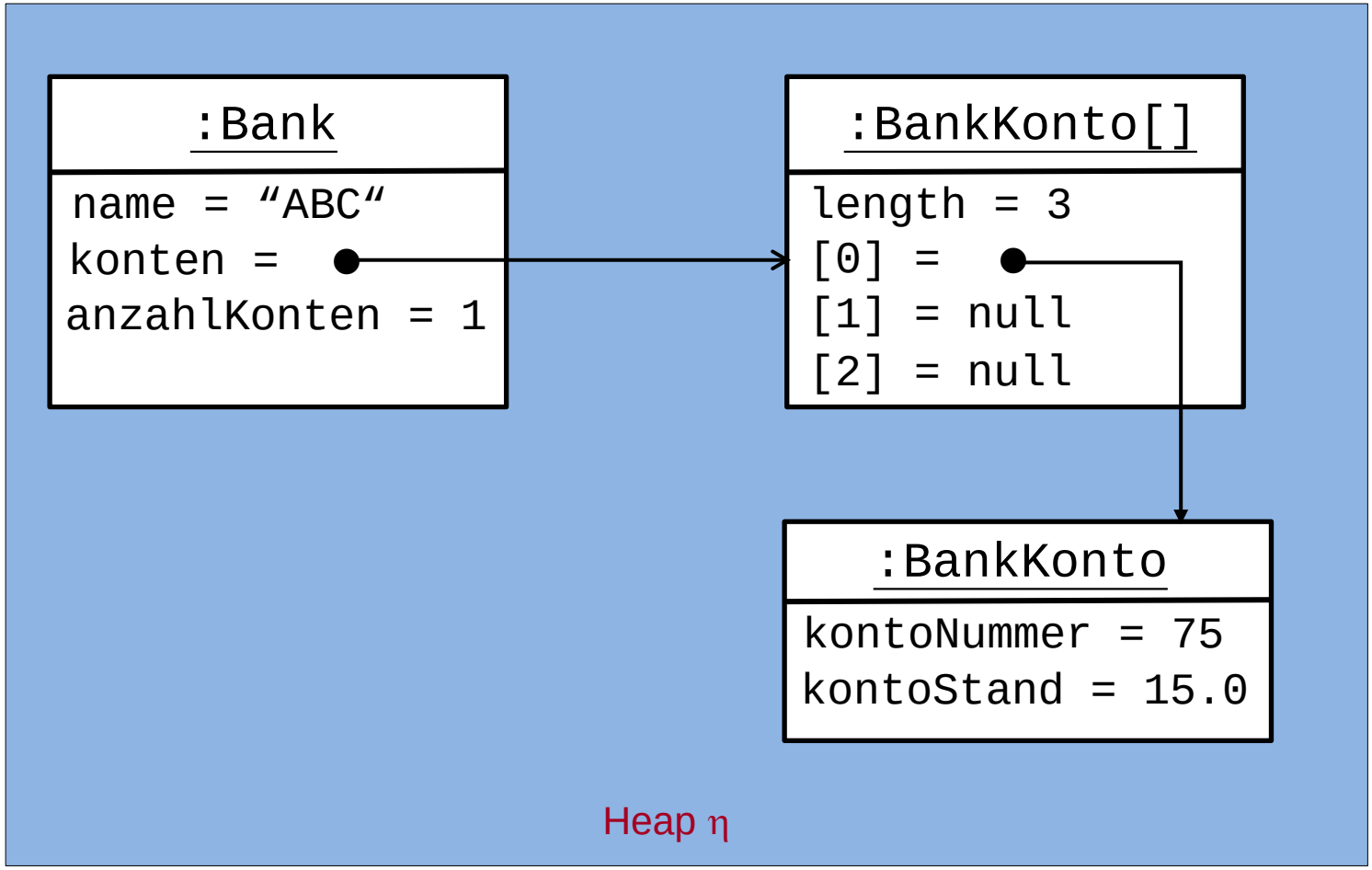
Benutzung:

```
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

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

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
```