Arrays

Softwareentwicklung II (IB)

Prof. Dr. Oliver Braun

Letzte Änderung: 28.01.2020 17:34

Allokieren und Initialisieren

Allgemeine Container

- **Arrays** (auch „Feld“, „Reihung“) vordefiniert, ohne weitere Maßnahmen verfügbar
- Werden von praktisch allen Programmiersprachen angeboten
- Tief in Java verankert, von der JVM intern genutzt
- Arrays sind **Containertypen** (ähnlich wie Lists, Maps, Sets): Speichern Elemente anderer Typen
- **Elementtyp** beliebig, aber gleich für alle Elemente
- Beispiel: Array mit fünf `int`-Elementen
- Werte einzelner Elemente austauschbar (im Gegensatz zu Strings)
- Anzahl Elemente eines Arrays („Arraylänge“) unveränderlich

Arraytypen (1/3)

- Arrays = Familie von ähnlichen Typen, kein einzelner Typ (vergleichbar mit Enums)
- Typangabe: Elementtyp + leere eckige Klammern type`[]`
- Beispiel: Array mit `int`-Elementen (kurz „`int`-Array“) `int[]`
- Zu jedem Elementtyp ein korrespondierender **Arraytyp**

Arraytypen (2/3)

- Beispiele:

Elementtyp	Arraytyp
`int`	`int[]`
`double`	`double[]`
`boolean`	`boolean[]`
`char`	`char[]`
`String`	`String[]`
`Rational`	`Rational[]`
`Color`	`Color[]`

Arraytypen (3/3)

- Arraytypen sind Referenztypen
- Ein Arraytyp legt keine Länge fest
- Ein konkretes Exemplar eines Arrays hat eine feste, unveränderliche Länge

Allokieren (1/2)

- Erzeugen eines neuen Arrays mit einer bestimmten Anzahl Elemente vom Typ type:

```
new type[expression]
```

- expression = Anzahl Elemente, beliebiger `int`-Ausdruck
- Beispiele: Arrays mit 4, 69, 10 und 97 Elementen:

```
new int[4];
new double[1 + 17*4];
new String["new String".length()];
new Rational['a'];
```

Allokieren (2/2)

- Anzahl Elemente eines neuen Arrays ...
  - ... wird im `new`-Aufruf festgelegt
  - ... wird zur Laufzeit berechnet, nicht vom Compiler
  - ... kann später nicht mehr verändert werden
- Bildhafte Vorstellung: Array = Liste namenloser Variablen, werden gemeinsam definiert, bleiben für die Lebensdauer des Arrays beisammen

Arrayvariablen (1/2)

- Definition von Variablen von Arraytypen („Array-Variablen“)
- Beispiel:

```
int[] a;
```

- Zuweisung eines Arrays an eine Arrayvariable:

```
a = new int[4];
```

Arrayvariablen (2/2)

- Verschiedene Arrays mit unterschiedlichen Längen als Werte einer Arrayvariablen:

```
int[] a;
a = new int[10];
a = new int[1];      // etwas eigenartig, aber zulässig
a = new int[10_000];
```

Defaultwerte

- Elemente eines Arrays beim Allokieren automatisch mit Defaultwerten vorbesetzt (ebenso wie Objekt- und Klassenvariablen)
- Beispiel:

```
Rational[] r = new Rational[97];
```

  `r` referenziert ein Array mit 97 `Rational`-Elementen, alle mit dem Wert `null` initialisiert

- Erzeugt nur das Array, keine Objekte, ruft keinen Element-Konstruktor auf

Arrayliterale (1/2)

- **Arrayliteral** = Konstante eines Arraytyps
- Allokiert neues Array aus einer Liste vorgegebener Werte
- Schema:

```
new type[] {expression, expression, …, expression};
```

  Länge der Arrays = Anzahl Elemente

- Beispiel:

```
new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};
```

- Listenelemente = beliebige Ausdrücke, kompatibel zum Elementtyp des Arrays

Arrayliterale (2/2)

- Beispiel:

```
int[] a = new int[]
 {123, -4, 7220, 703%19, (int)(715.0/3)};
```

Kurzfassung für:

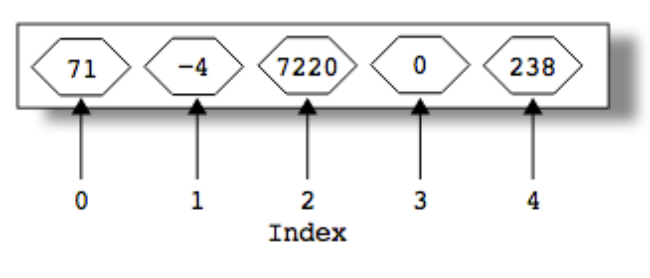
```
int[] a = new int[5];
a[0] = 123;
a[1] = -4;
a[2] = 7220;
a[3] = 703%19;
a[4] = (int)(715.0/3);
```

- Sinnvoll, wenn Anzahl und Werte von Elementen im Quelltext bekannt sind

Elementzugriff

Indexwerte

- Elemente eines Arrays folgen linear aufeinander
- Jedes Element hat ganzzahligen **Index**
- Index des ersten Elementes = 0, dann fortlaufend weiter
- Index des letzten Elementes = (Arraylänge − 1)
- Beispiel: 5 Elemente mit Index 0 bis 4



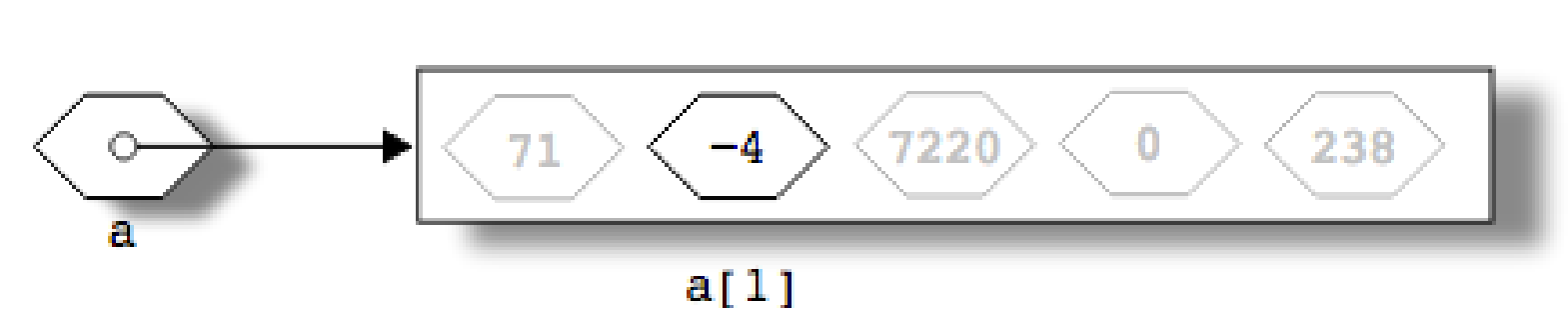
- Zugriff auf alle Element ungefähr gleich schnell = random access

Elementzugriff (1/2)

- Ansprechen eines einzelnen Arrayelements mit Index
- Schema für „Array-Elementzugriff“:

```
array[expression]
```

- Index zur Laufzeit berechnet aus `int`-Ausdruck expression
- Beispiel: Zugriff auf das zweite Element von Array `a` `a[1]`



- Zugriff auf ein Element berührt die anderen Elemente des Arrays nicht

Elementzugriff (2/2)

- Arrayelement benutzbar wie gewöhnliche Variable des Elementtyps
- Beispiele:

```
int[] a = new int[5];
a[1] = -3;
a[3] = 0;
a[1]--;
a[152%3] = -a[1]*1805;
a[a[3]] = 71;
a[a[1]*-1] = 167 + a[a[2]%7220];
```

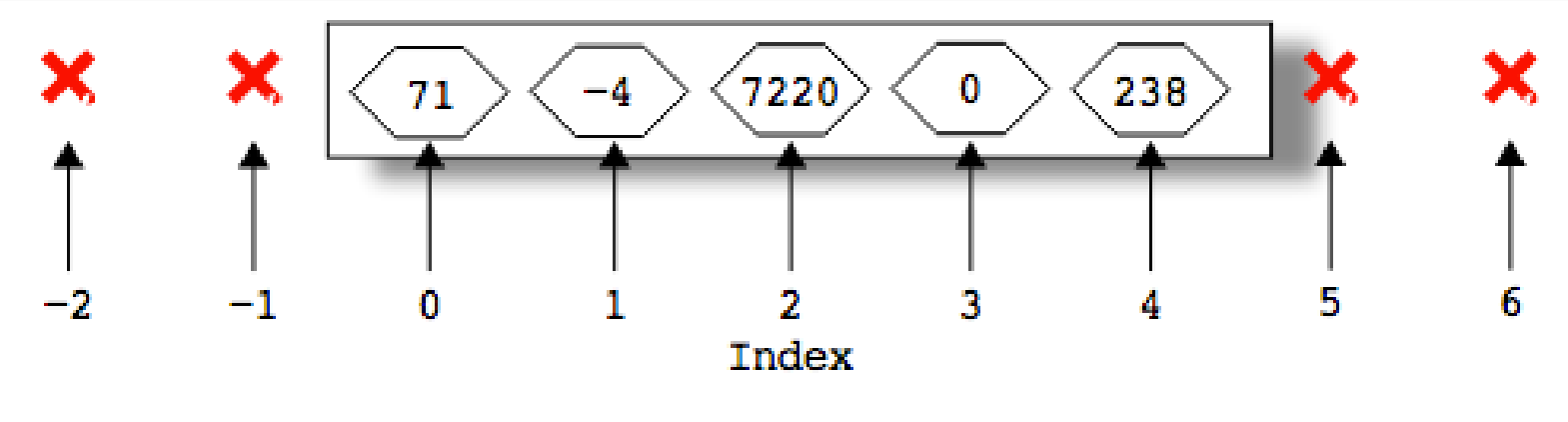
Indexfehler

- Unzulässige Indexwerte werfen

  `ArrayIndexOutOfBoundsException`

```
int[] a = new int[5];
a[5] = 23;                    // Indexfehler
```

- Negativer Index immer unzulässig



- JVM prüft zur Laufzeit jeden Array-Elementzugriff

Kurze Arrays

- Anzahl Elemente eines Arrays (konzeptionell) beliebig
- Schließt Arrays mit einem und keinem Element ein:

```
int[] oneElement = new int[1];
int[] noElements = new int[0];
int[] noArray = null;
```

- Ein Array ohne Elemente ist ein Objekt, `null` ist keines
- Vermeidet Sonderbehandlungen, wenn die Arraylänge automatisch bestimmt wird und 0 bzw. 1 nicht ausgeschlossen werden können

Syntax: Eckige Klammern

- Eckige Klammern syntaktisch in verschiedenen Kontexten

Arraytyp	`int[]`	Arraytyp
Array erzeugen	`new int[5]`	Ausdruck, Arraytyp
Array-Literal	`new int[] {1, 2, 3}`	Ausdruck, Arraytyp
Elementzugriff	`a[1]`	Ausdruck, Elementtyp

- Beispiel

```
int[] a;                        // Arraytyp
a = new int[5];                 // Array erzeugen
a = new int[] {1, 2, 3};        // Array-Literal
a[1] = 1;                       // Elementzugriff
```

Abfrage Anzahl Elemente

- Anzahl Elemente als öffentlich lesbare `final`-Objektvariable `length`
- Zugriff wie Objektvariablen:

```
array.length
```

- Beispiel:

```
int[] a = new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};
System.out.println(a.length); // gibt „5“ aus
```

Arrayausdrücke (1/2)

- Array-Ausdruck = Ausdruck mit Arraytyp
- Elementzugriff über beliebigen Arrayausdruck, nicht nur isolierte Arrayvariable
- Beispiele:
  - Rückgabewert

```
int[] getArray() {…}
 …
getArray()[2] = 23;
```

Arrayausdrücke (2/2)

- Bedingter Operator

```
int[] fst = …;
int[] snd = …;
(x > 0 ?  fst :  snd)[2] = 23;
```

- Öffentliche Objektvariable mit Arraytyp

```
class Foo {
  int[] elements;
}
 …
Foo foo = …;
foo.elements[2] = 23;
```

`char`-Arrays vs. Strings

- `char`-Arrays $\neq$ Strings
- Umwandlung
  - String $\Rightarrow$ `char`-Array:

```
String s = …;
char[] a = s.toCharArray();
```

  - `char`-Array $\Rightarrow$ String:

```
char[] a = …;
String s = new String(a);
```

- Klasse `String` verwendet intern `char`-Array
- String = Luxusversion eines `char`-Array: einfacher, effizienter, bequemer, aber immutable

foreach-Schleifen

Motivation

- Sequentieller Array-Durchlauf = Elemente von vorne nach hinten der Reihe nach verarbeiten
- Beispiel mit `for`-Schleife:

```
int[] a = …;
for (int i = 0;  i < a.length;  i++)
  System.out.println(a[i]);
```

- Indexvariable `i` nur zur Elementauswahl, nichts sonst
- Allgemein

```
for (int i = 0;  i < a.length;  i++) {
  T e = a[i];
  // e verwenden, aber nicht i
}
```

Syntax

- Einfacher: **foreach-Schleife**
- Schema:

```
for (type variable: array)
  statement
```

- Beispiel:

```
for (int e: a)
  System.out.println(e);
```

- Kurzform einer `for`-Schleife für bestimmten Zweck
- Anwendbar auf weitere Datenstrukturen
  - bereits kennengelernt mit `List`, `Set`, `Map`

Äquivalenz zur **for**-Schleife

- foreach-Schleife ersetzbar durch `for`-Schleife (`T` = Elementtyp des Arrays):

```
for (T e: a) {
  …
}
```

äquivalent zu

```
for (int i = 0;  i < a.length;  i++) {
  T e = a[i];
  …
}
```

- Neue Schleifenvariable `e` in jedem Durchgang

Einschränkungen

- Nur Lesen, kein Schreiben des Arrays
- Start immer mit erstem Element
- Sequentieller Durchlauf, keine Sprünge
- Nur ein Array, nicht mehrere parallel
- Durchlauf vorzeitig abbrechen nur mit `break`

Anwendungen

- foreach geeignet für beispielsweise ...
  - Ausgabe von Elementen
  - Suche nach Element
  - Änderungen in Elementen
- Nicht brauchbar für
  - Initialisierung
  - Kopieren von Arrays
  - Vergleich zweier Arrays
  - Austausch von Elementen

Varargs

Definition

- Bisher feste Anzahl Argumente bei Methodenaufrufen
- Mit **Varargs** (variable length argument lists) veränderliche Anzahl Argumente
- Methodendefinition mit **Vararg-Parameter**
- Vararg-Parameter syntaktisch markiert mit Typ und drei Punkten:

```
type ... name
```

- Beispiel:

```
int sum(int ... args) {
  …
}
```

Vararg-Parameter im Rumpf

- Varargs ausschließlich in Parameterlisten erlaubt, nirgends sonst
- Varargs-Parameter im Methodenrumpf verwendbar wie ein Array
- Beispiel:

`int sum(int... args)` ist im Rumpf der Methode gleichwertig mit `int sum(int[] args)`

- Beispiel: Addition aller Argumente

```
int sum(int... args) {  // verwendbar wie: int[] args
  int s = 0;
  for(int i: args)    // alle Argumente addieren
    s += i;
  return s;           // Summe zurückliefern
}
```

Aufruf

- Aufrufer liefert beliebig viele Argumente für einen Vararg-Parameter

```
sum(1, 2, 3)
```

- Jedes einzelne Argument muß kompatibel zum Vararg-Parameter sein
- Bei der Parameterübergabe:
  1. Allokieren eines neuen Arrays mit Länge = Anzahl Argumente
  2. Initialisieren des Arrays mit Argumentwerten
  3. Zuweisen des Arrays an den Vararg-Parameter
- Beispiel:

```
System.out.println(sum(1, 2, 3));       // Ausgabe „6“
System.out.println(sum());              // Ausgabe „0“
System.out.println(sum(1, sum(2, 3))); // Ausgabe „6“
```

Arrayargumente (1/3)

- Statt einer Argumentliste kann der Aufrufer als Argument ein komplettes Array übergeben

```
int[] a = new int[] {1, 2, 3};
System.out.println(sum(a));          // Ausgabe „6“
```

- Im Rumpf der Methode nicht unterscheidbar
- An einen Vararg-Parameter kann …
  - entweder ein Argument-Array
  - oder eine Liste von einzelnen Argumenten

Arrayargumente (2/3)

übergeben werden, aber keine Mischung von beiden

```
int[] a = new int[] {1, 2, 3};
System.out.println(sum(4, 5, 6)); // Ok, einzelne Argumente
System.out.println(sum(a)); // Ok, Argument-Array
System.out.println(sum(a, 4, 5, 6)); // Fehler!
```

- Zweck: Vararg-Parameter kann weitergegeben werden:

```
int printSum(int ... args) {
  for (int i: args)
    System.out.println(i);
  return sum(args); // Vararg an Vararg
}
```

Arrayargumente (3/3)

- `null` als Argument syntaktisch korrekt, aber Laufzeitfehler:

```
System.out.println(sum(null)); // NullPointerException
```

Einschränkungen (1/3)

- Einschränkungen:
    - nur ein Vararg-Parameter
    - Vararg-Parameter letzter in der Parameterliste
- Vorausgehende Parameter werden normal behandelt

Einschränkungen (2/3)

- Beispiel:

```
boolean inRange(int low, int high, int... values) {
  boolean result = 0;
  for (int x: values) {
    if (x < low  ||  x > high) {
      result = false;
    }
  }
  return result;
}
```

Einschränkungen (3/3)

- Mindestens zwei Argumente beim Aufruf:

  `inRange(5, 10, 6, 10, 8)` → `true`

  `inRange(5, 10, 6, 12, 8)` → `false`

  `inRange(5, 10)` → `true`

- Formatierte Ausgabe und `String.format` benutzen Vararg-Parameter

Überladen (1/2)

- Per Definition: Alle Methoden ohne Varargs „passen genauer“ als Methoden mit Varargs
- Beispiel: Definitionen

```
void foo(double d)
void foo(int ... i)
```

- Aufruf von …

`foo(1)` – `foo(double)` passt ohne Varargs

`foo(1, 2)` – `foo(int ...)` passt alleine

- Überladen mit Vararg- und Arrayparameter nicht zulässig:

```
int sum(int ... args)
int sum(int[] args)
```
– Fehler!

Überladen (2/2)

- Überladen mit Vararg-Parameter an verschiedenen Positionen ok:

```
int sum(int... args)
int sum(int arg0, int... args)
```

  Aufrufer muss Array-Argument übergeben, sonst mehrdeutig:

```
sum(1, 2, 3)                - Fehler, mehrdeutig
sum(1)                      - Fehler, mehrdeutig
sum(1, new int[] {2, 3})    - ok
sum(1, null)                - ok (aber in diesem Bsp
NullPointerException)
```

Geschachtelte Arrays

Arrays als Elemente

- Zu jedem Javatyp ein korrespondierender Arraytyp
- Auch für Arrays selbst: **geschachtelte Arrays** (auch „zweidimensionale Arrays“)
- Typangabe:

  `type[][]`

- Beispiel: Matrix `m`:

```java
int[][] m;
```

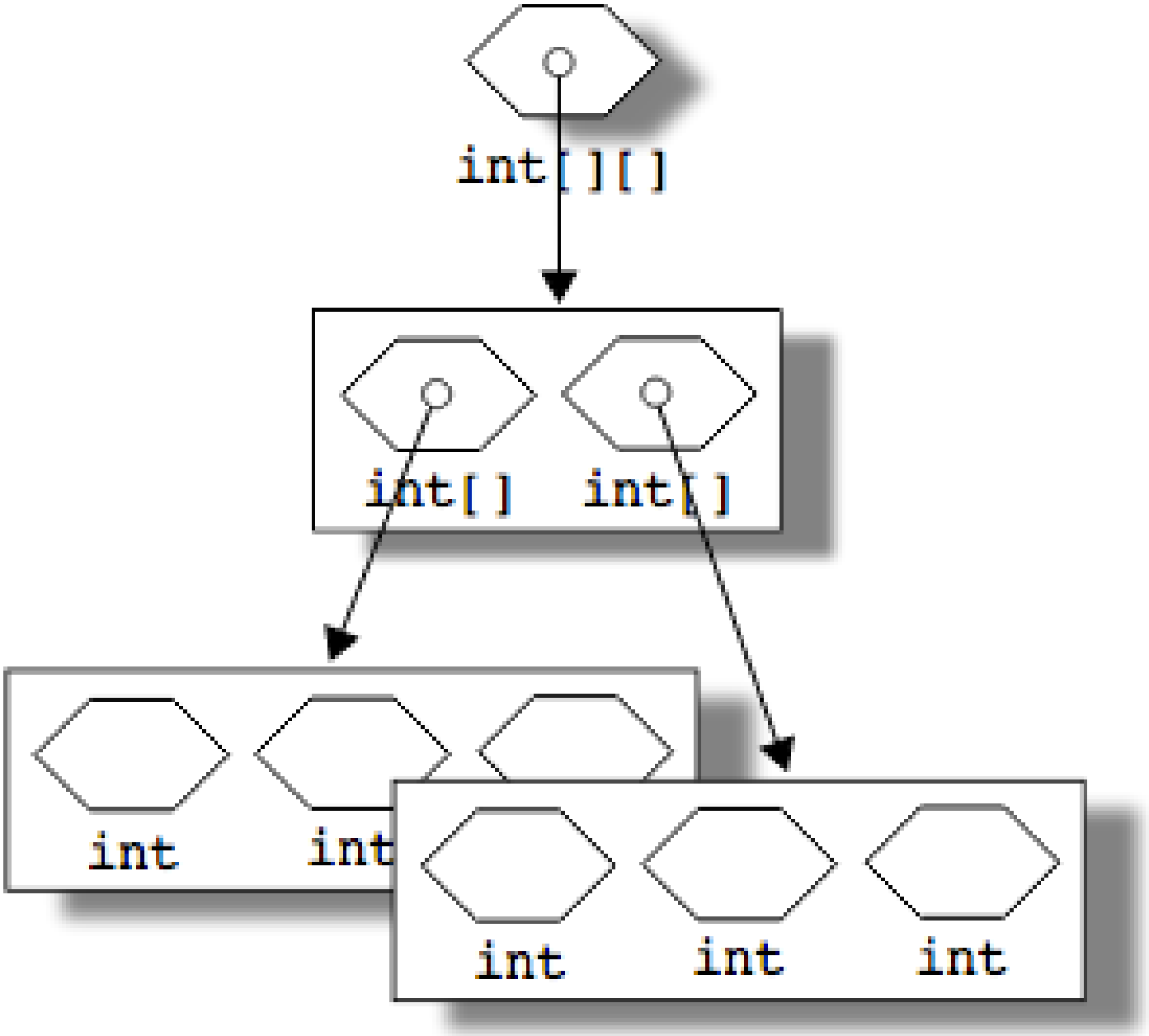
Allokieren

- Allokieren mit **new** + Anzahl Elemente in jeder Dimension

```
int[][] m = new int[2][3];
```

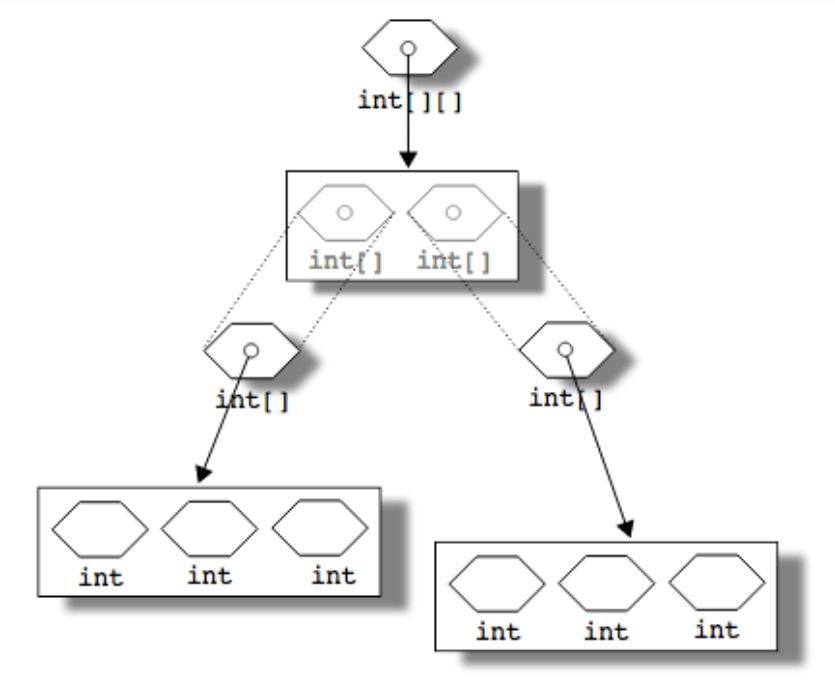
  erzeugt ein Array mit 2 Elementen, von denen jedes ein Array mit 3 `int`-Elementen ist

Speicherstruktur



Innere Struktur

- Innere Struktur aus zwei „Ebenen“; Auf jeder Ebene gewöhnliche, eindimensionale Arrays



- Array der ersten Ebene bleibt i.d.R. unsichtbar

Elementzugriff (1/3)

- Ein Index für jede Dimension. Beispiel:

```
m[1][0] = 10;
```

  Erster Index `[1]` für das Array der ersten Ebene,
  zweiter Index `[0]` für das Array der zweiten Ebene

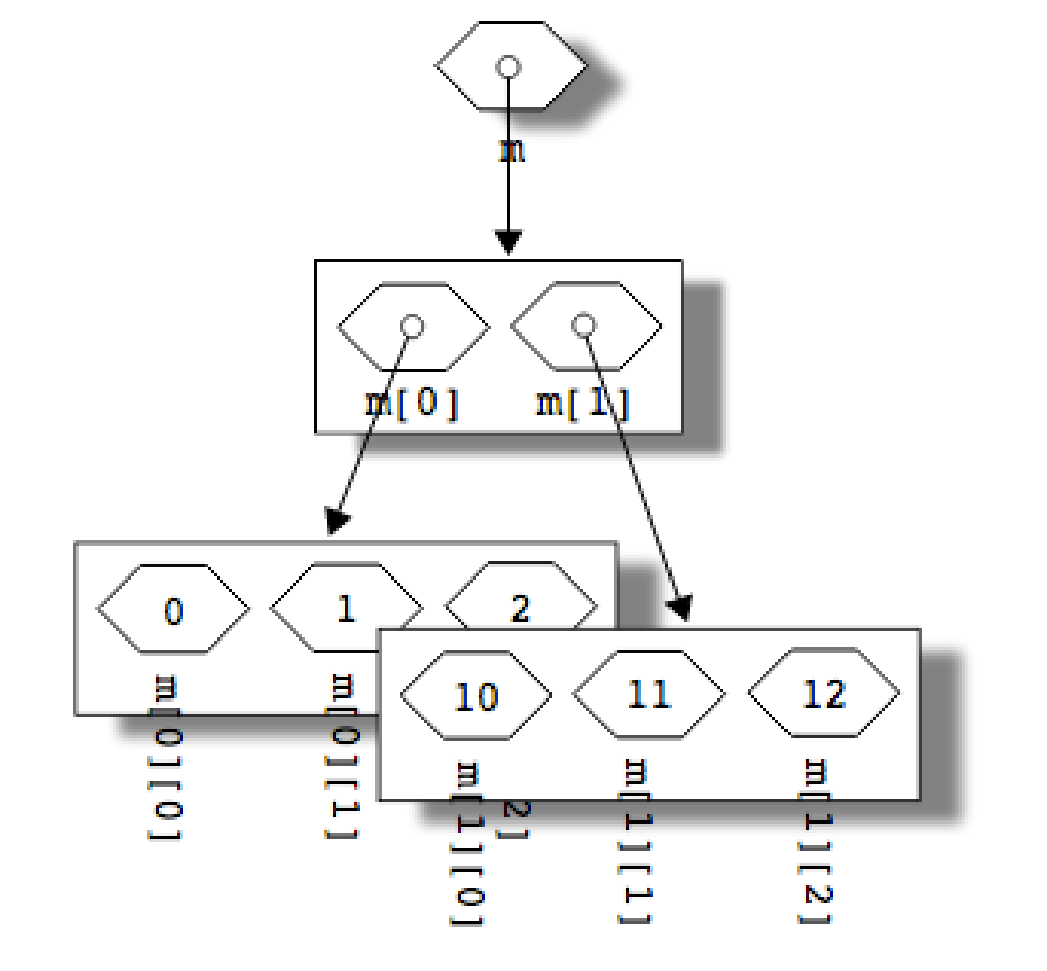
- Beispiel: Array auffüllen

Elementzugriff (2/3)

```
int[][] m = new int[2][3];
m[0][0] = 0;
m[0][1] = 1;
m[0][2] = 2;
m[1][0] = 10;
m[1][1] = 11;
m[1][2] = 12;
```

Elementzugriff (3/3)

- Speicherstruktur:



Iteration über die Elemente (1/2)

- Geschachtelte Schleifen zum Durchlauf (`while`, `for`, foreach)
- Beispiel mit `for`-Schleifen:

```
int[][] m = …;
for (int x = 0;  x < m.length;  x++) {
  for (int y = 0;  y < m[x].length;  y++) {
    System.out.println(m[x][y]);
  }
}
```

- Ausdruck `m.length` = Anzahl der Elemente des Arrays auf erster Ebene

Iteration über die Elemente (2/2)

- Äquivalent: foreach-Schleifen ohne Index

```
int[][] m = …;
for (int[] a: m) {
  for (int e: a) {
    System.out.println(e);
  }
}
```

Initialisierung zweidimensionaler Arrays

- Zweidimensionale Arrayliterale: Liste von Listen
- Schema:

```
new type[][] {
    {expression_00, expression_01, ..., expression_0n},
    {expression_10, expression_11, ..., expression_1n},
    {expression_20, expression_21, ..., expression_2n},
    ...
    {expression_m0, expression_m1, ..., expression_mn}
}
```

- Beispiel:

```
int[][] m = new int[][] {
    { 0,  1,  2},
    {10, 11, 12}
};
```

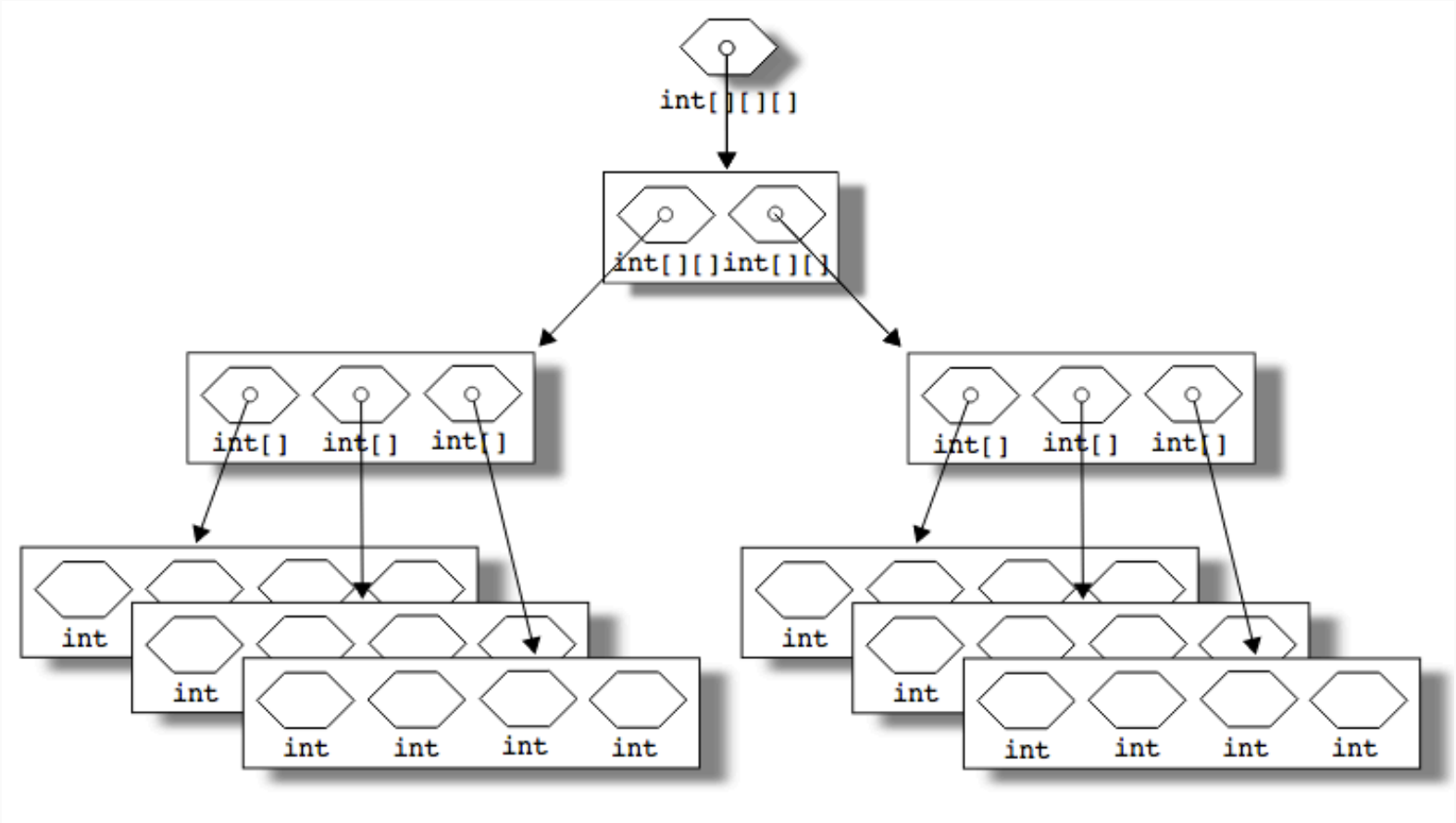
Mehrdimensionale Arrays (1/4)

- Arrays mit drei oder mehr Dimensionen entsprechend zweidimensionalen Arrays
- Beispiel: „quaderförmiges“ Array mit 2·3·4 Elementen:

```
int[][][] q = new int[2][3][4];
```

Mehrdimensionale Arrays (2/4)

- Organisation in in mehreren Ebenen:



Mehrdimensionale Arrays (3/4)

- Elementzugriff: Ein Index pro Dimension

```
for (int x = 0;  x < q.length;  x++) {
  for (int y = 0;  y < q[x].length;  y++) {
    for (int z = 0;  z < q[x][y].length;  z++) {
      q[x][y][z] = 100*x + 10*y + z;
    }
  }
}
```

Mehrdimensionale Arrays (4/4)

- Zugriff ohne Index mit foreach-Schleifen:

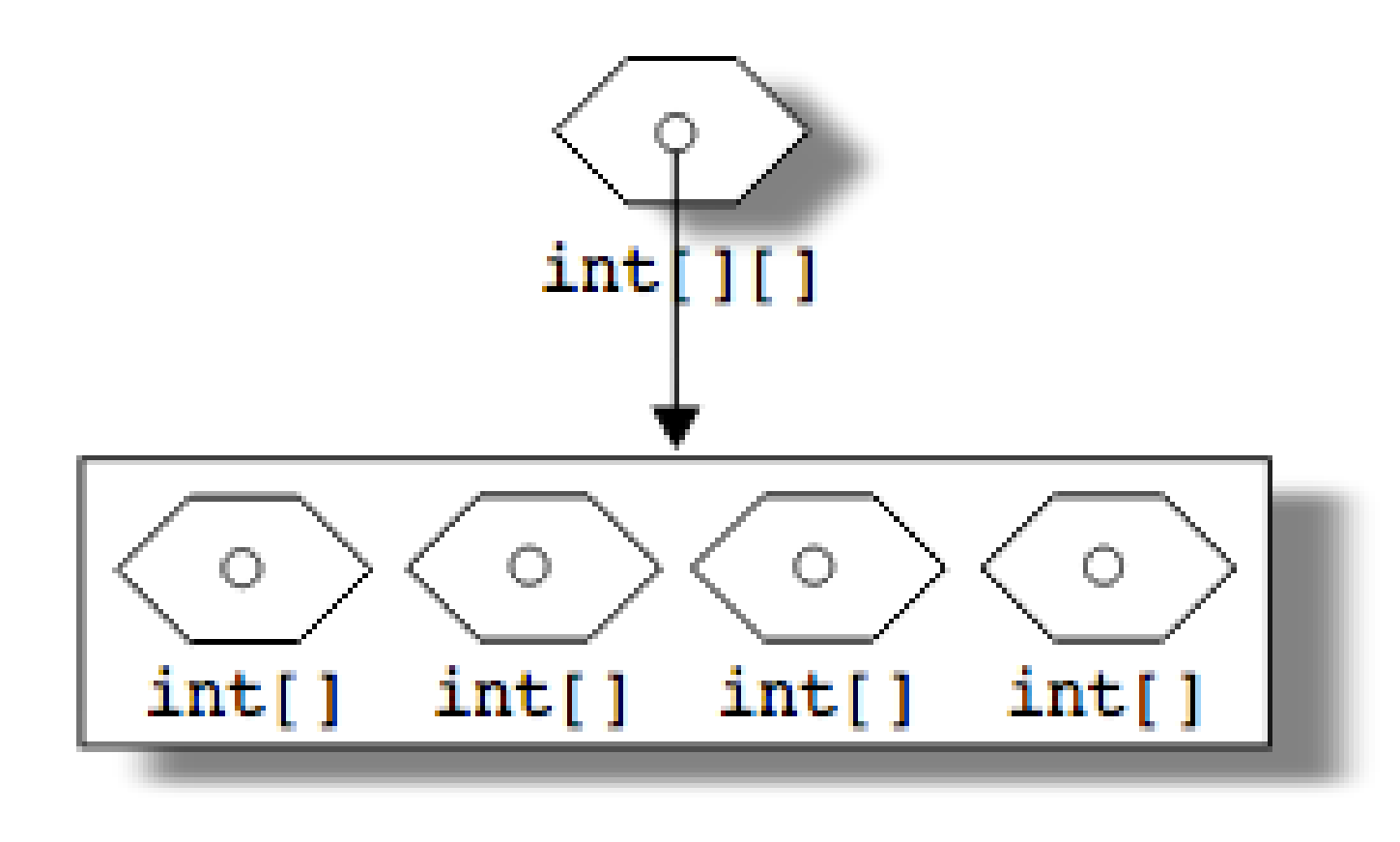
```
for (int[][] m: q) {
  for (int[] a: m) {
    for (int e: a) {
      System.out.println(e);
    }
  }
}
```

Nicht-rechteckige Arrays (1/6)

- Arrays auf verschiedenen Ebenen = unabhängige Elemente übergeordneter Arrays
- `new` mit mehreren Dimensionen erzeugt auf jeder Ebene automatisch gleich lange Arrays (siehe Beispiel)
- Expliziter Aufbau eines nicht-rechteckigen Arrays
    1. Erste Ebene allokieren:

```
int[][] triangle = new int[4][];
```

Nicht-rechteckige Arrays (2/6)

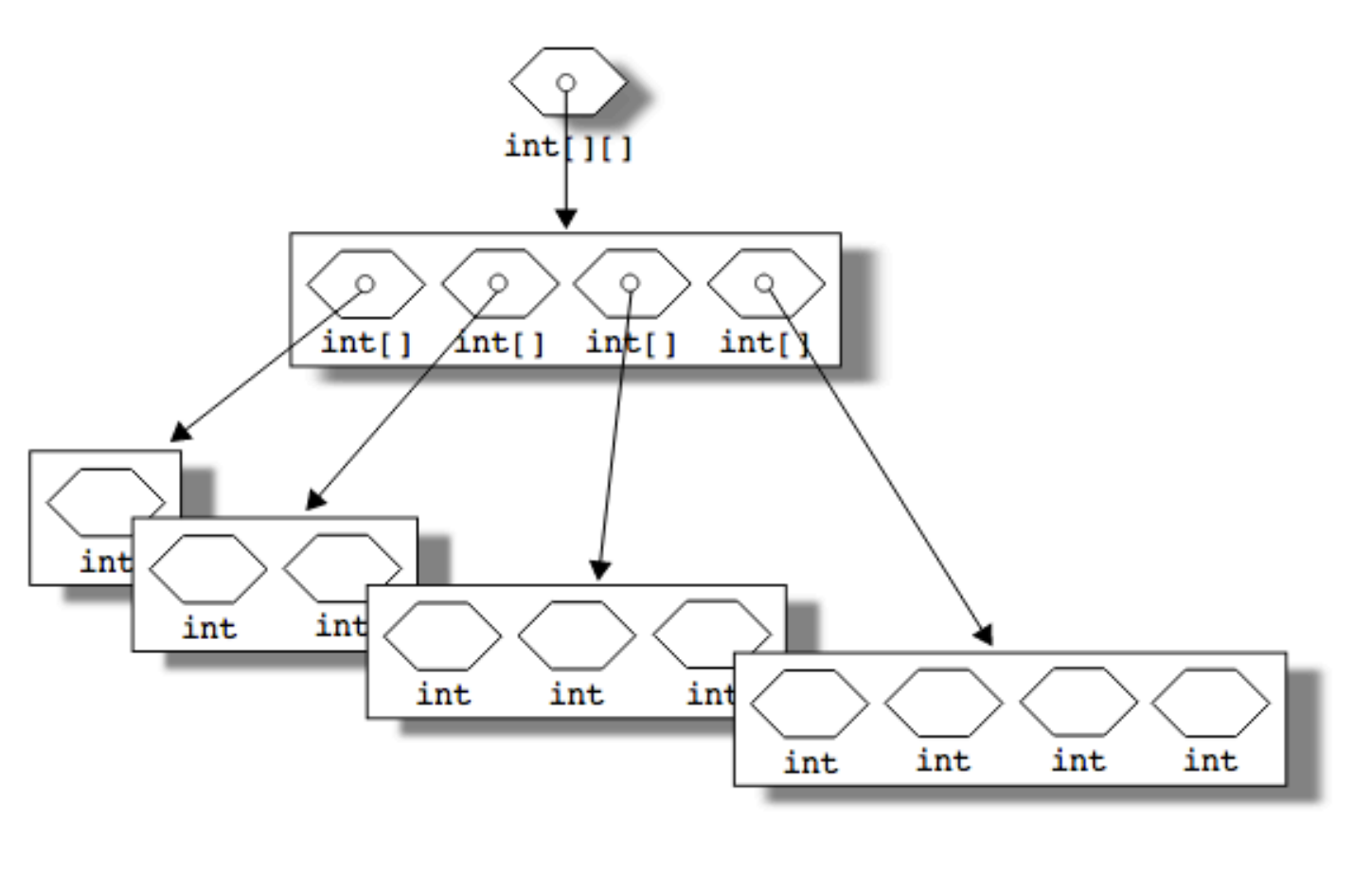


Nicht-rechteckige Arrays (3/6)

2. Arrays auf zweiter Ebene mit Längen 1 bis 4 einzeln erzeugen und zuweisen

```
for (int i = 0;  i < triangle.length;  i++) {
  triangle[i] = new int[i + 1];
}
```

Nicht-rechteckige Arrays (4/6)



Nicht-rechteckige Arrays (5/6)

- Arrayliteral mit unterschiedlich langen Elementlisten:

```
int[][] triangle = new int[][] {{0},
                                {1, 2},
                    {3, 4, 5},
                    {6, 7, 8, 9}};
```

- Elementzugriff: Länge der inneren Schleife (`triangle[x].length`) bei jedem Durchlauf anders:

```
for (int x = 0;  x < triangle.length;  x++) {
  for (int y = 0;  y < triangle[x].length;  y++) {
    System.out.println(triangle[x][y]);
  }
}
```

Nicht-rechteckige Arrays (6/6)

- Einfacher mit foreach-Schleifen:

```
for (int[] a: triangle) {
  for (int e: a) {
    System.out.println(e);
  }
}
```

Kopieren und Vergleichen

Wertzuweisung

- Arrays haben Referenzsemantik
- Wertzuweisung kopiert Referenz, nicht Array, nicht Elemente

```
int[] src = new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};
int[] dst = src;
```

- Änderungen über eine Variable (`src` oder `dst`) in beiden sichtbar (`src` und `dst`, „Aliasing“):

```
src[0] = 23;
System.out.println(dst[0]);    // gibt 23 aus
```

Kopieren (1/2)

- Kopie eines Arrays mit primitiven Elementen:
  1. neues Array allokieren
  2. Original elementweise übertragen

```
int[] src = new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};

// 1.)
int[] dst = new int[src.length];

// 2.)
for (int i = 0;  i < src.length;  i++) {
  dst[i] = src[i];
}
```

Kopieren (2/2)

- Zwei unabhängige Arrays, können einzeln und unabhängig manipuliert werden:

```
src[0] = 23;
System.out.println(dst[0]);    // gibt 71 aus
```

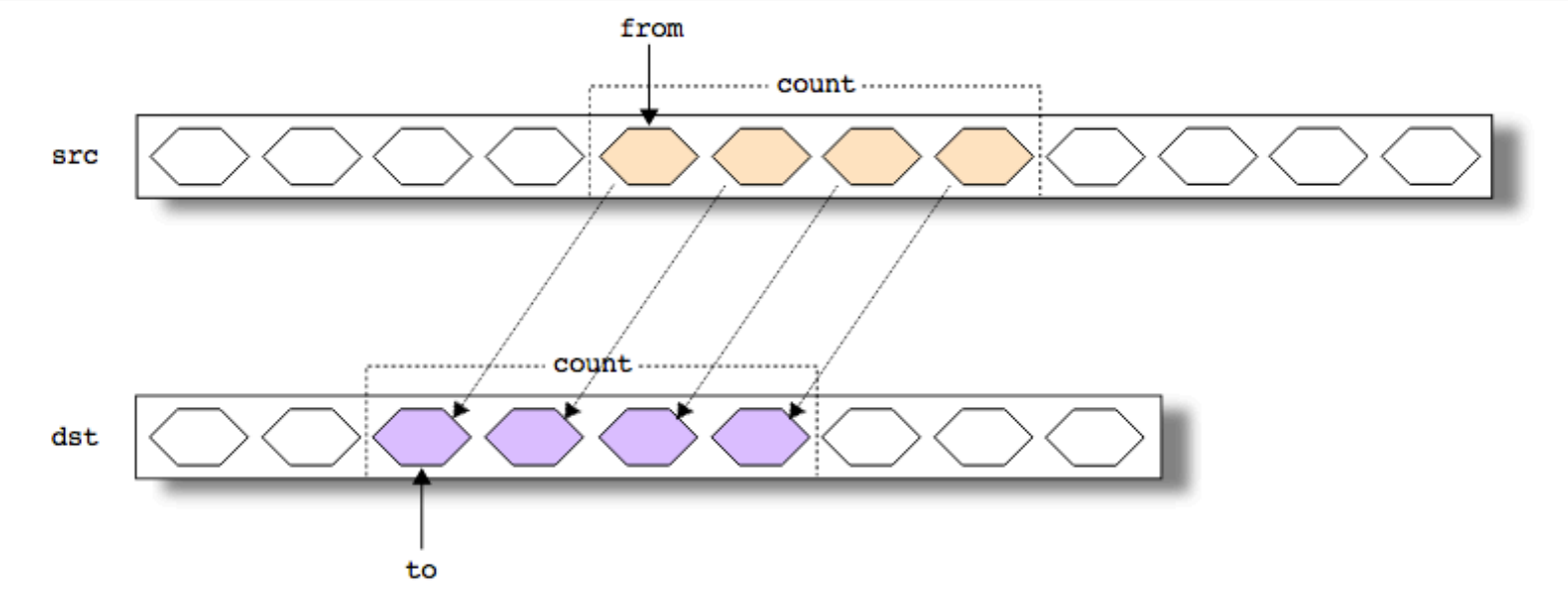
Methode **`System.arraycopy`** (1/3)

- Vordefiniert zum Kopieren von Arrays: statische Methode `arraycopy` in Klasse `System`
- Argumente:

`src`	Original-Array, wird gelesen
`from`	Index des ersten Elementes in `src`, das kopiert werden soll
`dst`	Ziel-Array, wird geschrieben (gleicher Elementtyp wie `src`)
`to`	Index in `dst`, ab dem geschrieben wird
`count`	Anzahl der Elemente

Methode **System.arraycopy** (2/3)

- Skizze



- Beispiel mit `arraycopy`:

```
int[] src = new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};
int[] dst = new int[src.length];
System.arraycopy(src, 0, dst, 0, src.length);
```

Methode **System.arraycopy** (3/3)

- `arraycopy` arbeitet korrekt mit überlappenden Bereichen im selben Array
- Beispiel: die vorderen drei Elemente an das Ende kopieren:

```
int[] src = new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};
System.arraycopy(src, 0, src, 2, 3);
```

- `arraycopy` benutzt Wertzuweisungen

Flache Kopie

- Kopierschleife mit Wertzuweisungen erzeugt flache Kopie, ebenso wie `System.arraycopy`
- Ausreichend bei Wertesemantik des Elementtyps (primitive und unveränderliche Typen)
- Unzureichend für Arrays mit (veränderlichen) Objekten als Elementen

```
Rational[] src = …
Rational[] dst = new Rational[src.length];
for (int i = 0;  i < src.length;  i++) {
  dst[i] = src[i];
}
```

- `src` und `dst` referenzieren die selben Objekte

Methode `clone`

- Arrays definieren `Object.clone`
- `clone` von Arrays erzeugt Kopie des Original-Arrays
- Kopiert Elemente einzeln per Wertzuweisung = flache Kopie
- Beispiel:

```
int[] src = new int[] {71, -4, 7220, 0, 238};
int[] dst = src.clone();
```

Verfahren für flache Kopie (1/2)

- Gleiches Ergebnis bei allen drei Verfahren
- Kopierschleife

```
int[] src = …
int[] dst = new int[src.length];
for (int i = 0;  i < src.length;  i++) {
  dst[i] = src[i];
}
```

- System.arraycopy

```
int[] src = …
int[] dst = new int[src.length];
System.arraycopy(src, 0, dst, 0, src.length);
```

Verfahren für flache Kopie (2/2)

- `clone`

```
int[] src = …
int[] dst = src.clone();
```

Tiefe Kopie (1/2)

- Tiefe Kopie: Erst ganzes Array, dann Elemente einzeln duplizieren
- Beispiel mit Kopier-Konstruktor

  (ignoriert dynamischen Elementtyp):

```
Rational[] src;
…
Rational[] dst = new Rational[src.length];
for (int i = 0;  i < src.length;  i++) {
  dst[i] = new Rational(src[i]);
}
```

Tiefe Kopie (2/2)

- Beispiel mit `clone`:

```
Rational[] src;
…
Rational[] dst = new Rational[src.length];
for (int i = 0;  i < src.length;  i++) {
  dst[i] = src[i].clone();
}
```

Vergleich von Arrays

- Vergleich mit `==` liefert Aussage über Identität, nicht Gleichheit
- Arrays erben `Object.equals`, überprüft lediglich Identität:

```
int[] a = new int[] {1, 2};
int[] b = new int[] {1, 2};
System.out.println(a.equals(b)); // false
```

- `equals` wäre zu redefinieren – nicht möglich bei Arrays

Paarweiser Elementvergleich (1/3)

- Inhaltlicher Vergleich von Arrays: Erst Längen vergleichen, dann paarweise Elemente
- Elementvergleich mit == ausreichend bei Typen mit Wertesemantik
- Beispiel: primitive Arrays

Paarweiser Elementvergleich (2/3)

```
int[] a = …;
int[] b = …;
 // Längen vergleichen
boolean eq = (a.length == b.length);
// Elemente vergleichen
for(int i = 0; eq && i < a.length;  i++) {
  eq = (a[i] == b[i]);
}

System.out.println(eq ?  "equal" :  "not equal");
```

- Bei Elementen von Referenztypen: Elemente paarweise mit `equals` vergleichen

Paarweiser Elementvergleich (3/3)

- Beispiel: `Rational`-Arrays

```
…
for (int i = 0; eq && i < a.length;  i++) {
  eq = a[i].equals(b[i]);
}
…
```

Vergleich eindimensionaler Arrays

- Statische Methode `Arrays.equals` vergleicht …
  - die Längen der Arrays
  - falls gleiche Länge, die Elemente paarweise mit …

`==`	bei primitiven Elementen
`equals`	bei Referenztypen

- `Arrays.equals` redefiniert nicht `Object.equals`!
- Ausreichend für eindimensionale Arrays

Tiefer Vergleich mehrdimensionaler Arrays (1/2)

- `Arrays.equals` ruft `equals` der Elemente auf
- Scheitert bei mehrdimensionalen Arrays: Elemente sind selbst Arrays, diese erben wieder `Object.equals`, dieses vergleicht wieder nur Identität
- Andere Methode `Arrays.deepEquals` berücksichtigt untergeordnete Arrays:

Elementtyp	Vergleich mit …
primitive Typen	`==`
Arrays	`Arrays.deepEquals`
andere Referenztypen	`equals`

Tiefer Vergleich mehrdimensionaler Arrays (2/2)

- Beispiel: Inhaltlicher Vergleich auf allen Ebenen bis zu den Elememten

```
int[][][] a = …;
int[][][] b = …;
if (Arrays.deepEquals(a, b))
    …
```

Klasse **Arrays**

- In `java.util.Arrays` nützliche statische Hilfsmethoden

  `void fill(a, x)` `a` mit Kopien von `x` füllen

  `void sort(a)` `a` nach aufsteigenden Werten sortieren (Elemente primitiv oder `Comparable`)

  `boolean equals(a, b)` Elementweiser Vergleich von `a` und `b` (eindimensionale Arrays)

  `boolean deepEquals(a, b)` Tiefer Vergleich von `a` und `b` (mehrdimensionale Arrays)

  `int binarySearch(a, x)` `x` im sortierten Array `a` suchen (Elemente primitiv oder `Comparable`)

  `String toString(a)` Lesbare Darstellung von `a` als Liste von Elementen

Vererbung (1/2)

- Arraytypen inkompatibel zu allen anderen Javatypen (außer `Object`)
- Kompatibilität der Arraytypen abhängig vom Elementtyp:

  Invarianz bei primitive Elementtypen Arraytypen inkompatibel, unabhängig von der Kompatibilität der Elementtypen:

```
double d = 1;                    // ok
double[] a = new int[] {1};      // Fehler
```

  Covarianz bei Referenztypen Kompatibilität der Arraytypen „folgt“ der Kompatibilität der Elementtypen

```
Object x = "one";                    // ok
Object[] a = new String[] {"one"};   // ok
```

Vererbung (2/2)

allgemein:

`A[]` kompatibel zu `B[]`, wenn

`A` kompatibel zu `B`

- Covarianz unterläuft die statische Typprüfung des Compilers!
- Beispiel: Wird übersetzt, scheitert mit Laufzeitfehler:

```
Object[] a = new String[5];
a[0] = new Rational();              // ArrayStoreException
```

- Unbefriedigend: vollständige statische Typprüfung = wichtiges Entwurfsziel von Java, hier verfehlt