Arrays

Einführung in die Programmierung 1

Wintersemester 21/22

Überblick

- Eindimensionale Arrays
- Referenzen
- Mehrdimensionale Arrays
- Methoden und Arrays
- Rekursion und Arrays
- Hilfsklasse Arrays

Eindimensionale Arrays

Motivation

- Bisher
  - Eine Variable hat einen Wert
- Problem
  - Wir möchten z. B. 1000 Messwerte abspeichern und bearbeiten
  - 1000 Variablen?
- Lösung
  - Eine Struktur, die das Verwalten vieler Werte erleichtert

Array

- Ein Array ist eine Zusammenfassung gleichartiger Elemente
- Ein Array ist eine Datenstruktur
- Datenstrukturen
  - Legen größere Mengen an Daten strukturiert ab
  - Unterstützen den gezielten Zugriff auf die Daten

Arrays deklarieren

- Form: `Datentyp[] Name`
- Beispiel: `int[] number;`
- Achtung
  - Legt nur fest, dass `number` auf ein Array von ganzen Zahlen (ein `int`-Array) zeigt
  - Es wird noch **keine Größe** angegeben

Anlegen von Arrays

- Anlegen bei Deklaration

```
int[] arr = new int[10];
```

- Späteres Anlegen

```
int[] arr;
…
arr = new int[10];
```

new-Operator

- Bei Aufruf des new-Operators wird Speicher angefordert (abhängig von der Größe)
- Es wird ein Array-Objekt erzeugt
- Größe des Arrays
  - Ist ein ganzzahliger Ausdruck (kann auch berechnet werden)

Arrays – Initialisierung

- Alle Array-Elemente (Array-Einträge) werden automatisch initialisiert
  - `0` bei `int` (auch bei byte und short)
  - `0L` bei `long`
  - `0.0f` bei `float`
  - `0.0d` bei `double`
  - `'\u0000'` bei `char`
  - `false` bei `boolean`
  - `null` bei `String` (und anderen Referenztypen)

Anlegen mit eigener Initialisierung

- Beispiel

```
int[] arr = new int[]{3, 4, 5, 6, 7};
// oder
int[] arr = {3, 4, 5, 6, 7};
```

- Array hat die Länge 5
- Array enthält die Elemente 3, 4, 5, 6, 7

Arrays – Index

- Jedem Element eines Arrays ist ein Index vom Typ `int` zugewiesen
- Indexzählung beginnt bei **0**
- Indexzählung geht bis **(Länge des Arrays) - 1**

Beispiel für Index

- Beispiel

```
int[] arr = new int[10];
```

  - Schematisch (nach dem Anlegen)

Index	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inhalt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

  - Größe des Arrays
    - Kann mit `arr.length` abgefragt werden (z. B. 10 im obigen Beispiel)

Zugriff auf einzelne Elemente

- Beispiel

```
int[] array = new int[5];
```

- Zugriff
  - Indexwert in eckigen Klammern (z. B. array[3])
  - Kann wie Variable verwendet werden
- Beispiel

```
int[] array = new int[5];
array[0] = 2;
array[1] = array[0] + 3;
for (int i = 0; i < array.length; i++) {
    System.out.println(array[i]);
}
```

```
2
5
0
0
0
```

Array-Index

- Der Index kann auch ein beliebiger Ausdruck sein
  - Der Typ des Indexausdrucks muss aber `int` (bzw. `short`, `byte` oder `char`) sein
- Beispiel

```
int[] array = new int[5];
int n = array.length;
array[0] = 2;
array[1] = array[0] + 3;
array[2]++;
array[3] = array[n - 3];
array[4] = array[array[2]];
for (int i = 0; i < n; i++) {
    System.out.println(array[i]);
}
```

```
2
5
1
1
5
```

Indexfehler

- Indexwert muss gültig (im Bereich des Arrays) sein
- Sonst **Laufzeitfehler**, d. h. das Programm wird während der Ausführung **sofort unterbrochen**
- Programm wirft eine **ArrayIndexOutOfBoundsException**
- Hinweis
  - **Laufzeit ≠ Übersetzungszeit**
  - Ausnahmen (Exceptions) werden zur Laufzeit geworfen

Indexfehler – Beispiel

- Beispiel

```
int[] array = new int[5];
array[5] = 1;
```

- Ausgabe in IntelliJ bei Auführung

```
Exception in thread "main" java.lang.ArrayIndexOutOfBoundsException: 5
                    at Tester.main …
```

Beispiel (Operationen auf Arrays)

```
public class ArrayTest {

    public static void main(String[] args) {
        int n = 5;
        double[] data = new double[n];
        double sum = 0.0;
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            data[i] = Math.random() * 100;
        }
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            sum += data[i];
        }
        double average = sum/n;
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            System.out.println("Element at position " + i  + ": " + data[i]);
        }
        System.out.println("Sum: " + sum);
        System.out.println("Average: " + average);
    }

}
```

```
Element at position 0: 71.13847532247067
Element at position 1: 40.372869246156554
Element at position 2: 68.0432110287555
Element at position 3: 9.694335299857093
Element at position 4: 45.36966934719746
Sum: 234.61856024443728
Average: 46.92371204888745
```

„Initialisieren“ des Arrays mit zufälligen Werten

Beispiel (Inhalt eines Arrays umdrehen)

```java
public class ArrayTest2 {

    public static void main(String[] args) {
        int n = 10;
        int[] data = new int[n];
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            data[i] = (int) (Math.random() * 100);
        }
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            System.out.print(data[i] + "\t");
        }
        System.out.println();
        for (int i = 0; i < n/2; i++) {
            int temp = data[i];
            data[i] = data[n-i-1];
            data[n-i-1] = temp;
        }
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            System.out.print(data[i] + "\t");
        }
    }

}
```

```
26   37   28   54   72   50   64   42   31   8
8    31   42   64   50   72   54   28   37   26
```

Beispiel (Primzahlsuche, Sieb des Eratosthenes)

- Aufgabe
  - Bestimmen aller Primzahlen bis zu einer vorgegebenen Zahl
- Vorgehen
  - Alle Zahlen 2, 3, 4, … bis zu einem Maximalwert n werden betrachtet
  - Die kleinste unmarkierte Zahl ist immer eine Primzahl
  - Wurde eine Primzahl gefunden, werden alle Vielfachen dieser Primzahl als zusammengesetzt markiert
  - Es wird die nächstgrößere nicht markierte Zahl bestimmt
    - Es werden wieder alle Vielfachen gestrichen und das Verfahren fortgeführt

Beispiel (Primzahlsuche, Sieb des Eratosthenes)

- Beispiel
  - Ausgangslage
    - 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
  - Alle Vielfachen von 2 eliminieren (hier ausgegraut)
    - 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
  - Alle Vielfachen von 3 eliminieren (hier ausgegraut)
    - 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
  - Alle Vielfachen von 5 eliminieren (hier ausgegraut)
    - 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
- Code in TUWEL (Lösung mit boolean-Array)
  - `Sieve.java`

Iterator-Form der for-Schleife

- Ausgabe mit herkömmlicher for-Schleife

```
int[] arr = {3, 4, 5, 6, 7};
for (int a = 0; a < arr.length; a++)
    System.out.println(arr[a]);
```

- Mit der Iterator-Form (foreach-Schleife)

```
int[] arr = {3, 4, 5, 6, 7};
for (int i : arr)
    System.out.println(i);
```

- Schleifenrumpf wird für jedes Element des Arrays ausgeführt
- Elementvariable (im Beispiel i)
  - Erhält den Wert des jeweils nächsten Array-Elements
  - Kann verändert werden, der Array-Inhalt bleibt aber gleich
- Nur kompletter Durchlauf (aufsteigend)

char-Arrays und Strings

- Beide speichern eine Liste von Zeichen, z. B.

```
char[] c = {'H', 'e', 'l', 'l', 'o'};
String s = "Hello";
```

- Einige Unterschiede
  - Ein String ist unveränderlich, ein char-Array nicht
  - Strings können mit + verkettet werden, char-Arrays nicht
  - String kann einfacher erzeugt werden (siehe obiges Beispiel)

Array von Strings

- Beispiel mit Belegung und Ausgabe

```
String[] ts = new String[]{ "Hello", "World", "Bye" };
for (String t : ts) {
    System.out.println(t);
}
```

```
Hello
World
Bye
```

- Beispiel mit Standardinitialisierung

```
String[] ts = new String[3];
for (String t : ts) {
    System.out.println(t);
}
```

```
null
null
null
```

Array von Strings – null-Wert

- null-Wert kann ausgegeben werden
- null-Wert kann aber nicht bei einem Aufruf einer Methode verwendet werden!
  - Ausnahme (**NullPointerException**) wird geworfen

```
String[] ts = new String[3];
for (String t : ts) {
    System.out.println(t.length());
}
```

Erzeugt Ausnahme!
Methodenaufruf erfordert einen gültigen String!

Array von Strings – Überprüfungen

- Sicherstellen, dass Elemente Strings sind
- Wenn Array möglicherweise nicht mit Strings belegt ist
  - Auf null überprüfen

```
for (String t : ts) {
    if (t != null) {
        System.out.println(t.length());
    }
}
```

Referenzen

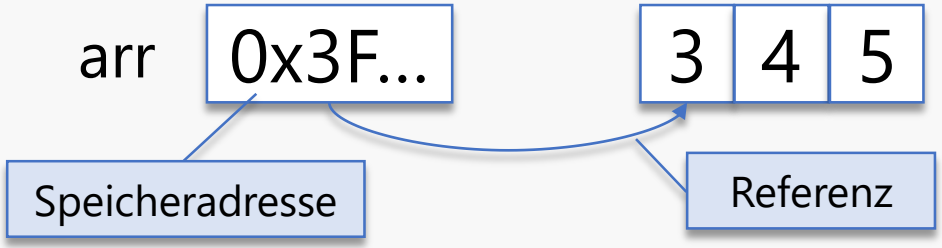
Zuweisung von Arrays

- Array-Variable ist eine **Referenz** auf das eigentliche Array
- Einer Array-Variable vom Typ *x* kann immer nur ein Array vom Typ *x* zugewiesen werden
  - Länge kann aber variieren
- **Es wird nur die Adresse kopiert, nicht der Inhalt**

Elementare Typen – Referenztypen

- Beispiel `int`-Variable (schematisch)
  - `int x = 1;`

- Beispiel `int`-Array (schematisch)
  - `int[] arr = {3, 4, 5};`



Zuweisung bei Array-Variablen (1)

- Wie lautet die Ausgabe?

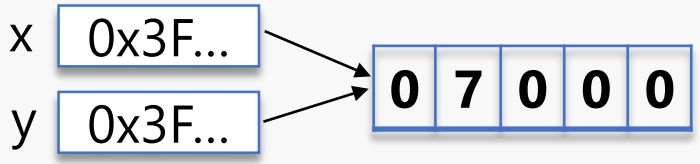
```
int[] x = new int[10], y;
y = x;
y[1] = 7;
System.out.println(y[0] + " " + x[0]);
System.out.println(y[1] + " " + x[1]);
```

```
0 0
7 7
```

- Wie entsteht diese Ausgabe?

Zuweisung bei Array-Variablen (2)

- Erklärung
  - x und y sind Array-Variablen
  - x und y zeigen auf den gleichen Speicherbereich
    - x und y sind Aliase
  - Die Zuweisung bei `y[1]` verändert auch `x[1]`



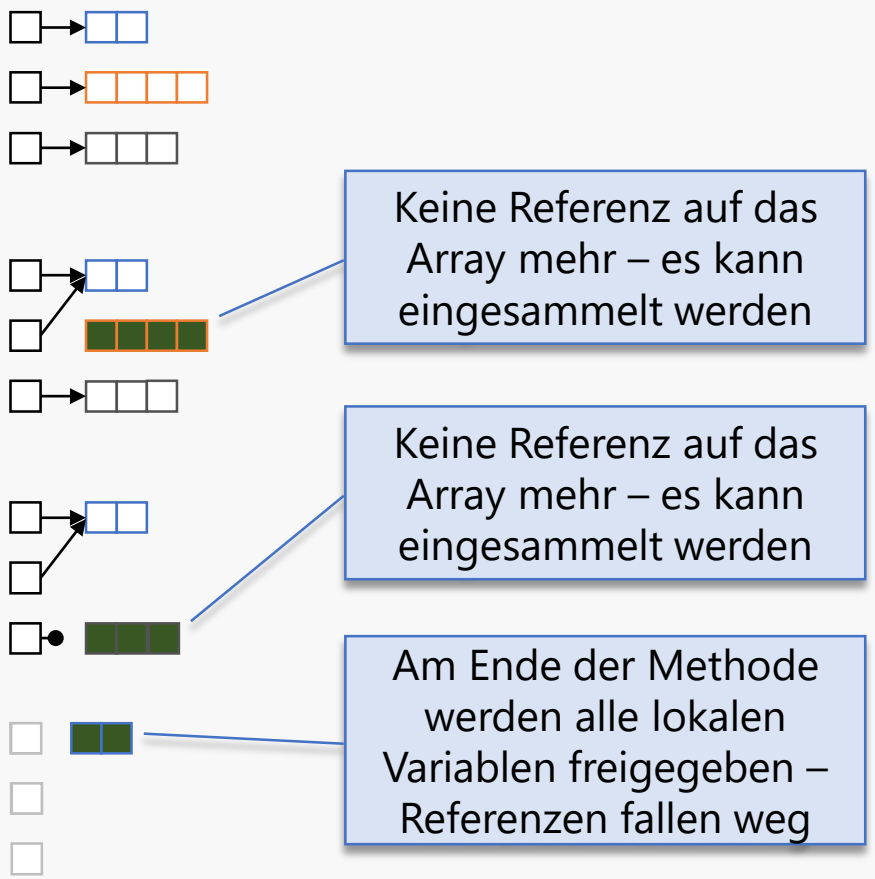
Freigabe des Array-Speichers

- Erfolgt durch das System
  - Speicher muss nicht explizit freigegeben werden
  - Nicht benutzter Speicher wird zur Laufzeit automatisch eingesammelt
    - Durch den Garbage-Collector
- **Voraussetzung für das Einsammeln**
  - **Array wird nicht mehr referenziert**
- Erreichbarkeit unterbinden
  - Einer Array-Variable ein anderes Array zuweisen
  - Einer Array-Variable den Wert `null` zuweisen

```
x = null;
```

Beispiel

```
private static void test() {
    int[] a = new int[2];
    int[] b = new int[4];
    int[] c = new int[3];
    …
    …
    …
    b = a;
    …
    …
    …
    c = null;
    …
    …
}
```



Kopieren von Arrays

- Echte Kopie erzeugen
  - Beispiel

```
int[] original = {3, 4, 5, 6, 7};
int[] copy = new int[original.length];
for(int i = 0; i < original.length; i++) {
    copy[i] = original[i];
}
copy[0] = 8;
System.out.println(original[0]);
```

Elementweise kopieren

Hier wird 3 ausgegeben

- Methode System.arraycopy
  - Effiziente Methode
  - Kopieren von Abschnitten bzw. ganzen Arrays
  - API genau lesen!

Beispiel (System.arraycopy verwenden)

```
public class ArrayCopy {

    public static void main(String[] args) {
        int[] original = {3, 4, 5, 6, 7};
        int[] copy = new int[original.length];
        System.arraycopy(original, 0, copy, 0, original.length);
        for (int i = 0; i < original.length; i++) {
            System.out.print(copy[i] + " ");
        }
        System.out.println();
        System.arraycopy(original, 0, original, 2, 3);
        for (int i = 0; i < original.length; i++) {
            System.out.print(original[i] + " ");
        }
    }

}
```

Elementweise kopieren

Abschnitt (die ersten 3 Elemente) ab Position 2 in das Array selbst kopieren

```
3 4 5 6 7
3 4 3 4 5
```

Vergleiche bei Arrays

- Operator == bei Arrays meist nicht geeignet
  - Vergleicht nur, ob Arrays **die gleichen Referenzen** haben
  - Vergleicht **nicht den Inhalt** der Arrays
- Gilt auch für !=

Identität und Gleichheit

- Identität
  - Zwei Werte bzw. Objekte sind identisch, wenn die Anwendung von „==“ `true` liefert
- Gleichheit
  - Wenn auch referenzierte Objekte in den Vergleich miteinbezogen werden
- Unterscheidung
  - Gleiche Werte von elementaren Typen (z. B. int) sind immer identisch
  - Identische Objekte (z. B. Arrays) sind stets gleich
  - Gleiche Objekte (z. B. Arrays mit gleichem Inhalt) müssen aber nicht identisch sein

Inhalt zweier Arrays vergleichen

- Elemente paarweise vergleichen

```
int[] original = …;
int[] copy = …;
…
boolean eq = (original.length == copy.length);
for (int i = 0; eq && i < original.length; i++) {
    eq = (original[i] == copy[i]);
}
System.out.println(eq ? "equal" : "not equal");
```

  - Obige Lösung funktioniert nur bei eindimensionalen Arrays
  - Hinweis: In der Praxis gibt es dafür Bibliotheksmethoden (siehe Abschnitt über Hilfsklasse Arrays)!

Gleichheit bei Strings

- Gleichheit
  - Zwei Zeichenketten sind gleich, wenn sie die gleichen Längen haben und die gleichen Zeichen in gleicher Reihenfolge enthalten
  - Methode `equals` für Vergleich benutzen
- Beispiele

```
System.out.println("ab".equals("ab"));  // true
System.out.println("ab".equals("ba"));  // false
String s = "ab", t = "cd";
String u = "ab", v = t;
System.out.println(s.equals(u));       // true
System.out.println(s == u);            // true
System.out.println(t.equals(v));       // true
System.out.println(t == v);            // true
System.out.println((s+t).equals(u+v)); // true
System.out.println((s+t) == (u+v));    // false
```

Unterschied zu Arrays! Compiler optimiert, d. h. das String-Literal „ab“ gibt es nur einmal!

Zur Laufzeit keine Optimierung!

Mehrdimensionale Arrays

Mehrdimensionale Arrays (1)

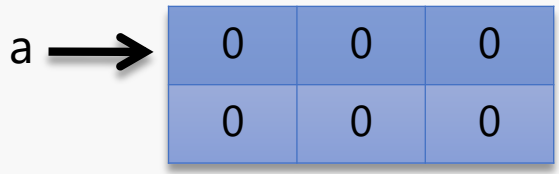
- Arrays können auch mehrere Dimensionen haben
  - Beispiel: 2-dimensionales Array – Matrix

```
int[][] matrix = new int[3][3];
int[][] matrix2 = { { 1, 2, 3 }, { 4, 5, 6 }, { 7, 8, 9 } };
```

  - Beispiel für Zugriff

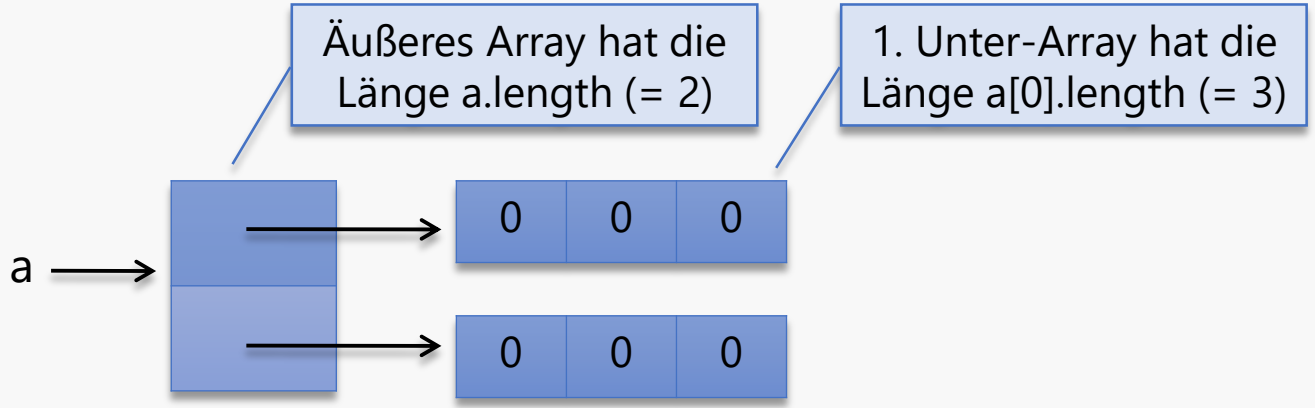
```
x = matrix2[1][2];
```

- Konzeptionelle Sicht
  - z. B. `int[][] a = new int[2][3];`



Mehrdimensionale Arrays (2)

- Realität in Java
  - z. B. `int[][] a = new int[2][3];`



- Eindimensionale Arrays enthalten Elemente vom Basistyp
- Mehrdimensionale Arrays enthalten weitere Arrays

Beispiel (2D-Array erzeugen und ausgeben)

```
public class Array2D {
    public static void main(String[] args) {
        int[][] a = new int[2][3];
        for (int i = 0; i < a.length; i++) {
            for (int j = 0; j < a[i].length; j++) {
                a[i][j] = (int) (Math.random() * 10);
            }
        }
        for (int i = 0; i < a.length; i++) {
            for (int j = 0; j < a[i].length; j++) {
                System.out.print(a[i][j] + " ");
            }
            System.out.println();
        }
        for (int[] i : a) {
            for (int j : i) {
                System.out.print(j + " ");
            }
            System.out.println();
        }

    }
}
```

Ausgaben mit unterschiedlichen for-Varianten

```
7 8 3
4 2 7
7 8 3
4 2 7
```

Weitere Aspekte (1)

- Einzelne Dimensionen können offen bleiben (nur am Ende) und später initialisiert werden

```
int[][] arr1 = new int[2][];
for (int i = 0; i < arr1.length; i++)
    arr1[i] = new int [5];
```

Weitere Aspekte (2)

- Einzelne Dimensionen können auch unterschiedliche Längen haben

```
int[][] arr1 = new int[2][];
for (int i = 0; i < arr1.length; i++)
    arr1[i] = new int[i + 2];
```

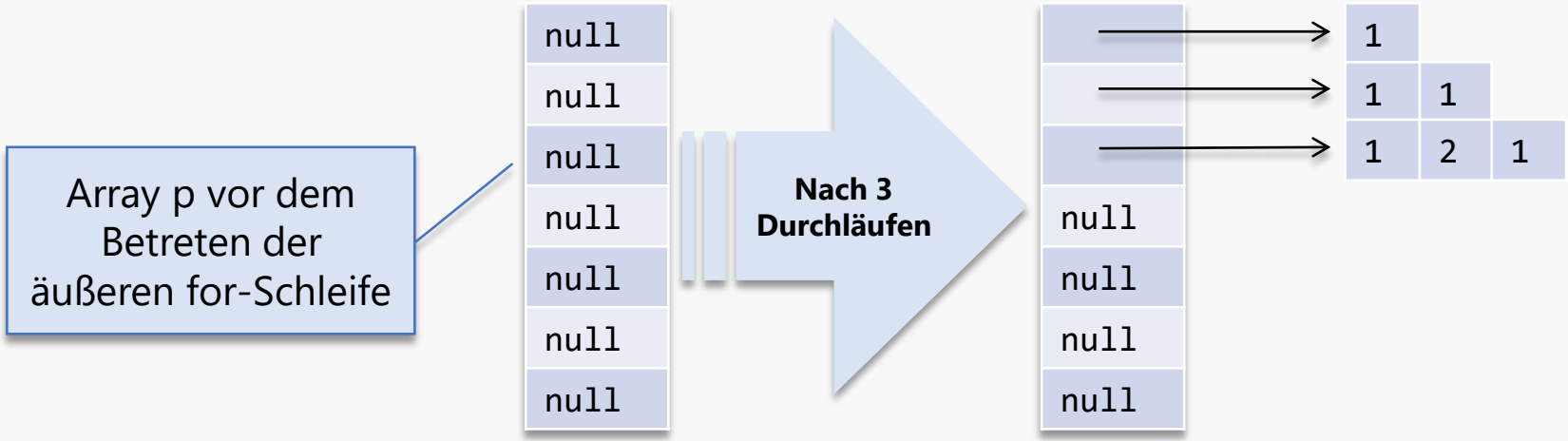
Beispiel (Pascalsches Dreieck)

```java
import java.util.Scanner;

public class PascalTriangle {

    public static void main(String[] args) {
        Scanner sc = new Scanner(System.in);
        System.out.print("Please enter a positive number: ");
        int n = sc.nextInt();
        int p[][] = new int[n][];
        for (int i = 0; i < p.length; i++) {
            p[i] = new int[i + 1];
            for (int j = 0; j <= i; j++) {
                if ((j == 0) || (j == i)) {
                    p[i][j] = 1;
                } else {
                    p[i][j] = p[i - 1][j - 1] + p[i - 1][j];
                }
                System.out.printf("%2d ", p[i][j]);
            }
            System.out.println();
        }
    }

}
```

Die Methode printf ermöglicht eine Ausgabe mit speziellen Formatierungen (ähnlich zu C)
https://docs.oracle.com/en/java/javase/17/docs/api/java.base/java/io/PrintStream.html#printf(java.lang.String,java.lang.Object...)

Beispiel (Pascalsches Dreieck, 7 Stufen)

```
Please enter a positive number: 7
1
1  1
1  2  1
1  3  3  1
1  4  6  4  1
1  5 10 10  5  1
1  6 15 20 15  6  1
```



Beispiel (verschieden lange „Zeilen“)

```
public class JaggedArrayTest {

    public static void main(String[] args) {
        int n = 5;
        int[][] testArray = new int[n][];
        int counter = 0;
        for (int i = 0; i < testArray.length; i++) {
            testArray[i] = new int[(int) (Math.random() * n)];
            for (int j = 0; j < testArray[i].length; j++) {
                testArray[i][j] = counter++;
            }
        }
        for (int[] line : testArray) {
            for (int number : line) {
                System.out.print(number + "\t");
            }
            System.out.println();
        }
    }
}
```

```
0    1
2    3    4
5    6    7    8
9    10
11   12   13
```

```
0
1    2    3
4
5    6
7    8    9
```

Belegung (und Länge der Zeilen) ändert sich bei jeder Ausführung

Methoden und Arrays

Arrays als Parameter

- Übergabe
  - Es wird die **Referenz** kopiert
- Auswirkung
  - **Änderungen am Inhalt** sind **außerhalb** der Methode sichtbar
  - Änderungen am formalen Parameter selbst sind nicht außerhalb der Methode sichtbar

Beispiel (Array als Parameter)

```
public class CallTest {

    private static void test(int[] a) {
        int[] x = new int[3];
        a[1] = 3;
        a = x;
    }

    public static void main(String[] args) {
        int[] t = {5, 6, 7};
        System.out.println(t[1]);
        test(t);
        System.out.println(t[1]);
    }

}
```

Parameter a zeigt auf den gleichen Speicherbereich wie t

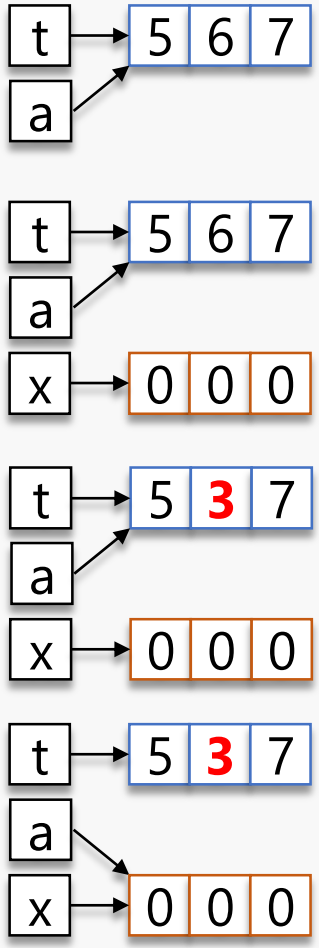
Diese Änderung ist auch in main sichtbar

Diese Zuweisung hat keine Auswirkung nach außen

```
6
3
```

Beispiel (Array als Parameter, Visualisierung)

```
private static void test(int[] a) {

    int[] x = new int[3];


    a[1] = 3;


    a = x;

}
```



Arrays und return

- Eine Methode kann auch ein Array zurückliefern
- Beispiel

```
private static int[] m() {
    …
    int[] a = new int[10];
    …
    return a;
}
```

  - Hier wird am Ende der Methode eine Referenz zurückgegeben
  - Muss außerhalb der Methode einer Array-Variablen zugewiesen werden
    - Mit dem Beenden der Methode wird die lokale Variable gelöscht
    - Nach der Zuweisung gibt es aber eine Referenz auf das Array von außen

Beispiel (ArrayInverter)

- Aufgabe
  - Methode `readArray`
    - Liest die Anzahl der Elemente im Array ein
    - Liest Elemente von der Kommandozeile ein und gibt das Array zurück
  - Methode `printArray`
    - Gibt die Elemente eines Arrays, das als Parameter übergeben wird, aus
  - Methode `invertArray`
    - Dreht den Inhalt eines Arrays, das als Parameter übergeben wird, um
      - Seiteneffekt!
    - Es wird kein neues Array erzeugt
- Code in TUWEL
  - `ArrayInverter.java`

Beispiel (MatrixMultiply)

- Aufgabe
  - Multiplikation zweier Matrizen (2-dimensionale Arrays)
  - Ergebnis als Matrix (2-dimensionales Array) zurückgeben
  - Rückgabe von null-Referenz
    - Null-Werte als Argumente oder als Array-Einträge
    - Matrizen lassen sich nicht multiplizieren (Dimensionen passen nicht)
- Code in TUWEL
  - `MatrixMultiply.java`

Beispiel (String-Arrays als Parameter)

- Beispiel
  - Vergleich von zwei String-Arrays in einer eigenen Methode
  - Test der Implementierung in der main-Methode
- Code in TUWEL
  - `StringArraysTester.java`

Kommandozeilenargumente

- main-Methode hat als Parameter ein Array von Strings
- Argumente übergeben
  - Kommandozeile: Nach dem Aufruf des Programms
    - Beispiel: java ParameterTest **Hello 1 2**
  - IntelliJ: Run -> Edit Configurations -> Programm arguments
- Ausgabe der Argumente

```
public static void main(String[] args) {
    for (String s : args) {
        System.out.println(s);
    }
    …
}
```

```
Hello
1
2
```

Kommandozeilenargumente verarbeiten

- Bestimmte Methoden für das Auslesen
- Beispiel `parseInt` in der Klasse `Integer`
  - Versucht einen String in einen Integer umzuwandeln

args[0] entspricht dem ersten Kommandozeilenargument.
Allgemein: Wird nichts (oder zu wenige Argumente) übergeben, dann gibt es eine Ausnahme.

- Beispiel (bei Aufruf wird ein Integer übergeben)

```
int grade = Integer.parseInt(args[0]);
String text = " no grade ";
if (grade == 1) {
    text = " excellent ";
} else if (grade == 2) {
    text = " good ";
} else if (grade == 3) {
    text = " satisfactory ";
} else if (grade == 4) {
    text = " sufficient ";
} else if (grade == 5) {
    text = " insufficient ";
}
System.out.println("Your grade:" + text);
```

Methoden mit variabler Parameteranzahl

- Manchmal wird eine beliebige Anzahl von Parametern eines Typs benötigt
- Herkömmliche Lösung mit einem Array

```
private static int sum(int[] values) { … }
```

- varargs-Parameter

```
private static int sum(int… values){ … }
```

  - Aus dem varargs-Parameter wird automatisch ein Array erzeugt
  - Der varargs-Parameter muss immer an der letzten Stelle der Parameterliste stehen
- Beispiel für Verwendung von varargs in TUWEL
  - `VarargsTest.java`

Rekursion und Arrays

Beispiel (rekursiv Array-Inhalte ausgeben)

```
public class RecursiveArrayOutputTest {

    // arr.length > 0 && 0 <= left < arr.length && 0 <= right < arr.length
    private static void printArrayRecursive(int[] array, int left, int right) {
        if (left <= right) {
            System.out.print(array[left] + " ");
            printArrayRecursive(array, left + 1, right);
        }
    }

    public static void main(String[] args) {
        int[] x = new int[]{1, 5, 4, 2, 6, 8, 0, 7};
        printArrayRecursive(x, 0, x.length - 1);
        System.out.println();
        printArrayRecursive(x, 2, 5);
    }

}
```

Basisfall (keine Ausgabe) ist hier implizit

```
1 5 4 2 6 8 0 7
4 2 6 8
```

Beispiel (rekursiv maximale Differenz finden)

Diese Methode berechnet die maximale absolute Differenz zweier aufeinander folgender Elemente von array im Indexbereich 0 bis i (inklusive).

```
public class RecursiveMaximumDifference {

    // array != null, array.length >= 1, 0 <= i < array.length
    private static int findMaxDiff(int[] array, int i) {
        if (i > 0) {
            return Math.max(Math.abs(array[i - 1] - array[i]), findMaxDiff(array, i - 1));
        }
        return 0;
    }

    public static void main(String[] args) {
        int[] arr = new int[]{3, 7, 1, 8, 2, 4, 0, 9};
        System.out.println(findMaxDiff(arr, arr.length - 1));
        System.out.println(findMaxDiff(arr, arr.length/2));
        System.out.println(findMaxDiff(arr, arr.length/4));
        System.out.println(findMaxDiff(new int[]{20}, 0));
    }

}
```

```
9
7
6
0
```

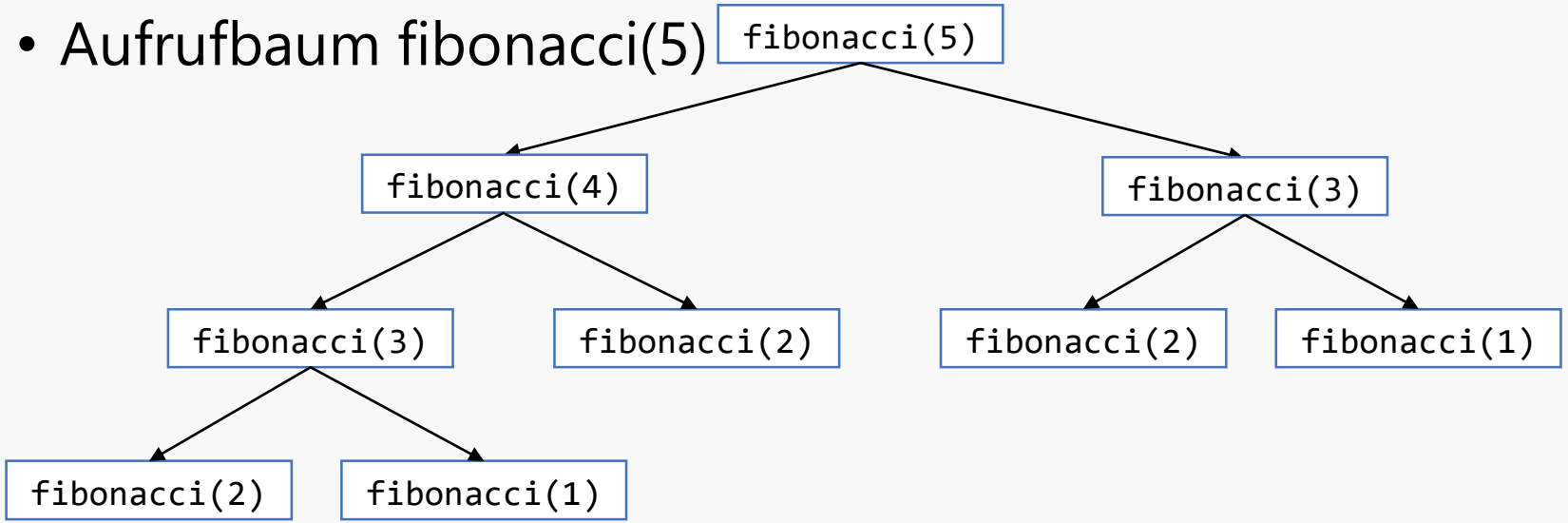
Memoisation

- Rückgabewerte von Funktionen werden zwischengespeichert
- Keine neue Berechnung, wenn Aufrufergebnis schon gespeichert

Fibonacci-Zahlen (Wiederholung)

```
private static long fibonacci(int n) {
    if (n <= 2) {
        return 1;
    } else {
        return fibonacci(n - 1) + fibonacci(n - 2);
    }
}
```

- Aufrufbaum fibonacci(5)



Beispiel (Memoisation)

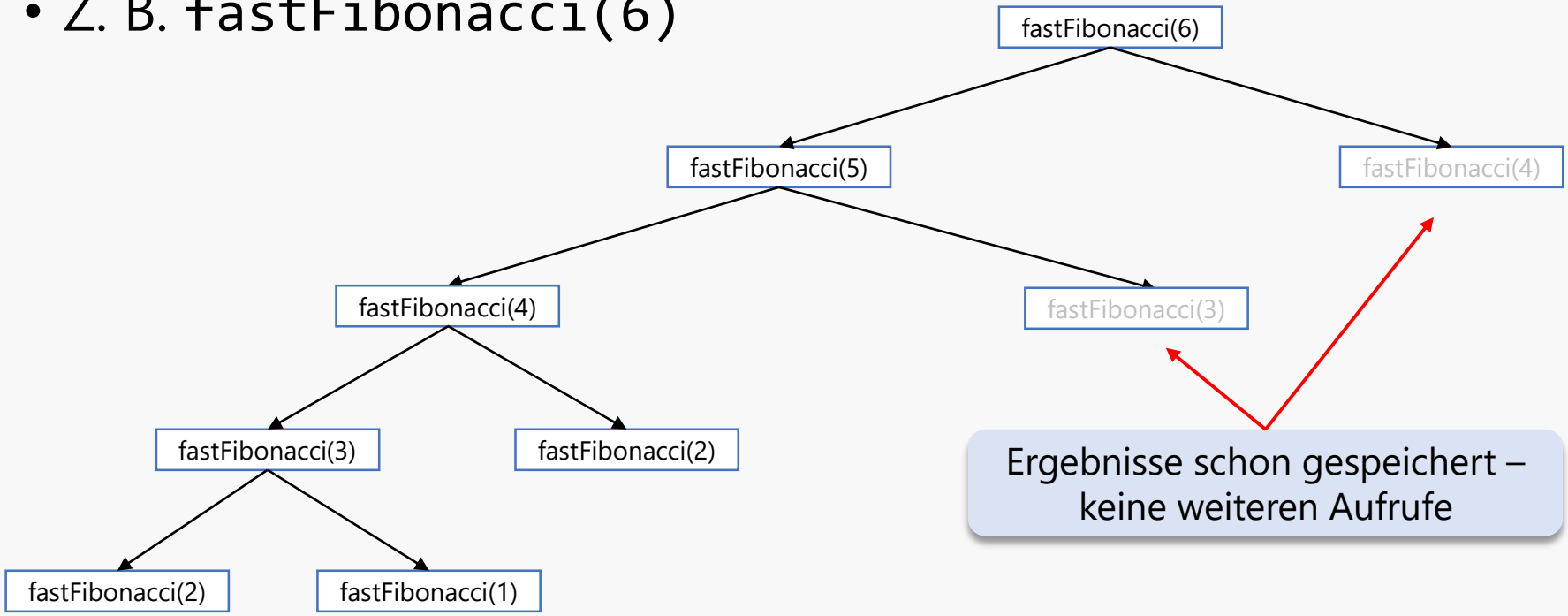
```
public class FibonacciWithMemoization {

    private static long[] f = new long[93];

    // 1 <= n <= 92
    private static long fastFibonacci(int n) {
        if (n <= 2) {
            return 1;
        } else if (f[n] == 0) {
            f[n] = fastFibonacci(n - 1) + fastFibonacci(n - 2);
        }
        return f[n];
    }

    public static void main(String[] args) {
        System.out.println(fastFibonacci(50));
        System.out.println(fastFibonacci(90));
        System.out.println(fastFibonacci(80));
    }

}
```

Nur bis 92 sinnvoll, danach arithmetischer Überlauf

```
12586269025
2880067194370816120
23416728348467685
```

Memoisation (Anzahl der Aufrufe)

- Z. B. `fastFibonacci(6)`



Memoisation (Anzahl der Aufrufe)

- Wie viele Aufrufe finden bei unterschiedlichen Werten für *n* (abhängig von vorherigen Aufrufen) statt?

```
…
    public static void main(String[] args) {
        System.out.println(fastFibonacci(50));
        System.out.println(fastFibonacci(90));
        System.out.println(fastFibonacci(80));
    }
…
```

```
fastFibonacci(50) -> 97 Aufrufe
fastFibonacci(90) -> 81 Aufrufe
 fastFibonacci(80) -> 1 Aufruf
```

Hilfsklasse Arrays

Hilfsklasse Arrays

- Hilfsklasse für Arrays (muss importiert werden)
- Nützliche überladene Methoden (hier für `int`)
  - `static int binarySearch(int[] a, int key)`
    - Binäre Suche in einem Array
  - `static boolean equals(int[] a, int[] a2)`
    - Vergleicht den Inhalt von zwei Arrays
  - `static void fill(int[] a, int val)`
    - Befüllt alle Stellen eines Array mit einem bestimmten Wert
  - `static void sort(int[] a)`
    - Sortiert den Inhalt eines Arrays aufsteigend
  - `static String toString(int[] a)`
    - Liefert den Inhalt eines Arrays als formatierten String zurück

Beispiel (Methoden aus Arrays austesten)

```java
import java.util.Arrays;

public class ArraysTest {
    public static void main(String[] args) {
        int[] x = {3, 5, 2, 7, 9, 4, 6, 1, 8};
        boolean[] y = new boolean[3], z = new boolean[3];
        Arrays.sort(x);
        // java.util.Arrays.sort(x); impliziter Import
        System.out.println(Arrays.toString(x));
        System.out.println(Arrays.binarySearch(x, 9));
        Arrays.fill(y, true);
        Arrays.fill(z, true);
        System.out.println(Arrays.toString(y));
        System.out.println((y == z));
        System.out.println(Arrays.equals(y, z));
        y = z;
        System.out.println(y == z);
    }
}
```

Beispiel (rekursiv maximale Differenz finden)

Alternative Variante ohne Indexwert – das Array wird bei jedem rekursiven Aufruf verkürzt (ohne das erste Element) neu erzeugt (mit Methode aus Arrays).

```
public class RecursiveMaximumDifference {

    // array != null
    private static int findMaxDiff(int[] array) {
        if (array.length > 1) {
            return Math.max(Math.abs(array[0] - array[1]),
                            findMaxDiff(Arrays.copyOfRange(array, 1, array.length)));
        }
        return 0;
    }

    public static void main(String[] args) {
        int[] arr = new int[]{3, 7, 1, 8, 2, 4, 0, 9};
        System.out.println(findMaxDiff(arr));
    }

}
```

9

Zusammenfassung

- Eindimensionale Arrays
- Mehrdimensionale Arrays
- Methoden und Arrays
- Rekursion und Arrays
- Hilfsklasse Arrays