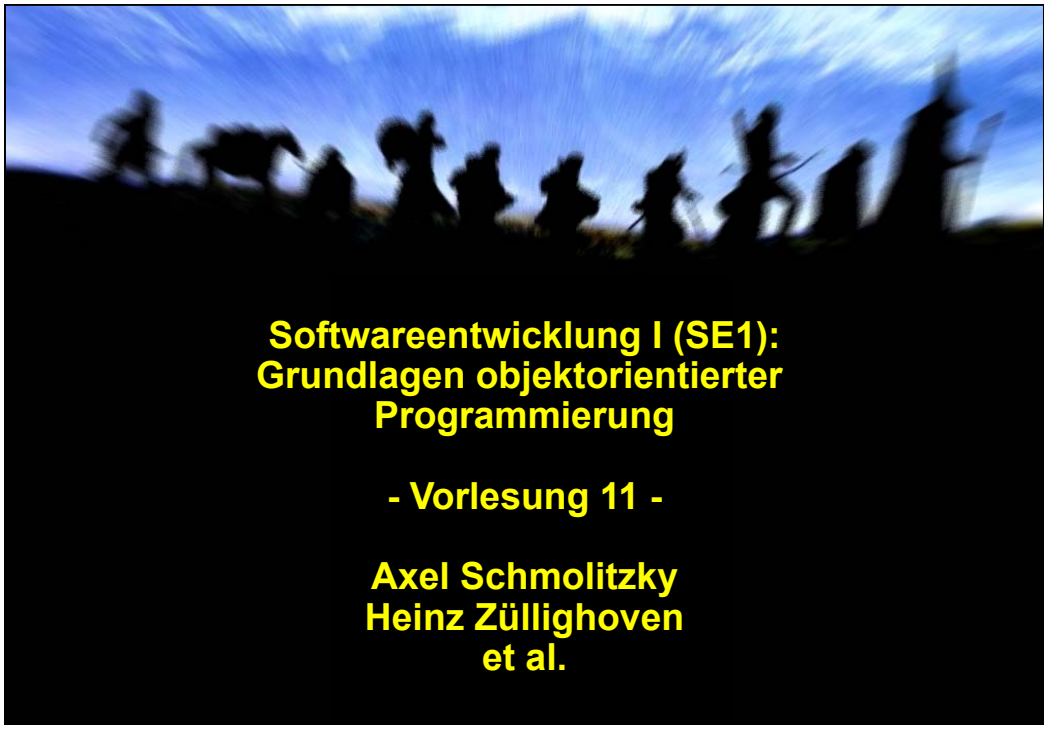
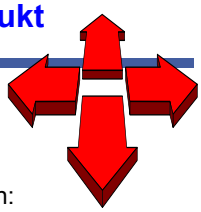


Softwareentwicklung I (SE1): Grundlagen objektorientierter Programmierung

- Vorlesung 11 -

Axel Schmolitzky
Heinz Züllighoven
et al.

Arrays als speichernahes Sammlungskonstrukt



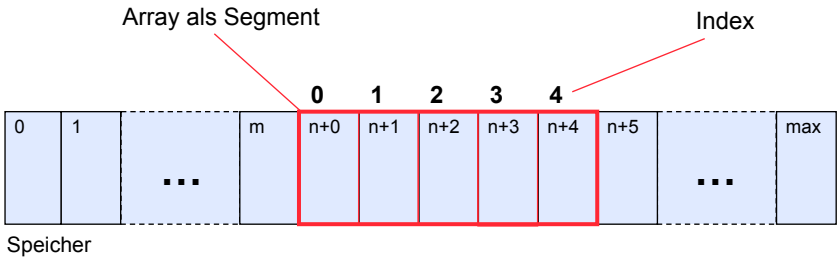
- Wir sehen uns eine grundlegende Datenstruktur zur Implementierung von Sammlungen an: das **Array** (deutsch: Reihe).
  - Zuerst: **Deklaration**, **Erzeugung**, **Initialisierung** und **Benutzung** von **Arrays in Java**.
  - Wir diskutieren dann die allgemeinen Eigenschaften von Arrays.

Ein Beispiel

- Vorgabe: ein Temperaturmessgerät in einer hochseetauglichen Boje.
- Sensoren messen den ganzen Tag über immer wieder die Temperatur.
- Der Speicher ist so begrenzt, dass wir nur 1000 Messwerte speichern können.
- Wir wollen
  - die letzten 1000 Messungen speichern,
  - Maximum und Minimum finden.
- Für die Realisierung in Java bietet sich ein Array an.

Arrays sind ein speichernahes Konzept

- Arrays sind ein klassisches imperatives Sprachkonzept zur **Sammlung gleichartiger Elemente**. Diese Elemente werden über einen **Index** zugegriffen.
- Arrays dienen meist zur Realisierung von **Listen mit fester Größe**.
- Sie abstrahieren von einem **zusammenhängenden Speicherbereich** samt **indiziertem** Zugriff auf die Speicherzellen.

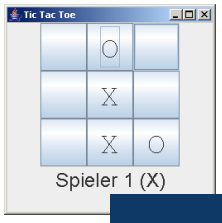


Anwendungsbeispiel: Arrays für Bilddaten

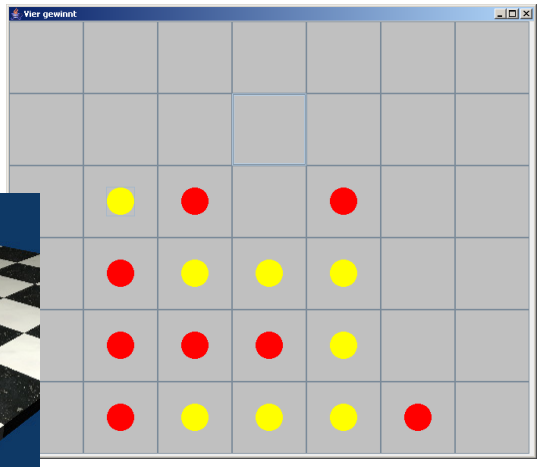
- Bilder sind digital zweidimensionale Strukturen einzelner **Bildpunkte**.
- Die Bildgröße (Bildzeilen und –spalten) ist relativ statisch.
- Informationen über Bildpunkte müssen für Bildverarbeitung **schnell** zugreifbar sein.

Anwendungsbeispiel: Spielfelder fester Größe

Tic-Tac-Toe: 3x3



Vier Gewinnt: 6x7

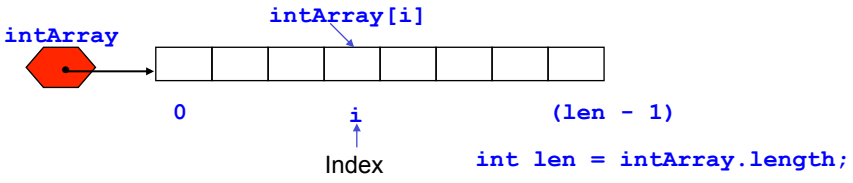


Schach: 8x8

Übersicht: Arrays in Java

Ein **Array** in Java:

- Ein Behälter für eine **geordnete Reihung gleichartiger Elemente**.
- Elementtyp kann ein **Basistyp** oder ein **Referenztyp** sein (auch Referenzen auf andere Arrays).
- Die **Länge eines Arrays** wird erst beim Erzeugen festgelegt.
- Jeder **Zugriff** über den Index wird **automatisch geprüft**.



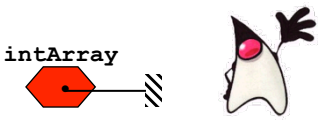

```
int [] intArray = new int[8];
```


Arrays sind (fast) Objekte: Array-Variablen

- Ein **Array** ist in Java immer ein **Objekt** (Arrays haben alle Eigenschaften, die in der Klasse `Object` definiert sind).
- Eine **Array-Variable** ist immer eine **Referenzvariable**. Der Typ dieser Variablen ist als „***Array von Elementtyp***“ definiert.
- Beispiel einer **Deklaration** eines Arrays von Integer-Werten:

```
int[] intArray;
```

- Die **Länge/Größe** des Arrays wird in der Deklaration **nicht** angegeben.



Syntax: Array-Deklaration (eindimensional) in Java

Type **[]** *Identifier*

Beispiele:

```
int[] numbers;    // eine Array-Variable mit primitivem Elementtyp („Array von int“)

Person[] people;  // eine mit einem Objekttyp als Elementtyp („Array von Person“)
```

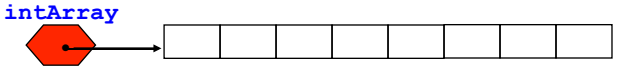

Erzeugen von Arrays in Java

- **Array-Objekte** müssen explizit **erzeugt** werden (wie alle Objekte mit **new**). Dabei kann die Länge definiert oder berechnet werden. Ein einmal erzeugtes Array kann in seiner Länge nicht mehr verändert werden.

```
intArray = new int [8];
```

- Deklaration und Erzeugung können, wie sonst auch, in einem Schritt zusammengefasst werden.

```
int[] intArray = new int [8];
```



Syntax: Array-Erzeugung (eindimensional) in Java

Wie bei einer „normalen“ Objekterzeugung werden auch Arrays durch einen Ausdruck mit dem Schlüsselwort `new` erzeugt.

```
new Type [ LengthExpression ]
```

Beispiele für Ausdrücke:

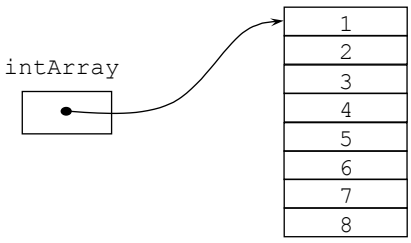
```
new int[10]        // Erzeugung eines Arrays mit primitivem Elementtyp

new Person[x]      // Erzeugung eines Arrays mit einem Objekttyp als Elementtyp
```


Initialisieren von Array-Zellen in Java

- Beim Erzeugen erhalten die **Zellen** eines Arrays in Java die Default-Werte des Elementtyps (für `int` den Wert 0, für `boolean` den Wert `false`, für Referenztypen den Wert `null`, etc.).
- Neben der normalen Zuweisung von Werten kann ein Array auch **implizit erzeugt** und **direkt initialisiert** werden.

```
int[] intArray = {1,2,3,4,5,6,7,8};
```



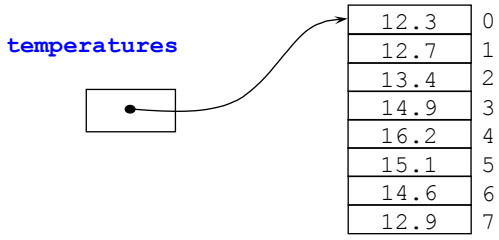
Diese implizite Erzeugung und Initialisierung mit **geschweiften Klammern** ist ausschließlich bei der Deklaration erlaubt!

Indizierung

- Arrays werden **beginnend bei 0** indiziert!!!
- Gültige Indizes eines Arrays sind: 0 ... length - 1
- Beispiel: Ein Array der Größe 8 hat als gültige Indizes 0..7

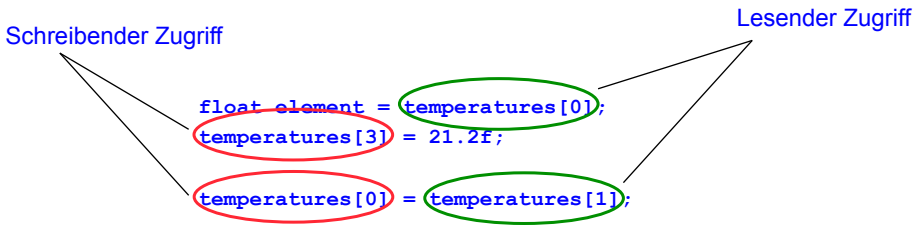
Gültige Namen für die Elemente des Arrays sind:

- `temperatures[0]`
- `temperatures[1]`
- `temperatures[2]`
- `temperatures[3]`
- `...`

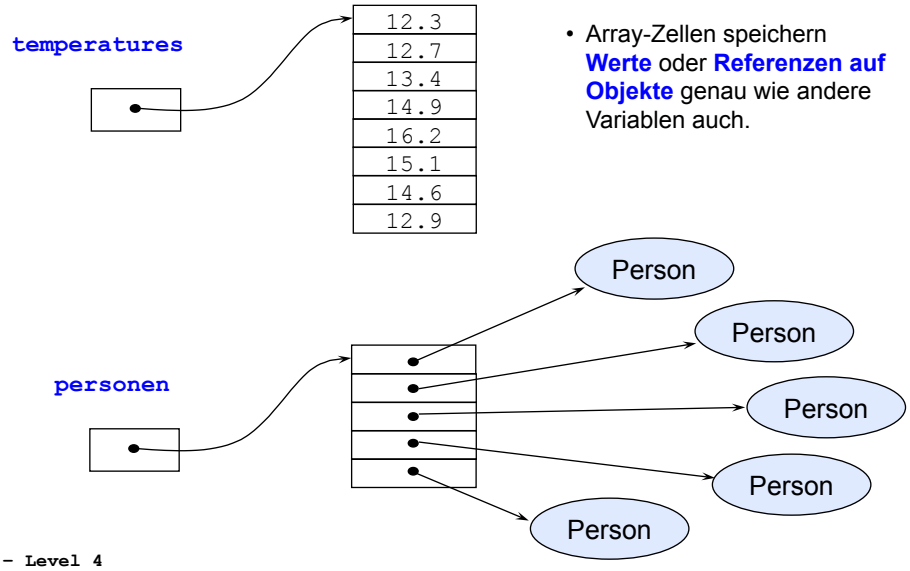


Schreibender und lesender Zugriff auf Array-Zellen

- Auf die Array-Zellen wird mit eckigen Klammern `[]` zugegriffen:



Werte vs. Objekte als Elemente

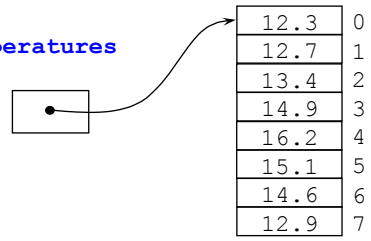


- Array-Zellen speichern **Werte** oder **Referenzen auf Objekte** genau wie andere Variablen auch.

Typischer Fehler: Ungültiger Index (Out of Bounds)

- Angenommen, wir haben ein Array der Größe 8.
- Dann schreiben wir:

```
System.out.println(temperatures[8]);
```



- Es kommt zu einer Fehlermeldung:

```
ArrayIndexOutOfBoundsException: 8
```


Typischer Fehler: Array-Objekt nicht erzeugt

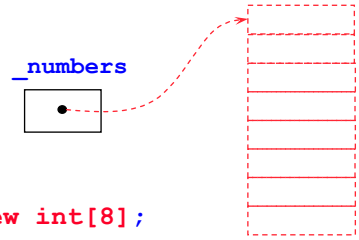
- Angenommen, wir haben ein Array als Exemplarvariable deklariert:

```
private int[] _numbers;
```

- Im Konstruktor schreiben wir als Erstes:

```
_numbers[0] = 42;
```

- Es kommt zu einer Fehlermeldung: `NullPointerException`



- Es fehlt die **Erzeugung** des Arrays:

```
_numbers = new int[8];
```


Typischer Fehler: Array-Inhalt nicht erzeugt

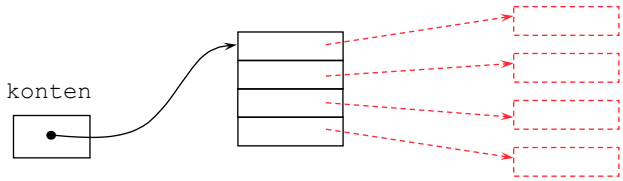
- Angenommen, wir haben ein Array mit einem Objekttyp als Elementtyp deklariert und initialisiert:

```
Konto[] konten = new Konto[4];
```

- Unmittelbar danach schreiben wir:

```
konten[0].einzahlen(123);
```

- Es kommt zu einer Fehlermeldung: `NullPointerException`



- Es fehlt die **Erzeugung der Elemente** des Arrays, also der Konto-Objekte.

For-Schleifen und Arrays

- Typischerweise werden For-Schleifen eingesetzt, um alle Elemente eines Arrays zu bearbeiten. Dabei wird die **öffentliche Exemplarkonstante** `length` benutzt.
- Beispiel: Das Ausgeben der Werte eines Arrays.

```
public void printArray(int[] intArray)
{
    for (int i = 0; i < intArray.length; ++i)
    {
        System.out.println(intArray[i]);
    }
}
```

Eine solche Standardbenutzung einer For-Schleife für Arrays wird auch als **Programmiermuster** bezeichnet. Im Englischen wird oft der Begriff **idiom** verwendet.

Die erweiterte For-Schleife für Arrays

- Die erweiterte For-Schleife kann auch für Arrays verwendet werden. Dies erspart den Zugriff auf `length`.
- Gleiches Beispiel: Das Ausgeben der Werte eines Arrays.

```
public void printArray(int[] intArray)
{
    for (int k : intArray)
    {
        System.out.println(k);
    }
}
```

Lies auch hier: für jeden int k im intArray tue…

Diese Schleifenart ist nicht geeignet, wenn **am Array selbst** (also an der Belegung der Zellen) etwas geändert werden soll. Außerdem steht im Schleifenrumpf **kein Schleifenindex** zur Verfügung.

Beispiel: Den minimalen Wert finden

```
/**
 * Liefere den minimalen Wert im gegebenen Array.
 */
public int findeMinimum(int[] intArray)
{
    int min = Integer.MAX_VALUE;
    for (int i=0; i < intArray.length; ++i)
    {
        if (intArray[i] < min)
        {
            min = intArray[i];
        }
    }
    return min;
}
```

Alternativ: neue For-Schleife

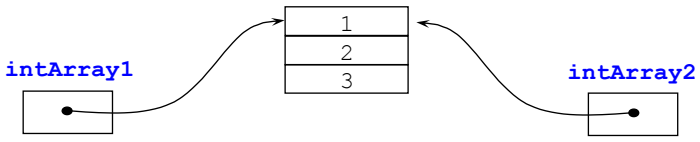
```
{
    int min = Integer.MAX_VALUE;
    for (int k : intArray)
    {
        if (k < min)
        {
            min = k;
        }
    }
    return min;
}
```

Benutzung:

```
int[] myArray = new int[10];
myArray[0] = 20;
myArray[1] = 40;
myArray[2] = 30;
int mini = findeMinimum(myArray);
System.out.println(mini);
```


Zuweisungen mit Arrays

- Die Zuweisung einer Array-Variablen kopiert **nur eine Referenz**!
- Beispiel:
  ```
  int[] intArray1 = { 1, 2, 3 };
  int[] intArray2 = intArray1;
  ```
- Beide Referenzen verweisen nun auf **dasselbe Array-Objekt**:



- Wenn man eine **Kopie des Array-Objektes** benötigt, dann gibt es zwei Möglichkeiten:
  - Elementweise in ein neues Array-Objekt kopieren.
  - Die Operation `clone` verwenden.

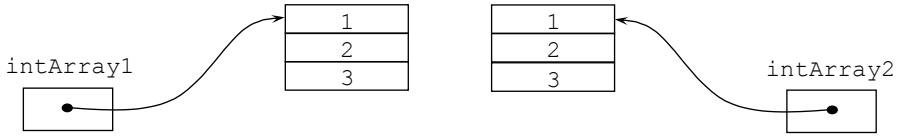
Kopieren von Array-Objekten

- Neues Array-Objekt selbst erzeugen und elementweise kopieren:

```
int[] intArray1 = { 1, 2, 3 };
int[] intArray2 = new int[intArray1.length];
for (int i=0; i < intArray1.length; ++i)
{
    intArray2[i] = intArray1[i];
}
```

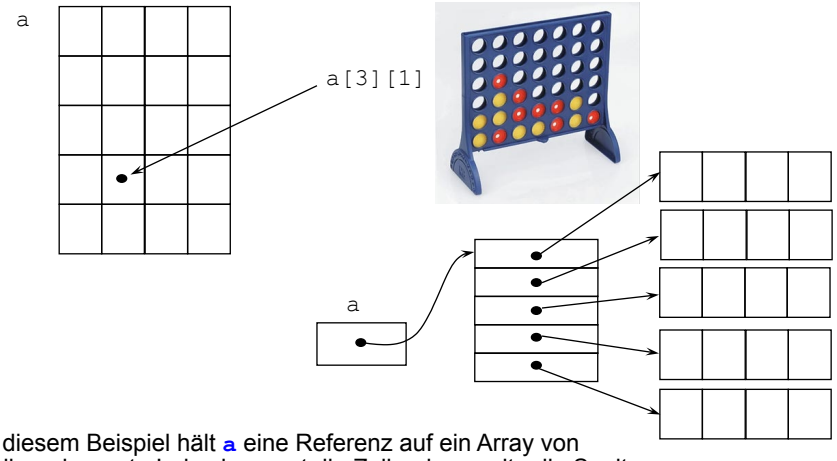
- Die Operation `clone` verwenden:

```
int[] intArray1 = { 1, 2, 3 };
int[] intArray2 = intArray1.clone();
```



Zweidimensionale Arrays

Zweidimensionale Arrays in Java sind Arrays von eindimensionalen Arrays.



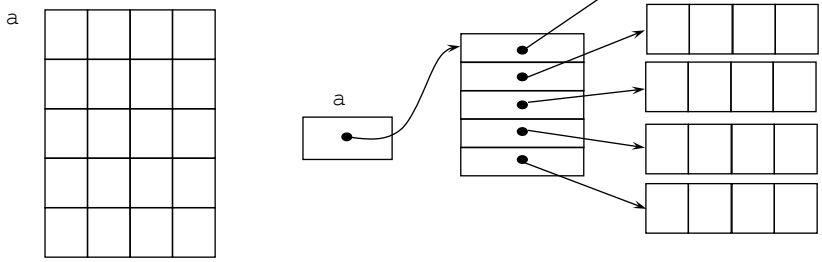
In diesem Beispiel hält `a` eine Referenz auf ein Array von Zeilen; der erste Index benennt die Zeile, der zweite die Spalte.

Zweidimensionale Arrays erzeugen

```
int[][] a;
a = new int[5][];
for (int i=0; i<5; ++i)
{
   a[i] = new int[4];
}
```

Mit **new** ist es auch möglich, ein zweidimensionales Arrays direkt zu erzeugen.

Also: **new int[5][4]**



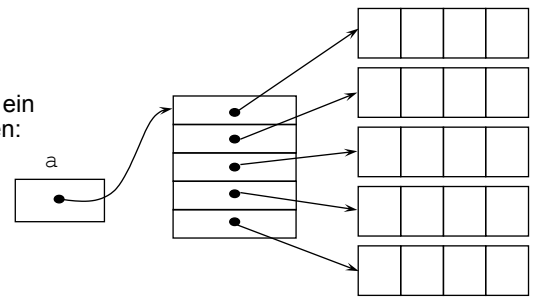
Zugriff auf zweidimensionale Arrays

```
// Alle Array-Elemente auf den Wert 7 setzen

for (int row=0; row < a.length; ++row)
{
   for (int column=0; column < a[row].length; ++column)
   {
       a[row][column] = 7;
   }
}
```

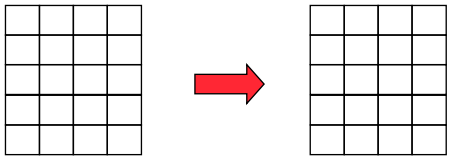
Mit Hilfe von Initializern kann auch direkt ein zweidimensionales Array angelegt werden:

```
int[][] a = { {7,7,7,7},
              {7,7,7,7},
              {7,7,7,7},
              {7,7,7,7},
              {7,7,7,7} };
```



Kopieren von mehrdimensionalen Arrays

- Bei mehrdimensionalen Arrays ist es prinzipiell wie bei eindimensionalen:
  - Es kann „von Hand“ kopiert werden, indem für jede Dimension die notwendigen Arrays erzeugt und deren Inhalte kopiert werden.
  - Oder es wird die Operation `clone` benutzt. Dabei ist zu beachten:
    - `clone` ist für Arrays nicht rekursiv implementiert!
    - D.h., bei einem Aufruf von `clone` auf einer Array-Variablen für ein mehrdimensionales Array wird nur das Array auf der obersten Ebene kopiert.
    - Wenn eine vollständige Kopie gewünscht ist, dann muss „von Hand“ für alle Dimensionen geklont werden.
- In jedem Fall muss die Objektstruktur von Arrays gut verstanden sein!



Vorteile von Arrays

- Aufgrund der speichernahen Modellierung eines zusammenhängenden Speicherbereichs haben Arrays vor allem **Effizienzvorteile**:
  - Der Zugriff auf ein Element kann direkt auf einen **Index-Zugriff** der unterliegenden Rechnerarchitektur abgebildet werden; dies ist sehr effizient.
  - Auch das **Kopieren eines ganzen Arrays** kann direkt auf unterliegende Maschinenbefehle abgebildet werden und ist damit sehr effizient.

- **Arrays in Java** haben gegenüber den dynamischen Sammlungen außerdem den Vorteil, dass sie **auch elementare Typen** als Elementtyp zulassen.

Nachteile von Arrays

- In klassischen imperativen Sprachen (wie Pascal) ist die Größe eines Arrays bereits **zur Übersetzungszeit festgelegt**.
  Dies muss kein Nachteil sein, denn bei etlichen Anwendungen ist die Größe einer Datenstruktur fachlich festgelegt (Beispiel: **Schachbrett**).

- Für ein Array in Java muss die Größe erst zur Laufzeit festgelegt werden; dennoch bilden Java-Arrays gegenüber dem Typ `List` aus dem JCF eine schwächere Realisierung des Listenkonzeptes:
  - Ein Array, einmal erzeugt, hat eine **feste Maximalkapazität**.
  - Auf einem Array gibt es außer dem indizierten Zugriff **keine höherwertigen Operationen** wie beispielsweise (zwischen zwei Elementen) **Einfügen**, **Entfernen** (mit Aufrücken), am Ende **Anfügen** oder den **Test auf Enthaltensein**.

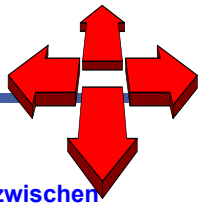
Vergleich (dynamische) Sammlung und Array

- Die Java-Sammlungen wie `List` oder `Set` sind beschränkt auf **Sammlungen von Referenzen**, d.h. es können nur Referenztypen als Elementtypen definiert werden; Arrays erlauben hingegen beide Typfamilien als Elementtyp.
- Nach seiner Erzeugung kann ein Array seine **Größe nicht mehr verändern**; `List` und `Set` hingegen sind dynamische Sammlungen und können **beliebig viele Elemente** aufnehmen.
- Ein Array modelliert **zusammenhängende Speicherzellen**; der schreibende Zugriff auf eine Position verschiebt nicht alle nachfolgenden Elemente, sondern ersetzt das Element an der Position. Ein Einfügen muss durch ein Verschieben „von Hand“ realisiert werden.
- Arrays werden in der Implementierung von dynamischen Sammlungen verwendet; sie stehen auf einem **niedrigeren Abstraktionsniveau**.

Zusammenfassung

- Ein **Array** ist eine elementare imperative Datenstruktur, die sehr speichernah konzipiert ist.
- Arrays sind geordnete Reihungen gleichartiger Elemente, auf die über einen Index zugegriffen wird.
- Arrays stehen auf einem **niedrigeren Abstraktionsniveau** als Listen und Mengen.
- Für Java gilt:
  - Die Elemente können von elementarem Typ oder Referenztypen sein (auch Referenzen auf andere Arrays).
  - Die Größe eines Arrays wird erst beim Erzeugen festgelegt.
  - Jeder Zugriff über den Index wird zur Laufzeit geprüft.

Klassen und Objekte – revisited



- Im klassischen objektorientierten Modell ist der **Unterschied zwischen Klasse und Objekt** klar:
  - **Klassen** sind die Einheiten des **statischen Programmtextes**. Sie beschreiben die Erzeugung und das Verhalten von Objekten.
  - **Objekte** sind die Einheiten des **laufenden Programms**. Sie haben einen veränderbaren Zustand und ein prinzipiell festgelegtes Verhalten. Alle Operationen beziehen sich immer auf ein Objekt.
- Wenn **Klassen** selbst vollständig **im Laufzeitsystem verfügbar** sind, verschiebt sich diese klare Unterteilung:
  - Über den Zugriff auf eine Klasse kann zur Laufzeit das Verhalten ihrer Objekte verändert werden.
  - Klassen werden zu eigenständigen Objekten mit einem eigenen Zustandsraum.
- Java wählt einen „Mittelweg“ zwischen diesen beiden Positionen.

Klassen in Java sind auch selbst Objekte

- Klassen in Java definieren nicht nur das Verhalten und die Struktur ihrer Exemplare zur Laufzeit; sie existieren auch selbst als Objekte zur Laufzeit.
- Ein solches **Klassenobjekt** kann wie alle Objekte einen Zustand haben (über **Klassenvariablen**) und Methoden anbieten (**Klassenmethoden**).
- Klassenvariablen und Klassenmethoden werden mit dem Modifikator `static` deklariert.

```
class Konto
{
    private static int exemplarzaehler = 0;

    public Konto()
    {
        exemplarzaehler++;
    }

    public static int anzahlErzeugteExemplare()
    {
        return exemplarzaehler;
    }
}
```

Klassenvariable

Auch hier gilt: Klassenvariablen sollten privat deklariert werden.

Klassenmethode

Klassenoperationen

- Die öffentlichen Klassenmethoden bilden die Operationen eines Klassenobjektes.
- Die Operationen eines Klassenobjektes sind für Klienten in der Punktnotation aufrufbar:

  <Klassenname>.<Klassenoperation> (*<aktuelle Parameter>*);

```
class Kontenverwalter
{
    public void statusPruefen()
    {
        int anzahlKonten = Konto.anzahlErzeugteExemplare();
        ...
    }
}
```

Klassenoperationen als Dienstleistungen

- Die statischen Methoden in Java werden häufig zur Realisierung von (einfachen) **Dienstleistungen** benutzt, die sich nicht auf den Zustand des gerufenen Klassenobjekts beziehen, sondern **ausschließlich auf den übergebenen Parametern** arbeiten.
- Vorteil: Zum Abrufen dieser Dienstleistungen muss kein Exemplar einer Klasse erzeugt werden; das Klassenobjekt steht unmittelbar zur Verfügung.
- Beispiele:
  - Die Klasse `Arrays` aus dem Paket `java.util`, die ausschließlich statische Methoden anbietet, mit denen Arrays manipuliert werden können. Alle Arrays werden dabei als Parameter an die Methoden übergeben.
  - Die Klassenoperation `arraycopy` in der Klasse `java.lang.System`. Sie bietet eine dritte Möglichkeit zum Kopieren von Array-Inhalten (neben dem expliziten Traversieren und `clone`).
  - Mathematische Funktionen in `java.lang.Math`.

Die spezielle Klassenoperation `main`

- Eine Klasse kann eine Klassenmethode mit einer ganz speziellen Signatur anbieten:

```
public static void main(String[] args)
```

- Die auf **genau diese Weise** definierte Klassenoperation wird in der Laufzeitumgebung von Java gesondert behandelt: Sie bildet die Schnittstelle zum Betriebssystem, indem nur genau sie von außerhalb der Java-Welt aufgerufen werden kann.
- Sie bildet somit den **Einstiegspunkt für Java-Programme**: In dieser Methode werden üblicherweise die ersten Exemplare erzeugt, mit denen eine Java-Anwendung gestartet wird.
- Die Möglichkeit, beliebige Objekte interaktiv erzeugen und manipulieren zu können, wird ausschließlich von BlueJ geboten. Andere IDEs bieten einen **Startknopf**, mit dem eine main-Methode aufgerufen wird.

Ein weiteres Mysterium entzaubert: System.out

- Wir haben bisher Ausgaben auf die Konsole mit Anweisungen der Form

```
System.out.println("Hello World!");
```

vorgenommen.

- Diese ungewöhnliche Anweisung ist nun etwas besser erklärbar: Die Klasse `java.lang.System` verfügt über eine öffentliche Klassenkonstante `out`.
- Diese Konstante ist vom Typ `PrintStream` und somit eine **konstante Referenz** auf ein Exemplar der Klasse `java.io.Printstream`.
- Ein `PrintStream` ermöglicht mit seinen Operationen (u.a. `println`) die Ausgabe von Zeichenströmen.

Initialisierung von Klassenobjekten in Java

- Jede Klasse in Java definiert nur genau ein Klassenobjekt.
- Dieses Klassenobjekt entsteht nicht über eine Exemplarerzeugung, sondern wird *automatisch* erzeugt, sobald eine Klasse in die Virtual Machine geladen wird (weil eine Klassenmethode aufgerufen wird oder weil ein Exemplar der Klasse erzeugt wird).
- Es gibt deshalb auch keine aufrufbaren Konstruktoren für Klassenobjekte. In einer Klassendefinition können aber **Klassen-Initialisierer** angegeben werden, die nach dem Laden der Klasse ausgeführt werden.

```
class Konto
{
    static {
        exemplarzaehler = 42;
        ...
    }
}
```

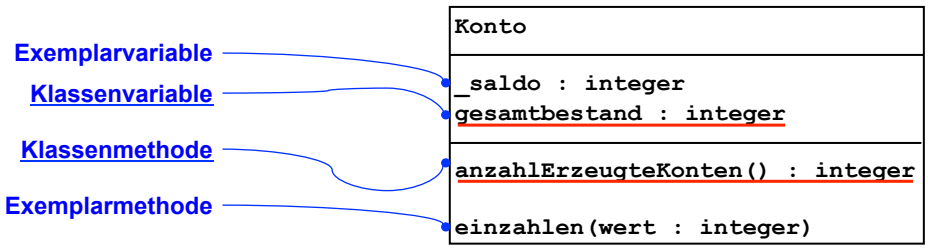

Klassenkonstanten

- Auch Konstanten (gekennzeichnet durch den Modifikator `final`) können mit dem Modifikator `static` deklariert werden.
- Sie werden dadurch zu **Klassenkonstanten**.
- Klassenkonstanten werden öffentlich (`public`) deklariert, wenn sie als globale Konstanten dienen sollen.
- Beispiele:

```
public static final int TAGE_PRO_WOCHE = 7;
public static final float PI = 3.141592654f;
public static final int ANZAHL_SPALTEN = 80;
```

Hinweis zur Pragmatik: Fast immer sollten im Quelltext solche **symbolischen Konstanten** verwendet werden, anstatt an allen benutzenden Stellen jeweils das gewünschte Literal direkt anzugeben.

Klassenmethoden und -variablen in der UML-Notation



Klassenvariablen und Klassenmethoden werden in den Klassen-Diagrammen der UML **unterstrichen**, um sie von Exemplarvariablen und -methoden zu unterscheiden.

Nicht alle Objekte sind Exemplare

- Nach der Einführung von Klassenobjekten können wir eine Unterscheidung zwischen **Exemplar** und **Objekt** für Java vornehmen:
  - Alle Exemplare einer Klasse sind Objekte.
  - Auch eine Klasse ist ein Objekt, sie ist aber in Java nicht das Exemplar einer weiteren Klasse (es gibt keine so genannten „Metaklassen“).
  - Exemplare werden explizit mit `new` erzeugt, während Klassen automatisch geladen und initialisiert werden, sobald sie benutzt werden.

Die Rolle der Klasse in anderen Sprachen

- Eine Klasse wird generell verstanden als eine Schablone, ein Bauplan für Objekte.
- **Smalltalk** geht weiter als Java: In Smalltalk ist eine Klasse selbst wieder ein Exemplar einer Metaklasse. Es ist in Smalltalk sogar möglich, die Methoden einer Klasse „im laufenden Betrieb“ zu verändern.
- In **Eiffel** ist eine Klasse hingegen ein Konzept der Organisation von Programmtexten und zu deren Übersetzung. Zur Laufzeit gibt es kein Klassenobjekt.
- Es gibt auch objektorientierte Programmiersprachen ohne eingebautes Klassenkonzept (**Self**, **Cecil**). In diesen so genannten **exemplarbasierten Sprachen** werden Einzelobjekte definiert, weitere Objekte können durch **Klonen** bereits bestehender Objekte erzeugt werden.

Zusammenfassung

- **Klassen** sind in verschiedenen Sprachen sehr unterschiedlich modelliert.
- In Java sind **Klassen auch Objekte** mit einem eigenen Zustand, der zur Laufzeit verändert werden kann; die dazu notwendigen **Klassenvariablen** werden mit dem Schlüsselwort `static` deklariert.
- Die Operationen eines Klassenobjektes werden mit **Klassenmethoden** realisiert, die ebenfalls mit dem Schlüsselwort `static` deklariert werden. Für ihren Aufruf muss kein Exemplar erzeugt werden.
- Öffentliche **Klassenkonstanten** (`public static final`) werden verwendet, um global gültige Konstanten zu definieren.

