

Softwareentwicklung I (IB)

Arithmetik und Variablen

Prof. Dr. Oliver Braun

Fakultät für Informatik und Mathematik
Hochschule München

Letzte Änderung: 28.01.2020 17:32

Inhaltsverzeichnis

Numerische Ausdrücke	3
Numerale	3
Numerale mit anderer Zahlenbasis	3
Beispiel	4
Grundrechenarten	4
Berechnung und Ausgabe	5
Ganzzahlige Division	5
Modulus	5
Mathematischer Divisionsrest	6
Beispiel für $y = 3$	6
Zusammengesetzte Ausdrücke	6
Auswertung	7
Semantik arithmetischer Ausdrücke	7
Priorität	7
Klammern	8
Unäre Vorzeichenoperatoren	8
Assoziativität	8
Operatorentabelle	9
Variablen und Wertzuweisungen	9
Zweck	9
Variablennamen	9

Definition von Variablen	10
Wertzuweisung	10
Unveränderliche Variablen	10
Der Compiler hilft	11
Variablen in Ausdrücken	11
Variablen in Java und in der Mathematik	11
Gleichheitszeichen:	12
Nicht initialisierte Variablen	12
Initialisierung	12
Anweisungsarten	13
Floatingpoint-Zahlen	13
Motivation	13
Numerische Datentypen	14
Floatingpoint-Numerale	14
Floatingpoint-Numerale (2)	14
Floatingpoint-Variablen	15
Polymorphismus	15
<code>int</code> vs. <code>double</code>	15
Implizite Typkonversion <code>int</code> → <code>double</code>	16
Keine implizite Typkonversionen <code>double</code> → <code>int</code>	16
Kompatibilität	16
Explizite Typkonversionen	17
Wertebereiche	17
Wertebereich <code>int</code>	17
Wertebereich <code>double</code>	18
Rechengenauigkeit	18
Bereichsüberschreitung	18
Division durch null	19
Division durch null (2)	19
Kommandozeilenparameter	19
Übergabe von Kommandozeilenparameter	19
Verwendung von Kommandozeilenparameter	20
Beispiel	20
Kommandozeilenparameter umwandeln	21
Ausgabe	21
Formatierte Ausgabe	21
Beispiel — Code	21
Beispiel — Ausführung	22
Bibliotheksmethoden	22
Idee	22

Beispiele	22
Argumente und Ergebnis	22
Mehrere Argumente	23
Mehrere Argumente (2)	23
Geschachtelte Aufrufe	24
Bibliotheksmethoden vs. einfache Implementierung	24

Numerische Ausdrücke

Numerale

- **Numeral** = im Programmtext genannte Zahlenkonstante
- Schreibweise ganzzahliger Numerale: Folge von Dezimalziffern
- Ziffern zur besseren Lesbarkeit wahlweise gruppiert mit `_` (Underscores)
 - nicht als erstes oder letztes Zeichen
 - nicht mehrmals direkt nacheinander
- Positive und negative Werte: Vorzeichen `+` oder `-`
 - Vorzeichen **optional**: fehlendes Vorzeichen = `+`
- Beispiele

```
0
23
+23
-4_000
-0
+230859160
+230_859_160
```

Numerale mit anderer Zahlenbasis

- Normale Numerale dezimal = Zahlenbasis 10
- Syntax für andere Zahlenbasen:
 - **Hexadezimal** (Basis 16): Präfix `„0x“`:
`0x23`
`0x1000`
 - **Oktal** (Basis 8): Führende Ziffer `„0“`:

023
01000

Irrtümlich gesetzte führende Null \Rightarrow schwer auffindbarer Fehler

- **Binär** (Basis 2): Präfix „0b“:

0b1000
0b1_010_000

Beispiel

```
public class Numbase {  
    public static void main(String[] args) {  
        System.out.println(23);           // 23  
        System.out.println(1000);        // 1000  
        System.out.println(0x23);        // 35  
        System.out.println(0x1000);      // 4096  
        System.out.println(023);         // 19  
        System.out.println(01000);       // 512  
        System.out.println(0b1000);      // 8  
        System.out.println(0b1_010_000); // 80  
    }  
}
```

Grundrechenarten

- Schreibweise arithmetischer Ausdrücke ähnlich zur Mathematik („Prinzip der geringsten Verwunderung“)
- Einfache Verknüpfung: Zwei Numerale und **Operator**
- Operatoren für die Grundrechenarten:

+	Addition
-	Subtraktion
*	Multiplikation
/	Division

- Multiplikationsoperator * muss immer angegeben werden

Berechnung und Ausgabe

- Ausgabe von Text

```
System.out.println("2");           // Ausgabe 2
```

- Ausgabe eines Numerals:

```
System.out.println(2);           // Ausgabe 2
```

- Ausgabe eines Ausdrucks:

```
System.out.println(1 + 2);       // Ausgabe 3
```

Text (in Gänsefüßchen) wird immer unverändert ausgegeben:

```
System.out.println("1 + 2");     // Ausgabe 1 + 2
```

- Schreibweise von ganzen Zahlen nicht eindeutig:

```
System.out.println(+2);          // Ausgabe 2
```

```
System.out.println(02);          // Ausgabe 2
```

```
System.out.println(+00002);     // Ausgabe 2
```

Ganzzahlige Division

- Arithmetik (bisher) ausschließlich ganzzahlig
- Ganzzahlige Division schneidet Nachkommaanteil des Ergebnisses ab
- **kein Runden:**

$$\begin{array}{rcl} \hline 11/4 & \rightarrow & 2 \text{ (nicht 2.75)} \\ -11/4 & \rightarrow & -2 \text{ (nicht -2.75)} \\ \hline \end{array}$$

- Auf den ersten Blick fragwürdig, in der Praxis nützlich

Modulus

- Fünfte „Grundrechenart“: Divisionsrest = **Modulus**
- Operatorzeichen %
- Beispiele:

$$11\%4 \rightarrow 3$$

$$7\%2 \rightarrow 1$$

$$19\%19 \rightarrow 0$$

$$1\%19 \rightarrow 1$$

- Vorsicht bei negativen Operanden

$$11\%-4 \rightarrow 3$$

$$-11\%4 \rightarrow -3$$

$$-11\%-4 \rightarrow -3$$

- Faustregel: Vorzeichen des Ergebnisses = Vorzeichen des linken (ersten) Operanden

Mathematischer Divisionsrest

- % implementiert nicht den mathematischen Divisionsrest (mod, „Modulo“)

– *Mathematik*: $x \bmod y$ ist b in:

$$x = a \cdot y + b, \text{ mit } 0 \leq b < m$$

– *Java*: $x\%y$ wird berechnet mit Hilfe ganzzahliger Division:

$$x\%y = x - (x/y)*y$$

⇒ $x\%y$ kann negativ sein, mathematischer Divisionsrest nicht

Beispiel für $y = 3$

x	Mathematik x	
	mod 3	Java x%3
4	1	1
3	0	0
2	2	2
1	1	1
0	0	0
-1	2	-1
-2	1	-2
-3	0	0
-4	2	-1

Zusammengesetzte Ausdrücke

- Ausdrücke können kombiniert werden
- Induktive Definition eines Ausdrucks:
 - Numeral („elementarer Ausdruck“) oder
 - zwei Ausdrücke + Operator („zusammengesetzter Ausdruck“)
- Beispiele für zusammengesetzte Ausdrücke:

$3 + 2*4$
 $2*3 + 4*5$
 $100 - 10 - 20$
 $+4*+5$
 $-2--1$

- Leerzeichen dienen nur der besseren Lesbarkeit und werden vom Compiler ignoriert

Auswertung

Semantik arithmetischer Ausdrücke

- Syntax von Ausdrücken liegt fest (Grammatik), aber die **Semantik** (= Berechnung der Werte) ist zu klären
- Ergebnis abhängig von der Reihenfolge der Operatorenanwendung
- Beispiel

$2 + 3 * 4$

Reihenfolge:

Addition vor Multiplikation:	$2 + 3 * 4 \rightarrow 5 * 4 \rightarrow 20$
Multiplikation vor Addition:	$2 + 3 * 4 \rightarrow 2 + 12 \rightarrow 14$

- Nur ein Ergebnis kann „richtig“ sein

Priorität

- Auswertungsreihenfolge folgt **Priorität** (= „Bindungsstärke“, „Operatorenvorrang“) der Operatoren
- Priorität der „Punkt-Operatoren“ ($*$, $/$, $\%$) höher als die der „Strich-Operatoren“ ($+$, $-$)
- Wie in der Grundschule gelernt: „Punkt vor Strich“
- Damit gilt (Multiplikation vor Addition):
 $2 + 3 * 4 \rightarrow 2 + 12 \rightarrow 14$
- Wieder: „Prinzip der geringsten Verwunderung“ (*principle of least astonishment*)

Klammern

- **Runde Klammern** (...) erzwingen eine bestimmte Auswertungsreihenfolge
- Eingeklammerte Teilausdrücke werden immer zuerst ausgerechnet

$$(2 + 3) * 4 \rightarrow 5 * 4 \rightarrow 20$$

- Klammern sind um jeden Ausdruck erlaubt:

$$2 + (3 * 4) \rightarrow 2 + 12 \rightarrow 14$$

$$(2 + 3) \rightarrow 5$$

$$(((2))) \rightarrow 2$$

Es spielt keine Rolle, ob Klammern die Auswertungsreihenfolge beeinflussen oder nicht

Unäre Vorzeichenoperatoren

- **Unäre** (= „einstellige“) **Vorzeichenoperatoren** + und - vor dem (einigen) Operanden
- - tauscht das Vorzeichen, + aus Symmetriegründen
- Priorität der unären Operatoren **höher** als die der binären Operatoren
- Beispiele:

$-(1 + 2)$	$\rightarrow -(3)$	$\rightarrow -3$
$3*-4$	$\rightarrow 3*(-4)$	$\rightarrow -12$
$-3+-4$	$\rightarrow (-3)+(-4)$	$\rightarrow -7$
$-(2 + -3)$	$\rightarrow -(-1)$	$\rightarrow 1$

Assoziativität

- Priorität regelt Vorrang bei unterschiedlichen Operatoren
- Aber: Auch bei mehreren gleichrangigen Operatoren gibt es Alternativen
- Beispiel $8 - 3 - 2$:

linkes Minus zuerst:	$8 - 3 - 2 \rightarrow 5 - 2 \rightarrow 3$
rechtes Minus zuerst:	$8 - 3 - 2 \rightarrow 8 - 1 \rightarrow 7$

- Operatoren haben eine charakteristische **Assoziativität** (= „Bindungsrichtung“)
 - links-assoziativ: Der am weitesten links stehende Operator wird zuerst ausgewertet

- rechts-assoziativ: Der am weitesten rechts stehende Operator wird zuerst ausgewertet
- Alle binären arithmetischen Operatoren sind links-assoziativ. Demnach:
 $8 - 3 - 2 \rightarrow 5 - 2 \rightarrow 3$

Operatorentabelle

- Zusammenstellung der Eigenschaften

Op	Priorität	Assoz.	Ops	Wirkung
+	1 (hoch)	rechts	1	positives Vorzeichen
-		rechts	1	negatives Vorzeichen
*	2	links	2	Multiplikation
/		links	2	Division
%		links	2	Modulus = Divisionsrest
+	3 (niedrig)	links	2	Addition
-		links	2	Subtraktion

Variablen und Wertzuweisungen

Zweck

- Arithmetische Ausdrücke liefern Werte
- Variablen speichern Werte zur späteren Verwendung
- Modell: Variable = Box, in der ein Wert aufgehoben werden kann

Variablennamen

- Variablen haben Namen
- Variablennamen sind *Identifizier*
- Variablennamen beginnen **per Konvention** mit kleinen Buchstaben
- Beispiele für Variablennamen:

```
i
counter
theUltimateAnswer
track2
```

- Variablennamen sind per Konvention englisch und verwenden keine deutschen Umlaute (ä, ö, ü, ß)

Definition von Variablen

- Variablen müssen definiert werden
- Beispiele für **Variablendefinitionen**:

```
int i;  
int counter;  
int theUltimateAnswer;  
int track2;
```

- Vor dem Namen steht der **Typ** der Variablen
- Typ „int“ = ganze Zahl
- Definition = Anweisung (engl. statement)
- Ein Variable darf nur einmal definiert werden

Wertzuweisung

- Eine **Wertzuweisung** (engl. assignment) gibt einer Variablen einen Wert
- Beispiele:

```
absoluteZero = -273;  
daysPerYear = 31 + 28 + 31 + 30 + 31 + 30 +  
               31 + 31 + 30 + 31 + 30 + 31;  
theUltimateAnswer = 179 % 18 * 5 / 2;
```

- Mehrfache Wertzuweisungen **überschreiben** vorhergehende Werte

```
int counter;  
counter = 1;  
counter = -(6 - 8);  
counter = 11 % 4;    // counter hat jetzt den Wert 3
```

- Eine Variable hat kein Gedächtnis

Unveränderliche Variablen

- Variablenwerte werden manchmal einmal zugewiesen und sollen sich dann nicht mehr ändern
- Bezeichnung „unveränderliche Variable“ = **Konstante**

- Schutz gegen Änderungen mit dem **Modifier final**

```
final int speedOfLight;  
speedOfLight = 299_793_218;
```

- „Modifier“ allgemein: optionale Zusätze zur Definition

Der Compiler hilft

- **final** erlaubt eine einzige Wertzuweisung

```
final int speedOfLight;  
speedOfLight = 299_793_218;  
speedOfLight = 0;           // Fehler!
```

- **final**-Definitionen helfen bei der Entwicklung eines Programms, tragen aber nicht zur Funktionalität bei
 - **großer Vorteil:** Der Compiler erinnert uns daran, dass wir die Variable als Konstante nutzen wollen
- **Variablen immer final definieren, außer Sie haben einen guten Grund es nicht zu tun!**

Variablen in Ausdrücken

- Variablen können auf beiden Seiten einer Wertzuweisung stehen:

links Zuweisen eines neuen Wertes, „Schreiben“ einer Variablen:

```
// fahrenheit schreiben  
fahrenheit = 91;
```

rechts Verwenden des alten Wertes, „Lesen“ einer Variablen

```
// fahrenheit lesen, celsius schreiben  
celsius = 4 * fahrenheit / 7 - 32;
```

- Variablen spielen je nach **Kontext** unterschiedliche Rollen
- „Kontext“ hier: linke oder rechte Seite einer Wertzuweisung

Variablen in Java und in der Mathematik

- Variable in Java \neq Variable in der Mathematik
- Beispiele

```
i = i + 1;
```

- Mathematik: Widerspruch: i kann keinen Wert haben, der gleichzeitig um 1 größer ist.
- Java: Wertzuweisung

`i = 2; i = 3;`

- Mathematik: Widerspruch: i kann nicht gleichzeitig die Werte 2 und 3 annehmen.
- Java: Zwei Wertzuweisungen nacheinander

Gleichheitszeichen:

Mathematik: Zustand ohne zeitliche Dimension

Javaprogramm: Abfolge zeitlich getrennter, nacheinander abgewickelter Teilschritte:

1. Ausdruck auf der rechten Seite komplett ausrechnen
 2. Ergebnis der Berechnung an die Variable auf der linken Seite zuweisen
- Textuell ähnlich, aber konzeptionell verschieden
 - In der Programmierung heisst = deshalb **Zuweisungsoperator**

Nicht initialisierte Variablen

- Eine neu definierte Variable hat keinen Wert, sie ist „nicht initialisiert“
- Eine nicht initialisierte Variable kann nicht gelesen, nur geschrieben werden
- Beispiel (fehlerhaft):

```
int i;
int j;
j = 2*i;    // Fehler - i ist nicht initialisiert
```

- Compiler prüft Initialisierung, übersetzt das Programm gegebenenfalls nicht

Initialisierung

- Variable kann bei der Definition sofort mit einem Startwert versorgt werden = **Initialisierung**

```
int fahrenheit = 91;
int celsius = 4 * fahrenheit / 7 - 32;
final int speedOfLight = 299_793_218;
```

- Kurzform für Definition & Wertzuweisung

- Getrennte Definition und Wertzuweisung ...

```
int a;
a = 1;
```

... äquivalent zu:

```
int a = 1;
```

- Variablen möglichst **immer** initialisieren

Anweisungsarten

- Arten von Anweisungen (statements) bisher

Definition	<code>int i;</code>
Wertzuweisung	<code>i = 23;</code>
Ausgabe	<code>System.out.println(i);</code>

(Initialisierung weggelassen)

- Programm = Liste von Anweisungen
- Reihenfolge von Anweisungen im Programm beliebig, aber (bezüglich einer Variablen) ...
 1. Definition
 2. Schreiben (links in einer Wertzuweisung)
 3. Lesen (als Ausdruck oder Teil eines Ausdrucks)

Floatingpoint-Zahlen

Motivation

- Oft werden gebraucht:
 - gebrochene Werte (zum Beispiel $\pi = 3.141592\dots$)
 - sehr große oder sehr kleine Werte (zum Beispiel 10^{23} , 10^{-34})
- Mit ganzen Zahlen umständlich oder überhaupt nicht ausdrückbar
- Zweiter numerischer Typ **Floatingpoint-Zahlen**

(= „Gleitkommazahlen“, „Fließkommazahlen“)
- Bezeichnung mit reserviertem Wort `double`, gleichberechtigt zu `int`

Numerische Datentypen

Java kennt weitere numerische Typen außer `int` und `double`, die seltener gebraucht werden:

<code>byte</code>	ganze Zahlen zwischen -128 und $+127$
<code>short</code>	ganze Zahlen zwischen -32768 und $+32767$
<code>long</code>	ganze Zahlen zwischen -9223372036854775808 und $+9223372036854775807$
<code>float</code>	Floatingpoint-Zahlen mit geringerer Genauigkeit

Floatingpoint-Numerale

- Schreibweise von Floatingpoint-Numeralen: *Wenigstens* eines der folgenden Merkmale:
 - **Nachkommaanteil**, mit einem Dezimalpunkt abgetrennt:
`3.14`, `0.001`, `-123.04`, `21_200.0`
 - **Zehnerexponent**, mit `E` oder `e` markiert (`E` kann gelesen werden als „mal-zehn-hoch“):
`1E23` ($1 \cdot 10^{23}$)
`1e-34` ($1 \cdot 10^{-34}$)
`6.670E-11` ($6.670 \cdot 10^{-11}$)
`-4.17e-4` ($-4.17 \cdot 10^{-4}$)
Zehnerexponenten immer ganzzahlig, mit optionalem Vorzeichen
 - **Floatingpoint-Suffixe** `D` oder `d` erklären jedes Numeral zum Floatingpoint-Numeral:
`1D`, `-234d`, `0.001D`, `1e-34d`

Floatingpoint-Numerale (2)

- Mehrere Schreibweisen des gleichen Wertes möglich (Gegensatz zu `int`):
`20.5`
`0.0205E3`
`205_000E-4`
- Beispiele für Typen von Numeralen:

<code>20</code>	<code>int</code>
<code>20.0</code>	<code>double</code>
<code>20E0</code>	<code>double</code>
<code>20.E0</code>	<code>double</code>
<code>20D</code>	<code>double</code>
- Rechnerisch gleiche `double`- und `int`-Numerale im Quelltext **nicht** beliebig austauschbar

Floatingpoint-Variablen

- Variablen können ganze Zahlen oder Floatingpoint-Werte speichern
- Typ einer Variablen bei der Definition festgelegt:
`int i;`
`double d;`
- Der Typ kann sich nicht ändern, der Wert sehr wohl
- Modifier `final` und Initialisierung unabhängig vom Typ, bei allen Variablen, auch `double`:
`final double pi = 3.14;`

Polymorphismus

- Arithmetischen Operatoren arbeiten mit `int`- und `double`-Operanden
- Typ des Ergebnisses abhängig von den Operanden:
 $20/8 \rightarrow 2$
 $20.0/8.0 \rightarrow 2.5$
- Der gleiche Operator (hier `/`) löst intern unterschiedliche Mechanismen aus: **Polymorphismus** (“Vielgestaltigkeit”)
- Allgemeines Phänomen, taucht an vielen Stellen in vielen Programmiersprachen auf

`int` vs. `double`

- Floatingpoint-Arithmetik rechnerisch genauer, wozu überhaupt ganzzahlige Arithmetik?
- `int`-Arithmetik dennoch wichtig:
 - `double`-Arithmetik langsamer als `int`-Arithmetik
 - `double`-Werte brauchen mehr Platz als `int`-Werte
 - `double`-Arithmetik macht unvorhersehbare Rundungsfehler

- Beispiel Rundungsfehler:

```
// ergibt 1000.0
System.out.println(1000.0 / 50.0 * 50.0);
// ergibt 1000.00000000000001
System.out.println(1000.0 / 60.0 * 60.0);
```

- **Regel:** `int` wenn möglich, `double` wenn nötig

Implizite Typkonversion `int`→`double`

- Zwei Operanden gleichen Typs: Operandentyp = Ergebnistyp
- Gemischten Operandentypen: `double`-Ergebnis:
 - `1 + 2 → 3 (int)`
 - `1.0 + 2 → 3.0 (double)`
 - `1 + 2.0 → 3.0 (double)`
 - `1.0 + 2.0 → 3.0 (double)`
- Im zweiten und dritten Beispiel: Erst Umwandlung des `int`-Operanden in `double`, dann weiter mit zwei Operanden gleichen Typs
- Zweites Beispiel im Detail:
 - `1.0 + 2 → 1.0 + 2.0 → 3.0`
- Allgemein: **Implizite Typkonversion** = automatische (stillschweigende) Umwandlung eines Typs in einen anderen
- Implizite Typkonversion `int`→`double` immer dann, wenn `int` verfügbar, aber `double` gebraucht

Keine implizite Typkonversionen `double`→`int`

- Zu jedem `int`-Wert gibt es einen äquivalenten `double`-Wert, zum Beispiel
 - `2 → 2.0`
 - `-1000 → -1000.0`
- Aber: Zu vielen `double`-Werten gibt es keinen äquivalenten `int`-Wert
 - `3.141_592`
 - `1E100`
- Deshalb: keine implizite Typkonversion von `double`→`int`
- Beispiele:
 - Zulässig wegen impliziter Typkonversion `int`→`double`:


```
// implizite Typkonversion 2 → 2.0, dann Zuweisung
double d = 2;
```
 - Fehler mangels impliziter Typkonversion:


```
int i = 2.0; // Fehler!
```

Kompatibilität

- Allgemein:
 - Ein Typ `T` ist **kompatibel** zu einem anderen Typ `U`, wenn ein Wert vom Typ `T` einer Variablen vom Typ `U` zugewiesen werden kann
 - Code schematisch:


```
T t = ...;
U u = t; // zulässig falls T kompatibel zu U

int kompatibel zu double wegen impliziter Typkonversion
```

- Aber: `double` nicht kompatibel zu `int`
→ Kompatibilitätsbeziehung nicht symmetrisch

Explizite Typkonversionen

- Typkonversion `double`→`int` kann erzwungen werden mit einer **expliziten Typkonversion** (engl. type cast)
- Syntax allgemein (type)expression
- Formal ein **unärer Operator**
- Hohe Priorität, wie andere unäre Operatoren:
 - (int)2.5*3 → 2*3 → 6
 - (int)-2.5 → -2
 - (int)2.5 → -2
 Ggf. Klammern setzen für andere Auswertungsreihenfolge:
 - (int)2.5*3 → 2*3 → 6
 - (int)(2.5*3) → (int)7.5 → 7
- Typecast liefert immer ein Ergebnis, auch wenn unsinnige und völlig falsche Ergebnisse herauskommen
 - (int)1e100 → 2147483647
- Typecasts **auf Mindestmaß beschränken oder ganz vermeiden**

Wertebereiche

- Werte verbrauchen Speicherplatz.
Speicherplatz endlich ⇒ darstellbare Wertebereiche begrenzt
- Größe für jeden Typ fixiert

Typ	Platzbedarf
<code>int</code>	4 Byte (32 Bit)
<code>double</code>	8 Byte (64 Bit)

Wertebereich `int`

- Grenzwerte für `int`:

Grenze / Vordefinierte Variable	Wert
größter negativer Wert <code>Integer.MIN_VALUE</code>	$-2147483648 = -2^{31}$
größter positiver Wert <code>Integer.MAX_VALUE</code>	$+2147483647 = +2^{31} - 1$

Wertebereich double

- Grenzwerte für double:

Grenze	Wert	Vordefinierte Variable
größter negativer Wert	$-1.79769 \cdot 10^{308}$	<code>-Double.MAX_VALUE</code>
kleinster negativer Wert	$-4.94065 \cdot 10^{-324}$	<code>-Double.MIN_VALUE</code>
kleinster positiver Wert	$+4.94065 \cdot 10^{-324}$	<code>Double.MIN_VALUE</code>
größter positiver Wert	$+1.79769 \cdot 10^{308}$	<code>Double.MAX_VALUE</code>

- Größen und Grenzwerte unabhängig vom zugrunde liegenden System

Rechengenauigkeit

- double speichert etwa 16 Dezimalstellen
- Maximale Anzahl Ziffern unabhängig von der Position des Dezimalpunktes
- Weitere niederwertige Ziffern werden abgeschnitten
→ Rundungsfehler
- Beispiele: Zwischenergebnis nach der ersten (linken) ungenau:
 - $1.0 + 1\text{E-}14 - 1.0 \rightarrow 9.992007221626409\text{E-}15$
 - $1.0 + 1\text{E-}15 - 1.0 \rightarrow 1.1102230246251565\text{E-}15$
 - $1.0 + 1\text{E-}16 - 1.0 \rightarrow 0.0$
 - $1\text{E}15 + 1 - 1\text{E}15 \rightarrow 1.0$
 - $1\text{E}16 + 1 - 1\text{E}16 \rightarrow 0.0$

Bereichsüberschreitung

- Ergebnisse bei Verlassen des Wertebereichs?
- Ganze Zahlen (`int`)
 - Überlauf liefert kommentarlos falsches Ergebnis:
 $2_147_483_647 + 1 \rightarrow -2147483648$
 Resultat des wrap-around des `int`-Wertebereichs
- Floatingpoint-Zahlen (`double`)

- Überlauf liefert **Fluchtwerte**:
`Double.POSITIVE_INFINITY` = $+\infty$
`Double.NEGATIVE_INFINITY` = $-\infty$
 Beispiel:
`1E308 + 1E308` → `Double.POSITIVE_INFINITY`
- Unterlauf liefert null. Beispiel:
`5E-324/2` → `0.0`

Division durch null

- Division durch null verhält sich unterschiedlich bei `int` und `double`
- `int`-Division durch null ist unzulässig, ebenso Modulus mit zweitem Operanden null
- Programm wird sofort abgebrochen (Exception-Handling)

```
System.out.println(1/0); // ebenso 1%0
```

Ausgabe des Programms:

```
Exception in thread "main" java.lang.ArithmeticException: / by zero
    at DivisionByZero.main(DivisionByZero.java:5)
```

Division durch null (2)

- `double`-Division durch null liefert Fluchtwerte:

```
System.out.println(1.0/0.0); // Infinity
System.out.println(-1.0/0.0); // -Infinity
System.out.println(0.0/0.0); // NaN
```
- Fluchtwert `Double.NaN` (not a number) = undefinierter Wert
- Mit `Infinity` kann (sehr eingeschränkt) weiter gerechnet werden, aber nicht mit `NaN`
- Meist fehlerhaftes Programm, kaum jemals sinnvoll

Kommandozeilenparameter

Übergabe von Kommandozeilenparameter

- Um bei der **Programmausführung** Werte zu variieren, können Kommandozeilenparameter genutzt werden

- Kommandozeilenparameter werden beim Programmstart hinter dem Klassennamen angegeben, z.B.

```
$ java Max 23 15 81
```

- nach dem Kommando java kommt immer der Klassenname
- darauf folgende "Wörter" sind Kommandozeilenparameter
- Getrennt werden Kommandozeilenparameter durch ein oder mehrere Leerzeichen
- Soll ein einzelner Parameter ein Leerzeichen enthalten, können Sie Anführungszeichen verwenden, z.B.

```
$ java Hello "Oskar Wilde"
```

Verwendung von Kommandozeilenparameter

- Kommandozeilenparameter werden über das Array `args` an die `main`-Funktion übergeben

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

- `args` ist der Name
- `[]` steht für Array
- `String[]` besagt, dass die Elemente des Arrays `Strings` (Zeichenketten) sind

- Um die einzelnen Werte des `args`-Array verwenden zu können, nutzen wir einen Index
- **Achtung:** Die InformatikerIn zählt ab 0 nicht ab 1
- Der erste Kommandozeilenparameter hat den Namen `args[0]`, der zweite `args[1]`, usw.

Beispiel

```
class Hello {  
    public static void main(String[] args) {  
        System.out.println("Hallo " + args[0]);  
    }  
}
```

```
$ java Hello Hannelore  
Hallo Hannelore
```

```
$ java Hello Rudi Joop
```

Hallo Rudi

```
$ java Hello "Rudi Joop"  
Hallo Rudi Joop
```

Kommandozeilenparameter umwandeln

- Kommandozeilenparameter sind immer Strings
- Manchmal brauchen wir z.B. eine Zahl
- Nutzen von Bibliotheksmethoden zum Umwandeln, z.B.

```
int age = Integer.parseInt(args[0]);
```

oder

```
double radius = Double.parseDouble(args[0]);
```

Ausgabe

Formatierte Ausgabe

- Neben `System.out.print` und `System.out.println` gibt es noch die *formatierte Ausgabe* mit `System.out.printf`
- `printf` bekommt als ersten Parameter einen Format-String bei dem Platzhalter für die Ausgabe verwendet werden können.
- weitere Parameter sind dann die Werte, die in die Platzhalter eingesetzt werden

Beispiel — Code

```
class Bill {  
    public static void main(String[] args) {  
        String product = args[0];  
        double price = Double.parseDouble(args[1]);  
        int amount = Integer.parseInt(args[2]);  
  
        System.out.print(  
            "Anzahl\tProdukt\tEinzelpreis\tGesamt\n");  
        System.out.print(  
            "=====\t=====\t=====\t=====\n");  
    }  
}
```

```

    System.out.printf("%6d\t%s\t%11.2f\t%6.2f%n",
        amount, product, price, price * amount);
}
}

```

Beispiel — Ausführung

```

$ java Bill Schal 12.95 3
Anzahl  Produkt Einzelpreis      Gesamt
=====  =====  =====  =====
      3  Schal           12.95      38.85

```

Bibliotheksmethoden

Idee

- Mathematische Funktionen oft gebraucht (beispielsweise Quadratwurzel, Logarithmen, trigonometrischen Funktionen)
- entsprechende Algorithmen vordefiniert, in der Laufzeitbibliothek bereitgestellt
- Laufzeitbibliothek auf allen Systemen in der gleichen Form zur Verfügung
- Funktionsumfang der Laufzeitbibliothek = **Java-API** (Java Application Programming Interface)

Beispiele

- Beispiele für mathematische Bibliotheksmethoden:

Funktion	Mathematik	Java
Quadratwurzel	\sqrt{x}	<code>Math.sqrt(x)</code>
Natürlicher Logarithmus	$\ln(x)$	<code>Math.log(x)</code>
Logarithmus zur Basis 10	$\log_{10}(x)$	<code>Math.log10(x)</code>
e-Funktion	e^x	<code>Math.exp(x)</code>
Sinus	$\sin(x)$	<code>Math.sin(x)</code>
Arcus-Tangens	$\arctan(c)$	<code>Math.atan(x)</code>

Argumente und Ergebnis

- Bibliotheksmethoden erwarten Argumente, liefern Funktionswert zurück

- **Argumente** in runden Klammern angeben
- Beispiel: Sinus von 0.5 (alle Winkel im Bogenmaß):
`Math.sin(0.5)` → 0.479425538604203
- Vordefinierte Konstanten für die Kreiszahl π und die Eulerzahl e :
`Math.PI`
`Math.E`
- Beispiel: Sinus von $45^\circ = \frac{1}{4}\pi$:
`Math.sin(Math.PI / 4)` → 0.7071067811865475
`Math.sin(45 * Math.PI / 180)` → 0.7071067811865475

Mehrere Argumente

- Mehrere Argumente mit Komma getrennt aufzählen z.Beiispiele:

Funktion	Mathematik	Java
Potenz	x^y	<code>Math.pow(x, y)</code>
„Pythagoras“	$\sqrt{a^2 + b^2}$	<code>Math.hypot(x, y)</code>
Vektorrichtung	$\arctan(xy)$	<code>Math.atan2(y, x)</code>

- Berechnen von 3^7 : `Math.pow(3, 7)` → 2187.0
- Vorsicht: `Math.pow` rechnet immer mit `double`-Werten → schwer vorhersagbare Rundungsfehler
- `Math.pow` aufwändig, damit langsam → nur bei großen oder gebrochenen Exponenten sinnvoll
`Math.pow(2, 135)` → 4.3556142965880123E40
`Math.pow(2, 1.0/7.0)` → 1.1040895136738123

Mehrere Argumente (2)

- Länge der Hypotenuse c aus den Längen a und b der Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks („Pythagoras“):
 $c = \sqrt{a^2 + b^2}$
`Math.hypot(1, 2)` → 2.23606797749979
- Richtungswinkel σ (Bogenmaß!) des Vektors (x, y) :
`Math.atan2(2, 1)` → 1.1071487177940904
- Korrekt auch für $x = 0$
- Ergebnis im Intervall $-\pi \leq \sigma \leq \pi$

Geschachtelte Aufrufe

- Argumente für Bibliotheksmethoden: beliebige Ausdrücke
- Ganzer Aufruf einer Bibliotheksmethode selbst ein Ausdruck
- Geschachtelte Aufrufe zulässig:

3^{3^3}	<code>Math.pow(3, Math.pow(3, 3))</code>
$(3^3)^3$	<code>Math.pow(Math.pow(3, 3), 3)</code>
$\sin(0.5^2)$	<code>Math.sin(0.5 * 0.5)</code>
$\sin(0.5)^2$	<code>Math.sin(0.5) * Math.sin(0.5)</code>
$\sin^2(0.5) = \sin(\sin(0.5))$	<code>Math.sin(Math.sin(0.5))</code>

Bibliotheksmethoden vs. einfache Implementierung

- Einfachere Konstrukte oft effizienter \Rightarrow Bibliotheksmethoden mit Bedacht einsetzen
- Beispiele:

Ausdruck	langsam	schnell	Verhältnis
4.1^3	<code>Math.pow(4.1, 3)</code>	<code>4.1*4.1*4.1</code>	~ 100
$10^{0,5}$	<code>Math.pow(10, 0.5)</code>	<code>Math.sqrt(10)</code>	~ 20