HAW Hamburg
Fakultät TI
Technik und Informatik

Programmiermethodik 1
Programmiertechnik

Arithmetische Ausdrücke und Zahlen

Wiederholung

- Bezeichner
- Variablen
- Ein- und Ausgabe
- Ganzzahlen und Literale

Ausblick für heute

Use Cases

- Ich verwende Operatoren (z.B. +), um mehrere Zahlen (oder Variablen) miteinander zu verrechnen.
- Ich verwenden nicht-ganze Zahlen (z.B. π).
- Ich möchte mit dem Ergebnis einer Rechnung mit ganzen Zahlen weiterrechnen. Dort soll die Zahl aber mit nicht-ganzen Zahlen verrechnet werden.
- Es sollen Wahrheitswerte dargestellt werden (z.B.: "Ist der Wert der Variablen `var` kleiner oder gleich der Zahl 17").

Agenda

- Arithmetische Ausdrücke
- Fließkommazahlen
- Kompatibilität
- Wahrheitswerte

Arithmetische Ausdrücke

Grundrechenarten

- Schreibweise arithmetischer Ausdrücke ähnlich zur Mathematik
  - „Prinzip der geringsten Verwunderung“
- einfachste Darstellung:
  - zwei Literale (als Operanden) und Operator
  - Beispiel: `1+2`
- Syntax: `<Operand> <Operator> <Operand>`

Grundrechenarten

- Operatoren für die Grundrechenarten:
  - Addition : `+`
  - Subtraktion: `-`
  - Multiplikation: `*`
  - Division: `/`

- Multiplikationsoperator `*` muss immer angegeben werden
  - anders als z.B. in der Mathematik

Arithmetische Ausdrücke

- Berechnung und Ausgabe eines arithmetischen Ausdrucks:
  - `System.out.println( 1 + 2 );  // Ausgabe: 3`
- Text (Literal für Zeichenketten) wird immer unverändert ausgegeben
  - in Anführungszeichen
  - `System.out.println( "1 + 2" );  // Ausgabe: 1 + 2`
- Darstellung von ganzen Zahlen ist eindeutig:
  - `System.out.println( 2 );  // Ausgabe: 2`
  - `System.out.println( +2 );  // Ausgabe: 2`
  - `System.out.println( 0x2 );  // Ausgabe: 2 (Hexadezimal)`
  - `System.out.println( 0b10 );  // Ausgabe: 2 (Binär)`

Arithmetische Ausdrücke

Ganzzahlige Division

- Arithmetik (bisher) ausschließlich ganzzahlig
- ganzzahlige Division schneidet Nachkommaanteil des Ergebnisses ab
  - kein Runden!

Beispiele


```
11/4  →  2 (nicht  2.75)
-11/4 → -2 (nicht  -2.75)
4/2
3/2
1/2
2/1
100/50
100/49
100/51
```

Modulus

- fünfte „Grundrechenart“: Divisionsrest = Modulus
- Operatorzeichen: `%`
- Beispiele:
  - `11%4` → `3`
  - `8%4` → `0`
  - `7%3` → `1`
- wird in Java mit ganzzahliger Division berechnet
  - `a%b = a-(a/b)*b`
- Vorsicht bei negativen Zahlen
  - die mathematische Definition des Modulus `a mod b` ergibt immer Ergebnisse zwischen `0` und `b-1`
  - nicht so in Java

Übung: Modulo-Operator

- Geben Sie die Ergebnisse der Auswertung folgender Modulo-Ausdrücke an:
  - `4 % 2`
  - `3 % 3`
  - `17 % 5`
  - `5 % 17`
  - `-5 % -2`
  - `5 % -2`
  - `-5 % 2`

Erinnerung

`a%b = a-(a/b)*b`

Zusammengesetzte Ausdrücke

- Ausdrücke können kombiniert werden
- Definition: Ein Ausdruck ist ein …
  - elementarer Ausdruck: z.B. Literal
  - zusammengesetzter Ausdruck: mehrere Ausdrücke, die durch einen Operator verknüpft sind
- Beispiele für zusammengesetzte Ausdrücke:
  - `3 + 2 * 4`
  - `2 * 3 + 4 * 5`
  - `100 - 10 - 20`
  - `+ 4 * +5`
  - `-2 - -1`
  - `11 - 11/4 * 4`

Semantik

- Unterscheidung
  - Syntax von Ausdrücken liegt fest (Grammatik)
  - aber die Semantik (= Berechnung der Werte) ist zu klären
- Ergebnis ist abhängig von der Reihenfolge der Anwendung der Operatoren
- Beispiel: `2 + 3 * 4`
  - Reihenfolge: Addition vor Multiplikation
    - `2+3*4` → `5*4` → `20`
  - Multiplikation vor Addition
    - `2+3*4` → `2+12` → `14`
  - nur ein Ergebnis kann richtig sein!

Priorität

- Auswertungsreihenfolge folgt Priorität der Operatoren
  - auch Bindungsstärke oder Operatorenvorrang genannt
- Priorität der Punkt-Operatoren (`*`, `/`, `%`) ist höher als die der „Strich-Operatoren“ (`+`, `-`)
- deckt sich mit bekanntem Vorgehen: „Prinzip der geringsten Verwunderung“
- Zurück zum Beispiel:
  - `2 + 3 * 4` → `2 + 12` → `14`

Klammern

- runde Klammern (…) erzwingen eine bestimmte Auswertungsreihenfolge
- eingeklammerte Teilausdrücke werden immer zuerst ausgerechnet
  - `(2 + 3) * 4` → `5 * 4` → `20`
- Klammern sind um jeden Ausdruck erlaubt:
  - dabei spielt es keine Rolle, ob Klammern die Auswertungsreihenfolge beeinflussen oder nicht
- Beispiele
  - `2 + (3 * 4)` → `2 + 12` → `14`
  - `(2 + 3)` → `5`
  - `(((2)))` → `2`

Unäre Vorzeichenoperatoren

- unäre Vorzeichenoperatoren + und - stehen vor jeweils einem einzigen Operanden
  - auch einstellige Operatoren genannt
  - "–" tauscht das Vorzeichen
  - "+" existiert nur aus Symmetriegründen, kann weggelassen werden
- Priorität der unären Operatoren ist höher als die der binären Operatoren
  - auch zweistellige Operatoren genannt
- Beispiele
  - `-(1 + 2)` → `-(3)` → `-3`
  - `3*-4` → `3*(-4)` → `-12`
  - `-3+-4` → `(-3)+(-4)` → `-7`
  - `-(2 + -3)` → `-(-1)` → `1`

Assoziativität („Bindungsrichtung“)

- Priorität regelt Vorrang bei unterschiedlichen Operatoren
- aber: auch bei mehreren gleichrangigen Operatoren gibt es alternative Auswertungsmöglichkeiten
- Beispiel: `8 - 3 - 2`
  - linkes Minus zuerst: `8 - 3 - 2` → `5 - 2` → **3**
  - rechtes Minus zuerst: `8 - 3 - 2` → `8 - 1` → `7`
- Operatoren haben eine charakteristische Assoziativität (Bindungsrichtung)
  - rechts- oder links-assoziativ
- alle binären arithmetischen Operatoren sind links-assoziativ
  - „Der am weitesten links stehende Operator wird zuerst ausgewertet“
- Demnach:
  - `8 - 3 - 2` → `5 - 2` → `3`

Operatorentabelle

- Auszug aus der Tabelle mit der Operator-Auswertungsreihenfolge
  - vollständige Tabelle in EMIL

2	++	pre- or postfix increment	right
	--	pre- or postfix decrement	
	+ -	unary plus, minus	
	~	bitwise NOT	
	!	boolean (logical) NOT	
	(type)	type cast	
	new	object creation	
3	* / %	multiplication, division, remainder	left
4	+ -	addition, substraction	left
	+	string concatenation	

Spezialfall des Operators +

- Operator "+" zur Verknüpfung von Text-Zeichenketten miteinander
  - auch Konkatenation genannt
- Beispiel:
  - `System.out.println("Hallo," + " Welt!");`
  - Ausgabe: Hallo, Welt!

Zuweisungsoperatoren

=	x=y	
*=	x*=y	(x=x*y)
/=	x/=y	(x=x/y)
%=	x%=y	(x=x%y)
+=	x+=y	(x=x+y)
-=	x-=y	(x=x-y)
&=	x&=y	(x=x&y)
|=	x|=y	(x=x|y)
^=	x^=y	(x=x^y)
<<=	x<<=y	(x=x<<y)
>>=	x>>=y	(x=x>>y)
>>>=	x>>>=y	(x=x>>>y)

op= als Kurzform $x\,op{=}\,y \Leftrightarrow x{=}x\,op\,y$

Konstanten

- Variablenwerte werden manchmal einmal zugewiesen und sollen sich dann nicht mehr ändern
  - Konstante
  - optionaler Zusatz bei der Deklaration (Modifizierer oder Modifier): `final`
- `final` erlaubt nur eine einzige Wertzuweisung für eine Variable
  - Syntax: `final <Typ> <Variablenname> [= <Ausdruck>];`
- `final`-Deklarationen helfen bei der Entwicklung von Programmen
  - Compiler kann mehr Fehler aufdecken
  - tragen aber nicht zur Funktionalität bei

Konstanten

- Beispiele:

```
final int maxAnzahlStudenten = 40;
final int lichtgeschwindigkeit;
lichtgeschwindigkeit = 299793218;
maxAnzahlStudenten = 0; // Error: 2. Zuweisung
```

Vorgriff: Modifier

- bisher gesehen:
  - `public` (siehe `public static void main` ...)
  - `final`
- weitere:
  - `protected`
  - `private`
  - `abstract`
  - `static`
  - `native`
  - `transient`
  - `volatile`
  - `synchronized`
  - `strictfp`

Übung: SummenRechner

Erstellen Sie ein Programm `SummenRechner`, das 2 übergebene Integer-Werte addiert und das Ergebnis ausgibt!

Anforderungsanalyse

- Eingabe
  - der Benutzer gibt 2 ganzzahlige Werte ein
- Ausgabe
  - die Summe der beiden Werte wird berechnet und ausgegeben

Fließkommazahlen

Datentypen: Fließkommazahlen

- auch genannt: Gleitkommazahlen
- oft benötigt:
  - rationale Zahlen (z.B. 3/4)
  - irrationale Zahlen (z.B. $\pi = 3.141592\ldots$)
  - sehr große oder sehr kleine Werte (zum Beispiel `10^23, 10^-34`)
  - → mit ganzen Zahlen umständlich oder überhaupt nicht ausdrückbar
- Lösung: zweiter numerischer Datentyp: Fließkommazahlen
- Typbezeichnung in Java mit reserviertem Wort `double`
  - Verwendung in Variablendeklarationen wie `int`
  - Fließkommaliterale sind standardmäßig vom Typ `double`
  - Typ `float` identisch, nur ungenauer (weniger Stellen)

Literale

- Fließkommaliterale müssen mindestens eines der folgenden Merkmale aufweisen:
  - Nachkommaanteil, mit einem Dezimalpunkt abgetrennt
    - Beispiele: `3.14, 0.001, -123.04, 21200.0`
  - Zehnerexponent, mit `E` oder `e` markiert
    - `E` kann gelesen werden als „mal-zehn-hoch“
    - Beispiele: `1E23` ($1 \cdot 10^{23}$), `1e-34` ($1 \cdot 10^{-34}$), `6.670E-11` ($6.670 \cdot 10^{-11}$), `-4.17e-4` ($-4.14 \cdot 10^{-4}$)
    - Zehnerexponenten sind immer ganzzahlig, mit optionalem Vorzeichen
  - Fließkomma-Suffix (nachgestelltes Zeichen) D oder d (für `double`)
    - Beispiele: `1D, -234d, 0.001D, 1e-34d`

Datentypen: Fließkommazahlen

- mehrere Schreibweisen des gleichen Wertes möglich
  - `20.5 = 0.0205E3 = 205000E-4`
- Beispiele für Typen von numerischen Literalen:
  - `20 (int)`
  - `20.0 (double)`
  - `20E0 (double)`
  - `20.E0 (double)`
  - `20d (double)`
  - `20D (double)`
- rechnerisch gleiche `double`- und `int`-Literale sind im Quellcode nicht beliebig austauschbar!

double-Variablen

- Beispiel:
  - `double entfernung = 234.45;`
- Hinweis
  - Typ kann sich nach Deklaration nicht ändern, der Wert sehr wohl

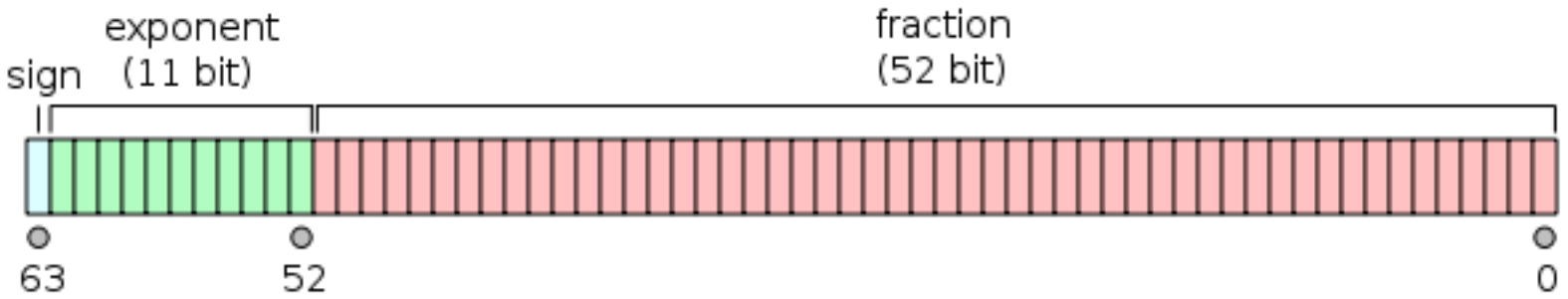
Ausflug: Polymorphie

- numerische Operatoren arbeiten mit `int`- und `double`-Operanden
- Typ des Ergebnisses ist abhängig vom Typ der Operanden
- Beispiele
  - `20/8 → 2`
  - `20.0/8.0 → 2.5`
- gleicher Operator (hier: Divisionsoperator /) löst intern unterschiedliche Mechanismen aus
  - Polymorphie
- allgemeines Phänomen, taucht an vielen Stellen in vielen Programmiersprachen auf!
  - siehe auch Text-Konkatenation mit +

Datentypen: Fließkommazahlen

double

- Genauigkeit: ca. 16 Dezimalstellen!



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

Datentypen: Ganzzahlen und Fließkommazahlen

- Fließkomma-Arithmetik rechnerisch viel genauer, wozu noch ganzzahlige Arithmetik?
- `int`-Arithmetik hat Vorteile:
  - `double`-Arithmetik ist langsamer als `int`-Arithmetik
  - `double`-Werte brauchen doppelt so viel Platz wie `int`-Werte
  - `double`-Arithmetik macht (im Gegensatz zu `int`) manchmal Rundungsfehler
    - `(1.0/x)*x`
    - liefert für manche `x` (z.B. `49.0`) nicht `1.0` (sondern `0.9999999999999999`)
- `int` wenn möglich, `double` wenn nötig!

Übung: Fließkommazahlen

- Geben Sie Ausdrücke an, in denen die beschriebenen Berechnungen durchgeführt werden und das Ergebnis jeweils in einer Variable `ergebnis` abgelegt wird.
  - a) Drei geteilt durch vier.
  - b) Umfang eines Kreises: Zwei mal Pi mal Radius.
  - c) Ein Fünftel plus zwei.

Kompatibilität

Typkonvertierung

int → double

- zwei Operanden gleichen Typs
  - Ergebnistyp = Operandentyp
  - `1 + 2 → 3 (int)`
- gemischte Operandentypen `int/double`:
  - Ergebnistyp ist immer `double`
  - `1.0 + 2 → 3.0 (double)`
  - `1 + 2.0 → 3.0 (double)`
  - `1.0 + 2.0 → 3.0 (double)`
  - erst Umwandlung des `int`-Operanden in `double`, dann weiter mit zwei Operanden gleichen Typs
    - `1.0 + 2 → 1.0 + 2.0 → 3.0`

Typkonvertierung

- implizite Typkonversion
  - automatische (stillschweigende) Umwandlung eines Typs in einen anderen
  - Konversion `int` → `double` findet immer dann statt, wenn `int` verfügbar ist, aber `double` gebraucht wird

Datentypen: Implizite Typkonversion

int → double

- zu jedem `int`-Wert gibt es einen äquivalenten `double`-Wert
  - Beispiel: `2 → 2.0`
- aber: zu vielen `double`-Werten gibt es keinen äquivalenten `int`-Wert
  - zum Beispiel `1E100`
- deshalb: keine implizite Typkonversion von `double → int`
- Beispiele:
  - zulässig wegen impliziter Typkonversion `int → double`:
    - `double d = 2; // implizite Typkonversion 2 → 2.0`
  - Fehler mangels impliziter Typkonversion:
    - `int i = 2.0; // Fehler!`

Datentypen: 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
- Beispielcode schematisch:
  - `T varTypeT = …;`
  - `U varTypeU;`
  - `varTypeU = varTypeT ;  // ok falls T kompatibel zu U`
- `int` kompatibel zu `double`
  - implizite Typkonversion
- aber: `double` nicht kompatibel zu `int`
  - Kompatibilitätsbeziehung nicht symmetrisch

Datentypen: Explizite Typkonversionen

- explizite Typkonversion: Erzwingen einer Typkonversion
  - z.B. `double` → `int`
  - engl. type cast
- Syntax: `(<Zieltyp>) <Ausdruck>`
- Ergebnistyp des Ausdrucks wird in den Zieltyp umgewandelt
  - Typkonversion ist synaktisch ein unärer (einstelliger) rechts-assoziativer Operator
  - Typkonversion hat hohe Priorität, wie andere unäre Operatoren

Beispiele


```
(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) → (int)(7.5) → 7
```

Übersicht: Zahlentypen

Typ	Werte	Länge (Bit)	größter positiver Wert	größter negativer Wert
byte	ganze Zahlen	8	2^7-1 (127)	-2^7 (-128)
short	ganze Zahlen	16	2^{15}-1 (32767)	-2^{15} (-32768)
int	ganze Zahlen	32	2^{31}-1 (ca. $2 \cdot 10^9$)	-2^{31} (ca. $-2 \cdot 10^9$)
long	ganze Zahlen	64	2^{63}-1 (ca. $9 \cdot 10^{18}$)	-2^{63} (ca. $-9 \cdot 10^{18}$)
float	Fließkomma-zahlen	32	$3.40282347 \cdot 10^{38}$	$-3.40282347 \cdot 10^{38}$
double	Fließkomma-zahlen	64	$1.79769.. \cdot 10^{308}$	$-1.79769.. \cdot 10^{308}$

Kompatibilität und Konvertierung

- es wird in folgenden Fällen eine implizite Typkonvertierung durchgeführt:
  - bei der Auswertung eines Ausdrucks, wenn Operanden unterschiedlichen Typ besitzen
  - bei einer Wertzuweisung, wenn der Typ der Variablen und des zugewiesenen Wertes nicht identisch sind

Wahrheitswerte

Wahrheitswerte

Datentyp `boolean`

- Ausdruck mit Wahrheitswert als Ergebnis
- eigenständiger Datentyp: `boolean`
- `boolean` hat nur zwei Werte:
  - wahr
  - falsch
- `boolean`-Literale:
  - `true` (wahr, ja, zutreffend)
  - `false` (falsch, nein, unzutreffend)
- `boolean` kein numerischer Typ
  - nicht kompatibel zu `int` oder `double`

Wahrheitswerte

- Variablen mit Typ `boolean` sind zulässig
- Beispiel:
  - `boolean istOk;`
  - `istOk = true;`
- ebenso mit Initialisierung:
  - `boolean istOk = true;`
- Zuweisung von Bedingungen an `boolean`-Variablen möglich
  - Vergleichsoperatoren liefern Wahrheitswert
  - `boolean gueltigeTemperatur = celsius > -273.16;`

Relationale Operatoren

- neue Art von Operator notwendig
  - Vergleich von Werten
  - Ergebnis: Wahrheitswert
  - relationaler Operator oder Vergleichsoperator

Relationale Operatoren erwarten numerische Operanden und liefern Wahrheitswerte (`boolean`)

Relationale Operatoren

Relationale Operatoren

Syntax	Art des Vergleichs
<	echt kleiner
<=	kleiner oder gleich
>	echt größer
>=	größer oder gleich
==	gleich
!=	nicht gleich

- häufige Fehler:
  - Gleichheitsrelation
    - '==' in Java
    - entspricht '=' in der Mathematik
  - Wertzuweisung = in Java hat keine mathematische Entsprechung

Relationale Operatoren

- relationale Operatoren bilden eine neue Gruppe von Operatoren:
  - Operanden sind Zahlen, Ergebnis ist Wahrheitswert
  - Erinnerung: arithmetische Operatoren
    - Operanden sind Zahlen, Ergebnis ist Zahl
- Priorität ist niedriger als bei arithmetische Operatoren
  - Beispiel:
    - `2+3 < 2*3 → 5 < 6 → true`
  - Einzelheiten siehe Operatorentabelle (→ EMIL)

Logische Operatoren

- logische Operatoren verknüpfen Wahrheitswerte
  - Operanden sind Wahrheitswerte, Ergebnis ist Wahrheitswert

Operator	Name	deutsch	Ergebnis ist true genau dann, wenn …
&&	AND	logisches Und	… alle beide Operanden true sind
||	OR	inklusives logisches Oder	… mindestens ein Operand true ist
^	XOR	exklusives logisches Oder	… genau ein Operand true ist
!	NOT	logisches Nicht	… der Operand false ist

Wahrheitstabellen

- Wahrheitstabellen ordnen jeder möglichen Kombination von Operanden ein Ergebnis zu
  - beschreiben logische Operatoren damit vollständig
- Beispiel AND
  - `true && true` → `true`
  - `true && false` → `false`
  - `false && true` → `false`
  - `false && false` → `false`

Wahrheitstabellen – OR und XOR

- Beispiel `OR`

```
true || true        → true
true || false       → true
false || true       → true
false || false      → false
```

- Beispiel `XOR`

```
true ^ true         → false
true ^ false        → true
false ^ true        → true
false ^ false       → false
```

Logische Ausdrücke

- logische Operatoren dienen zur Formulierung zusammengesetzter Bedingungen
  - sogenannte logische Ausdrücke
- Beispiel: `-5 ≤ x < 5`
  - in Worten: x ist größer oder gleich –5 und x ist kleiner als +5
  - als logischer Java-Ausdruck: `(x >= -5)  &&  (x < 5)`

Übung: Logische Ausdrücke

- Formulieren Sie für die Variablen

```
int zahl1;
int zahl2;
boolean wahrheitswert;
```

- folgenden Ausdruck in Java-Syntax:

"`zahl1` ist größer als `zahl2` und außerdem ist `wahrheitswert` falsch."

Operatorgruppen

- Operatoren fallen (bisher) in drei Gruppen:

Gruppe	Operatoren	Typen
arithmetisch	+, -, *, /, %	numerisch → numerisch
relational	<, >, <=, =>, == , !=	numerisch → boolean
logisch	&&, ||, ^, !, &, |	boolean → boolean

- Zusätzlich:
  - Zuweisungsoperator =
  - == und != können alle Datentypen vergleichen

Vergleich von Fließkomma-Werten

- relationale Operatoren sind polymorph
  - können ganze Zahlen und Fließkomma-Werte vergleichen
- gemischte Operanden
  - implizite Typkonversion zu Fließkomma-Werten
  - aber: Rundungsfehler bei Fließkomma-Werten!

Vergleich von Fließkomma-Werten

- Beispiel:

```
double a = 1.0 / 7.0;
double b = a + 1.0;
double c = b - 1.0;
a == c?
```

Ergebnis

- Bedingung nicht erfüllt, weil das Zwischenergebnis b eine zusätzliche gültige Stelle vor dem Komma braucht und damit am Ende eine Stelle verliert:

```
a: 0.1428571428571285
b: 1.1428571428571428
c: 0.1428571428571428
```

Vergleich von Fließkomma-Werten

- Vergleich von exakten Fließkomma-Werten (`==`, `!=`)
  - sehr heikel
- Empfehlung
  - Fließkomma-Werte in Bereichen prüfen, nicht auf Einzelwerte!
- Beispiel:
  - `( Math.abs( a - c ) < 1e-10 )` statt `( a == c )`
    - Ausgabe: a gleich c

Zusammenfassung

- Arithmetische Ausdrücke
- Fließkommazahlen
- Kompatibilität
- Wahrheitswerte